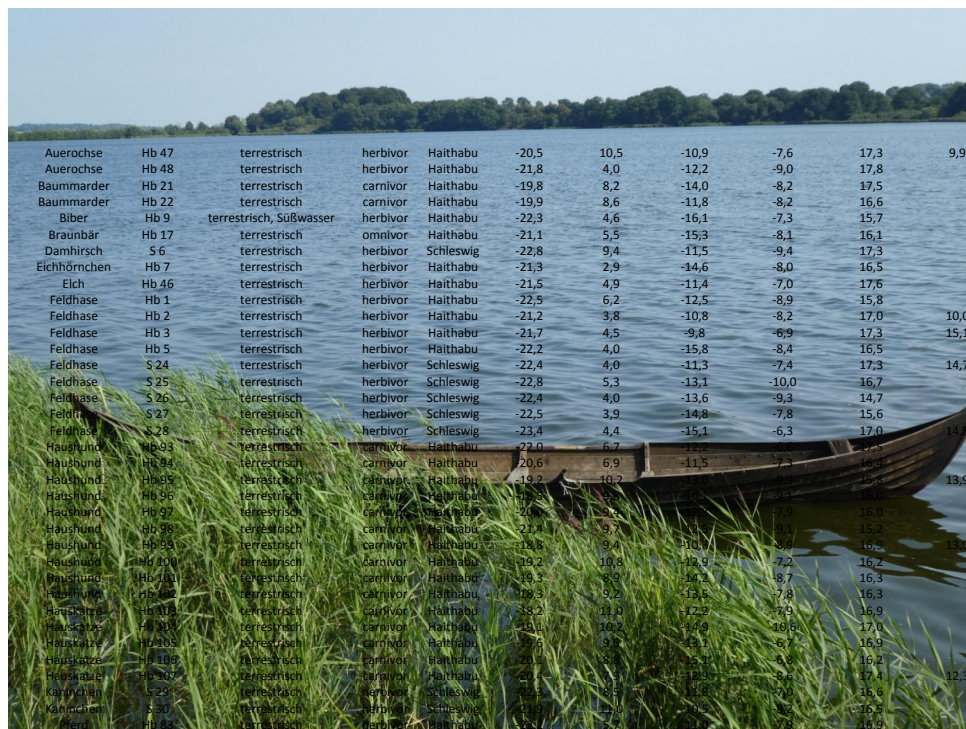


„Anwendung KDD-basierter Methoden zur Interpretation multi-dimensionaler Isotopen-Fingerabdrücke“



Auerchse	Hb 47	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-20,5	10,5	-10,9	-7,6	17,3	9,9
Auerchse	Hb 48	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,8	4,0	-12,2	-9,0	17,8	
Baumarder	Hb 21	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,8	8,2	-14,0	-8,2	17,5	
Baumarder	Hb 22	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,9	8,6	-11,8	-8,2	16,6	
Biber	Hb 9	terrestrisch, Süßwasser	herbivor	Haithabu	-22,3	4,6	-16,1	-7,3	15,7	
Braunbär	Hb 17	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,1	5,5	-15,3	-8,1	16,1	
Damhirsch	S 6	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,8	9,4	-11,5	-9,4	17,3	
Eichhörnchen	Hb 7	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,3	2,9	-14,6	-8,0	16,5	
Eich	Hb 46	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,5	4,9	-11,4	-7,0	17,6	
Feldhase	Hb 1	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,5	6,2	-12,5	-8,9	15,8	
Feldhase	Hb 2	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,2	3,8	-10,8	-8,2	17,0	10,0
Feldhase	Hb 3	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,7	4,5	-9,8	-6,9	17,3	15,1
Feldhase	Hb 5	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,2	4,0	-15,8	-8,4	16,5	
Feldhase	S 24	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,4	4,0	-11,3	-7,4	17,3	14,7
Feldhase	S 25	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,8	5,3	-13,1	-10,0	16,7	
Feldhase	S 26	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,4	4,0	-13,6	-9,3	14,7	
Feldhase	S 27	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,5	3,9	-14,8	-7,8	15,6	
Feldhase	S 28	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-23,4	4,4	-15,1	-6,3	17,0	14,3
Haushund	Hb 93	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-22,0	6,7	-12,2	-8,8	17,3	
Haushund	Hb 94	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-20,6	6,9	-11,5	-7,3	16,3	
Haushund	Hb 95	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,2	10,2	-11,5	-8,1	15,3	13,9
Haushund	Hb 96	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,3	9,5	-11,5	-8,1	16,0	
Haushund	Hb 97	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-20,6	9,3	-11,5	-7,9	16,0	
Haushund	Hb 98	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-21,4	9,7	-11,5	-8,1	15,2	
Haushund	Hb 99	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,8	9,4	-10,9	-8,0	16,2	13,0
Haushund	Hb 100	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,2	10,6	-12,9	-7,2	16,2	
Haushund	Hb 101	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,3	6,9	-11,2	-8,7	16,3	
Haushund	Hb 102	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,3	9,2	-12,5	-7,8	16,3	
Hauskatze	Hb 113	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-28,2	11,0	-12,2	-7,9	16,9	
Hauskatze	Hb 114	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,1	10,2	-11,9	-18,8	17,0	
Hauskatze	Hb 115	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,6	9,8	-12,1	-6,7	16,9	
Hauskatze	Hb 116	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-21,0	8,1	-12,1	-8,8	16,2	
Hauskatze	Hb 117	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-20,1	10,1	-11,5	-8,6	17,4	12,3
Kanarienvogel	S 29	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-19,1	8,5	-11,8	-10,0	15,4	
Kanarienvogel	S 30	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-19,1	7,0	-11,8	-10,5	16,5	
Pferd	Hb 42	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-18,1	10,8	-11,5	-8,3	18,9	

Dissertation an der Fakultät für Biologie
der Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von
Andrea Barbara Göhring

München, 19. Februar 2019

Titelbild: Schlei bei Haithabu (© A. Göhring)

Erstgutachter: Frau Prof. Dr. Gisela Grupe

Zweigutachter: Herr Prof. Dr. Peer Kröger

Tag der Abgabe: 19. Februar 2019

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Juli 2019

Die Doktorarbeit wurde dankenswerterweise durch das Zukunftskonzept LMUexcellent (LMU-Abschlussstipendium) im Rahmen der Exzellenzinitiative gefördert.

Brenndr vas upp með endum

allr – en þat má kalla

hraustligt bragð, es hugðak –

Heiðabær af reiði.

Vóns, at vinnim Sveini

(vask í nótt fyr óttu)

– gaus hár logi ór húsum –

harm (á borgar armi).

(Anonymus HSig 2 - Gade, 2009)

*All Hedeby was burned from end to end
out of anger – and that one can call
a valiant deed, I believe.
There is hope that we will do harm to Sveinn;
I was on the rampar of the stronghold last night before dawn;
high flame burst from the houses.
(Anonymus HSig 2 - Gade, 2009)*

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Einleitung	5
2.1	Stabile Isotope	5
2.1.1	Grundlagen	5
2.1.2	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	7
2.1.2.1	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	7
2.1.2.2	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	8
2.1.2.3	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	9
2.1.3	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	11
2.1.3.1	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	11
2.1.3.2	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	12
2.1.4	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	17
2.1.5	„sea spray“-Effekt	18
2.2	„Knowledge Discovery in Databases“ (KDD)	20
2.2.1	KDD	20
2.2.2	Clusteranalyse	21
2.2.3	Hauptkomponentenanalyse (PCA)	23
2.2.4	„Support Vector Machine“ (SVM)	24
2.2.5	„Feature Ranking“	24
2.2.6	Diskriminanzanalyse	25
2.3	Historischer Hintergrund: Haithabu und Schleswig	26
2.4	Ostsee und Ostseeraum	31
3	Fragestellungen und Zielsetzungen der Arbeit	33
4	Material und Methoden	37
4.1	Material	37

4.2	Methoden	40
4.2.1	Isotopenanalyse	40
4.2.1.1	Extraktionsverfahren	40
4.2.1.2	Qualitätskontrolle	43
4.2.2	Detektion von Ausreißerwerten	45
4.2.3	Clusteranalyse	48
4.2.3.1	k-means	48
4.2.3.2	„Gaussian Mixture Model“ (GMM)	49
4.2.4	Diskriminanzanalyse	52
4.2.5	Hauptkomponentenanalyse (PCA)	53
4.2.6	„Support Vector Machine“ (SVM)	55
4.2.7	„Feature Ranking“	57
4.2.7.1	„Adjusted Rand Index“ (ARI)	57
4.2.7.2	Entropie-basiertes „Feature Ranking“	59
4.2.8	Regressionsanalyse und Korrelation	61
4.2.9	Mischungsmodelle	62
4.2.9.1	„SISUS“	64
4.2.9.2	„simmr“	66
4.2.9.3	„MixSIAR“	67
4.2.9.4	„Simulierte Mischungspolygone“	69
4.2.10	Begleitband: R-Skript	70
5	Ergebnisse	71
5.1	Clusterverfahren	71
5.1.1	k-means	71
5.1.2	„Gaussian Mixture Model“ (GMM)	74
5.2	„Feature Ranking“	85
5.2.1	„Adjusted Rand Index“ (ARI)	85

5.2.2	Entropie-basiertes „Feature Ranking“	91
5.2.2.1	Evaluation	91
5.2.2.2	Terrestrische Säuger	96
5.2.2.3	Terrestrische herbivore Säuger	99
5.2.2.4	Fische	102
5.2.2.5	Vögel	103
5.2.2.6	Menschen	105
5.2.2.7	Zusammenhang zwischen den Isotopensystemen	108
5.3	„sea spray“-Effekt	113
5.3.1	Approximation des „sea spray“-Effektes	113
5.3.2	Korrektur des „sea spray“-Effektes in den Tieren	125
5.3.3	Korrektur des „sea spray“-Effektes in den Menschen	132
5.3.3.1	Korrektur mittels „SISUS“	135
5.3.3.2	Korrektur mittels „simmr“	139
5.3.3.3	Korrektur mittels „MixSIAR“	143
5.3.3.4	GMM-Clusteranalyse nach der „sea spray“-Korrektur	146
5.4	limnischer Einfluss	148
5.4.1	Approximation des limnischen Einflusses	149
5.4.1.1	Korrektur des limnischen Einflusses in den Tieren	153
5.4.1.2	Korrektur des limnischen Einflusses in den Menschen	154
5.5	Hauptkomponentenanalyse (PCA)	157
5.5.1	PCA der Fische	157
5.5.2	PCA der terrestrischen, herbivoren und marinen Säuger	162
5.6	„Support Vector Machine“ (SVM)	165
5.7	Zusammenhang zwischen Karbonat und Phosphat	169
5.7.1	Haithabu vs. Schleswig	169
5.7.2	Habitats-spezifischer Zusammenhang	170
5.7.3	Ernährungs-spezifischer Zusammenhang	172
5.7.4	Wildlebende versus domestizierte Säuger	174

5.7.5	Spezies-spezifischer Zusammenhang	176
5.7.6	$\Delta\delta^{18}\text{O}$: Ernährungs- und Physiologie-spezifische Unterschiede	177
6	Diskussion	189
6.1	„Data Mining“ in der Isotopenanalyse	189
6.1.1	Vergleich der Clusterverfahren	189
6.1.2	Vergleich zwischen GMM und PCA	191
6.1.3	Vergleich zwischen GMM und SVM	192
6.1.4	Vergleich der „Feature Ranking“-Verfahren	194
6.2	„sea spray“-Effekt und limnischer Einfluss	203
6.2.1	„sea spray“-Effekt und limnischer Einfluss bei Tieren	203
6.2.2	„sea spray“-Effekt und limnischer Einfluss bei Menschen	216
6.3	Zusammenhang zwischen Karbonat und Phosphat	231
6.3.1	Abweichung aufgrund von Diagenese und Labormethoden	232
6.3.2	Abweichung aufgrund von nicht-lokalen Individuen	233
6.3.3	Abweichung aufgrund von Unterschieden in Ernährung und Physiologie	235
6.3.4	Abweichung aufgrund von Unterschieden im Habitat	247
6.3.5	Abweichung aufgrund von klimatischen Unterschieden	250
6.3.6	Abweichung aufgrund von Unterschieden zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	251
6.4	Anwendbarkeit der entwickelten Methoden auf andere Datensätze	254
6.4.1	Anwendbarkeit der GMM-Clusteranalyse auf andere Datensätze . .	254
6.4.2	Anwendbarkeit des Verfahrens zur Approximation und Korrektur des „sea spray“-Effektes auf andere Datensätze	261
6.4.3	Anwendbarkeit des Verfahrens zur Approximation und Korrektur des limnischen Einflusses auf andere Datensätze	267
7	Conclusio	269
8	Literatur	271

9 Danksagung	307
10 Eidesstattliche Versicherung	309
A Appendix	311
A.1 Abbildungen	311
A.2 Tabellen	357
A.3 Abbildungsverzeichnis	673
A.4 Tabellenverzeichnis	686

1 Zusammenfassung

Eine Daten-getriebene Auswertung von Isotopendaten unter Verwendung von KDD-basierten Methoden (KDD = „Knowledge Discovery in Databases“) findet bislang keine oder nur sehr wenig Anwendung in der Archäobiologie. Jedoch ermöglichen diese Methoden neue Einblicke in die Isotopendaten von Tieren, wie auch Menschen, die mit den etablierten Methoden bisher so nicht möglich waren. Die multivariate Untersuchung der Daten resultiert im Vergleich zu uni- oder bivariaten Analysen in vielerlei Hinsicht in einem Informationsgewinn. Der ungewöhnlich große Isotopen-Datensatz aus Haithabu und Schleswig an der Ostseeküste, der aufgrund der Brackwasserumgebung ein komplexes Ökosystem abbildet, erlaubt eine umfassende Anwendung und Etablierung verschiedener Methoden.

Clustermodelle werden Hauptkomponentenanalyse (PCA) und „Support Vector Machine“ (SVM) gegenüber gestellt und auf ihre Aussagekraft für die Auswertung von Isotopendaten hin untersucht. Es zeigt sich, dass insbesondere die Clusteranalyse mittels des sogenannten „Gaussian Mixture Model“ (GMM) für Isotopendaten geeignet ist. Die Clusteranalyse ermöglicht die Detektion verschiedener Gruppen von Individuen, wie z. B. nicht lokale Individuen, sowie Individuen, die vom sogenannten „sea spray“-Effekt beeinflusst wurden. Dieser durch Gischt verursachte Effekt kann nicht nur in Schwefelisotopen, für die der Effekt bekannt aber nicht quantifiziert war, sondern auch in Kohlenstoff- und Sauerstoffisotopen des Knochenkarbonats bzw. -phosphats detektiert werden. Weiter ist es möglich, das Ausmaß des Effektes auf die unterschiedlichen Isotopensysteme approximativ zu bestimmen. Der Effekt, der als prozentualer Eintrag betrachtet wird, beträgt je nach Isotopensystem zwischen ca. 14 % und 63 %. Außerdem lässt sich auch ein limnischer Einfluss auf Stickstoffisotope feststellen (ca. 21 %), der ebenfalls berücksichtigt werden muss. Damit ergeben sich z. T. deutliche Verschiebungen der Isotopenwerte in Tieren und Menschen, die entsprechend korrigiert wurden, um so die näherungsweise, originalen Werte zu erhalten. Die nicht-korrigierten Isotopendaten können zu einer fehlerhaften Interpretation der Daten führen. Die Approximation und Korrektur des „sea spray“-Effektes,

sowie des limnischen Einflusses kann mit Hilfe von Clusteranalysen bekräftigt werden. Da archäologisches Material häufig nur in begrenzten Mengen zur Verfügung steht oder die Bedeutsamkeit des Fundguts invasive Verfahren (wie Isotopenanalysen) nur in sehr eingeschränktem Maße erlaubt, ist es wichtig, den Informationsgehalt einzelner Isotopensysteme abzuwägen. Ein Isotopensystem mit höherem Informationsgehalt ist einem anderen System mit nur geringem Informationsgehalt vorzuziehen. Ein „Feature Ranking“-Verfahren ermöglicht es, die einzelnen Isotopensysteme innerhalb unterschiedlicher (Teil-)Datensätze zu vergleichen und so die Isotopensysteme oder auch Kombinationen von Isotopensystemen mit höherem Informationsgehalt zu identifizieren. Auffällig ist hierbei, dass sich je nach Teildatensatz unterschiedliche Einstufungen für die Isotopensysteme ergeben, da bspw. für die Untersuchung von Fischdaten andere Isotope von Bedeutung sind als bei der Untersuchung von terrestrischen, herbivoren Säugern oder auch Menschen.

Weiter kann mit Hilfe des Datensatzes aus Haithabu und Schleswig gezeigt werden, dass es nicht möglich ist, die Sauerstoffisotopenwerte des Phosphats aus den entsprechenden Werten des Karbonats zu berechnen. Die Anwendung einer Differenz von 9 ‰ zwischen Karbonat und Phosphat, wie sie häufig verwendet wird, ist im höchsten Maße abhängig von den untersuchten Spezies, deren Ernährungsformen und (damit zusammenhängend) ihrer Physiologie, sowie dem Habitat und dem Klima am untersuchten Fundort. Da zudem $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ unterschiedlich stark von verschiedenen Faktoren (darunter auch dem „sea spray“-Effekt) beeinflusst werden, ist die Anwendung eines allgemein gültigen Wertes für die Differenz zwischen den beiden Isotopensystemen, zumindest für den vorliegenden Datensatz, nicht ratsam und kann zu fehlerhaften Werten führen.

Die auf Basis des Datensatzes aus Haithabu und Schleswig untersuchten Methoden werden in Teilen auch auf andere Datensätze (Vergleichsdatsätze) angewendet, um die allgemeine Anwendbarkeit der Verfahren zu überprüfen. Die relativ begrenzte Zahl an hierfür geeigneten Datensätzen - in erster Linie hinsichtlich der Stichprobengröße - erlaubt dennoch die Demonstration, dass sowohl die Approximation des „sea spray“-Effektes, als auch die Clusteranalyse mittels „Gaussian Mixture Model“ (GMM) auch auf andere Datensätze anwendbar ist. Die GMM-Clusteranalyse stellt hierbei ein nützliches Mittel zur Unter-

stützung von morphologischen Kontrollgruppen dar, die dadurch ggf. auch ersetzt werden könnten, wenn die morphologischen Daten aufgrund eines schlechten Erhaltungszustandes unvollständig sind.

2 Einleitung

2.1 Stabile Isotope

2.1.1 Grundlagen

Unter Isotopen versteht man Atome mit derselben Protonen-, jedoch unterschiedlicher Neutronenzahl. Stabile Isotope zerfallen nicht unter Abgabe radioaktiver Strahlung (wie etwa ^{14}C), sondern bleiben über die Jahrtausende unverändert.

Man unterscheidet Isotope leichter und schwerer Elemente. Die Isotopenverhältnisse schwerer Elemente mit einer Atommasse über 50 u (z. B. Sr) werden als Quotient aus schwerem und leichtem Isotop angegeben (z. B. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$). Für leichte Elemente (z. B. C, N, O, S) wird das Verhältnis des schweren zum leichten Isotop in der Probe dem Verhältnis in einem Standard gegenüber gestellt. Das Isotopenverhältnis wird in der sogenannten δ -Notation (in ‰) dargestellt (z. B. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{34}\text{S}$):

$$\delta = \frac{R_{\text{Probe}}}{R_{\text{Standard}}} - 1 \quad (\text{Coplen, 2011}) \quad (1)$$

Hierbei bezeichnet R_{Probe} das Verhältnis zwischen schwerem und leichtem Isotop in der Probe und R_{Standard} gibt dieses Verhältnis in einem Standard an.

Im Bereich der Prähistorischen Anthropologie werden stabile Isotope vor allem aus Knochen und Zähnen extrahiert, aber auch aus keratinisierten Geweben (z. B. Haare) oder Umweltproben (z. B. Boden, Wasser, Holz).

Knochen und Zähne, in denen wiederum Dentin und Zahnschmelz unterschieden werden kann, bestehen aus einer mineralischen und einer organischen Komponente. Der Anteil von mineralischer und organischer Komponente ist in Knochen und im Zahndentin relativ ähnlich mit etwa 70 % bzw. 72 % Mineral und etwa 22 % bzw. 20 % Organik. Im Zahnschmelz liegt der mineralische Anteil bei über 96 %, er enthält hingegen kaum Organik (Hillson & Antoine, 2003). Der mineralische Anteil im Knochen gewährleistet Druckfestigkeit. Die organische Komponente, v. a. das Strukturprotein Kollagen, macht den Knochen zugfest. Die mineralische Komponente von Säugern kann näherungsweise als Hydroxylapatit

($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) verstanden werden (Elliott, 2002; LeGeros et al., 1969), wobei es jedoch zu einer Reihe von Substitutionen in den Gitterplätzen des Apatits kommt, weshalb Bioapatit chemisch betrachtet vielmehr einen Karbonat-Hydrato-Hydroxylapatit darstellt (Schmahl et al., 2017). In den Gitterplatz des Ca^{2+} können beispielsweise Sr^{2+} , Pb^{2+} oder Mg^{2+} eingebaut werden. CO_3^{2-} kann die PO_4^{3-} -Gruppe (Typ A Substitution) oder die OH-Gruppe (Typ B Substitution) ersetzen. Und auch F^- kann an der OH-Position eingebaut werden (Elliott, 2002; LeGeros et al., 1969; Schmahl et al., 2017; Schmahl et al., 2016). Diese Substitutionen erlauben neben der Untersuchung von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ beispielsweise auch die Messung von $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ im Knochenmineral.

Die organische Knochenkomponente besteht zu einem überwiegenden Teil ($> 90\%$) aus Typ I-Kollagen, zu einem geringeren Teil aus Typ V-Kollagen und aus wenigen nicht-kollagenen Proteinen, wie z. B. Osteocalcin und Osteonectin (Gelse et al., 2003; Manolagas, 2000). Aufgrund der Vernetzung der Kollagen-Moleküle untereinander durch Pyridinolin- und Pyrrol-Querverbindungen wird das Kollagen besonders stabil (Knott & Bailey, 1998; Manolagas, 2000), weshalb das Protein (bei entsprechend gutem Erhaltungszustand) auch in archäologischem Material noch vorhanden ist. Im Knochenkollagen können beispielsweise die Isotopenverhältnisse $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ untersucht werden.

Stabile Isotope finden im Bereich der Anthropologie und Bioarchäologie v. a. Verwendung in der Ernährungs- und Herkunftsrekonstruktion. Die Basis für die Anwendbarkeit hierfür liegt darin begründet, dass sich das schwere und leichte Isotop leichter Elemente während (bio-)chemischer Prozesse aufgrund ihrer unterschiedlichen Masse unterschiedlich verhalten. Die Auftrennung von Isotopen zwischen zwei Stoffen oder Zuständen (Phasen) desselben Stoffes, wodurch sich zwei unterschiedliche Isotopenverhältnisse ergeben, wird als Isotopenfraktionierung bezeichnet. Eine solche Fraktionierung wird v. a. durch Isotopen-Austauschreaktionen und kinetische Prozesse verursacht. Entlang der Nahrungskette kommt es zu Fraktionierungen, da sich das schwere und leichte Isotop in chemischen, aber auch physikalischen Reaktionen nicht identisch verhalten, wodurch sich das Verhältnis zwischen schwerem und leichtem Isotop verändert. Ein Fraktionierungsfaktor (α) gibt die Fraktionierung zwischen zwei Zustandsformen an. Fraktionierungen lassen sich auch

zwischen der konsumierten Nahrung und dem Gewebe des Konsumenten beobachten (z. B. Krueger & Sullivan, 1984; Lee-Thorp, 2000; Lee-Thorp et al., 1989; Sullivan & Krueger, 1981; Tanz & Schmidt, 2010; Tieszen & Fagre, 1993). In Folge dessen kommt es zu sogenannten Fraktionierungsprozessen, die zu einer An- bzw. Abreicherung der Isotope führen. Es entstehen hierdurch spezifische Isotopen-Fingerabdrücke, die Aussagen über die Ernährung und auch Migration bzw. Handel erlauben.

2.1.2 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$

Stabile Kohlenstoff-, Stickstoff- und Schwefelisotope aus dem Knochenkollagen, das wiederum ausschließlich aus dem Baustoffwechsel stammt, werden v. a. durch das Proteinsignal der Nahrung beeinflusst (z. B. Ambrose et al., 1997; Bonsall et al., 2000; Jim et al., 2004; Johansen et al., 1986; Krueger & Sullivan, 1984; McCutchan et al., 2003; Schoeninger & DeNiro, 1984; Tieszen & Fagre, 1993).

2.1.2.1 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$

Die Fraktionierung zwischen $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und der gesamten Nahrung liegt zwischen 0,5 ‰ und 6,1 ‰ ($2,9 \text{ ‰} \pm 2,1 \text{ ‰}$). Diese hohe Variabilität kann mit dem direkten Einbau essentieller Aminosäuren und dem direkten Einbau bzw. der Neusynthese nicht-essentieller Aminosäuren erklärt werden (Howland et al., 2003).

Man unterscheidet sogenannte C_3 - und C_4 -Pflanzen. Alle (photosynthetisch aktiven) Pflanzen enthalten sowohl Ribulosebisdiphosphat- (RuBisCO) als auch Phosphoenolpyruvat-Carboxylase (PEPC) zur CO_2 -Fixierung, jedoch je nach Photosynthese-Weg in unterschiedlicher Häufigkeit. C_3 -Pflanzen weisen einen großen Überschuss von RuBisCO gegenüber PEPC ($\sim 15 : 1$) auf. Hingegen erfolgt die CO_2 -Fixierung in C_4 -Pflanzen primär durch PEPC (Melzer & O’Leary, 1987). Der grundlegende Unterschied ist die Umwandlung von Bikarbonat (HCO_3^-) in CO_2 für die Fixierung von RuBisCO, während für die Fixierung von PEPC CO_2 in HCO_3^- umgewandelt wird (Badger & Price, 1994). Bei den unterschiedlichen Photosynthese-Wegen kommt es, ebenso wie bei der primären, enzymatischen CO_2 -Fixierung, zu Diskriminierungen gegenüber ^{13}C (Schmidt et al., 2015).

Aufgrund ihrer unterschiedlichen Art der CO_2 -Fixierung weisen C_3 - und C_4 -Pflanzen unterschiedliche $\delta^{13}\text{C}$ -Werte auf. Der durchschnittliche $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von C_3 -Pflanzen liegt bei ca. -28‰ (-30 bis -20‰) (Ehleringer & Osmond, 1989; Kohn & Cerling, 2002; O’Leary, 1988; Schmidt, 2003), der von C_4 -Pflanzen ist hingegen deutlich positiver mit Werten von durchschnittlich -14‰ (-15 bis -7‰ ; Ehleringer & Osmond, 1989; Kohn & Cerling, 2002; O’Leary, 1988; Schmidt, 2003). Sie unterscheiden sich damit durchschnittlich um 14‰ (Kohn & Cerling, 2002; Vogel, 1978). Da sich C_3 - und C_4 -Pflanzen hinsichtlich ihrer Isotopie unterscheiden, kann auch zwischen dem Kollagensignal eines Herbivoren, der sich v. a. von C_3 -Pflanzen ernährt, und dem Kollagensignal eines Herbivoren, der v. a. C_4 -Pflanzen frisst, unterschieden werden. Beim Konsum von Pflanzen durch einen Säuger kommt es zu einer Fraktionierung von ca. 5‰ (C_3 -Pflanzen) bzw. 6‰ (C_4 -Pflanzen) zwischen dem $\delta^{13}\text{C}$ -Wert der Pflanze und jenem des tierischen Kollagens (Krueger & Sullivan, 1984; Sullivan & Krueger, 1981; Vogel, 1978). Die Fraktionierung zwischen dem $\delta^{13}\text{C}$ -Wert der gesamten Nahrung und dem Isotopiewert des Konsumenten wird umso größer, je mehr sich das Nahrungsprotein und die Fette bzw. Kohlenhydrate isotopisch voneinander unterscheiden (Jim et al., 2004). In höheren Trophiestufen ist die Fraktionierung eher gering und liegt bei etwa $0,5\text{‰}$ (Post, 2002). Ein Tier, das sich ausschließlich von C_3 -Pflanzen ernährt, weist einen $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Wert von ca. $-21,5\text{‰}$ auf. Dagegen beträgt der erwartete $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Wert eines reinen C_4 -Konsumenten ca. $-6,5\text{‰}$ (Sullivan & Krueger, 1981). Die Differenz in der Isotopie von C_3 - und C_4 -Pflanzen ($\sim 14\text{‰}$) zeigt sich damit auch in den Herbivoren (Kohn & Cerling, 2002).

2.1.2.2 $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$

Je Trophiestufe liegt der Fraktionierungsfaktor im Stickstoff bei ca. $3,4\text{‰}$ (Post, 2002; Minagawa & Wada, 1984). Nach der Regel „Du bist, was du isst - plus ein paar Promille“ (DeNiro & Epstein, 1976) wird der $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Wert eines Konsumenten gegenüber seiner Nahrung daher um ca. 3‰ erhöht. Dieser Trophiestufeneffekt erlaubt die Unterscheidung von Tieren anhand ihrer primären Nahrungsquelle. So können herbivore, carnivore und omnivore Ernährungsweisen voneinander unterschieden werden.

Ein Fraktionierungsprozess ähnlichen Ausmaßes zeigt sich in Form eines Stilleffektes. Die Muttermilch von Säugetierweibchen ist gegenüber dem Stickstoffisotopensignal der Mutter mit ^{15}N angereichert (z. B. Knobbe et al., 2006; Kornexl et al., 1997; Steele & Daniel, 1978). Ursächlich hierfür ist primär die Anreicherung mit ^{15}N im Casein der Milch (Kornexl et al., 1997). Weiter kann auch ein länger anhaltender Proteinmangel zu einem Anstieg der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte führen, wie z. B. von Mekota et al. (2006) für Haare gezeigt wurde. Der Abbau körpereigener Gewebe, z. B. Skelettmuskulatur, oder auch bestimmter für die Immunantwort notwendiger Proteine führt zu einer Anreicherung mit ^{15}N (Mekota et al., 2006). Durch einen sogenannten Düngereffekt kann sich zudem der $\delta^{15}\text{N}$ -Wert von Pflanzen, und damit auch der konsumierenden Tiere, erhöhen. Tierdung weist hohe $\delta^{15}\text{N}$ -Werte auf, da über den flüchtigen Ammoniak v. a. das leichte ^{14}N verloren geht. Folglich sind die verbleibenden Ammoniumsalze, die in Nitrat umgewandelt werden, mit ^{15}N angereichert. Dieses Signal wird an die Pflanzen übermittelt (Bogaard et al., 2007) und gelangt über die Nahrungskette auch in tierische Systeme.

2.1.2.3 $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$

Schwefel kommt in der Atmosphäre in gasförmiger (z. B. H_2S , SO_2), flüssiger bzw. gelöster (SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , H_2SO_3) und fester Form (S^0 , Sulfate) vor (Newman et al., 1991). Atmosphärisches Schwefeldioxid (SO_2) wird von Pflanzen aufgenommen und von oberirdischen Teilen höherer Pflanzen genutzt. Die wichtigste Schwefel-Quelle für Pflanzen ist jedoch Sulfat (SO_4^{2-}), das über die Wurzeln aufgenommen wird (Hawkesford et al., 2012; Tcherkez & Tea, 2013).

Bei der Schwefel-Aufnahme durch die Pflanze kommt es zu einer sehr geringen Fraktionierung gegen ^{34}S . Innerhalb der Pflanze ist die Fraktionierung ebenfalls gering. Jedoch sind die Wurzeln und der Stamm im Vergleich zu Boden-Sulfat um ca. 2 ‰ abgereichert in ^{34}S , während Blätter und Früchte um ca. 2 ‰ im schweren Isotop angereichert sind. Der $\delta^{34}\text{S}$ -Wert sulfatisierter Pflanzenmetabolite ist allerdings wohl vergleichbar mit dem des Sulfats aus dem Substrat (Hawkesford et al., 2012; Tcherkez & Tea, 2013).

Als Bestandteil der Aminosäuren Cystein und Methionin spielt Schwefel eine wichtige

Rolle in der Proteinsynthese. Außerdem ist Schwefel Vorläufer wichtiger Bestandteile, wie z. B. Koenzymen oder sekundären Pflanzenstoffen (Hawkesford et al., 2012).

Tiere beziehen ihren Schwefel aus der Nahrung und dem Trinkwasser (Schmidt et al., 2015). In den $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten zeigt sich nur eine sehr geringe ($< 1 \text{ ‰}$) Fraktionierung gegenüber den aufgenommenen Schwefelquellen (Nehlich et al., 2010; Thode, 1991). Sie sind somit über die Trophiestufen hinweg relativ stabil. Verschiedene tierische Gewebe bzw. Körperflüssigkeiten können jedoch durchaus isotopisch gegenüber ihrer primären Schwefelquelle an- oder abgereichert sein. Sulfat aus Knorpel (Chondroitin-Sulfat) ist beispielsweise relativ zur Nahrung in ^{34}S abgereichert. Hingegen ist Sulfat in der Muttermilch oder im Urin deutlich angereichert mit ^{34}S (Tanz & Schmidt, 2010). Dies deutet, so Tanz & Schmidt (2010), auf eine Isotopenfraktionierung im tierischen Sulfat hin.

Pflanzliche Sulfate sind gegenüber den übrigen pflanzlichen Bestandteilen mit ^{34}S angereichert. Der Unterschied im $\delta^{34}\text{S}$ -Wert von Sulfat-Schwefel und organischem Schwefel in Pflanzen liegt im Durchschnitt zwischen 3 ‰ und 6 ‰, kann jedoch bis zu 14 ‰ betragen. Herbivore Säuger nehmen 10 - 40 % des Schwefels in Form angereicherten Sulfats auf und 60 - 90 % in Form abgereicherten, organischen Schwefels, z. B. als Cystein oder Methionin, verschiedene Proteine oder sekundäre Metabolite, wie z. B. Glucosinolate (Tanz & Schmidt, 2010; Tcherkez & Tea, 2013). Im Mittel liegt der Schwefel-Gehalt im Säuger-Kollagen bei 0,21 Gew.% (Gew.% = Gewichtsprozent). Davon macht Schwefel aus Methionin mit 0,20 Gew.% (Nehlich & Richards, 2009) über 95 % aus. Somit wird der $\delta^{34}\text{S}$ -Wert des Kollagens maßgeblich durch den Isotopenwert des Methionins beeinflusst (Tanz & Schmidt, 2010). Der Kollagenwert unterscheidet sich jedoch deutlich von dem des α -Keratins von Haaren, Nägeln und Horn (Tanz & Schmidt, 2010), das den Schwefel vor allem aus Cystein bezieht (Krivachy et al., 2015). Verantwortlich hierfür ist vermutlich ein Fraktionierungsvorgang zwischen Methionin und Cystein während der Biosynthese auf Pflanzenebene (Tanz & Schmidt, 2010).

Abgesehen von den genannten Ausnahmen ist der $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Wert tierischer Gewebe jedoch identisch mit dem Isotopenwert der primären Schwefelquelle und erlaubt somit Untersuchungen zur Ernährung und Herkunft mittels stabiler Schwefelisotope (Tanz &

Schmidt, 2010).

2.1.3 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$

2.1.3.1 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$

Kohlenstoff aus dem Knochenkarbonat stammt aus dem CO_2 des Blutserums bzw. dem Blut-Bikarbonat (Ambrose et al., 1997; Sullivan & Krueger, 1981). Gasförmiges CO_2 wird in Knochenwasser gelöst. Es entsteht Kohlensäure, die zu HCO_3^- und H^+ dissoziiert. Die Karbonat-Ionen nehmen das H^+ auf und es entsteht HCO_3^- . Somit entstehen je gebundenem CO_2 -Molekül zwei Bikarbonat-Ionen (Poyart et al., 1975).

Auch bei $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ kommt es bei der Nahrungsaufnahme zu einer Trophie-bedingten Fraktionierung. Diese liegt bei ca. 12 - 13 ‰ bei Konsum von Pflanzen (Krueger & Sullivan, 1984; Sullivan & Krueger, 1981). In höheren Trophiestufen beträgt der Fraktionierungsfaktor zwischen dem $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ der Beute und dem des Konsumenten nur noch zwischen 3 ‰ und 4 ‰ (Krueger & Sullivan, 1984). Ein herbivores Tier, das sich ausschließlich von C_3 -Pflanzen ernährt, zeigt einen durchschnittlichen $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Wert von ca. -14 ‰. Ein reiner C_4 -Konsument weist hingegen einen $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Wert von etwa 0 ‰ auf (Koch et al., 1994; Sullivan & Krueger, 1981). Der zwischen C_3 - und C_4 -Pflanzen detektierte Unterschied von 14 ‰ (sh. Kapitel 2.1.2.1), findet sich demnach auch in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Werten der konsumierenden Herbivoren wieder (Kohn & Cerling, 2002).

Im Gegensatz zu $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ spiegelt $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ nicht nur das Nahrungsprotein, sondern die gesamte Nahrung (Proteine, Kohlenhydrate, Fette) wider (z. B. Ambrose & Norr, 1993; Howland et al., 2003; Jim et al., 2004). Somit ist die auftretende Fraktionierung gegenüber der gesamten Nahrung unabhängig von den isotopischen Unterschieden zwischen den Makronährstoffen (Jim et al., 2004). Während der Isotopiewert des Karbonats deutlich mit dem der gesamten Nahrung bzw. mit den Kohlenhydraten und Fetten in der Nahrung korreliert ($r^2 > 0.9$) ist zwischen $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ und dem Nahrungsprotein nur eine schwache (nicht-signifikante) Korrelation detektierbar (Jim et al., 2004; Pestle et al., 2015).

Carnivore und herbivore Tiere können mit Hilfe von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ unterschieden werden.

Die Isotopiewerte von Carnivoren sind negativer als die von Herbivoren (Clementz et al., 2009; Krueger & Sullivan, 1984). Dies kann damit erklärt werden, dass Carnivore über ihre Nahrung v. a. tierische Proteine und Fette aufnehmen (Howland et al., 2003; Jim et al., 2004), während Herbivore pflanzliche Proteine und v. a. Kohlenhydrate konsumieren. Da Fette im Vergleich zu den anderen Nahrungsbestandteilen in ^{13}C abgereichert sind, führt dies zu negativeren $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Werten in carnivoren Tieren (Jim et al., 2004; Howland et al., 2003).

2.1.3.2 $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$

Wie schon der Kohlenstoff, so stammt auch der Sauerstoff des Knochenkarbonats aus dem Blut-Bikarbonat (Ambrose et al., 1997; Gannes et al., 1998; Sullivan & Krueger, 1981). Aufgrund von Enzymen, die den Sauerstoffaustausch zwischen CO_2 , Bikarbonat und Körperwasser katalysieren, sowie aufgrund der in Säugern relativ konstanten Körpertemperatur ($\sim 37^\circ\text{C}$), wird $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ durch die Sauerstoff-Isotopenzusammensetzung des Körperwassers beeinflusst (Bryant et al., 1996; Iacumin et al., 1996). Die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte spiegeln demnach die Isotopie des Trinkwassers, des metabolischen Sauerstoffs (aus der Nahrung), sowie des atmosphärischen Sauerstoffs wider (Bryant & Froelich, 1995; Kohn, 1996). Metabolischer Sauerstoff entsteht hierbei durch den Katabolismus von Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen aus der Nahrung. Der Sauerstoff im dabei entstehenden CO_2 und H_2O tauscht schnell mit dem Blut aus (Bryant & Froelich, 1995; Green et al., 2018). Auch die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte von Säugern sind aufgrund der konstanten Körpertemperatur in einem isotopischen Gleichgewicht mit dem Körperwasser (Longinelli, 1984; Luz & Kolodny, 1985; Luz et al., 1984). Katalysiert durch Enzyme kommt es zu einem Sauerstoff-Isotopenaustausch zwischen Phosphat und Körperwasser (Bryant et al., 1996). Da die Sauerstoff-Isotopenzusammensetzung des Körperwassers v. a. durch den $\delta^{18}\text{O}$ -Wert des meteorischen Trinkwassers beeinflusst wird (Podlesak et al., 2008), besteht eine lineare Korrelation zwischen den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten und den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten des lokalen Trinkwassers (Bryant et al., 1994; D'Angela & Longinelli, 1990; Iacumin et al., 1996; Longinelli & Selmo, 2011; Longinelli, 1995; Luz et al., 1990; Longinelli, 1984; Luz & Kolodny, 1985; Luz

et al., 1984).

Gemäß Kirsanow & Tuross (2011) kann die Sauerstoff-Isotopenzusammensetzung des meteorischen Wassers besonders gut durch $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ geschätzt werden, da die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Phosphat sensitiver gegenüber den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten des Trinkwassers sind und weniger gegenüber jenen der Nahrung. Somit spiegeln $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte v. a. das meteorische Wasser wider. Dieser Zusammenhang macht $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ zu einem nützlichen Werkzeug für die Rekonstruktion des Paläoklimas, denn die Umgebungstemperatur korreliert mit dem Isotopensignal des Trinkwassers und damit auch mit den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten der Individuen (vgl. z. B. Lécuyer et al., 1996; Longinelli & Nuti, 1973; Luz et al., 1990). Im Gegensatz dazu wird $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ weniger durch das Trinkwasser, sondern vielmehr durch die Isotopenzusammensetzung der konsumierten Nahrung beeinflusst (Kirsanow & Tuross, 2011).

Herbivore weisen positivere $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte auf als Carnivore (Sponheimer & Lee-Thorp, 2001; Sponheimer & Lee-Thorp, 1999). Dies kann dadurch erklärt werden, dass Kohlenhydrate, die den Großteil der herbivoren Nahrung ausmachen, in ^{18}O angereichert sind im Vergleich zu Proteinen, die die Nahrung eines Carnivoren dominieren (Sponheimer & Lee-Thorp, 2001). Hingegen sollten carnivore Säuger laut White et al. (2004) positivere $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte aufweisen. Dies kann dadurch erklärt werden, dass carnivore Tiere ihren Flüssigkeitsbedarf zu einem großen Teil über das mit ^{18}O angereicherte Blut (Longinelli & Peretti Padalino, 1980) ihrer Beute decken.

Die Physiologie hat ebenfalls einen großen Einfluss auf die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte: Säugetiere, die hecheln, um ihre Körpertemperatur zu regulieren, zeigen höhere $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte als schwitzende Säugetiere (Kohn et al., 1996; Sponheimer & Lee-Thorp, 2001; Sponheimer & Lee-Thorp, 1999). Hechler zeigen eine hohe Salzkonzentration im Urin, sowie einen niedrigen Wassergehalt in der Faeces. Sie haben höhere $\delta^{18}\text{O}$ -Werte als Tiere, die mehr Wasser verlieren, da Schweiß, Urin und Faeces-Wasser im Vergleich zu Wasserdampf mit ^{18}O angereichert sind (Kohn et al., 1996). Hechler hingegen verlieren abgereicherten Sauerstoff (Sponheimer & Lee-Thorp, 1999).

Tiere mit einem niedrigen Wasserumsatz weisen höhere $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte auf als Tiere,

die täglich trinken (z. B. Ziege, Zebra) und die damit deutlich stärker von der Isotopenzusammensetzung des Oberflächenwassers abhängig sind. Gegenüber Trockenheit eher tolerante Tiere (z. B. Gazellen) zeigen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte, die weniger von der Isotopie des meteorischen Trinkwassers, sondern vielmehr von der relativen Humidität abhängen (Kohn et al., 1996; Kohn, 1996). Ein herbivorer Säuger spiegelt demnach die Isotopie des meteorischen Trinkwassers nicht exakt wider, da die Isotopie des Herbivoren stark von den gefressenen Pflanzen (Blattwasser) abhängt. Die Pflanzenisotopie wird wiederum von der saisonal variablen Humidität beeinflusst. Der Einfluss der Humidität auf die Sauerstoffisotopie eines Individuums sinkt mit zunehmender Trophiestufe (Kohn, 1996). Diesen Zusammenhang erklärt Kohn (1996) anhand eines Beispiels: Ein herbivorer Säuger bezieht 30 % seines Sauerstoffs von Pflanzen. Ein carnivorer Säuger bezieht 30 % seines Sauerstoffs von seiner herbivoren Beute. Damit sind nur ca. 9 % (= 30 % von 30 %) des Sauerstoffs des Carnivoren pflanzlichen Ursprungs (Kohn, 1996). Dadurch wird der Einfluss der Humidität auf Carnivore im Vergleich zu Herbivoren deutlich reduziert (Pietsch et al., 2011).

In einer C_4 -Pflanzen-Umgebung sollten Grasfresser gegenüber Laubfressern mit ^{18}O angereichert sein, was primär aus dem Unterschied zwischen C_3 - und C_4 -Pflanzen resultiert (Bocherens et al., 1996; Kohn, 1996). Dieser Unterschied könnte durch das unterschiedliche Trinkverhalten von Gras- und Laubfressern noch verstärkt werden. Laubfresser nehmen über ihre Nahrung mehr Wasser auf und trinken damit weniger Wasser als Grasfresser (Sponheimer & Lee-Thorp, 1999). Es scheint hierbei allerdings auch ortsspezifische Unterschiede zu geben, den Sponheimer & Lee-Thorp (1999) fanden mit ^{18}O abgereicherte Grasfresser im Vergleich zu Laubfressern.

Da die P-O-Atombindung im Vergleich zu der relativ schwachen C-O-Bindung als chemisch stabiler angesehen wird (vgl. Blake et al., 1997; Sharp et al., 2000), wird angenommen, dass Phosphat widerstandsfähiger ist gegenüber anorganischer Hydrolyse und Sauerstoff-Isotopenaustausch mit Wasser während anorganischer Prozesse. Zudem sind Phosphat-Mineralen relativ stabil unter diagenetischen Bedingungen (Blake et al., 1997), solange kein mikrobieller Abbau beteiligt ist (Zazzo et al., 2004a; Zazzo et al., 2004b). Aus diesem Grund

wird in archäobiologischen Studien $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ gegenüber $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ oft bevorzugt. Außerdem besteht, wie bereits erwähnt, eine starke Korrelation zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ und dem $\delta^{18}\text{O}$ -Wert des Trinkwassers. Dennoch wird $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ aufgrund des relativ einfachen und kostengünstigen Extraktionsverfahrens häufiger gemessen. Für Untersuchungen des Wassers (z. B. zur Untersuchung des Paläoklimas) werden jedoch $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte benötigt, da diese linear mit denen des Trinkwassers zusammenhängen (sh. oben). Hierfür werden die gemessenen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte häufig in $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte umgerechnet. Dies beruht auf einem Zusammenhang zwischen den Sauerstoff-Isotopenwerten, der für eine Reihe fossiler und moderner Spezies aufgestellt wurde. Es ist allgemein akzeptiert, dass sich der Zusammenhang zwischen Sauerstoffisotopen aus Karbonat und Phosphat näherungsweise durch das folgende lineare Modell wiedergeben lässt:

$$\begin{aligned}\delta^{18}O_{\text{Phosphat}} &= 0,98 \delta^{18}O_{\text{Karbonat}} - 8,5 \\ r^2 &= 0,98, n = 31 \text{ (Iacumin et al., 1996)}\end{aligned}\tag{2}$$

Formel 2 beruht auf der Isotopenanalyse von Sauerstoff in Karbonat und Phosphat aus Knochen bzw. Zähnen von zwölf verschiedenen, modernen Tierarten (z. B. Alpensteinbock, Amerikanischer Schwarzbär, Haushund, Rothirsch, Weißschwanzmanguste) aus verschiedenen Ländern (z. B. Alaska, Italien oder Kamerun) und Kontinenten der ganzen Welt (Iacumin et al., 1996).

Einen ähnlichen Zusammenhang fanden auch Bryant et al. (1996) bei der Untersuchung (Mehrfachmessung) von Knochen und Zähnen von Wildpferden (*Equus caballus*, $n = 3$) und Burchell-Zebras (*Equus burchelli*, $n = 5$) mit

$$\begin{aligned}\delta^{18}O_{\text{Phosphat}} &= 0,98 (\pm 0,04) \delta^{18}O_{\text{Karbonat}} - 8,14 (\pm 0,76) \\ r^2 &= 0,986, n = 42 \text{ (verändert nach Bryant et al., 1996)}\end{aligned}\tag{3}$$

Zazzo et al. (2004a) untersuchten Zahnschmelzproben von sieben modernen Flusspferden (*Hippopotamus amphibius*). Hieraus ergab sich folgender Zusammenhang zwischen

$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$:

$$\begin{aligned}\delta^{18}O_{\text{Phosphat}} &= 0,974 (\pm 0,044) \delta^{18}O_{\text{Karbonat}} - 9,117 (\pm 1,346) \\ r^2 &= \text{n. a.}, n = 7 \text{ (Zazzo et al., 2004a)}\end{aligned}\tag{4}$$

Eine weitere Studie zeigte einen spezies-spezifischen Unterschied im Zusammenhang zwischen den Sauerstoff-Isotopenwerten aus Karbonat und Phosphat. Untersucht wurden Europäische Wildesel (*Equus hydruntinus*) und Rothirsche (*Cervus elaphus*) von verschiedenen, paläolithischen Fundplätzen in Italien. Hierbei zeigten sich die nachfolgenden Regressionsgleichungen:

$$\begin{aligned}\delta^{18}O_{\text{Phosphat (Rothirsch)}} &= 0,805 \delta^{18}O_{\text{Karbonat (Rothirsch)}} - 3,79 \\ r^2 &= 0,975, n = 4 \text{ (Pellegrini et al., 2011)}\end{aligned}\tag{5}$$

$$\begin{aligned}\delta^{18}O_{\text{Phosphat (Wildesel)}} &= 0,920 \delta^{18}O_{\text{Karbonat (Wildesel)}} - 6,67 \\ r^2 &= 0,995, n = 4 \text{ (Pellegrini et al., 2011)}\end{aligned}\tag{6}$$

Zudem kombinierten Pellegrini et al. (2011) ihre eigenen Daten mit denen aus anderen Studien (Bryant et al., 1996; Iacumin et al., 1996; Martin et al., 2008; Shahack-Gross et al., 1999; Zazzo et al., 2004a). Hierbei wurden fossile und moderne Individuen zusammen untersucht (Formel 7) bzw. moderne Individuen alleine (Formel 8):

$$\begin{aligned}\delta^{18}O_{\text{Phosphat (gesamt)}} &= 0,932 (\pm 0,019) \delta^{18}O_{\text{Karbonat (gesamt)}} - 7,10 (\pm 0,527) \\ r^2 &= 0,892, n = 285 \text{ (Pellegrini et al., 2011)}\end{aligned}\tag{7}$$

$$\begin{aligned}\delta^{18}O_{\text{Phosphat (modern)}} &= 0,950 (\pm 0,016) \delta^{18}O_{\text{Karbonat (modern)}} - 7,51 (\pm 0,439) \\ r^2 &= 0,972, n = 98 \text{ (Pellegrini et al., 2011)}\end{aligned}\tag{8}$$

Basierend auf den Ergebnissen von Iacumin et al. (1996) wird häufig ein fester Wert von ca. 9 ‰ für den $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wert ($\Delta\delta^{18}\text{O} = \delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$) angenommen.

Iacumin et al. (1996) berechneten einen $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wert von ca. 9,2 ‰ anhand moderner

Hirsche ($n = 13$) aus Deutschland, Italien, Frankreich und Neuseeland mit Hilfe des Zusammenhangs von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ bzw. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ mit der Isotopenzusammensetzung des Trinkwassers. Insgesamt ergab sich für die von ihnen untersuchten, modernen Säuger ($n = 31$) ein $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wert von 9,1 ‰. Im Gesamtdatensatz von Pellegrini et al. (2011) lagen die $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wert-Werte zwischen 6 ‰ und 12 ‰ (nach Ausschluss einiger, extremer Ausreißer). Im Mittel lag der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wert für moderne und fossile Individuen bei $8,9 \text{ ‰} \pm 1,3 \text{ ‰}$ und für moderne Individuen bei $\Delta\delta^{18}\text{O}\text{-Wert} = 8,8 \text{ ‰} (\pm 0,8 \text{ ‰})$. Die Studie von Pellegrini et al. (2011) verwendete u. a. Daten aus Iacumin et al. (1996), Bryant et al. (1996) mit einem $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wert von 8,7 ‰, sowie die Ergebnisse der Analyse von Zähnen (M1, M2) eines einzelnen Nashorn (*Rhinoceros unicornis*) aus Thailand mit einem $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wert von $8,4 \text{ ‰} \pm 0,7 \text{ ‰}$ (Mehrfachmessungen; Martin et al., 2008).

Es gilt als etabliert, einen festen $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wert von ca. 9 ‰ für die Berechnung der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte aus gemessenen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten zu verwenden. Auf eine (aufwendige und teure) Phosphat-Extraktion wird daher oftmals verzichtet.

2.1.4 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

Strontium besitzt vier natürlich vorkommende Isotope. Von diesen sind drei nicht-radiogen (^{84}Sr : $\sim 0,56 \text{ ‰}$, ^{86}Sr : $\sim 9,87 \text{ ‰}$, ^{88}Sr : $\sim 82,53 \text{ ‰}$) und eines radiogen (^{87}Sr : 7,04 ‰). Das radiogene ^{87}Sr entsteht durch β -Zerfall aus ^{87}Rb mit einer Halbwertszeit von ungefähr $4,88 \cdot 10^{10}$ Jahren (Price et al., 2012; Bentley, 2006). Als schweres Element unterliegen die Isotope von Strontium keinen Fraktionierungsprozessen, wie von Flockhart et al. (2015) endgültig gezeigt werden konnte.

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ erlaubt die Zuordnung von Individuen zu einem wahrscheinlichen Herkunftsort bzw. die Detektion primär nicht-lokaler Individuen mit Hilfe der Signatur des Fundplatzes. Pflanzen-verfügbares $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ spiegelt das lokale, bioverfügbare Strontium einheitlicher wider als der Boden, auf dem sie wachsen. Ursächlich hierfür ist die sogenannte Biopurifikation, durch die die Varianz im Sr/Ca-Verhältnis und auch in $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ mit zunehmender Trophiestufe sinkt (Bentley, 2006; Price et al., 2012). Die Variation in geologischem Material übersteigt üblicherweise die Variation von biologischen Geweben um einige Größenordnungen.

gen. Lokale tierische (und menschliche) Isotopenverhältnisse variieren hingegen um weniger als 0,0015 - 0,0003 (Burton & Hahn, 2016; Burton & Price, 2013). Im Knochen wird die bioverfügbare Strontium-Signatur, die v. a. über die Nahrung und das Trinkwasser, aber auch durch atmosphärisches Strontium (Niederschlag; Lengfelder et al., 2019; Söllner et al., 2016) beeinflusst wird, gemittelt (Bentley, 2006; Price et al., 2002).

2.1.5 „sea spray“-Effekt

Unter dem sogenannten „sea spray“-Effekt versteht man einen durch Gischt verursachten, marinen Einfluss auf terrestrische Ökosysteme. Da marine Systeme im Falle leichter Elemente im Allgemeinen positivere Isotopenwerte aufweisen als die entsprechenden terrestrischen Systeme (Clementz et al., 2006; Clementz & Koch, 2001; Fry & Sherr, 1984; Hobson, 1999; Koch, 2007; Miyake & Wada, 1967; Mook, 2000; Mook, 1971; Nehlich, 2015; Richards et al., 2006; Richards & Hedges, 1999; Schoeninger & DeNiro, 1984), führt der „sea spray“-Effekt zu einer Anreicherung des schweren Isotops in terrestrischen Pflanzen und Tieren.

Das Vorhandensein dieses Effektes ist für stabile Schwefelisotope bekannt. Meerwasser besitzt einen einheitlichen $\delta^{34}\text{S}$ -Wert von $20,1 \text{ ‰} \pm 0,3 \text{ ‰}$ (Thode et al., 1961). Marines Sulfat (SO_4^{2-}), mit einem ebenfalls eher einheitlichen $\delta^{34}\text{S}$ -Wert von etwa 20 ‰ (Newman et al., 1991; Nielsen, 1974), gelangt über Gischt („sea spray“) in terrestrische Ökosysteme. Laut Wakshal & Nielsen (1982) entstehen „sea spray“-Sulfate in erster Linie durch mechanische Prozesse, bei denen Wind auf die Meeresoberfläche trifft. Auch durch Wellenbrechung im flachen, küstennahen Wasser entstehen marine Aerosole (Piazzola et al., 2015). Die so entstandenen Aerosole treffen an Küstengebieten auf das Land. Dadurch finden sich dort erhöhte $\delta^{34}\text{S}$ -Werte, die mit zunehmender Entfernung von der Küste abnehmen, jedoch noch einige Kilometer landeinwärts detektierbar sind (Mizota & Sasaki, 1996; Nehlich, 2015; Wakshal & Nielsen, 1982; Zazzo et al., 2011).

Marine Aerosole enthalten eine Vielzahl verschiedener Salze, aber auch organische Komponenten. Die anorganische Komponente besteht v. a. aus den Ionen Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Sr^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Br^- , H_2BO_3^- , F^- und NO_3^- . Organische Verbindungen sind

beispielsweise verschiedene kurz- (C_{5-10}) oder langkettige (C_{12-18}) Fettsäuren, wie etwa Nonansäure oder Hexadekansäure, freie Mono- und Disaccharide (z. B. Glucose, Saccharose) und Polysaccharide (z. B. Laminarin; Bates et al., 2012; Cochran et al., 2016; Duce, 1983; Jayarathne et al., 2016; Keene et al., 2007; Lewandowska & Falkowska, 2013; Wright & Colling, 1995).

Auch Strontium-Isotope zeigen einen „sea spray“-Effekt. In Küstennähe gelangt Strontium marinen Ursprungs über eine Kombination aus Niederschlag, „sea spray“, Seegrasdüngung und marinem Sand in terrestrische Böden und Pflanzen. Dadurch kann das Strontium-Isotopensignal der Umgebung, sowie der Tiere und Menschen, deutlich zum Meerwasser- (0,7092-0,7093; Andersson et al., 1992; Bentley, 2006; Burton & Price, 2013; Whipkey et al., 2000) bzw. Brackwasserwert (Ostsee: $\sim 0,7092 - 0,7097$; vgl. Andersson et al., 1992) verschoben sein (Montgomery et al., 2014; Snoeck, 2014; Whipkey et al., 2000).

2.2 „Knowledge Discovery in Databases“ (KDD)

2.2.1 KDD

„Knowledge Discovery in Databases“ (KDD) beschäftigt sich mit der Entwicklung von Methoden, um Wissen aus Daten zu generieren. Hierbei bezieht sich KDD auf den gesamten Prozess von den Rohdaten bis hin zum Erkenntnisgewinn. Häufig wird der Begriff des „Data Mining“ synonym verwendet. Tatsächlich bezieht sich „Data Mining“ allerdings nur auf einen Teilschritt des KDD-Prozesses. Die Hauptschritte dieses Prozesses werden durch das Fayyad-Modell (Fayyad et al., 1996) dargestellt (Abbildung 1).

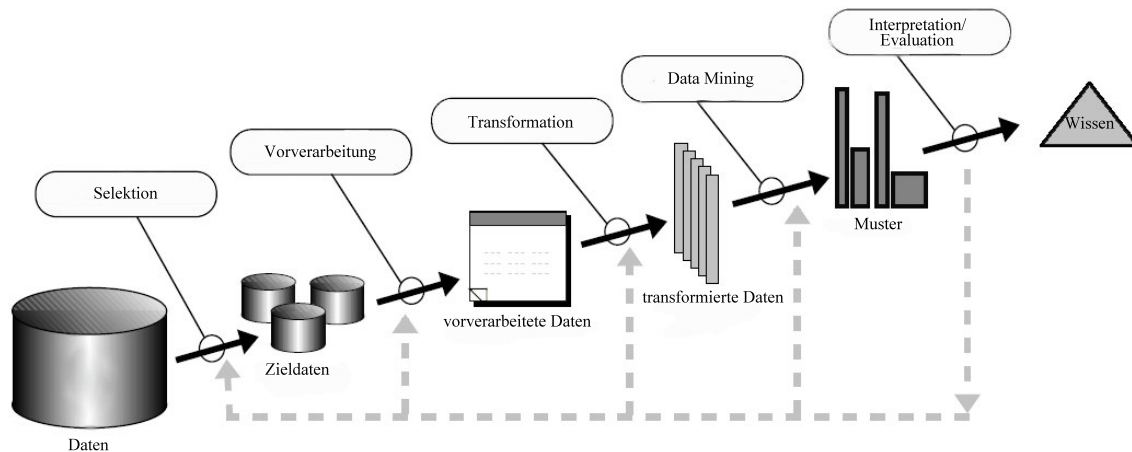


Abbildung 1: Modell zur Darstellung der wichtigsten, aufeinander aufbauenden KDD-Schritte (verändert nach Fayyad et al., 1996).

Die grundlegenden Schritte des KDD-Prozesses werden im Folgenden kurz zusammengefasst:

Eine gewisse Kenntnis von dem Anwendungsbereich gilt als Grundvoraussetzung. Zunächst wird das eigentliche Ziel des KDD-Prozesses identifiziert. Davon ausgehend wird ein Zieldatensatz erstellt. Hierbei wird mitunter auch nur ein Teil der verfügbaren Variablen verwendet. Anschließend werden die Zieldaten bereinigt und vorverarbeitet. Es folgt ggf. eine Dimensionsreduktion oder Transformation der Daten. Angepasst auf das Ziel

des KDD-Prozesses wird eine bestimmte „Data Mining“-Methode (z. B. Clusteranalyse) ausgewählt. Davon ausgehend wird eine explorative Analyse durchgeführt und das Modell, sowie die Hypothese gewählt. Zudem werden ein „Data Mining“-Algorithmus und geeignete Modelle und Parameter bestimmt. Anschließend wird das eigentliche „Data Mining“ durchgeführt. Das Ziel dieses Schrittes ist die Detektion bestimmter Muster in den Daten, die für die Beantwortung der Fragestellung von Interesse sind. Die gefundenen Muster werden nachfolgend interpretiert. Hierbei kann es notwendig sein, die vorangegangenen Schritte nochmals zu wiederholen. Das neu gewonnene Wissen wird dann überprüft und angewendet (Fayyad et al., 1996).

2.2.2 Clusteranalyse

Unter Clusteranalyse versteht man die Identifizierung von Gruppen, die abgeschlossen und von anderen Gruppen abgegrenzt sind (z. B. Fraley & Raftery, 2002). Das Ziel jeder Clusteranalyse ist die Partition von Daten in Gruppen, wobei sich die Punkte innerhalb jeder Gruppe so ähnlich wie möglich und Gruppen voneinander so verschieden wie möglich sein sollen (Aggarwal, 2015; Aggarwal, 2014; Xiong & Li, 2014).

Es gibt verschiedene Ansätze der Clusteranalyse, darunter partitionierende (zentrumsbasierte) und (probabilistische) Modell-basierte Modelle:

Bei einer partitionierenden Clusteranalyse, die auf einem Zentroid basiert, werden Gruppierungen im Datensatz gefunden, indem eine spezifische Funktion optimiert wird. Beginnend mit einer initialen Vorgabe (z. B. Clusterzahl) wird das Modell wiederholt so lange verbessert bis ein optimales Modell gefunden wird (Reddy & Vinzamuri, 2014). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird eine k-means-Clusteranalyse angewendet (vgl. Kapitel 4.2.3.1 und Kapitel 5.1.1).

Bei probabilistischen, Modell-basierten Algorithmen wird zunächst angenommen, dass die Daten aus einer Mischung von k Verteilungen mit Wahrscheinlichkeitsverteilung G_1, \dots, G_k stammen. Es wird hierbei versucht, die beobachteten Daten mit Hilfe eines probabilistischen, also Wahrscheinlichkeits-basierten, Ansatzes an ein mathematisches Modell anzupassen. Jedes Cluster kann mathematisch durch eine parametrische Wahrscheinlichkeitsverteilung

(z. B. Gauß, Poisson) dargestellt werden. So ist es möglich, Datenpunkte, die wahrscheinlich derselben Verteilung angehören, als ein Cluster zu definieren. Jeder Datenpunkt x_i ($i \in \{1, \dots, n\}$) wird durch dieses Mischungsmodell erzeugt (Aggarwal, 2015; Deng & Han, 2014). Ein Beispiel für einen solchen Algorithmus ist das Gauß-Mischungsmodell (GMM), das auch im Rahmen dieser Arbeit angewendet wird (vgl. Kapitel 4.2.3.2 und Kapitel 5.1.2). Man unterscheidet bei der Untersuchung zudem grundsätzlich „überwachtes Lernen“ („supervised learning“) und „unüberwachtes Lernen“ („unsupervised learning“). Im Falle von überwachtem Lernen wird eine bekannte Zuordnungsvorschrift (Label) vorgegeben. Die Qualität einer Partition kann mit Hilfe des korrekten Labels überprüft werden. Bei unüberwachtem Lernen ist die tatsächliche Klassenzuordnung für den Datensatz nicht bekannt. Hier muss die Partition validiert werden, um die Güte der Auftrennung beurteilen zu können (Xiong & Li, 2014). Hierfür stehen eine Vielzahl von Validierungskriterien zur Verfügung, wobei grundsätzlich drei Ansätze unterschieden werden (Halkidi et al., 2001): Externe Kriterien (z. B. Gini-Index) validieren Clusterergebnisse basierend auf einer vorgegebenen Struktur. Die Grundidee ist hierbei ein (statistischer) Test auf eine zufällige Verteilung der Daten (H_0 : zufällige Datenstruktur; Aggarwal, 2015; Halkidi et al., 2001). Externe Validierungskriterien kennen die „wahre“ Clusterzahl. Sie werden v. a. dafür verwendet, den optimalen Clusteralgorithmus für einen bestimmten Datensatz zu finden. Da jedoch eine Klassenzuordnung in der Praxis oft nicht verfügbar ist, ist häufig nur eine interne Validierung möglich (Liu et al., 2010). Bei internen Kriterien (z. B. Bayes'sches Informationskriterium BIC; Rendón et al., 2011) hängt die Validierung von der Hierarchie des Clustermodells bzw. dem Modell jedes einzelnen Clusters ab (Halkidi et al., 2001). Hierbei wird die Kompaktheit der Cluster, also die Ähnlichkeit der Objekte innerhalb eines Clusters, und die Trennung zwischen unterschiedlichen Clustern beurteilt (Liu et al., 2010; Xiong & Li, 2014). Relative Kriterien schließlich vergleichen die sich ergebende Clusterstruktur mit einem anderen Clustermodell, das auf demselben Algorithmus, jedoch auf anderen Parameterwerten basiert. Hierbei werden keine statistischen Tests verwendet, sondern das optimale Clustermodell aus verschiedenen Modellen anhand eines vorgegeben Kriteriums (z. B. Bestimmtheitsmaß R^2) ausgewählt (Halkidi et al., 2001).

Bei realen Datensätzen ist eine Clustervalidierung häufig schwierig, wenn keine tatsächlichen Label vorliegen. Somit ist eine externe Validierung hier oft nicht möglich und es muss daher auf interne (oder relative) Kriterien zurückgegriffen werden. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass ein Validierungskriterium immer einen Clusteralgorithmus bevorzugen wird, der auf einer ähnlichen Methodik basiert. Folglich kann es je nach Definition des Kriteriums zu einer gewissen Verzerrung bzw. einem systematischen Fehler kommen. Das Kriterium ist häufig nur ein Maß dafür, wie gut ein Prototypen-Modell auf das für die Clusterbildung gewählte Modell passt. Die Reliabilität einer solchen Validierung ist daher eher kritisch zu hinterfragen, was jedoch ein grundsätzliches Problem der von Natur aus unüberwachten Clusteranalyse darstellt. Ohne externe Kriterien kann das tatsächliche und „korrekte“ Modell nur bedingt definiert werden (Aggarwal, 2015). Da die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Analysen auf unüberwachtem Lernen basieren, muss dies berücksichtigt werden.

2.2.3 Hauptkomponentenanalyse (PCA)

Die Hauptkomponentenanalyse („Principal Component Analysis“, PCA) ist eine Methode zur Dimensionsreduktion. Bei der Reduktion der Dimensionalität soll möglichst viel der zuvor im Datensatz vorhandenen Variation erhalten bleiben. Das grundlegende Ziel der PCA ist damit die Rotation der Daten in ein Koordinatensystem, wobei eine kleine Zahl von Dimensionen den Großteil der gesamten Varianz erklären soll (Aggarwal, 2015). Hierfür wird die Kovarianzmatrix, die die Varianzen, sowie Kovarianzen zwischen den Variablen einer Datenmatrix enthält, in ein neues Variablenset, den Hauptkomponenten, transformiert (vgl. Kapitel 4.2.5; Aggarwal, 2015; Jolliffe, 2002; Schölkopf et al., 1997). Die Hauptkomponenten sind unkorreliert und so sortiert, dass die ersten Komponenten den größten Teil der Varianz der ursprünglichen Variablen erklären (Aggarwal, 2015; Jolliffe, 2002).

2.2.4 „Support Vector Machine“ (SVM)

„Support Vector Machines“ (SVMs) sind ursprünglich dafür gedacht, numerische Daten binär zu klassifizieren. Sie können jedoch auch zur Unterscheidung multipler Klassen verwendet werden. Datengruppen können linear und nicht-linear trennbar sein (Aggarwal, 2015; Ben-Hur et al., 2008). Um nicht-lineare Entscheidungsgrenzen zu trainieren, kann der sogenannte „Kern-Trick“ angewendet werden (Aggarwal, 2015; Schölkopf & Smola, 2002). Eine Eigenschaft von Kern-basierten Systemen besteht darin, dass ohne großen Rechenaufwand in Räumen jeder Dimension gearbeitet werden kann, sobald eine gültige Kern-Funktion ausgewählt wurde. Dies liegt daran, dass die Abbildung nicht effektiv erfolgt, sodass die verwendeten Merkmale auch nicht bekannt sein müssen. So kann ein bestimmter Kern ohne vorausgehende Extraktionsprozesse direkt auf die Daten angewendet werden (Ben-Hur et al., 2008; Hoffmann, 2005; Karatzoglou et al., 2004).

Mit dem „Kern-Trick“ kann die SVM-Formulierung durch ein Skalarprodukt zwischen Datenpunkten vollständig gelöst werden. Die Merkmalswerte müssen hierbei nicht bekannt sein. Ein paarweises Skalarprodukt zwischen den Vektoren x und y wird direkt in d' -dimensional transformierter Repräsentation $\phi(x)$ bzw. $\phi(y)$ durch Verwendung der Kernfunktion

$$k(x, y) = \phi(x) \circ \phi(y) \quad (9)$$

definiert. Alle Berechnungen erfolgen im originalen Raum und die Transformation $\phi(\bullet)$ muss zudem nicht bekannt sein, solange die Kernfunktion $k(\bullet, \bullet)$ bekannt ist (Aggarwal, 2015; Ben-Hur et al., 2008; Karatzoglou & Feinerer, 2010). Die im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Kernfunktionen werden in Kapitel 4.2.6 näher besprochen.

2.2.5 „Feature Ranking“

Nicht alle Merkmale eines Datensatzes sind für die Untersuchung einer Clusterstruktur gleichermaßen bedeutend. Dies liegt beispielsweise auch daran, dass manche Merkmale verrauschter („noisy“) sind als andere und den Datensatz nicht gut in Cluster auftrennen (Aggarwal, 2015; Aggarwal, 2014). Somit liegt das Ziel des „Feature Ranking“ im Auffinden

der für eine entsprechende („Data Mining“) Aufgabe wichtigsten Merkmale („feature“) bzw. Merkmalskombinationen. Die Bedeutung bzw. der Informationsgehalt eines Merkmals wird an der Fähigkeit des Merkmals für die Beschreibung der zugrundeliegenden Datenstruktur gemessen (Aggarwal, 2015; Mauder, 2017). Die Problematik des „Feature Rankings“ steht in direkter Verbindung zu der Bestimmung einer zugrunde liegenden Cluster-Tendenz. Es sollen die Merkmale bestimmt werden, die die grundlegende Clusterstruktur am besten wiedergeben (Aggarwal, 2015).

Wie schon bei der Clusteranalyse ist das „Feature Ranking“ im unüberwachten Fall generell schwieriger. Es fehlen externe Validierungskriterien, wie z. B. Klassenzuweisungen (Aggarwal, 2015).

2.2.6 Diskriminanzanalyse

Das Ziel der Diskriminanzanalyse besteht darin, einen Klassifikator oder eine Entscheidungsregel zu bilden, wodurch dann eine Beobachtung unbekannter Klassenzuordnung einer von k Klassen zugewiesen wird. Hierfür wird ein Trainingsdatensatz mit bekannten Merkmalen und wahrer Clusterzuordnung verwendet (z. B. Fraley & Raftery, 2007; Scrucca, 2010). Mit Hilfe dieses Trainingsdatensatz wird dann der Testdatensatz den entsprechenden Clustern zugeordnet.

Die Genauigkeit des erzeugten Modells wird mit Hilfe des Trainingsdatensatzes überprüft, wohingegen die Klassenzuweisung durch den Testdatensatz validiert wird. Ein Trainingsfehler von x % beschreibt eine fehlerhafte Klassenzuweisung von x % der Individuen des Trainingsdatensatzes bei Verwendung des trainierten Modelles. Der Trainingsfehler kann somit als Klassifizierungsfehler im trainierten Modell verstanden werden. Andererseits weist ein Testfehler von x % auf einen Anteil von x % fehlerhaften Zuweisungen im Testdatensatz hin. Die Individuen, die zuvor nicht mit dem Modell eingeteilt wurden, werden mit dem trainierten Modell klassifiziert. Der Testfehler gibt damit einen Hinweis auf die Güte des Clustermodells.

2.3 Historischer Hintergrund: Haithabu und Schleswig

Die Städte Haithabu (804 - 1066 n. Chr.; Hilberg, 2008; Jankuhn, 1986; Logan, 1991) und Schleswig (1070 - 1350 n. Chr.; Grupe et al., 2013; Jahnke, 2006; Müller, 2016) an der Schlei, auf der jütischen Halbinsel nahe der Ostseeküste gelegen (Abbildung 2), spielten über einen Zeitraum von fast fünf Jahrhunderten, vom Beginn des 9. Jahrhunderts (von Carnap-Bornheim & Hilberg, 2007) bis zum Ende des 13. Jahrhunderts (Jahnke, 2006), eine wesentliche Rolle als überregionale Handelszentren. Sowohl Haithabu als auch Schleswig nahmen in der Stadtentwicklung im Ostseeraum in ihrer Zeit eine Modellfunktion ein (Radtke, 2009).

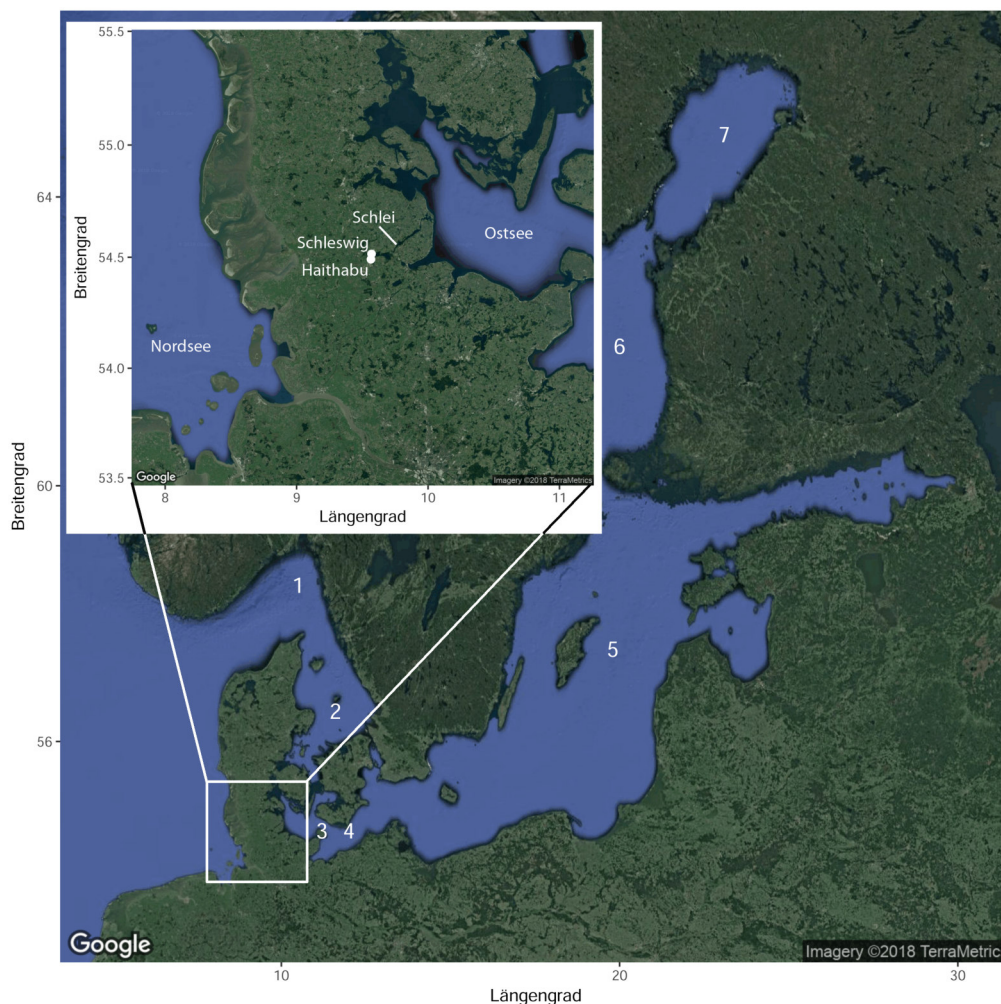


Abbildung 2: Karte von Haithabu und Schleswig an der Schlei in unmittelbarer Nähe zur Ostsee. 1 = Skaggeak, 2 = Kattegat, 3 = Arkonasee, 4 = Bornholmsee, 5 = Gotlandsee, 6 = Bottensee, 7 = Bottenwiek. Die Karte wurde mit Hilfe der R-Pakete „ggmap“ (Kahle & Wickham, 2013) und „ggplot2“ (Wickham, 2009) erstellt.

Die früheste, schriftliche Nennung Haithabus stammt aus dem Jahr 804 (Hilberg, 2008). In den Fränkischen Reichsannalen von 804 (*Annales regni Francorum* 804; vgl. Pertz, 1895) wird berichtet, wie der Dänenkönig Gøtrik (Gudfred) mit seiner Flotte und seinem Heer nach „Sliesthorp“ (Schleidorf), das den dänischen Namen „Haithaby“ besaß (Schlesinger, 1972), an der Grenze seines und des Sächsischen Reiches reiste. Die Siedlung Haithabu entstand in Folge einer Siedlungsverlagerung, nachdem Gøtrik den slawischen Handelsposten Reric im Jahr 808 zerstört und die Kaufleute von dort nach Haithabu umgesiedelt hatte (Price, 2015). Die Bevölkerung Haithabus setzte sich v. a. aus Dänen, Sachsen, Friesen und Slawen (den Kaufleuten aus Reric) zusammen (Schwind, 1984).

Zum Schutz der so umgesiedelten Kaufleute errichtete Gøtrik, ebenfalls im Jahre 808, einen Schutzwall. Laut Schlesinger (1972) könnte dieser Bau als die erste Nennung des Danewerks verstanden werden. Wenn Gøtrik also den Ko-Graben des Danewerks anlegen ließ, dann sicherlich so, dass der Platz am Haddebyer Noor dadurch eingeschlossen wurde, sodass die dort lebenden Kaufleute nach Süden hin vor Angriffen geschützt wurden (Schlesinger, 1972). Zunächst war Haithabu offenbar noch von geringer Bedeutung. Erst im Verlauf des 9. Jahrhunderts entwickelt sich Haithabu zum führenden dänischen Handelszentrum (von Carnap-Bornheim & Hilberg, 2007).

Die Fuldaer Annalen von 873 nennen einen Vertrag zwischen Ludwig dem Deutschen und dem dänischen König Sigfried, der die Befriedung des Grenzgebietes zwischen dem Dänischen und Sächsischen Reich betrifft. Dort wird ein Warenaustausch, sowie die Förderung des Handels in Haithabu festgelegt (Schwind, 1984). Der Ausbau des Hafens (886 - 894), sowie der Ausbau ufernaher Straßensysteme sind ein Indiz für eine zunehmende Intensivierung des Ostseehandels in Haithabu Ende des 9. Jahrhunderts (Radtke, 2009). Während der Blütezeit lebten in Haithabu schätzungsweise zwischen 800 und 1000 Menschen (Jankuhn, 1986). Der Besitzanspruch auf Haithabu wechselte mehrfach zwischen dänischen und deutschen Herrschern. Im Jahre 934 wurde Haithabu nach dem Sieg König Heinrichs I in der Schlacht von Haithabu Teil des Ostfränkischen/Römisch-Deutschen Reiches. Der dänische König Gorm eroberte Haithabu 945 zurück. Doch Heinrich's Sohn Otto I besiegte die Dänen im Jahre 974 erneut (Hoffmann, 1984). Ende des 10. Jahr-

hunderts kam es in ganz Skandinavien und im gesamten Ostseeraum zu einer deutlichen Veränderung der politischen Situation. Durch den Tod Kaiser Ottos II im Jahr 983 wurde Haithabu wieder dänisch („Swedish rule“; Hilberg, 2016). Es begann eine Staatenbildung mit vereinheitlichten Königreichen, sowie die Christianisierung der Heidenkönige und deren Völker (Hilberg, 2016). Doch Haithabu hat - im Gegensatz beispielsweise zum schwedischen Birka - den Untergang der Handelsplätze („emporja“) Ende des 10. Jahrhunderts überlebt. Grund hierfür war die besondere geostrategische Lage der Siedlung: Haithabu lag am engsten Punkt der Kimbrischen Halbinsel an einer Landenge und war von natürlichen Grenzen (Marschen, Tiefebene im Westen, Schlei im Osten) umgeben. Zudem befand sich Haithabu etwa 40 km im Landesinneren am Haddebyer Noor (Hilberg, 2016).

Etwa um das Jahr 1000 herum begann dann jedoch der Abstieg Haithabus (Jankuhn, 1986). Schlechte Hafen- und Segelbedingungen waren hierfür wohl der hauptsächliche Grund. Durch den zunehmend flacher werdenden Hafen bei gleichzeitig wachsender Schiffsgröße konnten die Schiffe nicht mehr in den Hafen Haithabus einlaufen. Dies kann als Hauptgrund für die Gründung Schleswigs am gegenüberliegenden Schleiufer angesehen werden (Skre, 2008).

Im Jahre 1050 ließ König Haraldr Harðraði (Harald der Harte) Haithabu im Kampf gegen König Sven Estridsen niederbrennen. Und nach der Plünderung Haithabus durch die Wenden 1066 verschwand Haithabu aus den Überlieferungen (Jankuhn, 1986; Logan, 1991). Im Jahre 1066 endete auch die Wikingerzeit mit der Schlacht an der Stanford-Brücke in der Nähe von York, bei der König Harold von England den nordischen König Haraldr Harðraði zurückschlug (Brink, 2008).

Die Siedlung von Haithabu wurde daraufhin nach Schleswig an das gegenüberliegende Ufer der Schlei verlagert (z. B. Hilberg, 2016; Müller, 2016; Müller et al., 2014; Radtke, 2009; Skre, 2008). Die Verlagerung einer Siedlung an einen anderen Ort ist ein Phänomen, das im Ostseeraum auch andernorts vorkam. Neben der bereits erwähnten Umsiedelung der Kaufleute aus Reric nach Haithabu (sh. oben) erfolgte Ende des 9. Jahrhunderts beispielsweise auch eine Siedlungsverlagerung der friesischen Handelssiedlung Tiel nach Dorestad, sowie von Birka nach Sigtuna in Schweden im späten 10. Jahrhundert (Radtke,

2009). Der Übergang von Haithabu nach Schleswig war ein kontinuierlicher Prozess. Während die ältesten Funde in Schleswig nicht vor der Mitte des 11. Jahrhunderts datieren, scheint Haithabu noch bis mindestens Mitte des 11. Jahrhunderts eine Rolle gespielt zu haben. Tatsächlich wurde zwar die Funktion als Handelszentrum schon relativ früh von Haithabu auf Schleswig übertragen, aber Haithabu blieb bis ins 11. Jahrhundert hinein das Herrschaftszentrum und war ein wichtiger Standort für militärische Einheiten (Müller, 2016).

Im späten 11. und frühen 12. Jahrhundert zeigte sich ein starker Aufschwung des Ost-West-Verkehrs im Hafen von Schleswig. Doch durch die Konkurrenz des Nordseehafens Lübeck, sowie durch Kriege in der Mitte des 12. Jahrhunderts kam es relativ bald zu einem Abstieg der Handelsmacht. Nach dem Verlust Lübecks 1227 in der Schlacht von Bornhöved wurde ein erfolgloser Versuch unternommen, den Handel in Schleswig wieder aufzubauen. Die Rolle als Handelszentrum verlor Schleswig jedoch und es hatte schließlich lediglich eine regionale Bedeutung inne. Diese rückläufige Entwicklung, die für Schleswig beobachtet werden kann, gilt als ein zentrales Ereignis, das die Handelsgeschichte im Ostseeraum in den nächsten 300 Jahren prägte (Jahnke, 2006).

1239 wurde in Schleswig ein Dominikanerkloster gegründet. Da dieses Kloster über einem Teil des Hafens errichtet wurde, kann dieses Jahr auch als Ende des Schleswiger Hafenbetriebs angesehen werden. Doch es bestehen Zweifel, ob der Hafen tatsächlich zugunsten des Klosters aufgegeben wurde. Entsprechende Fakten fehlen. Zu etwa derselben Zeit wurde das Kloster eines weiteren Bettelordens, des Franziskanerordens, angelegt, was eher für eine blühende Handelsstadt spricht. Auch zeigt eine Aufstellung des Valdemar'schen Erdbuches von 1230, dass der Transithafen an der Schlei erhebliche Einnahmen einbrachte. Somit sollte der Bau der Bettelklöster Jahnke (2006) zufolge eher als Versuch verstanden werden, den Hafen von Schleswig in geistiger Hinsicht zu modernisieren. Die Modernisierung durch den König Valdemar Sejr erscheint wenig sinnvoll, wenn eine florierende Handelsstadt, die dem Land beträchtliche Einnahmen bescherte, dadurch zu einer bedeutungslosen Landstadt umgewandelt wird (Jahnke, 2006). Viel wahrscheinlicher ist daher laut Jahnke (2006), dass diese Maßnahme als Reaktion auf eine beginnende Handelskrise durchgeführt

wurde, mit dem Ziel den Schleswiger Handel wieder zu beleben. Der Versuch Valdemars scheiterte noch im 13. Jahrhundert. Jedoch ist unklar, wann und unter welchen genaueren Umständen Schleswig seine internationale Bedeutung als Handelsposten verlor (Jahnke, 2006).

Wie auch in Haithabu kam es zu einer Veränderung bestimmter äußerer Faktoren, die letztlich zum Niedergang des Handelszentrums Schleswig und zum Aufschwung Lübecks führten. Dazu zählen hydroökologische Faktoren, wie die Versandung des Hafens, die veränderte politische Lage, die Verlagerung der Handelswege, die zunehmende Macht der Hanse und auch der Aufstieg Lübecks selbst (Müller, 2016). Der Abstieg Schleswigs war ein langsamer Prozess. Beginnend im 12. Jahrhundert, nahm die Bedeutung Schleswigs erst 1240/50 rapide ab. Innerhalb von nur etwa 30 Jahren wurde aus der blühenden Handelsstadt ein Dorf ohne weitere Bedeutung. Die Versuche der Landsherren, die Handelsstadt zu erhalten, scheiterten. Doch lediglich die Tatsache, dass die Landesherren im Westhafen Schleswigs keine moderne Stadt anlegten, war wohl ein entscheidender Faktor für den Aufstieg Lübecks und dem damit verbundenen Niedergang der Siedlung Schleswig, der der wichtige Westhafen fehlte. Diese „Fehlentscheidung“ führte etwa 100 Jahre später zum Niedergang des Handelszentrums (Jahnke, 2006).

Die Bedeutung Haithabus und Schleswigs wird durch zahlreiche Zeitzeugenberichte untermauert. Auffällig hierbei ist die zum Teil synonyme Verwendung der Ortsnamen. Die Namen spiegeln deutlich die Geschichte und Bedeutung von Haithabu und Schleswig im Übergangsbereich zwischen deutsch-abendländischem und wikingerzeitlich-nordischem Kulturkreis wider (Laur, 1953). So existieren zwei Namensgruppen, eine südgermanische (sächsisch-friesisch), die den Ort nach der Schlei benennt, und eine nordische, die die altnordische Bezeichnung „heiþr“ für „Heide“ verwendet. In beiden Namensgruppen existiert jeweils eine ältere (Sliesthorp, Hæpum) und eine jüngere (Sliaswic/Schleswig, Hethaby/Hedeby) Form des Ortsnamen (Laur, 1953). Bis etwa 1100 entspricht das älteste „Schleswig“ dem Ort „Haithabu“ und bezeichnet den Handelsplatz am Haddebyer Noor am Südufer der Schlei (Laur, 1967). Auch Müller (2016) vermutet, dass das in den lateinischen Quellen genannte „Sliaswic“ dem „Heiðaby“ der altnordischen Quellen entsprechen könnte.

2.4 Ostsee und Ostseeraum

Das Binnenmeer Ostsee, das bis auf die kleine dänisch-schwedische Meerenge vollständig von Land umgeben ist, erstreckt sich über eine Fläche von 377000 km² und ist damit das größte Brackwassergebiet der Welt (Björck, 1995). Die Salinität ist entsprechend relativ niedrig und nimmt von Westen nach Osten bzw. Norden und somit mit zunehmender Entfernung von der Nordseemündung ab. So beträgt die Salinität im Kattegat noch zwischen 20 und 30 PSU (= practical salinity unit), in der Arkonasee 10 - 20 PSU, im Bereich der Bornholmsee, der Gotlandsee, sowie der Bottensee zwischen 5 und 10 PSU und im Bottenwiek lediglich noch 2 - 5 PSU (Abbildungen 2 und 3; Emeis et al., 2003). Die durchschnittliche Salinität in der Ostsee beträgt 10 PSU und liegt damit deutlich unter der der Nordsee mit 35 PSU (Abbildung 3; Craig et al., 2006). Die Temperatur in der Ostsee nimmt, umgekehrt zur Salinität, nach Norden hin ab und liegt für das Oberflächenwasser im Bereich zwischen ca. 4 °C im Norden (Bottenwiek) und ca. 12 °C im Bereich von Skagerrak und Kattegat (Abbildungen 2 und 4; Tyberghein et al., 2012).

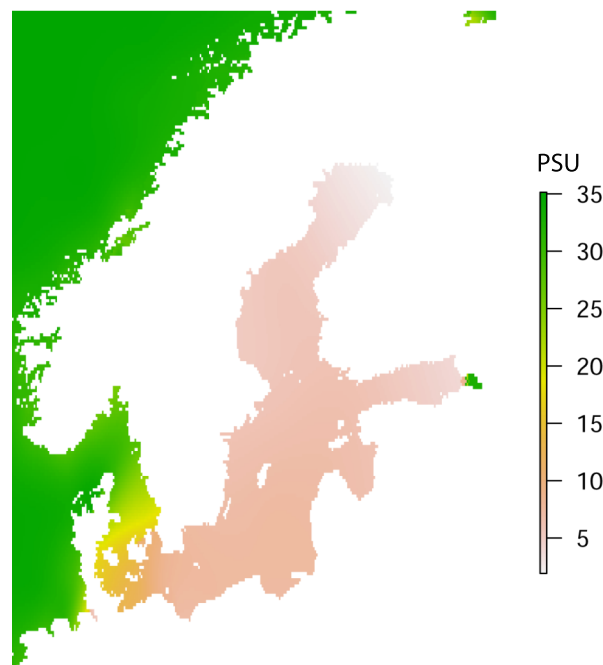


Abbildung 3: Karte der Ostseeregion mit farbig eingetragener Salinität (in PSU) des Meerwassers. Die Karten wurden mit Hilfe der R-Pakete „sdmpredictors“ (Bosch, 2017) und „raster“ (Hijmans, 2017) erstellt. Die hierfür verwendeten Daten stammen aus Tyberghein et al. (2012).

Oberflächentemperatur

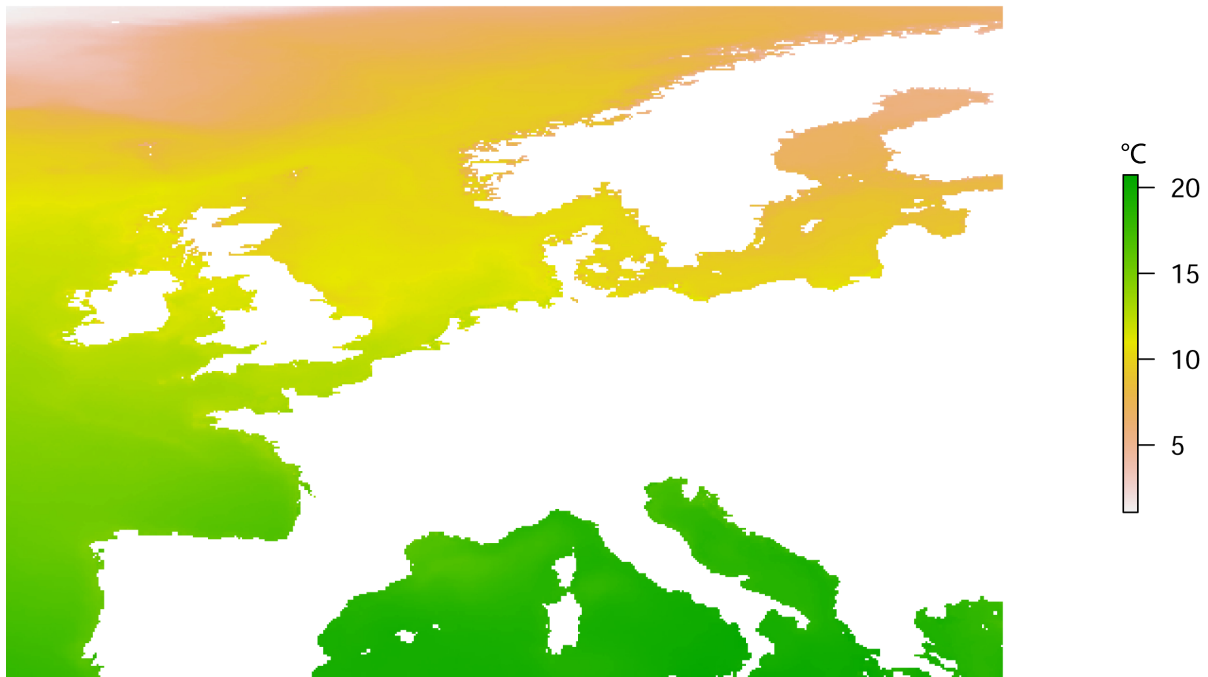


Abbildung 4: Oberflächentemperatur (in °C) des Meerwassers in Europa. Die Karte wurde mit Hilfe der R-Pakete „sdmpredictors“ (Bosch, 2017) und „raster“ (Hijmans, 2017) erstellt. Die hierfür verwendeten Daten stammen aus Tyberghein et al. (2012).

3 Fragestellungen und Zielsetzungen der Arbeit

Die Untersuchung stabiler Isotopensysteme ist ein in der Anthropologie, aber auch Archäologie, etabliertes Verfahren zur Ernährungs- und Herkunftsrekonstruktion prähistorischer Tiere und Menschen. Auch in der Forensik, dem Artenschutz oder der Ökologie können Isotope Verwendung finden. Fachbedingt liegt der Fokus der vorliegenden Dissertation auf der Untersuchung menschlicher Skelettelemente, sowie den zur Ernährungs- und Herkunftsrekonstruktion herangezogenen Tierfunden.

Stabile Isotope werden üblicherweise in bivariaten Systemen dargestellt und interpretiert. In manchen Fällen wird auch eine Hauptkomponentenanalyse angewendet (z. B. Kumar et al., 2012; Ramos et al., 2009; Serra et al., 2005). Wie jedoch im Rahmen eines Forschungsprojektes zur Kartierung des Alpenraumes bereits gezeigt werden konnte (vgl. Grupe et al., 2018; Mauder et al., 2019; Mauder, 2017; Mauder et al., 2016c; Mauder et al., 2016a; Mauder et al., 2015), stellen multiple Isotopensysteme eine neue, vielversprechende Form zur Interpretation von Isotopendaten dar.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, KDD-basierte Methoden zur Auswertung von Isotopendaten zu etablieren. Der große Datensatz der Tiere und Menschen aus Haithabu und Schleswig (vgl. Kapitel 4.1) erlaubt die Verwendung von „Data Mining“-Verfahren. Das vorliegende, komplexe Ökosystem des Brackwassergebietes rund um Haithabu und Schleswig kann auf konventionelle Art und Weise nur bedingt mittels stabiler Isotope interpretiert werden. Diese Grenzen der konventionellen Auswertung sollen deshalb mit Hilfe multi-dimensionaler Methoden überwunden werden, um so mehr und auch neue Informationen über das Leben in Haithabu und Schleswig, Migration und Handel zu erlangen (Kapitel 5.1 bis 5.6). Es ist hierbei allerdings angedacht, dass die anhand des Datensatzes von Haithabu und Schleswig etablierten Methoden auch auf andere Isotopen-Datensätze angewendet werden.

Obwohl eine multivariate Datenanalyse stets zu empfehlen ist, kann es in manchen Fällen schwierig sein, ausreichend Probenmaterial für die Extraktion aller (gängigen) Isotopensysteme zu erhalten. Archäologisches Material steht üblicherweise nur in begrenzter Menge

zur Verfügung oder ist in seiner Gesamtheit sehr wertvoll (z. B. paläoanthropologische Skelettfunde), sodass nur wenig Probenmaterial für Isotopenextraktionen entnommen werden kann (oder darf). Umso wichtiger ist es, zu wissen, welche Isotopensysteme gegebenenfalls mehr Informationen zur Beantwortung einer spezifischen Fragestellung beinhalten als andere. Archäologische Knochen (und in gewissem Maße auch Zähne) sind außerdem zum Teil auch diagenetisch verändert. Eine Extraktion bestimmter Knochenbestandteile (z. B. Kollagen) ist dann nur bedingt möglich. Abgesehen davon, sind auch nicht alle Isotopensysteme für die Beantwortung jeder Fragestellung geeignet. Dies lässt sich mit Hilfe von „Feature Ranking“-Verfahren untersuchen (Kapitel 5.2).

Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Arbeit liegt bei der Daten-getriebenen Untersuchung des sogenannten „sea spray“-Effektes (sh. Kapitel 5.3), sowie des limnischen Einflusses (sh. Kapitel 5.4). Der „sea spray“-Effekt ist für stabile Schwefelisotopen bekannt, jedoch ist das Ausmaß des „sea spray“-Effektes oder auch das Vorhandensein des Effektes in anderen, stabilen Isotopensystemen bislang unklar. Da aber auch die anderen Elemente (C, N, O) in der Meerwasser-Gischt vorhanden sind (vgl. Kapitel 2.1.5), ist es eher unwahrscheinlich, dass diese Atome nicht auch auf ähnliche Weise wie Schwefelatome durch die Gischt an Land transportiert werden und dort einen „sea spray“-Effekt in den jeweiligen Isotopensystemen verursachen. Es gilt hierbei auch, die zugrundeliegenden, biochemischen Mechanismen etwas näher zu betrachten. Die Überprüfung und Approximation wird durch Clusteranalyse unterstützt (Kapitel 5.3 und 5.4).

Der große Datensatz (vgl. Kapitel 4.1) ermöglicht außerdem die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$. Wie bereits in Kapitel 2.1.3.2 beschrieben, wird für $\Delta\delta^{18}\text{O}$ ein fester Wert von ca. 9 ‰ angenommen. Mit Hilfe dieses Wertes werden häufig die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte aus den gemessenen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten berechnet. Ein fälschlicherweise angenommener, allgemein gültiger Zusammenhang zwischen den Sauerstoffisotopensystemen hätte weitreichende Auswirkungen auf zahlreiche (bisherige und zukünftige) Forschungsergebnisse. Mit den Isotopendaten aus Haithabu und Schleswig soll folglich überprüft werden, ob ein $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wert von 9 ‰ allgemein anwendbar ist oder ob es hierbei vielmehr ernährungs-spezifische, physiologische oder Spezies-bedingte Unterschiede

gibt (Kapitel 5.7).

Abschließend sollen ausgewählte Verfahren, die im Rahmen dieser Arbeit anhand des Datensatzes von Haithabu und Schleswig etabliert wurden, auf andere, vergleichbare Isotopen-Datensätze angewendet werden (Kapitel 6.4.1 bis 6.4.3). Dies erlaubt eine Überprüfung der an den Daten aus Haithabu und Schleswig etablierten Methoden auf ihre allgemeine Anwendbarkeit auch auf andere Isotopen-Datensätze.

4 Material und Methoden

4.1 Material

Die Grundlage der vorliegenden Dissertation stellt das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) von 2007 bis 2012 geförderte Projekt „Settlement continuity, changing economy, and palaeoecology: Comparing Viking Haithabu and medieval Schleswig“ (G959/16-1,2) dar, das von Frau Prof. Dr. Gisela Grupe (LMU München, Biozentrum) in Kooperation mit Herrn Prof. Dr. Claus von Carnap-Bornheim (Stiftung Schleswig-Holsteinische Landesmuseen, Schloss Gottorf, Schleswig) und Herrn Prof. Dr. Dr. Joris Peters (LMU München, Institut für Paläoanatomie und Geschichte der Tiermedizin) geleitet wurde. Im Rahmen dieses Projektes wurden stabile Isotopendaten von über 350 Menschen und über 360 Tieren (Säuger, Vögel, Fische) unterschiedlichster Spezies aus Haithabu und Schleswig mit dem Ziel erhoben, die Paläoökologie und Paläoökonomie in einem komplexen Brackwasser-Ökosystem zu rekonstruieren.

Mit Ausnahme der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Daten der Tiere, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit erhoben wurden (sh. Kapitel 4.2.1.1), lagen die Isotopendaten zu Beginn der Dissertation bereits vor. Die Daten wurden vielfach konventionell (univariat, bivariat) ausgewertet und publiziert (u. a. Becker & Grupe, 2012; Becker & Grupe, 2011; Doppler et al., 2010; Doppler et al., 2009; Grupe et al., unpubliziert; Grupe et al., 2013; Grupe et al., 2011; Grupe et al., 2010; Grupe et al., 2009; von Steinsdorff & Grupe, 2006). Daher wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit auf eine konventionelle Datenauswertung verzichtet. Stattdessen werden verschiedene neue Methoden zur Datenauswertung auf unterschiedliche Teildatensätze des großen Datensatzes von Haithabu und Schleswig angewendet. Die Größe des Datensatzes erlaubt eine Datenanalyse mittels „Data Mining“-Methoden.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die verwendeten Teildatensätze. Für die Datenauswertung werden stets nur vollständige Datensätze (I - IV) verwendet, die alle vier oder fünf Isotopensysteme beinhalten. Der vier-dimensionale Datensatz I ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$) wird um die $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ - (II), $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ - (III) bzw. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte (IV) ergänzt, wobei stets nur diejenigen Individuen in die Datensätze aufgenommen

werden, für die alle vier bzw. fünf Isotopenwerte vorliegen. Dies führt in den einzelnen Teildatensätzen zu variierenden Stichprobenzahlen je nach Datensatz und je nach verwendeten Isotopensystemen.

Da das Hauptaugenmerk der vorliegenden Dissertation auf der Etablierung verschiedener, innovativer Methoden zur Interpretation von multi-dimensionalen Isotopen-Fingerabdrücken liegt, mit Hilfe derer neue Erkenntnisse (z. B. über den „sea spray“-Effekt) erzielt werden sollen, die der konventionellen Auswertung verborgen bleiben, werden die verwendeten Methoden beispielhaft mit einem (Teil-)Datensatz überprüft. Wo spezifische Unterschiede zu erwarten sind, wird die entsprechende Untersuchung mit verschiedenen (Teil-)Datensätzen durchgeführt (vgl. Tabelle 1). Eine Überprüfung der Methoden mittels aller möglichen Kombinationen von Individuen wäre redundant und wird daher nicht durchgeführt. Diese Daten finden daher auch nicht Eingang in die vorliegende Arbeit.

Die im Rahmen der Dissertation verwendeten Teildatensätze (vgl. Tabelle 1) sind die Isotopendaten von Fischen (I; $n = 46$; Tabelle A1), von terrestrischen, herbivoren und marinen Säugern (I - III; $n = 23 - 93$; Tabelle A2), von terrestrischen und marinen Säugern (II und III; $n = 32$ bzw. 111 ; Tabelle A3), von terrestrischen (I, III und IV; $n = 106, 101$ bzw. 12 ; Tabelle A4) bzw. terrestrischen, herbivoren Säugern (I und III; $n = 61$ bzw. 58 ; Tabelle A5), von Vögeln (I; $n = 177$; Tabelle A6) und außerdem von mindestens adulten Menschen (I - IV; $n = 22 - 199$; Tabelle A7). Es werden Menschen aus vier verschiedenen Fundplätzen untersucht: Haithabu Siedlung und Haithabu Gräberfeld (804 - 1066 n. Chr.), sowie Schleswig Rathausmarkt (frühe Phase: 1077 - 1140 n. Chr., späte Phase: 1140 - 1210 n. Chr.) und Schleswig St. Clemens Friedhof (1250 - 1350 n. Chr.) (Grupe et al., 2013).

Tabelle 1: Übersicht über die in der vorliegenden Arbeit verwendete Isotopendaten aus Knochenmaterial. Verwendet werden die Isotopendaten verschiedener Teildatensätze aus Datensätzen unterschiedlicher Dimensionalität und bestehend aus unterschiedlichen Isotopesystemen: I = vier-dimensional mit $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$; II = fünf-dimensional mit $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$; III = fünf-dimensional mit $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$; IV = fünf-dimensional mit $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Die Quellen der verwendeten Daten sind jeweils angegeben. Verwendung der Daten für Clusteranalyse (CA), Hauptkomponentenanalyse (PCA), „Feature Ranking“ (FR), „Support Vector Machine“ (SVM), Approximation/Korrektur des „sea spray“-Effekts (SSE), Approximation/Korrektur des limnischen Einflusses (LE) oder lineare Modelle (LM).

Teildatensatz	Datensatz	n	Quelle	Verwendung
Fische	I	46	Doppler et al. (2010), von Steinsdorff & Grupe (2006)	CA, PCA, FR
terr. herbivore & mar. Säuger	I	93	Doppler et al. (2010), Göhring et al. (2015), Göhring et al. (2019a), Göhring et al. (2019b)	PCA, SVM, FR, SSE, LE
	II	23		
	III	90		
terr. & mar. Säuger	II	32	Doppler et al. (2010), Göhring et al. (2019a),	LE, LM
	III	110	Göhring et al. (2019b)	
terr. Säuger	I	106	Doppler et al. (2010), Göhring et al. (2019a), Grupe et al. (unpubliziert)	FR, SSE
	III	101		
	IV	12		
terr. herbivore Säuger	I	61	Doppler et al. (2010), Göhring et al. (2019a)	FR
	III	58		
Vögel	I	177	Doppler et al. (2010)	FR
Menschen (mind. adult)	I	199	Grupe et al. (unpubliziert), Grupe et al. (2013), Rott (2011), Toncala (2012)	FR, SSE
	II	82		
	III	33		
	IV	22		

4.2 Methoden

4.2.1 Isotopenanalyse

4.2.1.1 Extraktionsverfahren

Die Extraktion von Kollagen ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$), Karbonat ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$), sowie Strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) wurde nicht im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführt. Daher werden die entsprechenden Methoden im Folgenden nur knapp zusammengefasst. Von Relevanz ist hier v. a. auch die jeweilige, mit der Messung verbundene Messgenauigkeit.

Die Extraktion des Knochenkollagens basiert auf einer Gelatine-Extraktion. Nach Demineralisierung des Knochenpulvers mittels Salzsäure (0,125 M) werden die neutralisierten Proben für 20 Stunden in Natriumhydroxid-Lösung (0,125 M) inkubiert, um Huminstoffe zu lösen (van Klinken & Hedges, 1995). Nach erneutem Waschen mit destilliertem Wasser erfolgt die eigentliche Gelatinisierung durch Zugabe von 0,001 M Salzsäure ($\text{pH} = 3$) und Inkubation der Proben für 10 h bis maximal 17 h im heißen Wasserbad (90°C). Die Lösung wird abschließend filtriert und lyophilisiert (Doppler et al., 2010).

Etwa 0,3 - 0,5 mg der extrahierten Gelatine werden in Zinnkapseln eingewogen und dann am Geozentrum Nordbayern der Friedrich-Alexander-Universität von Erlangen-Nürnberg in einem CHN-Analyser (Carlo-Erba 1110) verbrannt, um die Proben anschließend an einem Isotopenmassenspektrometer (Thermo Finnigan Delta Plus) mit einer Messgenauigkeit von $\pm 0,2 \text{ ‰}$ zu messen (Doppler et al., 2010).

Für die Messung der $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte wurde die extrahierte Gelatine am Max-Planck-Institut für Evolutionäre Anthropologie in Leipzig weiter bearbeitet: Nach Ultrafiltration (30 kDa) zur Entfernung degradierteter Moleküle, Salze und sonstiger Verunreinigungen (Nehlich & Richards, 2009) werden die Proben mit einem an einen Elementaranalysator (Heka EuroVector) gekoppelten Massenspektrometer (Thermo Finnigan Delta V plus) gemessen. Die Messgenauigkeit beträgt hierbei $\pm 0,4 \text{ ‰}$.

Die Extraktion des strukturellen Karbonats basiert auf einer nach Lee-Thorp et al. (1989) modifizierten Methode. Hierbei werden die gemahlenen Knochen für vier Tage mit Na-

triumhypochlorit (4 %) behandelt, um die Organik aus den Proben zu entfernen. Nach dem Neutralisieren der Proben folgt über 12 h eine Behandlung mit einem Calciumacetat-Essigsäure-Puffer (1 M, pH = 5) zur Entfernung sekundärer oder auch diagenetischer Karbonate. Die Proben werden abschließend bis zur Neutralität gewaschen und lyophilisiert (Doppler et al., 2010).

Am Geozentrum Nordbayern folgte die weitere Bearbeitung der Proben zur massenspektrometrischen Messung: Die Proben werden in Septumflaschen, die mit Helium durchflutet sind, eingewogen. Anschließend wird in einem Gasbench II Phosphorsäure (103 %) zugegeben. Nach einer Equilibrierungszeit von mindestens drei Stunden bei 72°C wird das gemessene Kohlendioxid-Gas an einem Isotopenmassenspektrometer (Delta Plus system, Thermo Finnigan) gemessen (Doppler et al., 2010). Die Messgenauigkeit liegt bei $\pm 0,2 \text{ ‰}$. Die Extraktion stabiler Strontiumisotope erfolgt aus dem anorganischen Teil des Knochens. Die Proben werden zunächst mit Hilfe von konzentrierter Ameisensäure (HCOOH , 98 %) im Ultraschallbad angeätzt und anschließend mit Wasser bis zur Neutralität gewaschen. Die Organik in den Proben wird durch Verbrennen in einem Muffelofen (800°C) entfernt. Es folgt ein Druckaufschluss mit 65 % Salpetersäure (HNO_3^{***} ; 24 h). Die Säure wird danach abgeraucht und die Proben mit 8 N HNO_3^{***} wieder in Lösung gebracht. Anschließend wird eine Säulentrennung durchgeführt. Die Säulen beinhalten einen porösen Filter, auf den das benötigte Kunstharz (Sr spec Resin) aufgetragen wird. Die Säule wird zunächst mittels ultrareiner Salpetersäure (8 N HNO_3^{***}) gereinigt, um Spurenelemente im Säulenmaterial zu entfernen, sowie mittels Salzsäure von Supraqualität (6,5 N HCl^{**}) zur Entfernung von im Säulenmaterial enthaltenem Blei. Daraufhin wird doppelt destilliertes Wasser zugegeben. Um das Kunstharz zu konditionieren, wird dann HNO_3^{***} (8 N) in die Säule pipettiert. Es folgt der Auftrag von 300 μl Probe, die zuvor während eines Druckaufschlusses mittels HNO_3^{***} (8 N) in Lösung gebracht wurde. Anschließend wird schrittweise HNO_3^{***} in die Säulen pipettiert, um so Rubidium aus den Säulen zu waschen. Abschließend erfolgt durch Zugabe von 0,05 N HNO_3^{***} das Ablösen des aufgereinigten Strontiums aus der Säule. Dieses Strontium wird in einem Teflonwürfel aufgefangen. Die verbleibende Säure wird abschließend bei ca. 120°C abgeraucht (vgl. Pin et al., 2003).

Die Messung der Proben erfolgte an einem Thermo-Ionen-Massenspektrometer (Finnigan MAT 261.5) im Labor des Rieskrater-Museums in Nördlingen. Die extrahierten Proben werden auf einen Wolfram-Draht aufgetragen. Nach vorausgehendem Vorheizen des Drahtes zum Entfernen von Rubidium erfolgt die Messung. Die Messgenauigkeit beträgt hierbei $\pm 0,00001$.

Die Extraktion des Phosphats aus dem Knochenapatit wurde im Rahmen der Dissertation durchgeführt und soll im Nachfolgenden näher erklärt werden. Die Methode basiert hierbei auf der Methode von Mayr et al. (2016):

3 mg des extrahierten Apatits (sh. oben) werden in Eppendorfgläser eingewogen und für 6 h in 115 μ l Fluorwasserstoffsäure (HF, 2 M) aufgelöst, um Calcium auszufällen. Die Lösung wird anschließend mit 115 μ l Kaliumhydroxid-Lösung (KOH, 2 M) neutralisiert und dann für 15 min zentrifugiert (3000 rpm). Der verbleibende Überstand wird in ein neues Eppendorfglas bekannten Gewichts überführt. Für die Ausfällung des Silberphosphats werden 1,5 ml einer Silbernitrat-Lösung (AgNO_3 , pH = 10 - 11) zugegeben. Zur Herstellung der Silbernitrat-Lösung werden für jeweils 20 Proben 0,34 g Silbernitrat, 0,28 g Ammoniumnitrat und 1 ml einer 25 %-igen Ammoniaklösung mit destilliertem Wasser auf 30 ml verdünnt. Die Eppendorfgläser werden daraufhin für 12 h in ein warmes Wasserbad (60°C) gestellt. Nach Ablauf der 12 h wird die überschüssige Silbernitrat-Lösung abpipettiert und die ausgefällten Silberphosphat-Kristalle mit destilliertem Wasser in einem Ultraschallbad (je 3 min) etwa sechsmal bis zur Neutralität gewaschen. Die Proben trocknen abschließend für mehrere Stunden in einem Trockenofen bei 60°C. Die entstandenen Kristalle werden in den Eppendorfgläsern gemahlen. Jeweils 0,92 bis 0,94 mg des Pulvers werden zur Messung am Massenspektrometer in Silberkapseln eingewogen (Mayr et al., 2016).

Im Rahmen der Aufbereitung für die Messung der Isotopie am Institut für Geographie der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg werden die Proben unter Heliumatmosphäre an einen Autosampler übergeben. Die Proben werden unter Anwesenheit von Glaskohlenstoff und Kohlengrieß in einem Siliciumcarbid-Reaktionsgefäß eines HT Oxygen Analyser (HEKAtech) quantitativ bei 1490°C verbrannt. Durch die Verbrennung entsteht Kohlenmonoxid-Gas, das unter kontinuierlichem Heliumeinstrom in ein Isotopen-

massenspektrometer (Delta V Advantage, Thermo Fisher Scientific) geleitet wird, um die Sauerstoff-Isotopie zu bestimmen. Die Messgenauigkeit des Massenspektrometers liegt bei $\pm 0,2 \text{ ‰}$.

4.2.1.2 Qualitätskontrolle

Zur Kontrolle der Qualität des extrahierten Materials werden eine Reihe allgemein anerkannter Qualitätskriterien verwendet:

Das Knochenkollagen wird zunächst mittels des molaren C/N-Verhältnisses überprüft, das sich aus

$$C/N \text{ (molar)} = \frac{\frac{\%C}{12}}{\frac{\%N}{14}} \quad (10)$$

berechnet. Werte zwischen 2,8 und 3,6 sprechen nach DeNiro (1985) und Harbeck & Grupe (2009) für intaktes Kollagen. Allerdings zeigten Untersuchungen, dass das Knochenkollagen auch bei einem C/N-Verhältnis von 4,0 (Coltrain et al., 2004) bzw. 4,2 (Harbeck & Grupe, 2009) noch gut erhalten sein kann. Folglich wird ein molares C/N-Verhältnis von 2,8 bis 4,2 akzeptiert. Weiter wird angenommen, dass die Gelatine gut erhalten ist, wenn die prozentualen Kohlenstoff- bzw. Stickstoffanteile etwa 45 % bzw. 15 % betragen (von Steinsdorff & Grupe, 2006).

Bei Schwefelisotopen sprechen Schwefel-Konzentrationen zwischen 0,15 Gew.% und 0,35 Gew.% (Gew.% = Gewichtsprozent) bei Säugern bzw. Vögeln und Werte von 0,40 Gew.% bis 0,85 Gew.% bei Fischen für eine gut erhaltene Probe (Nehlich & Richards, 2009). Zudem muss das C/S-Verhältnis für Säuger und Vögel etwa 600 ± 300 bzw. für Fische etwa 175 ± 50 betragen. Auch das N/S-Verhältnis wird überprüft. Werte von 100 bis 300 (Säuger, Vögel) bzw. 40 bis 80 (Fische) deuten auf ein gut erhaltenes Knochenkollagen hin (Nehlich & Richards, 2009).

Der Erhalt von Knochenkarbonat kann indirekt über das Verhältnis von $\Delta\delta^{13}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ - $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$) und den zugehörigen $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten überprüft werden (Ambrose et al., 1997; Clementz et al., 2009; Grupe et al., 2009; von Steinsdorff & Grupe, 2006). Vergleicht man die Spezies-spezifischen Trophiestufen, die von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ und $\Delta\delta^{13}\text{C}$ dargestellt

werden, so kann man die Intaktheit des Karbonats indirekt überprüfen (von Steinsdorff & Grupe, 2006). Ein gut erhaltenes Knochenkarbonat lässt außerdem ein intaktes Phosphat vermuten, da Phosphat deutlich stabiler gegenüber diagenetischer Veränderungen ist als Karbonat (Kapitel 2.1.3).

Für die Überprüfung der Qualität der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte wird die Abweichung von der Kalibrationskurve bezüglich des Sauerstoffgehaltes ($\%O$) bzw. die Intensität der Messung („Area“) betrachtet. Ist die Abweichung zu stark (bzw. die „Area“ zu niedrig), so wird die Probe von der Untersuchung ausgeschlossen.

Für die Überprüfung der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte wird der Standardfehler der Mehrfachmessungen betrachtet. Liegt der zweifache, prozentuale Standardfehler (2 SE %) oberhalb einer Grenze von 0,0055, so wird der Messwert verworfen.

Zur Überprüfung der Extraktion und Messung werden eine Reihe verschiedener Standards mitextrahiert bzw. am Massenspektrometer zur Kalibrierung und Qualitätskontrolle gemessen:

Für die Kollagen-Messung werden der Glutaminsäure-Standard USGS 40 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}} = -26,3 \text{ ‰} \pm 0,10 \text{ ‰}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} = -4,52 \text{ ‰} \pm 0,08 \text{ ‰}$, $n = 43$; IAEA; International Atomic Energy Agency, Wien, Österreich), die Bariumsulfat (BaSO_4)-Standards NBS 127 ($\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} = 20,30 \text{ ‰} \pm 0,19 \text{ ‰}$, $n = 23$; IAEA) und IAEA-SO5 ($\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} = 0,17 \text{ ‰} \pm 0,24 \text{ ‰}$, $n = 24$; IAEA), die Silbersulfid (Ag_2S)-Standards IAEA-S1 ($\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} = -0,43 \text{ ‰} \pm 0,18 \text{ ‰}$, $n = 24$; IAEA), IAEA-S2 ($\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} = 21,25 \text{ ‰} \pm 0,28 \text{ ‰}$, $n = 24$; IAEA) und IAEA-S3 ($\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} = -30,75 \text{ ‰} \pm 5,22 \text{ ‰}$, $n = 21$; IAEA), der aus Rinderleber hergestellte Standard Liver 1577b ($\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} = 7,62 \text{ ‰} \pm 0,16 \text{ ‰}$, $n = 43$; Iso-Analytics), sowie ein laborinterner Proteinstandard ($\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} = 6,25 \text{ ‰} \pm 0,21 \text{ ‰}$, $n = 72$; IVA-zertifiziert) verwendet.

Die Karbonat-Messungen werden mit Hilfe des Calcit (CaCO_3)-Standards NBS 18 ($\delta^{18}\text{O} = 7,5 \text{ ‰} \pm 0,6 \text{ ‰}$, $n = 45$; NIST, National Institute of Standards and Technology, Florida, USA), des Kalkstein-Standards NBS 19 ($\delta^{18}\text{O} = 28,6 \text{ ‰} \pm 0,7 \text{ ‰}$, $n = 45$; NIST), sowie der laborinternen Calciumkarbonat-Standards NBS Erl ($\delta^{18}\text{O} = 22,55 \text{ ‰} \pm 0,18 \text{ ‰}$, $n = 23$; Geozentrum Nordbayern, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg) und

„Pfeil“ ($\delta^{18}\text{O} = 25,7 \text{ ‰} \pm 0,4 \text{ ‰}$, $n = 149$; Geozentrum Nordbayern, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg) überprüft.

Die Phosphat-Extraktionen werden mit dem Phosphatgestein-Standard NBS 120c ($\delta^{18}\text{O} = 22,8 \text{ ‰} \pm 0,1 \text{ ‰}$, $n = 6$; NIST) überprüft. Die Qualität der Messung wird mittels der Benzoesäure-Standards IAEA 601 ($\delta^{18}\text{O} = 23,3 \text{ ‰} \pm 0,1 \text{ ‰}$, $n = 9$; IAEA) und IAEA 602 ($\delta^{18}\text{O} = 71,4 \text{ ‰} \pm 0,3 \text{ ‰}$, $n = 9$; IAEA), eines α -Cellulose-Standards ($\delta^{18}\text{O} = 32,0 \text{ ‰} \pm 0,1 \text{ ‰}$, $n = 28$; Sigma Aldrich), sowie eines laborinternen Saccharose- ($\delta^{18}\text{O} = 30,3 \text{ ‰} \pm 0,1 \text{ ‰}$, $n = 9$; Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg) und Stearinsäure-Standards ($\delta^{18}\text{O} = 4,5 \text{ ‰} \pm 0,1 \text{ ‰}$, $n = 9$; Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg) kontrolliert.

Für die Extraktion der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte schließlich wird der Knochenasche-Standard NIST 1400 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,713106 \pm 0,000038$, $n = 11$; NIST) mitgeführt. Zur Überprüfung der massenspektrometrischen Messung wird zudem der Strontiumkarbonat (SrCO_3)-Standard NBS 987 verwendet ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,710282 \pm 0,000032$, $n = 15$; NIST).

4.2.2 Detektion von Ausreißerwerten

Die Detektion multivariater Ausreißer erfolgt nach Filzmoser et al. (2008) in drei Phasen: Zunächst werden Lage-Ausreißer detektiert (Phase I). Die Daten werden mit Hilfe des Medians (med), sowie des Medians der absoluten Abweichung vom Median (MAD) umskaliert gemäß

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \text{med}(x_{1j}, \dots, x_{nj})}{\text{MAD}(x_{1j}, \dots, x_{nj})}; j = 1, \dots, p \quad (11)$$

mit

$$\text{MAD}(x_1, \dots, x_n) = 1,4826 \text{ med}_i |x_j - \text{med}_i x_i| \quad (12)$$

Ausgehend von den umskalierten Daten (x_{ij}^*) wird die gewichtete Kovarianzmatrix berechnet. Mit Hilfe dieser Matrix können Eigenwerte und -vektoren berechnet werden und damit eine (semi-robuste) Zerlegung in die Hauptkomponenten durchgeführt werden. Es werden nur diejenigen Eigenwerte bzw. -vektoren beibehalten, die mindestens 99 % der gesamten Varianz erklären. Die neue Dimension wird als p^* bezeichnet. Die sich ergebenden

Hauptkomponenten (z_{1j}, \dots, z_{nj}) werden umskaliert (vgl. Formel 11) durch

$$z_{ij}^* = \frac{z_{ij} - \text{med}(z_{1j}, \dots, z_{nj})}{\text{MAD}(z_{1j}, \dots, z_{nj})}; j = 1, \dots, p^*. \quad (13)$$

Für jede Komponente wird mit Hilfe der nachfolgenden Formel ein absoluter Wert eines robusten Kurtosis-Maßes bestimmt. Jeder Komponente werden relative Gewichte ($w_j / \sum_i w_i$; $0 \leq w_j \leq 1$) zugeordnet, um auszudrücken mit welcher Wahrscheinlichkeit es sich jeweils um einen Ausreißer handelt. Hierbei gilt:

$$w_j = \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(z_{ij}^* - \text{med}(z_{1j}^*, \dots, z_{nj}^*))^4}{\text{MAD}(z_{1j}^*, \dots, z_{nj}^*)^4} - 3 \right|; j = 1, \dots, p^* \quad (14)$$

Sowohl ein kleiner als auch ein großer Kurtosiskoeffizient kann als Hinweis auf einen Ausreißer verstanden werden (Filzmoser et al., 2008).

Da die Daten über den MAD skaliert werden, sind diese Euklidischen Normen im Hauptkomponenten-Raum äquivalent zu robusten Mahalanobis-Distanzen (RD), die sich durch ein robustes Maß für die Position des Datensatzes (T) und einem robusten Schätzer der Kovarianzmatrix (C) berechnen lassen:

$$RD_i = \sqrt{(x_i - T)^T C^{-1} (x_i - T)}. \quad (15)$$

Diese Distanzen werden gemäß

$$d_i = RD_i \frac{\sqrt{\chi_{p^*, 0,5}^2}}{\text{med}(RD_1, \dots, RD_n)}; i = 1, \dots, n \quad (16)$$

transformiert. $\chi_{p^*, 0,5}^2$ entspricht hierbei dem 50 %-Quantil (= Median) der $\chi_{p^*}^2$ -Verteilung (mit p^* Freiheitsgraden). Anschließend werden die Gewichte w_{1i} für die robuste Distanz bestimmt. Es gilt:

$$w_{1i} = \begin{cases} 0 & d_i \geq c \\ (1 - (\frac{d_i - M}{c - M})^2)^2 & M < d_i < c; i = 1, \dots, n \\ 1 & d_i \leq M \end{cases} \quad (17)$$

Hierbei werden M als das 33,3 %-Quantil der Distanzen $\{d_1, \dots, d_n\}$, sowie die Konstante $c = \text{med}(d_1, \dots, d_n) + 2,5 * \text{MAD}(d_1, \dots, d_n)$ verwendet (Filzmoser et al., 2008).

Es folgt Phase II mit der Detektion der Ausreißer. Die semi-robuste Hauptkomponenten-Zerlegung aus Schritt 2 wird nun verwendet, um (ungewichtete) Euklidische Normen der Daten im Hauptkomponenten-Raum zu berechnen. Aus Formel 16 ergibt sich eine Menge von Distanzen, die im nächsten Schritt verwendet werden. Die Gewichte w_{2i} werden mittels Formel 17 bestimmt. Hierbei entspricht nun c^2 dem 99 %-Quantil und M^2 dem 25 %-Quantil der χ_p^2 -Verteilung (Filzmoser et al., 2008).

Abschließend werden die Ergebnisse aus Phase I und II kombiniert (Phase III). Die Gewichte aus Phase I (w_{1i}) und II (w_{2i}) werden mit Hilfe der Formel

$$w_i = \frac{(w_{1i} + s)(w_{2i} + s)}{(1 + s)^2} \quad (18)$$

mit Skalierungskonstante s (üblich: $s = 0,25$) kombiniert. Als Ausreißer werden diejenigen Punkte bestimmt, die ein $w_i < 0,25$ aufweisen (Filzmoser et al., 2008).

Im Falle univariater Ausreißer-Detektion (sh. Kapitel 5.7) erfolgt die Klassifikation eines Ausreißers nach der Definition von Tukey (1977) basierend auf dem Interquartilsabstand (IQR). Ein Datenpunkt, der außerhalb des Intervalls $[1. \text{Quartil} - 1,5 * IQR, 3. \text{Quartil} + 1,5 * IQR]$ liegt, wird als (univariater) Ausreißer bezeichnet.

Die Ausreißerdetektion wird mit Hilfe des R-Paketes „mvoutlier“ (Version 2.0.9; Filzmoser & Gschwandtner, 2017) durchgeführt. Im R-Skript (Begleitband zur Dissertation) wird in Kapitel 3 die Durchführung der multivariaten Ausreißerdetektion mit „R“ beschrieben.

4.2.3 Clusteranalyse

4.2.3.1 k-means

Für die Clusteranalyse mittels „k-means“ wird die Summe der Quadrate der euklidischen Distanzen von Datenpunkten zu ihren nächsten Clusterzentren berechnet. Hierbei gilt:

$$Dist(\bar{X}_i, \bar{Y}_j) = \|\bar{X}_i - \bar{Y}_j\|_2^2, \quad (19)$$

wobei $\|\bullet\|_p$ die L_p -Norm beschreibt (Aggarwal, 2015). Die L_p -Norm wiederum ist definiert als

$$\|x\|_p = \sqrt[p]{\sum_i |x_i|^p}. \quad (20)$$

Im vorliegenden Fall lässt sich die Distanz zwischen zwei Datenpunkten damit vereinfacht schreiben als

$$Dist(\bar{X}_i, \bar{Y}_j) = \sqrt{\sum_i |\bar{X}_i - \bar{Y}_j|^2}. \quad (21)$$

Jedes Cluster ist um einen Schwerpunkt zentriert, wobei sich die Koordinaten dieses Schwerpunktes aus dem Mittelwert der Clusterobjekte berechnen (Reynolds et al., 2006). Zunächst werden k Punkte als anfängliche Schwerpunkte gewählt. Diese Punkte müssen keine Objekte des Datensatzes sein. Anschließend wird jedes Objekt dem Cluster zugewiesen, dessen Schwerpunkt am nächsten liegt. Die Positionen der Schwerpunkte werden aus den Cluster-Objekten neu berechnet. Zuweisung und Berechnung der Schwerpunkte wird so lange wiederholt bis sich die Schwerpunkte nicht mehr ändern (Reynolds et al., 2006). Die Auswahl der optimalen Clusterzahl erfolgt anhand des Bayes'schen Informationskriteriums (BIC). Die Berechnung dieses Kriteriums basiert auf der logarithmierten Likelihood ($\ln(L)$). Es gilt

$$BIC = \frac{-2\ln(L)}{N} + \frac{k\ln(N)}{N} = \frac{1}{N}\ln\frac{N^k}{L^2} \quad (22)$$

mit der Anzahl an Punkten im Datensatz N . Gesucht wird diejenige Clusterzahl k , für die die BIC-Funktion minimiert wird (Reddy & Vinzamuri, 2014).

Die Detektion der k-means-Cluster erfolgte mit dem „R“-Basispaket „stats“ (Version 3.5.1;

R Developmental Core Team, 2018). Im R-Skript (Begleitband zur Dissertation) wird in Kapitel 4.1 die Durchführung der Clusteranalyse mittels „k-means“ mit „R“ beschrieben.

4.2.3.2 „Gaussian Mixture Model“ (GMM)

Die Clusteranalyse mittels „Gaussian Mixture Model“ (GMM) ist ein auf EM („Expectation Maximization“) basierendes, multivariates Clusterverfahren. Die zugrundeliegende Verteilung ist eine multivariate Normalverteilung (Gaußverteilung), wobei jede Komponente durch

$$p(x_k, \theta_k) = \mathcal{N}(x_n | \mu_k, \Sigma_k) \quad (23)$$

repräsentiert wird mit Mittelwertsvektor μ_k und Kovarianzmatrix Σ_k (Deng & Han, 2014). Hierbei wird die Dichte der multivariaten Gaußverteilung folgendermaßen beschrieben:

$$f_k(x_n | \mu_k, \Sigma_k) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^p \det(\Sigma_k)}} \exp\left(-\frac{1}{2}(x_n - \mu_k)^T \Sigma_k^{-1} (x_n - \mu_k)\right) \quad (24)$$

Ein GMM-Cluster ist ellipsoid und um einen Mittelwertsvektor μ_k zentriert. Zudem werden durch die Kovarianzmatrix (Σ_k) noch weitere geometrische Eigenschaften, wie Volumen, Form und Orientierung, beschrieben (Scrucca et al., 2016; Fraley & Raftery, 1998). Die Kovarianzen Σ_k können nach Banfield & Raftery (1993) durch die Eigenwertszerlegung

$$\Sigma_k = \lambda_k D_k A_k D_k^T \quad (25)$$

parametrisiert werden. Hierbei beschreibt λ_k den ersten Eigenwert von Σ_k , D_k die Eigenvektormatrix und A_k die Diagonalmatrix. Die Orientierung der Hauptkomponenten der Kovarianzmatrix wird durch D_k festgelegt, die Form durch A_k und die Größe durch λ_k (Banfield & Raftery, 1993). Das einfachste Cluster-Modell wird durch

$$\Sigma_k = \lambda I \quad (26)$$

beschrieben, wobei Σ_k ein Vielfaches der Einheitsmatrix (I) ist. Die zugrundeliegenden Dichten sind kugelförmig. Alle Cluster dieses Modells haben dasselbe Volumen und dieselbe Form (Banfield & Raftery, 1993; Fraley & Raftery, 2007; Fraley & Raftery, 1998). Das komplizierteste Modell wird hingegen durch Formel 25 wiedergegeben.

Die Wahrscheinlichkeitsdichte-Funktion eines Vektors x_n lässt sich mittels

$$p(x_n) = \sum_{k=1}^K \pi_k p(x_n, \theta_k) \quad (27)$$

bestimmen, wobei $\pi_k(\pi_1, \dots, \pi_K; 0 \leq \pi_K \leq 1; \sum_{k=1}^K \pi_k = 1)$ die Mischungswahrscheinlichkeiten, θ_k das Parameter-Set der k-ten Komponente und $p(x_n, \theta_k)$ die Verteilung eben dieser Komponente beschreibt (Deng & Han, 2014). Somit gilt für die Wahrscheinlichkeitsdichte-Funktion der Gauß-Verteilung (Deng & Han, 2014):

$$\begin{aligned} p(x_n, \Theta_k) &= p(x_n | \pi, \mu, \Sigma) = \\ &= \sum_{k=1}^K \pi_k \mathcal{N}(x_n | \mu_k, \Sigma_k) \end{aligned} \quad (28)$$

Über die Ableitung der logarithmierten Likelihood

$$l(\Theta) = \log p(X, \Theta) = \sum_{n=1}^N \log p(x_n, \Theta) = \sum_{n=1}^N \log \sum_{k=1}^K \pi_k \mathcal{N}(x_n | \mu_k, \Sigma_k) \quad (29)$$

nach π_k , μ_k bzw. Σ_k ergeben sich die lokalen Maxima für die Mischungswahrscheinlichkeiten π_k , Mittelwerte μ_k und Kovarianzen Σ_k (Deng & Han, 2014).

Der sogenannte „Expectation Maximization“ (EM) Algorithmus stellt eine Methode zur Bestimmung der maximalen Likelihood für das Gauß-Mischungsmodell dar. Der Algorithmus besteht aus zwei iterierenden Schritten. Im sogenannten E-Schritt wird die erwartete Posteriori-Wahrscheinlichkeit $\gamma(z_{nk})$

$$\gamma(z_{nk}) = \frac{\pi_k \mathcal{N}(x_n | \mu_k, \Sigma_k)}{\sum_{j=1}^K \pi_j \mathcal{N}(x_n | \mu_j, \Sigma_j)} \quad (30)$$

einer Clusterzuordnung der verborgenen Variablen z_{nk} auf Basis eines gegebenen Parameter-Sets bestimmt (Aggarwal, 2014; Deng & Han, 2014):

Im darauf folgenden M-Schritt wird zunächst der Mittelwertsvektor mit Hilfe der Formel

$$\mu_k = \frac{\sum_{n=1}^N \gamma(z_{nk}) x_n}{\sum_{n=1}^N \gamma(z_{nk})} \quad (31)$$

berechnet. Mit Hilfe der neuen Werte, werden dann die Kovarianzen

$$\Sigma_k = \frac{\sum_{n=1}^N \gamma(z_{nk}) (x_n - \mu_k)(x_n - \mu_k)^T}{\sum_{n=1}^N \gamma(z_{nk})} \quad (32)$$

und die Mischungswahrscheinlichkeiten

$$\pi_k = \frac{\sum_{n=1}^N \gamma(z_{nk})}{N} \quad (33)$$

neu berechnet (Deng & Han, 2014).

Mit den Formeln 28 und 29 kann die logarithmierte Likelihood berechnet und anschließend maximiert werden. E- und M-Schritt werden wiederholt durchgeführt bis zur Konvergenz des Algorithmus. Der Algorithmus konvergiert gegen ein optimales Parameter-Set, erkennbar daran, dass die Veränderung in den Parameterwerten bzw. der logarithmierten Likelihood unter einen bestimmten Grenzwert fällt (Aggarwal, 2015; Deng & Han, 2014). Ein Problem des EM-Algorithmus besteht darin, dass der Algorithmus - abhängig von dem initialen Parameter-Set - nicht unbedingt das globale Maximum findet, sondern möglicherweise nur eines von mehreren lokalen Maxima. Um dieses Problem zu umgehen, wird der EM-Algorithmus mehrmals unabhängig wiederholt und dann die Schätzung mit der höchsten Likelihood ausgewählt (Deng & Han, 2014). Zudem wird im vorliegenden Fall der EM-Algorithmus durch Partitionen der Daten initialisiert, die wiederum durch Modell-basierte, hierarchische und agglomerative Clusteranalyse erzeugt werden. Neben einem relativ geringen Rechenaufwand werden durch diese Methodik oft geeignete Start-

punkte für den Algorithmus gefunden (Scrucca et al., 2016).

Wie auch für k-means (Kapitel 4.2.3.1) erfolgt die Wahl des optimalen Modells bzw. der optimalen Clusterzahl mittels des BIC. Allerdings wird BIC im Falle des verwendeten „R“-Paketes „mclust“ (Version 5.4.1; Scrucca et al., 2016) und im Gegensatz zu Formel 22 mit umgekehrten Vorzeichen definiert. Somit wird hierfür

$$BIC_{M,G} = 2l_{M,G}(x|\hat{\theta}) - v\log(n) \quad (34)$$

mit der logarithmierten Likelihood $l_{M,G}(x|\hat{\theta})$ des Maximum-Likelihood-Schätzers $\hat{\theta}$ für Modell M mit G Clustern, Stichprobenzahl n und Anzahl an geschätzten Parametern v eben die Kombination aus M und G gewählt wird, für die $BIC_{M,G}$ maximiert wird (Fraley & Raftery, 1998; Scrucca et al., 2016). Damit ist das BIC hier genau umgekehrt definiert als in Formel 22. Eine Übersicht über die im „mclust“-Paket verfügbaren Clustermodelle findet sich in Tabelle A8.

Die GMM-Clusteranalyse erfolgt mit dem bereits erwähnten „R“-Paket „mclust“ (Version 5.4.1; Scrucca et al., 2016). Im R-Skript (Begleitband zur Dissertation) wird in Kapitel 4.2 die Durchführung der Clusteranalyse mittels GMM mit „R“ beschrieben.

4.2.4 Diskriminanzanalyse

Für die Diskriminanzanalyse wird der zu untersuchende Datensatz in einen Trainings- und einen Testdatensatz unterteilt. Die Aufteilung in Trainings- und Testdatensatz erfolgt zufällig in einem Verhältnis von 2:1. Ein Trainingsdatensatz, der 2/3 der Daten enthält, wird häufig verwendet, um eine Überanpassung („overfitting“) des Modells zu verhindern (Kohavi, 1995).

Es folgt eine überwachte Klassifizierung auf Basis der bekannten Klassenzuordnung aus dem Trainingsdatensatz. Die Klassifizierung wird auf die übrigen Daten mit unbekannter Klassenzugehörigkeit, den sogenannten Testdatensatz, angewendet. Somit wird also ein Modell mittels Trainingsdatensatz gewissermaßen trainiert und anschließend mit dem Testdatensatz überprüft. Wo keine Klassenzuweisung bekannt ist, wird für den Trainings-

datensatz die gemäß Clusteranalyse bestimmte Clusterzuordnung verwendet.

Die Aufteilung in Trainings- und Testdatensatz erfolgte als Zufallsstichprobe nach Setzen eines Startwerts, der als „Seed“ bezeichnet wird. Im R-Skript (Begleitband zur Dissertation) wird in Kapitel 5 die Durchführung der Diskriminanzanalyse mit „R“ beschrieben.

4.2.5 Hauptkomponentenanalyse (PCA)

Für die Hauptkomponentenanalyse (PCA) wird zunächst die Kovarianzmatrix Σ einer Datenmatrix betrachtet. Die Kovarianzmatrix ist eine symmetrische Matrix der Kovarianz und Varianz der unterschiedlichen Variablen der Datenmatrix. Der Kovarianzeintrag c_{ij} beschreibt die Kovarianz zwischen den Variablen i und j . Auf der Diagonale der Kovarianzmatrix (c_{ii}) finden sich die Varianzen der einzelnen Variablen. Ist die tatsächliche Kovarianzmatrix Σ nicht bekannt, so kann auch die Stichproben-Kovarianzmatrix S verwendet werden (Jolliffe, 2002).

Sei x ein p -dimensionaler Datenvektor mit p Variablen, so ist die k -te Hauptkomponente durch

$$z_k = \alpha_k^T x; \quad k = 1, \dots, p \quad (35)$$

gegeben. Hierbei ist α_k ein Eigenvektor von Σ mit dem korrespondierenden k -ten Eigenwert (λ_k) der Matrix. Es gilt außerdem $\alpha_k^T \alpha_k = 1$. Vektor α_k hat demnach die Länge 1 (Einheitsvektor). Die Varianz von z_k entspricht dem Eigenwert λ_k ($Var(z_k) = \lambda_k$; Jolliffe, 2002).

Zunächst wird nun $\alpha_1^T x$ betrachtet. Der Eigenvektor α_1 maximiert die Varianz mit

$$Var(\alpha_1^T x) = \alpha_1^T \Sigma \alpha_1. \quad (36)$$

Es gilt nach wie vor $\alpha_k^T \alpha_k = 1$. Um $\alpha_1^T \Sigma \alpha_1$ zu maximieren, wird mit Hilfe des sogenannten Lagrange-Multiplikators λ der Ausdruck

$$\alpha_1^T \Sigma \alpha_1 - \lambda(\alpha_1^T \alpha_1 - 1) \quad (37)$$

maximiert. Durch Differenzieren nach α_1 ergibt sich

$$\Sigma\alpha_1 - \lambda\alpha_1 = 0 \quad (38)$$

bzw.

$$(\Sigma - \lambda I_p)\alpha_1 = 0 \quad (39)$$

mit $p \times p$ Einheitsmatrix I_p . λ entspricht einem Eigenwert von Σ mit dem korrespondierenden Eigenvektor α_1 . λ muss dabei möglichst groß sein (Jolliffe, 2002).

Für die zweite Hauptkomponente ($\alpha_2^T x$) wird der Ausdruck $\alpha_2^T \Sigma \alpha_2$ maximiert, wobei die ersten beiden Hauptkomponenten ($\alpha_1^T x$ und $\alpha_2^T x$) unkorreliert sein sollen, also

$$\text{Cov}(\alpha_1^T x, \alpha_2^T x) = 0. \quad (40)$$

Es gilt

$$\text{Cov}(\alpha_1^T x, \alpha_2^T x) = \alpha_1^T \Sigma \alpha_2 = \alpha_2^T \Sigma \alpha_1 = \alpha_2^T \lambda_1 \alpha_1^T = \lambda_1 \alpha_2^T \alpha_1 = \lambda_1 \alpha_1^T \alpha_2, \quad (41)$$

weshalb eine Korrelation von 0 durch mehrere Gleichungen erfüllt wird:

$$\alpha_1^T \Sigma \alpha_2 = 0 \quad (42)$$

$$\alpha_2^T \Sigma \alpha_1 = 0$$

$$\alpha_1^T \alpha_2 = 0$$

$$\alpha_2^T \alpha_1 = 0$$

Ein Maximieren (Differenzieren) erzeugt

$$\Sigma\alpha_2 - \lambda\alpha_2 = 0 \quad (43)$$

bzw.

$$(\Sigma - \lambda I_p)\alpha_2 = 0. \quad (44)$$

Erneut entspricht λ einem Eigenwert von Σ mit Eigenvektor α_2 . Da Σ keine wiederholten Eigenwerte beinhalten darf, sondern diese vielmehr der Größe nach sortiert vorliegen sollen, kann λ_2 nicht λ_1 entsprechen. Ansonsten wäre die Annahme $\alpha_1^T \alpha_2 = 0$ verletzt. Somit ist λ_2 der zweitgrößte Eigenwert von Σ . Dieses Verfahren wird bis zum p -ten Eigenvektor α_p mit dem niedrigsten Eigenwert λ_p durchgeführt (Jolliffe, 2002).

Da die Kovarianzmatrix symmetrisch und (aufgrund positiver Eigenwerte) positiv (semi-) definit ist ($x^T A x > 0 \forall x \neq 0$ bzw. $x^T A x \geq 0$ und $x^T A x = 0$ für mindestens ein $x \neq 0$), kann sie durch

$$\Sigma = A \Lambda A^T \quad (45)$$

diagonalisiert werden. Die Orthogonalmatrix A enthält die Eigenvektoren α_k , die Diagonalmatrix Λ enthält die (nicht-negativen) Eigenwerte von Σ (Aggarwal, 2015; Jolliffe, 2002). Die Eigenwerte stellen die Varianz der Daten für die jeweiligen Eigenvektoren dar. Die Diagonalmatrix Λ entspricht der neuen Kovarianzmatrix nach der Rotation. Die transformierte Datenmatrix D' entsteht aus der ursprünglichen Datenmatrix D durch die Transformation $D' = DA$ (Aggarwal, 2015).

Die Hauptkomponentenanalyse wird mit Hilfe des „R“-Basispaketes „stats“ (Version 3.5.1; R Developmental Core Team, 2018) durchgeführt. Im R-Skript (Begleitband zur Dissertation) wird in Kapitel 6 die Durchführung der Hauptkomponentenanalyse mit „R“ beschrieben.

4.2.6 „Support Vector Machine“ (SVM)

Zur Klassifikation unterteilt die „Support Vector Machine“ (SVM) die unterschiedlichen Klassen des Datensatzes mit Hilfe einer Hyperebene mit Transformation $\phi(x)$ und Gewichtsvektor w (Ben-Hur et al., 2008; Karatzoglou et al., 2006):

$$w \circ \phi(x) + b = 0. \quad (46)$$

Die für die Klassifikation optimale Hyperebene erzeugt die maximale Trennung von zwei Klassen. Die Hyperebene kann durch ein quadratisches Optimierungsproblem gelöst werden,

wobei die Lösung w mit

$$w = \sum_i \alpha_i \phi(x_i) \quad (47)$$

ein Trainingsmuster enthält, die sogenannten „Support“-Vektoren. Diese enthalten alle für die Klassifikation relevanten Informationen (Karatzoglou et al., 2006).

Ein Kostenparameter C kontrolliert den Bestrafungsterm für einen durch die SVM fehlerhaft klassifizierten Datenpunkt des Trainingsdatensatzes. Damit wird so auch die Komplexität der Vorhersagefunktion gesteuert. Ein hoher Kostenwert C führt zu einer komplexen Funktion mit möglichst wenig fehlerhaft klassifizierten Trainingspunkten. Ein niedriger Kostenwert hingegen erzeugt eine einfachere Vorhersagefunktion. Eine solche SVM wird als C-SVM bezeichnet (Karatzoglou et al., 2006).

Für die SVM werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit drei verschiedene Kerne (vgl. Formel 9) verwendet: ein linearer Kern („vanilladot“), ein polynomialer Kern (hier: quadratisch; „polydot“) und ein Gauß’scher Radial-Basiskern („rbfdot“).

Im linearen Fall („vanilladot“) wird die einfachst mögliche Kernfunktion durch

$$k(x,y) = x \circ y \quad (48)$$

beschrieben (Karatzoglou et al., 2004). Der polynomiale Kern („polydot“) mit

$$k(x,y) = (x \circ y + \kappa)^d \quad (49)$$

wird in der vorliegenden Arbeit quadratisch ($d = 2$) verwendet. Der Parameter κ nimmt häufig die Werte $\kappa = 0$ (homogen) oder $\kappa = 1$ (inhomogen) an (Ben-Hur et al., 2008; Karatzoglou et al., 2004). Zuletzt wird die Gauß’sche Radial-Basisfunktion („rbfdot“) mit

$$k(x,y) = \exp(-\sigma \|x - y\|^2) \quad (50)$$

angewendet. Mit Hilfe des Parameters σ ($\sigma > 0$) wird die Breite der Gaußkurve beeinflusst. Dieser Kern findet typischerweise dann Verwendung, wenn keine Vorkenntnisse über die

Daten vorliegen (Ben-Hur et al., 2008; Karatzoglou et al., 2004).

Um die SVM zu trainieren, wird der Datensatz zufällig in Trainings- und Testdatensatz aufgeteilt (im Verhältnis 2 : 1; vgl. Kapitel 4.2.4). Die SVM wird dann mit Hilfe des Trainingsdatensatzes trainiert und anschließend mit den verbleibenden Daten (Testdatensatz) überprüft.

Die SVMs werden mit Hilfe des „R“-Paketes „kernlab“ (Version 0.9-27; Karatzoglou et al., 2004) erstellt. Im R-Skript (Begleitband zur Dissertation) wird in Kapitel 7 die Durchführung der „Support Vector Machine“ mit „R“ beschrieben.

4.2.7 „Feature Ranking“

4.2.7.1 „Adjusted Rand Index“ (ARI)

Das „Feature Ranking“ mittels des „Adjusted Rand Index“ (ARI) basiert auf einer Referenz-Clusteranalyse der Kontrollgruppe. In der vorliegenden Arbeit wird die Kontrollgruppe für die GMM-Clusteranalyse auf Grundlage des Clusterergebnisses für den jeweils vollständigen Isotopendatensatz mit dem optimalen Clustermodell und der optimalen Clusterzahl für den Datensatz I der mindestens adulten Menschen gewählt. Datensatz I enthält mit $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ die vier Isotopensysteme, die allen vier Datensätzen (I - IV) gemeinsam sind (vgl. Kapitel 4.1). Dadurch können die „Feature Ranking“-Ergebnisse der einzelnen Datensätze besser miteinander verglichen werden. Die Wahl desselben Clustermodells bzw. derselben Clusterzahl führt ebenfalls zu einer besseren Vergleichbarkeit unter den einzelnen Teildatensätzen.

Der ARI beschreibt die Übereinstimmung zwischen zwei Clusterergebnissen, indem die Paare, die in dasselbe Cluster bzw. in unterschiedliche Cluster eingeordnet werden, gezählt werden und mit der Gesamtzahl an Paaren im Datensatz verglichen werden (Mauder et al., 2019; Mauder et al., 2017).

Nach Hubert & Arabie (1985) berechnet sich der ARI von zwei Partitionen i und j durch

$$\begin{aligned} ARI(i, j) &= \frac{\text{Index} - \text{erwarteter Index}}{\text{maximaler Index} - \text{erwarteter Index}} = \\ &= \frac{\sum_{i,j} \binom{n_{ij}}{2} - \sum_i \binom{n_{i\bullet}}{2} \sum_j \binom{n_{\bullet j}}{2} / \binom{n}{2}}{\frac{1}{2} [\sum_i \binom{n_{i\bullet}}{2} \sum_j \binom{n_{\bullet j}}{2}] - \sum_i \binom{n_{i\bullet}}{2} \sum_j \binom{n_{\bullet j}}{2} / \binom{n}{2}} \end{aligned} \quad (51)$$

mit der Anzahl unsortierter Paare ($\sum_{i,j} \binom{n_{ij}}{2}$), sowie der Anzahl unterschiedlicher Paare in den Reihen ($\sum_i \binom{n_{i\bullet}}{2}$) bzw. Spalten ($\sum_j \binom{n_{\bullet j}}{2}$) der Datentabelle und der Gesamtzahl an Paaren ($\binom{n}{2}$).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden zwei Spezialfälle des ARI betrachtet, die strukturelle Relevanz und die strukturelle Redundanz. Während die Relevanz beschreibt, wie gut ein einzelnes Merkmal die Datenstruktur der Kontrollgruppe wiedergeben kann, zeigt die Redundanz, wie gut die Struktur der Kontrollgruppe wiedergegeben wird, wenn ein Merkmal aus dem Modell entfernt wird (Mauder et al., 2019; Mauder et al., 2017; Mauder, 2017). Relevanz und Redundanz werden nach Mauder et al. (2017) durch

$$s_{\text{Relevanz}}(f, F_0) := ARI(\Theta^f, \Theta^{F_0}) \quad (52)$$

$$s_{\text{Redundanz}}(f, F_0) := ARI(\Theta^{f-}, \Theta^{F_0}) \quad (53)$$

bestimmt mit dem Clusterergebnis Θ^f ($f \in F_v$) des zu überprüfenden Datensatzes ($\Theta^f = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{k'}\}$ mit Clusterzahl k'), dem komplementären Merkmalsraum f_- mit $F_v \setminus f$ und entsprechend dem komplementären Clusterergebnis $\Theta^{f-} = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{k''}\}$ mit Clusterzahl k'' , sowie dem Referenz-Clusterergebnis der Kontrollgruppe Θ^{F_0} (Mauder et al., 2017).

Der maximale Wert des ARI liegt bei 1. In einem solchen Fall sind die beiden untersuchten Clusterergebnisse identisch. Wenn sich für den ARI ein Wert von 0 ergibt, so zeigt sich ein zufälliges Verhalten. Ein $ARI < 0$ wiederum bedeutet, dass zwischen zwei Clusterergebnissen weniger Übereinstimmung besteht als erwartet (Mauder et al., 2017).

Die Berechnung des ARI erfolgt mit dem R-Paket „mclust“ (Version 5.4.1; Scrucca et al., 2016). Im R-Skript (Begleitband zur Dissertation) wird in Kapitel 8.1 die Durchführung

des „Feature Rankings“ mittels ARI mit „R“ beschrieben.

4.2.7.2 Entropie-basiertes „Feature Ranking“

Entropie ist ein Maß für den Informationsgehalt und die Unsicherheit einer bestimmten Variable (Shannon, 1948). Der Entropie-Wert einer Variable entspricht hierbei gewissermaßen ihrem Informationsgehalt (Vajapeyam, 2014). Die Shannon-Entropie H wird definiert als

$$H = -K \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \quad (54)$$

mit Konstante K ($K > 0$) und Wahrscheinlichkeiten p_i (Shannon, 1948).

Entropie erlaubt, zwischen einem Datensatz mit und einem anderen Datensatz ohne Clusterstruktur zu unterscheiden. Ein Datensatz, der keine Clusterstruktur aufweist, zeigt deutlich höhere Entropiewerte als ein Datensatz, der in klare Gruppen eingeteilt ist. Das lässt sich durch die Tatsache erklären, dass die Intra-Cluster-Abstände in Datensätzen, die einige Cluster aufweisen, deutlich kleiner sind als die Inter-Cluster-Abstände. Hierdurch ergeben sich insgesamt niedrigere Abstandswerte (Dash et al., 2002). Folglich sollte ein minimaler Distanz-basierter Entropiewert die optimale Kombination von Merkmalen wiedergeben (Dash et al., 2002) und eignet sich so für „Feature Ranking“.

Das im Rahmen der vorliegenden Dissertation verwendete, Entropie-basierte „Feature Ranking“-Verfahren verwendet eine nach Dash et al. (2002) modifizierte Methode:

Vorab werden multivariate Ausreißer aus dem Datensatz entfernt (sh. Kapitel 4.2.2), um mögliche Störfaktoren im „Ranking“ zu vermeiden. Da zudem die Isotopenwerte der verschiedenen Isotopensysteme naturbedingt unterschiedliche Wertespannen aufweisen, werden die Daten vor dem eigentlichen „Ranking“ mit Hilfe von Formel 55 auf Werte zwischen 0 und 1 normalisiert:

$$x^* = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (55)$$

Anschließend werden Distanzmatrizen (D_{ij}) erstellt, indem die Euklidischen Distanzen

$$d(x_i^*, x_j^*) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i^* - x_j^*)^2} \quad (56)$$

zwischen allen (normalisierten) Datenpunkten berechnet werden. Die Distanzmatrizen werden erneut normalisiert (Formel 55). Die Entropie wird anschließend, basierend auf der Formel nach Shannon (1948) (Formel 54), berechnet. Hierbei ist zu betonen, dass die in dieser Arbeit verwendete Distanz-basierte Entropie (H_d) nicht auf Wahrscheinlichkeitswerten (vgl. Formel 54), sondern auf den berechneten Distanzen basiert, wobei gilt:

$$H_d = \sum_{X_i^*} \sum_{X_j^*} -D_{ij} \log_2 D_{ij} \quad (57)$$

mit normalisierten Distanzmatrizen D_{ij} zwischen X_i^* und X_j^* .

Das beschriebene Vorgehen erfolgt für alle möglichen Kombinationen von Isotopensystemen, die sich nach

$$\sum_{i=1}^k \binom{k}{i} \quad (58)$$

aus der Gesamtzahl aller Isotopensysteme k berechnen lassen.

Eine Validierung des „Feature Rankings“ wird mit Hilfe von GMM-Clustermodellen (sh. Kapitel 4.2.3.2), sowie mittels des Cluster-Kriteriums $tr(P_W^{-1}P_B)$ (Trace-Index) durchgeführt. Dieses Kriterium beschreibt die Spur („trace“) der Matrix P_j des j -ten Clusters

$$P_j = \sum_{X_i \in \chi_j} (X_i - m_j)(X_i - m_j)^T \quad (59)$$

mit dem Mittelwertsvektor des j -ten Clusters m_j und entspricht damit der Summe ihrer Diagonalelemente (Dash & Liu, 2000). Dieser Validierungsindex basiert auf dem Verhältnis aus der Streuung zwischen Clustern (P_B) und derjenigen innerhalb von Clustern (P_W). Hierbei lassen sich P_B und P_W durch

$$P_B = \sum_{j=1}^c (m_j - m)(m_j - m)^T \quad (60)$$

bzw.

$$P_W = \sum_{j=1}^c P_j \quad (61)$$

berechnen mit Clusterzahl c , Mittelwertsvektor m und Mittelwertsvektor des j -ten Clusters m_j (Dash & Liu, 2000). Ein hoher Wert für $tr(P_W^{-1}P_B)$ deutet auf ein gutes Clusterergebnis hin, d. h. der Datensatz lässt sich in klar definierte Cluster aufteilen.

Die Durchführung des Entropie-basierten „Feature Rankings“ erfolgt mit Hilfe einer „R“-Funktion basierend auf Formel 57. Für die Untersuchung des Trace-Index wird das „R“-Paket „clusterCrit“ (Version 1.2.8; Desgraupes, 2018) verwendet. Im R-Skript (Begleitband zur Dissertation) wird in Kapitel 8.2 die Durchführung des „Feature Rankings“ mittels Distanz-basierter Entropie mit „R“ beschrieben.

4.2.8 Regressionsanalyse und Korrelation

Um $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte, die gegen den VPDB- (Vienna PeeDee Belemnite) bzw. VSMOW-Standard (Vienna Standard Mean Ocean Water) ausgedrückt werden, miteinander vergleichen zu können, müssen die Karbonatwerte gemäß Formel 62 (Coplen, 1988) in VSMOW-Werte umgerechnet werden:

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}} = 1,03091 * \delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}} + 30,91 \quad (62)$$

Die linearen Regressionsanalysen zwischen den Sauerstoff-Isotopenwerten im Karbonat und Phosphat ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}} = m (\pm \text{Standardfehler}) \delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} + t (\pm \text{Standardfehler})$) werden anschließend mit Hilfe des „R“-Basispaketes „stats“ (Version 3.5.1; R Developmental Core Team, 2018) durchgeführt.

Für die Untersuchung der Korrelation zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ werden der Korrelationskoeffizient nach Pearson (r) und Kendall's Tau (τ) herangezogen. Da einige für die Korrelationsanalyse gewählten Teilgruppen nur eine relativ geringe Individuenzahl enthalten, ist Kendall's τ hier aussagekräftiger.

Pearson's Korrelationskoeffizient r zwischen zwei Vektoren x und y der Länge n wird gemäß

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (63)$$

berechnet. Hierbei beschreiben \bar{x} bzw. \bar{y} die Mittelwerte von x bzw. y .

Für die Berechnung von Kendall's τ werden den Werten der Vektoren x und y entsprechend ihrer Größe Ränge zugeordnet. Anschließend werden die Ränge von x und y verglichen und die Anzahl konkordanter (n_K) und diskordanter Paare (n_D) ermittelt. Insgesamt ergibt sich Kendall's τ über die Formel

$$\tau = \frac{n_K - n_D}{\frac{1}{2}n(n-1)}. \quad (64)$$

Weiter kann zwischen marginaler und partieller Korrelation unterschieden werden. Die partielle Korrelation zwischen den Variablen x und y gegeben einer weiteren Variablen z ist definiert als

$$r_{xy|z} = \frac{r_{xy} - r_{xz}r_{yz}}{\sqrt{1 - r_{xz}^2} \sqrt{1 - r_{yz}^2}}, \quad (65)$$

wobei r_{ij} der marginalen Korrelation zwischen zwei Variablen (z. B. x und y) entspricht. In der vorliegenden Arbeit wird hierfür die Pearson-Korrelation verwendet (vgl. Formel 63). Die partielle Korrelation beschreibt damit den reinen Zusammenhang zwischen x und y , ohne den (indirekten) Einfluss anderer Variablen (hier: z).

Die Berechnung der Korrelationskoeffizienten erfolgte mit dem „R“-Basispaket „stats“ (Version 3.5.1; R Developmental Core Team, 2018). Für die Untersuchung der partiellen Korrelation wird das R-Paket „ppcor“ (Version 1.1; Kim, 2015) verwendet. Im R-Skript (Begleitband zur Dissertation) wird in Kapitel 9 die Durchführung der Regressions- bzw. Korrelationsanalyse mit „R“ beschrieben.

4.2.9 Mischungsmodelle

Für die Korrektur des „sea spray“-Effektes bei Menschen (vgl. Kapitel 5.3.3) ist es notwendig, eine Ernährungsrekonstruktion für die einzelnen Individuen aus Haithabu und

Schleswig durchzuführen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden drei verschiedene Programme bzw. „R“-Pakete zur Berechnung von Mischungsmodellen verwendet, die nachfolgend beschrieben werden. Die Berechnung mit Hilfe unterschiedlicher Methoden soll die mögliche Spannbreite der „sea spray“-Korrektur anzeigen, die mit den Anteilen terrestrischer bzw. mariner Nahrungskomponenten zusammenhängt.

In Anlehnung an Grupe et al. (2013) wird zunächst mit vier Nahrungskomponenten gerechnet: domestizierte Säuger (Rinder, Schafe, Schweine), Süßwasserfische, Salzwasserfische und marine (piscivore) Säuger (Modell I). Da ein gewisser Anteil an Pflanzen in der Nahrung jedoch zu erwarten ist, werden in einem zweiten Durchlauf die bereits genannten Nahrungskomponenten um die Komponente der Pflanzen ergänzt (Modell II).

Für die Berechnung der Mischungsmodelle werden die gemessenen Kollagen-Werte von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ bzw. $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ der Konsumenten (hier: mindestens adulte Menschen) und der potentiellen Nahrungsquellen gemäß der nachfolgenden Formeln in Fleisch-Werte bzw. Nahrungswerte umgerechnet (vgl. z. B. Grupe, 2014; Krueger & Sullivan, 1984; Newsome et al., 2004; Sullivan & Krueger, 1981):

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{Fleisch}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen (Nahrungsquelle)}} - 4 \text{‰} \quad (66)$$

$$\delta^{15}\text{N}_{\text{Fleisch}} = \delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen (Nahrungsquelle)}} \quad (67)$$

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{Nahrung}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen (Konsument)}} - 5 \text{‰} \quad (68)$$

$$\delta^{15}\text{N}_{\text{Nahrung}} = \delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen (Konsument)}} - 3 \text{‰} \quad (69)$$

Für die approximative Berechnung der Pflanzenwerte können nach Krueger & Sullivan (1984) folgende Formeln verwendet werden:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{Pflanzen}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen (Herbivore)}} - 5 \text{‰} \quad (70)$$

$$\delta^{15}\text{N}_{\text{Pflanzen}} = \delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen (Herbivore)}} - 3 \text{‰} \quad (71)$$

In der vorliegenden Arbeit werden nur domestizierte Herbivore (Pferd, Rind, Schaf) zur Berechnung der Pflanzenwerte herangezogen, da zu vermuten ist, dass diese eventuell Reste von Pflanzen, die auch von den Menschen konsumiert wurden, erhielten.

Nach dieser Vorverarbeitung der Daten werden die Werte in die verschiedenen Programme eingelesen (sh. unten). Alle verwendeten Modelle sind Konzentrations-gewichtet. Der prozentuale Einfluss einer Nahrungsquelle auf das Mischungsverhältnis im Konsumenten ist für Kohlenstoff und Stickstoff nicht identisch. Manche Nahrungskomponenten sind reich an dem einen Element, aber relativ arm an dem anderen. Daher sollte in Fällen, bei denen die Nahrungsquellen deutlich unterschiedliche Kohlenstoff- und Stickstoff-Konzentrationen aufweisen (z. B. tierische und pflanzliche Nahrungskomponenten) ein Konzentrations-gewichtetes Mischungsmodell verwendet werden (Phillips & Koch, 2002). Obwohl dies in dem rein tierischen Szenario (Modell I) nicht unbedingt notwendig wäre, wird zur besseren Vergleichbarkeit in beiden Szenarien (mit und ohne pflanzliche Nahrung) mit einem Konzentrations-gewichteten Modell gerechnet.

4.2.9.1 „SISUS“

Das „R“-Paket „sisus“ („Stable Isotope Sourcing using Sampling“; Version 3.9-14; Erhardt, 2014; Erhardt et al., 2014) verwendet den Algorithmus der Funktion „constrppprob“ („random directions symmetric mixing algorithm“) aus dem „R“-Paket „polyapost“ (Meeden et al., 2017) zur Berechnung der Mischungsmodelle. Zur Überprüfung der Konvergenz des Algorithmus wird eine sogenannte „Markov Chain Monte Carlo“-Diagnostik (MCMC) verwendet (Erhardt et al., 2014). Der SISUS-Algorithmus läuft in zwei Schritten ab mit dem Ziel exakte Lösungen als Stichproben uniform aus dem Lösungspolytop zu ziehen. Zunächst werden mit Hilfe eines Algorithmus („Double Description Method“; vgl. Fukuda, 2005; Fukuda & Prodon, 1996) die Eckpunkte und Grenzen des Lösungspolytops bestimmt (Erhardt et al., 2014), wobei dieser Polyeder durch das lineare Ungleichungssystem

$$P = \{x = (x_1, x_2, \dots, x_d)^T \in \mathbb{R}^d : b - Ax \geq 0\} \quad (72)$$

gegeben ist. A beschreibt hierbei eine $m \times d$ (Real-)Matrix und b einen (Real-)Vektor. Ziel ist es, die Ungleichungen aus der sogenannten H-Darstellung ($H =$ „Halfroom“; Formel 72) zu verbinden, während nach und nach die V-Darstellung ($V =$ „Vertex“)

$$P = \text{conv}(v_1, \dots, v_n) + \text{nonneg}(r_{n+1}, \dots, r_{n+s}) \quad (73)$$

des Polyeders berechnet wird, der wiederum durch Ungleichungen beschrieben wird (Fukuda, 2005).

In einem zweiten Schritt erfolgt die probabilistische Stichprobe aus dem Lösungspolytop mit Hilfe des Mischungsalgorithmus. Dieser Algorithmus erfolgt wiederum in drei Stufen (Erhardt et al., 2014; Smith, 1984):

1. Zu Beginn wird ein Startpunkt innerhalb des Lösungspolytops gewählt ($\pi^{(0)} \in \mathcal{P}$) und der Startwert auf Null gesetzt ($r \leftarrow 0$).
2. Anschließend wird d , das eine zufällige Ausrichtung hat, innerhalb des Lösungspolygons uniform über alle Richtungen ($D \subseteq \mathcal{R}^s$) verteilt und eine Menge von Linien gefunden, für die gilt

$$L = \mathcal{P} \cap \{\pi^{(r)} + ld, l \in \mathbb{R}\}. \quad (74)$$

Daraufhin wird ein zufälliger Punkt $\pi^{(r+1)}$ generiert, der uniform über L verteilt ist. Hierdurch entsteht eine Menge von Linien durch den Punkt $\pi^{(r)}$ und zwei Ecken des Polytops in der gewählten Richtung. Dann wird der nächste Punkt $\pi^{(r+1)}$ generiert, der uniform und zufällig über L verteilt ist. Auf diese Weise wird das Polytop „abgelaufen“ und eine Stichprobe gezogen.

3. Sobald eine bestimmte Anzahl von Stichproben ($r = R$) erreicht wurde, stoppt die Berechnung. Bis zu diesem Zeitpunkt erhöht sich r in jeder Runde mit $r \leftarrow r + 1$ und der Algorithmus wiederholt sich ab Schritt 2.

Im R-Skript (Begleitband zur Dissertation) wird in Kapitel 10.1 die Erstellung von Mischungsmodellen mittels „SISUS“ mit „R“ beschrieben.

4.2.9.2 „simmr“

Das R-Paket „simmr“ („stable isotope mixing models in R“; Version 0.3; Parnell, 2016) ermöglicht die Berechnung von Mischungsmodellen mittels Bayes-Statistik.

Untersucht werden J Isotopensysteme von N Konsumenten und K Messwerte der Nahrungsquellen. Insgesamt ergeben sich damit N_k^s Messungen von Quelle k und N_k^c Messungen der Trophiestufenfaktoren (TEF) für Quelle k . Zwischen Konsumenten-, Nahrungsquellen- und TEF-Daten wird eine bedingte Unabhängigkeit angenommen. Es ergeben sich die folgenden Likelihood-Funktionen:

$$Y_i \sim \mathcal{N}(p_i^T(s_i + c_i), \Sigma) \text{ mit } i = 1, \dots, N \quad (75)$$

$$Y_{ik}^s \sim \mathcal{N}(\mu_k^s, \Sigma_k^s) \text{ mit } i = 1, \dots, N_k^s \text{ und } k = 1, \dots, K \quad (76)$$

$$Y_{ik}^c \sim \mathcal{N}(\mu_k^c, \Sigma_k^c) \text{ mit } i = 1, \dots, N_k^c \text{ und } k = 1, \dots, K \quad (77)$$

mit Y_i als dem J -Vektor der Isotopenwerte von Konsument i , Y_{ik}^s als dem J -Vektor der Messwerte der Quellen für Konsument i und Quelle k , sowie Y_{ik}^c als dem J -Vektor der TEF-Werte für Konsument i und Quelle k . Weiter beschreiben μ_k und Σ_k den Mittelwertsvektor und die Kovarianzmatrix der Nahrungsquellen (μ_k^s, Σ_k^s) bzw. TEF (μ_k^c, Σ_k^c). Der Hauptfokus liegt auf der Berechnung der prozentualen Beiträge der unterschiedlichen Nahrungsquellen, wobei p_i den K -Vektor der Anteile für den Konsumenten i darstellt. Weiter werden s_i und c_i , die $J \times K$ -Matrix der Isotopenwerte für die Nahrungsquellen des Konsumenten i bzw. der TEF-Werte bezogen auf den Konsumenten i , benötigt (Parnell et al., 2013).

Die Nahrungsanteile (p_{ik}) werden mittels der sogenannten „isometric logratio“ (ilr) Transformation (Egozcue et al., 2003) modelliert. Die Punkte $\vec{x} = (x_1, \dots, x_D)^T$ eines D -dimensionalen Stichprobenraum (Simplex) können durch die ilr-Transformation mit

$z = (z_1, \dots, z_{D-1}) = \text{ilr}(x)$ und

$$z_i = \sqrt{\frac{D-i}{D-i+1}} \ln \frac{x_i}{\sqrt{\prod_{j=i+1}^D x_j}}; \quad i = 1, \dots, D-1 \quad (78)$$

in Punkte eines (D-1)-dimensionalen Raumes überführt werden. Dadurch ist die Analyse multivariater Datensätze im realen Raum möglich. Aufgrund der ilr-Transformation wird nun in einem (K-1)-dimensionalen Raum gearbeitet (Egozcue et al., 2003; Filzmoser et al., 2009; Tsagris et al., 2011). Die transformierten Anteile werden so parametrisiert, dass gilt

$$\Phi_{ik} \sim \mathcal{N}(\gamma_{ik}, \kappa_k). \quad (79)$$

Hierbei steht κ_k für die Varianz eines zufälligen Effektes, der *a priori* eine inverse Gamma-Verteilung mit unbestimmter Varianz annimmt. Zudem wird γ_{ik} als Durchschnittswert festgelegt (Parnell et al., 2013).

Im R-Skript (Begleitband zur Dissertation) wird in Kapitel 10.2 die Erstellung von Mischungsmodellen mittels „simmr“ mit „R“ beschrieben.

4.2.9.3 „MixSIAR“

Das „R“-Paket „MixSIAR“-Modell (Version 3.1 Stock et al., 2018; Stock & Semmens, 2016) vereint die Vielzahl von Bayes-Ansätzen, die in den vergangenen Jahren entwickelt wurden (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Übersicht über die in anderen Mischungsmodellen verwendeten Ansätze, die in „MixSIAR“ implementiert sind (Stock et al., 2018). Das entsprechende Modell, das den überarbeiteten Ansatz beinhaltet, wird, wo möglich, benannt.

Verfahren	Beschreibung	Quelle	Modell
Konzentrationsabhängigkeit	Quellen tragen unterschiedlich zum Isotopenwert im Gewebe des Konsumenten bei	Phillips & Koch (2002)	IsoConc
Prozessfehler	Stichprobenfehler bei Quellenwerten (Konsument)	Moore & Semmens (2008)	MixSIR
Fraktionierungsfehler	Konsumenten verarbeiten Gewebe der Nahrungsquellen unterschiedlich	Moore & Semmens (2008)	MixSIR
Individueller (zufälliger) Effekt	Individuelle Mischungen unterscheiden sich zufällig vom Mittelwert	Semmens et al. (2009)	MixSIR
Zufällige/feste Effekte	Individuelle Mischungen unterscheiden sich vom Mittelwert auf eine vorhersagbare Art und Weise (kategoriale Kovariable)	Semmens et al. (2009)	MixSIR
Hierarchisches Fitten der Quellen	Stichprobenfehler bei Quellenwerten (Versuchsleiter)	Ward et al. (2010)	
Residuenfehler	Ungeklärte Variabilität in den Konsumentendaten	Parnell et al. (2010)	SIAR
Kontinuierliche Effekte	Individuelle Mischungen unterscheiden sich vom Mittelwert auf eine vorhersagbare Art und Weise (kontinuierliche Kovariable)	Francis et al. (2011)	
Kovarianz	Isotopen in Nahrungsquellen- und Konsumentendaten kovariieren	Hopkins & Ferguson (2012)	IsotopeR
Prozessfehler x Residuenfehler	Varianz-Ausdruck im Konsumenten aufgrund des Mischungsvorganges	Stock & Semmens (2016)	

Neu ist hierbei, dass all diese Ansätze in einem einzigen Programm verfügbar sind. Dies ermöglicht die „JAGS“ („Just another Gibbs sampler“) Software. Im Gegensatz zu „MixSIR“ (Moore & Semmens, 2008) oder „SIAR“ (Parnell et al., 2010) werden die Quellen-Daten bei „MixSIAR“ hierarchisch angepasst, was als „volles“ Bayes-Model bezeichnet wird.

„MixSIAR“ berechnet einen Mischungsmittelwert μ_{ij}^m für jedes Individuum

$$\mu_{ij}^m = \frac{\sum_k p_{ik} q_{jk} (\mu_{jk}^s + \lambda_{jk})}{\sum_k p_{ik} q_{jk}} \quad (80)$$

aus den prozentualen Nahrungsanteilen von Quelle k für Konsument i (p_{ik}), den angepassten Nahrungsmittelwerten der k Quellen und j Isotopensystemen (μ_{jk}^s), die durch die mittleren Trophiestufenfaktoren (TEF; λ_{jk}) korrigiert werden, sowie der Konzentration des Isotops j in Quelle k (q_{jk}). Dieses Vorgehen ist identisch zu dem in „IsoSource“ (Phillips & Gregg, 2003; Phillips & Gregg, 2001), „MixSIR“ (Moore & Semmens, 2008), „SIAR“ (Parnell et al., 2010) oder „IsotopeR“ (Ferguson & Hopkins, 2016; Hopkins & Ferguson, 2012). Die *a priori* aus eine Dirichlet-Verteilung stammenden Nahrungsanteile p_{ik} werden ilr-transformiert (vgl. Formel 78 und Kapitel 4.2.9.2).

Die Mischungsvarianz wird, da das Modell auf Individuenebene betrachtet werden soll,

mittels des sogenannten „Prozessfehlers“

$$\sigma_i^2 = \sum_k p_k^2 (w_{ik}^2 + \tau_{ik}^2) \quad (81)$$

$$\Sigma_i = \text{diag}(\sigma_i^2) \quad (82)$$

berechnet, wobei w_{ik}^2 der Varianz des Konsumenten i für Quelle k beschreibt und τ_{ik}^2 die Varianz des TEF des Konsumenten i für Quelle k. Dieser Fehler wird von Stock & Semmens (2016) als Variabilität in den Konsumentendaten definiert, die entweder durch einen Fehler bei der Beprobung oder durch die Variabilität der Konsumenten an sich hervorgerufen wird. Der „Prozessfehler“ berücksichtigt damit beispielsweise individuelle Unterschiede in der Stoffwechselrate oder der Assimilationseffizienz der Konsumenten (vgl. Boecklen et al., 2011).

Durch die Wahl des Prozessfehlers entspricht das Modell im vorliegenden Fall dem „MixSIR“-Modell (vgl. Tabelle 2). Die Mischungs-Likelihood für Konsument i und Quelle j (Y_{ij}) berechnet sich damit über die Formeln 80 und 82 (Stock et al., 2018) durch

$$Y_{ij} \sim \mathcal{N}(\mu_{ij}^m, \Sigma_i). \quad (83)$$

Im R-Skript (Begleitband zur Dissertation) wird in Kapitel 10.3 die Erstellung von Mischungsmodellen mittels „MixSIAR“ mit „R“ beschrieben.

4.2.9.4 „Simulierte Mischungspolygone“

Für die Simulation eines Mischungspolygons werden durch wiederholte Monte Carlo-Simulationen die Isotopensignaturen der Nahrungsquellen für jedes Isotopensystem als Stichproben aus einer univariaten Normalverteilung gezogen. Die Isotopenwerte werden mit Hilfe von Trophiestufenfaktoren, die ebenfalls von einer univariaten Normalverteilung stammen, umgerechnet. Bei jeder Wiederholung wird ein Mischungspolygon erzeugt und überprüft, ob ein Konsument innerhalb oder außerhalb des Polygons liegt. Die Simulation wird so lange wiederholt bis sich die Varianz der Polygonfläche stabilisiert (etwa 1500

mal). Anschließend kann berechnet werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Konsument innerhalb des Polygons liegt (Smith et al., 2013). Dementsprechend kann diese Einschätzung verwendet werden, um Konsumenten aus der Berechnung von Mischungsmodellen auszuschließen.

Die Simulation von Mischungspolygonen erfolgt mit einem von Smith et al. (2013) geschriebenen R-Code. Im R-Skript (Begleitband zur Dissertation) wird in Kapitel 10.4 die Erstellung von simulierten Mischungspolygonen mit „R“ beschrieben.

4.2.10 Begleitband: R-Skript

Für die vorliegende Arbeit wird die Software „R“ (Versionen 3.1.2 - 3.5.1; R Developmental Core Team, 2018) verwendet. Das zugehörige R-Skript findet sich im Begleitband zur Dissertation. Dieses Skript erlaubt die Reproduktion der mittels „R“ erfolgten Auswertung anhand des beispielhaft gewählten Teildatensatzes der Fische aus Haithabu und Schleswig.

5 Ergebnisse

5.1 Clusterverfahren

Die Illustration der Clusterverfahren erfolgt am Beispiel des vier-dimensionalen Teildatensatzes der Fische ($n = 46$; Tabelle A1) aus Haithabu und Schleswig. Die konventionelle (bivariate) Datenauswertung der Isotopendaten der Fische (Abbildungen A1 und A2) erlaubt keine Interpretation der Daten hinsichtlich Gruppierungen bezüglich Habitat oder Spezies. Es können lediglich jeweils zwei Gruppen von Dorschen, Hechten, Stören bzw. Zandern aufgrund ihrer $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte unterschieden werden (Abbildung A2).

Im Folgenden werden daher zwei Clusterverfahren (k-means und „Gaussian Mixture Model“ (GMM)) auf die Daten angewendet, um den Informationsgehalt im vier-dimensionalen Datensatz auf multivariater Ebene zu untersuchen.

5.1.1 k-means

Für den Fisch-Datensatz wird aufgrund der untersuchten Spezies (vgl. Tabelle A1) zunächst angenommen, dass drei Cluster zu finden sein müssten: ein Süßwasser-, ein Brackwasser, sowie ein Salzwasser-Cluster. Dies lässt sich durch das unterschiedliche Maß an Toleranz gegenüber Salinität für die einzelnen, untersuchten Spezies (vgl. Tabelle A1) erklären. Entsprechend wird für die k-means-Clusteranalyse eine Clusterzahl von $k = 3$ gewählt. Diese Clusterzahl weist tatsächlich auch den minimalen (optimalen) BIC-Wert auf (vgl. Abbildung A3).

Die Clustereinteilung findet sich in Tabelle A9. Abbildung 5 stellt die Clustereinteilung graphisch dar. Von den insgesamt 46 Individuen werden jeweils 18 in Cluster 1 und 3 eingeordnet, die übrigen zehn Individuen in das zweite Cluster (Tabelle A9).

Individuen aus Cluster 1 zeigen niedrigere $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ - und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte als die in das zweite und dritte Clusters eingeordneten Individuen. Die Fische des dritten Clusters unterscheiden sich von den Individuen der anderen beiden Cluster durch ihre positiveren $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte (vgl. Abbildung 5 und Tabelle 3). Insgesamt weisen die Individuen aus Cluster 1 in allen vier Dimensionen eher niedrige Isotopenwerten auf (vgl. auch Ta-

belle 3). Dies lässt sich mit einem Süßwasser-Habitat erklären. Dem gegenüber stehen mit dem zweiten und dritten Cluster wohl zwei Brack- oder Salzwasser-Cluster (Abbildung 5 und Tabelle A9). Die bereits erwähnte Anreicherung in ^{18}O im dritten Cluster ist auffällig (Abbildung 5 und Tabelle 3). Da sich die beiden Cluster nicht bezüglich ihrer $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Werte unterscheiden, was für einen Salinitätsunterschied sprechen würde, ist dieser Unterschied bezüglich der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte durch einen Temperatur-Effekt zu erklären. Fische des dritten Clusters stammen vermutlich aus einem kälteren Habitat als die Individuen der beiden anderen Cluster. Die Fische des dritten Clusters sind demnach wahrscheinlich primär nicht lokal.

Somit kann mit Hilfe der k-means-Clusteranalyse zwischen Fischen aus Habitaten geringerer und höherer Salinität unterschieden werden. Zudem ist es möglich, nicht lokale Individuen zu identifizieren.

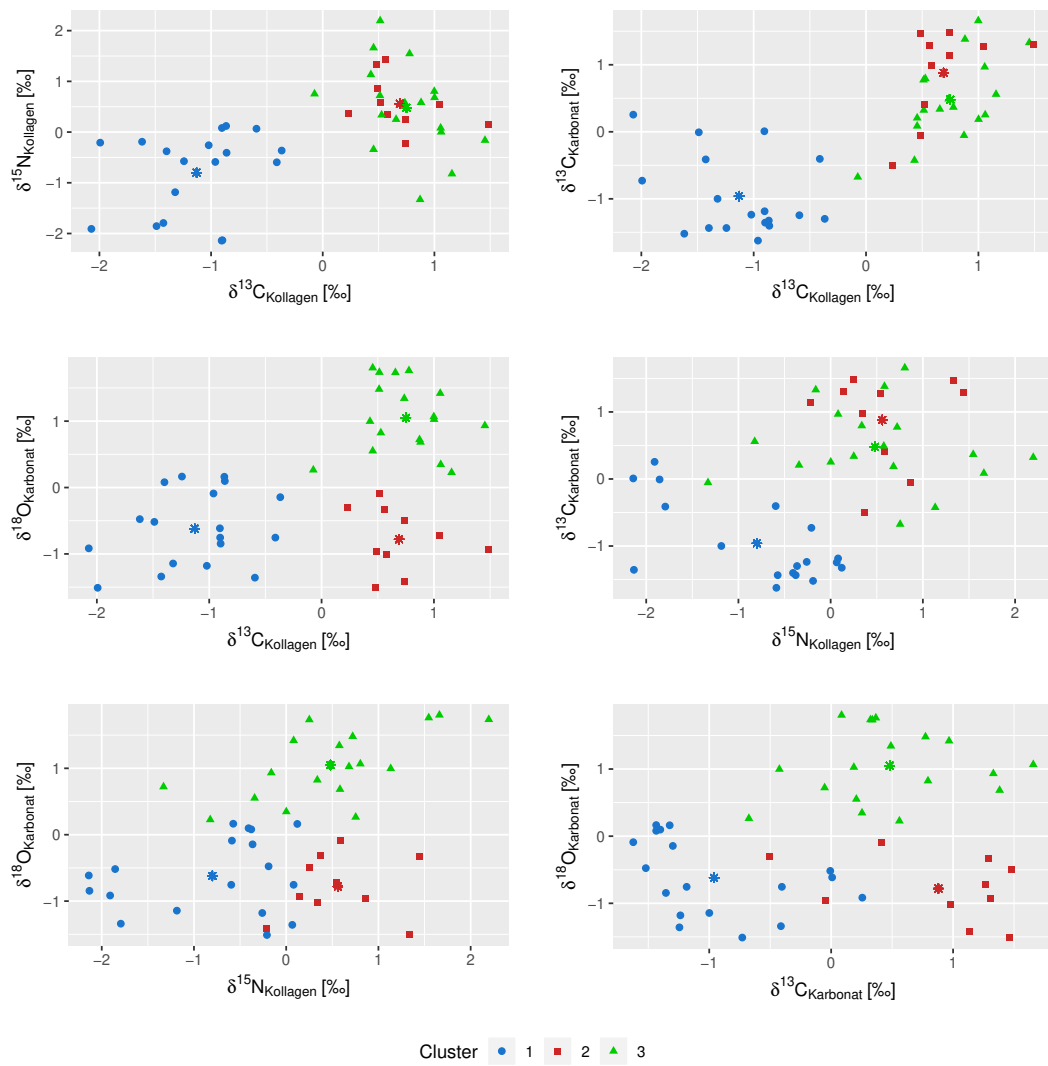


Abbildung 5: Plot der resultierenden k-means-Cluster für den skalierten, vier-dimensionalen Datensatz I ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$). Geclustert wurden hierbei nur Fische aus Haithabu und Schleswig. Die Clusterzentren (vgl. Tabelle 3) sind jeweils mit farblich angepassten Sternchen gekennzeichnet. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck).

Tabelle 3: Clusterzentren für die Clusteranalyse mittels k-means für den vier-dimensionalen Datensatz der Fische (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig ($k = 3$).

Cluster	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$
1	-1,13	-0,80	-0,96	-0,62
2	0,69	0,56	0,88	-0,78
3	0,75	0,48	0,48	1,05

5.1.2 „Gaussian Mixture Model“ (GMM)

Anmerkung

Dieses Kapitel verwendet Material aus folgender Publikation:

- **Göhring, A.**, Mauder, M., Kröger, P., Grupe, G. (2016). „Using Gaussian Mixture Model clustering for multi-isotope analysis of archaeological fish bones for palaeobiodiversity studies“. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 30 (11), 1349-1360.

Wie schon für k-means (Kapitel 5.1.1) wird auch für GMM zunächst eine Clusterzahl von drei (Süßwasser, Brackwasser, Salzwasser) angenommen. Entsprechend wird die Clusterzahl auf drei festgesetzt. Zudem wird das „EII“-Modell (Fraley et al., 2012) ausgewählt. Dieses Modell ist das einfachste (mehr-dimensionale) Modell, welches das „mclust“-Paket bereitstellt (vgl. Tabelle A8; Fraley et al., 2012). Obwohl, wie in Abbildung A4 sichtbar ist, die Modelle „EEI“, „VVI“ und „EVE“ für drei Cluster einen $BIC_{M,G}$ -Wert aufweisen, der weniger negativ und damit optimaler ist, so ist doch ein einfacheres Modell stets empfehlenswert.

Mit der Vorgabe von drei Clustern, sowie dem „EII“-Modell ergibt sich die in Abbildung 6 und Tabelle A10 gezeigte Clustereinteilung. Von den 46 geclusterten Fischen werden 28 in das erste Cluster eingeordnet, 13 in das zweite und die übrigen fünf Individuen in das dritte Cluster.

Die Individuen aus dem ersten Cluster unterscheiden sich deutlich von denen der anderen beiden Cluster. Diese Unterscheidung erfolgt in erster Linie aufgrund positiverer $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ - und $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Werte. Auch die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte sind tendenziell etwas positiver als bei den Fischen des zweiten und dritten Clusters, jedoch überlappen sich die drei Cluster bezüglich ihrer $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte relativ stark (Abbildung 6, Tabelle 4). Ein Vergleich des zweiten und dritten Clusters wiederum zeigt, dass Individuen des dritten Clusters angereichert sind bezüglich $^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (Tabelle 4).

Die Isotopie des ersten Clusters lässt sich mit einem Salzwasser- bzw. Brackwasser-Einfluss erklären. Cluster 2 hingegen weist, erkennbar an den relativ negativen Isotopenwerten,

ein Süßwasser-Signal auf. Fische des dritten Clusters wiederum zeigen, verglichen mit Individuen des zweiten Clusters, eine höhere Salinität, während diese jedoch deutlich unter der des ersten Clusters liegt. Hier dürfte es sich um ein Brackwasser-Cluster handeln.

Tabelle 4: Mittelwert (μ) und Standardabweichung (SD) in den Isotopensystemen je GMM-Cluster („EII“, 3 Cluster; Scrucca et al., 2016) für die Fische aus Haitahu und Schleswig. Aufgrund der Wahl des „EII“-Modelles ist die Standardabweichung für alle Cluster und Isotopensysteme identisch.

μ	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	-14,90	-22,63	-25,03
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	12,70	10,17	6,69
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	0,87	-6,35	-2,62
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	-8,54	-11,52	-13,09
SD	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	2,20	2,20	2,20
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	2,20	2,20	2,20
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	2,20	2,20	2,20
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	2,20	2,20	2,20

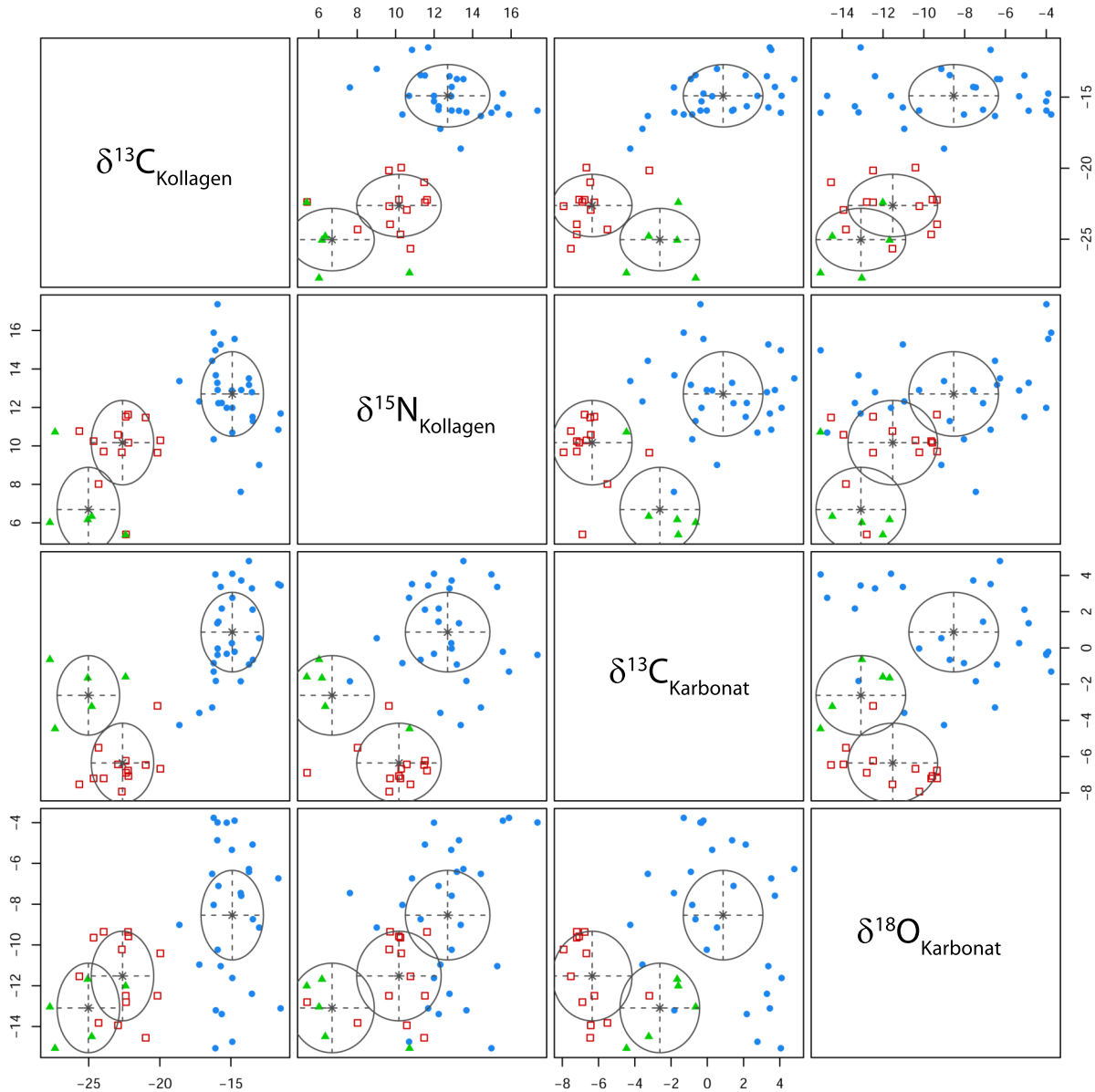


Abbildung 6: Paarweiser, bivariater Plot der resultierenden drei GMM-Cluster des „EII“-Modells (Scrucca et al., 2016) für den vier-dimensionalen Datensatz I ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$). Geclustert wurden hierbei nur Fische aus Haithabu und Schleswig. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck).

Die Zuordnungswahrscheinlichkeiten in die drei Cluster (vgl. Abbildung 7) sind in Tabelle A11 aufgeführt. Nur fünf Individuen (Brachse 38 B5C, Flussbarsch 48 FB5Pop, Hecht 10 H1C, 51 H3C, 53 H5De) zeigen eine gewisse Unsicherheit in der Clusterzuordnung, was sich in Zuordnungswahrscheinlichkeiten von 52,7 % (Brachse 38 B5C) bis 85,8 % (Flussbarsch 48 FB5Pop) äußert (Abbildung 7). Drei dieser Fische (Brachse 38 B5C, Hecht

51 H3C, 53 H5De) werden in das zweite bzw. dritte Cluster eingeteilt, wobei sie mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auch dem jeweiligen anderen Cluster zugewiesen werden könnten (Abbildung 7). Eine eindeutige Zuordnung in ein Cluster ist demnach für diese Individuen nicht möglich. Die übrigen zwei Fische (Flussbarsch 48 FB5Pop, Hecht 10 H1C) werden in das erste Cluster eingeteilt. Mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit könnten sie allerdings auch dem zweiten Cluster zugewiesen werden (Abbildung 7). Zwei der insgesamt 46 Individuen (4,3 %; Brachse 38 B5C, Hecht 10 H1C) können nicht klassifiziert werden, da sie mit einer Wahrscheinlichkeit von ungefähr 50 : 50 in zwei Cluster eingeordnet werden könnten (Abbildung 7 und Tabelle A11).

Die Unsicherheit in den Clusterzuweisungen wird in Abbildung 7 dargestellt. Hierbei bezieht sich die Größe der Punkte auf die Unsicherheits-Quantile. Es ist auffällig, dass die Einteilung in das erste Cluster (Salzwasser-Cluster) besonders eindeutig zu sein scheint, da die kleinsten Punkte sich vermehrt dort häufen. Damit kann dieses Cluster gut (und eindeutig) von den anderen beiden Clustern unterschieden werden. Die drei größten Punkte in Abbildung 7 stellen jeweils dieselben drei Fische dar: Brachse 38 B5C, Hecht 10 H1C und Hecht 51 H3C. Diese drei Individuen zeigen die größten Klassifizierungsunsicherheiten (Tabelle A11).

Eine gewisse natürliche Variabilität, bestimmte (kleinräumige) Nischen können nicht ausgeschlossen werden, was die Clusterzuweisung erschwert. Auch ist es denkbar, dass manche Individuen nicht lokal waren, sondern nach Haithabu bzw. Schleswig importiert wurden. Es ist damit zu erwarten, dass manche Individuen dem Clustermodell widersprechen.

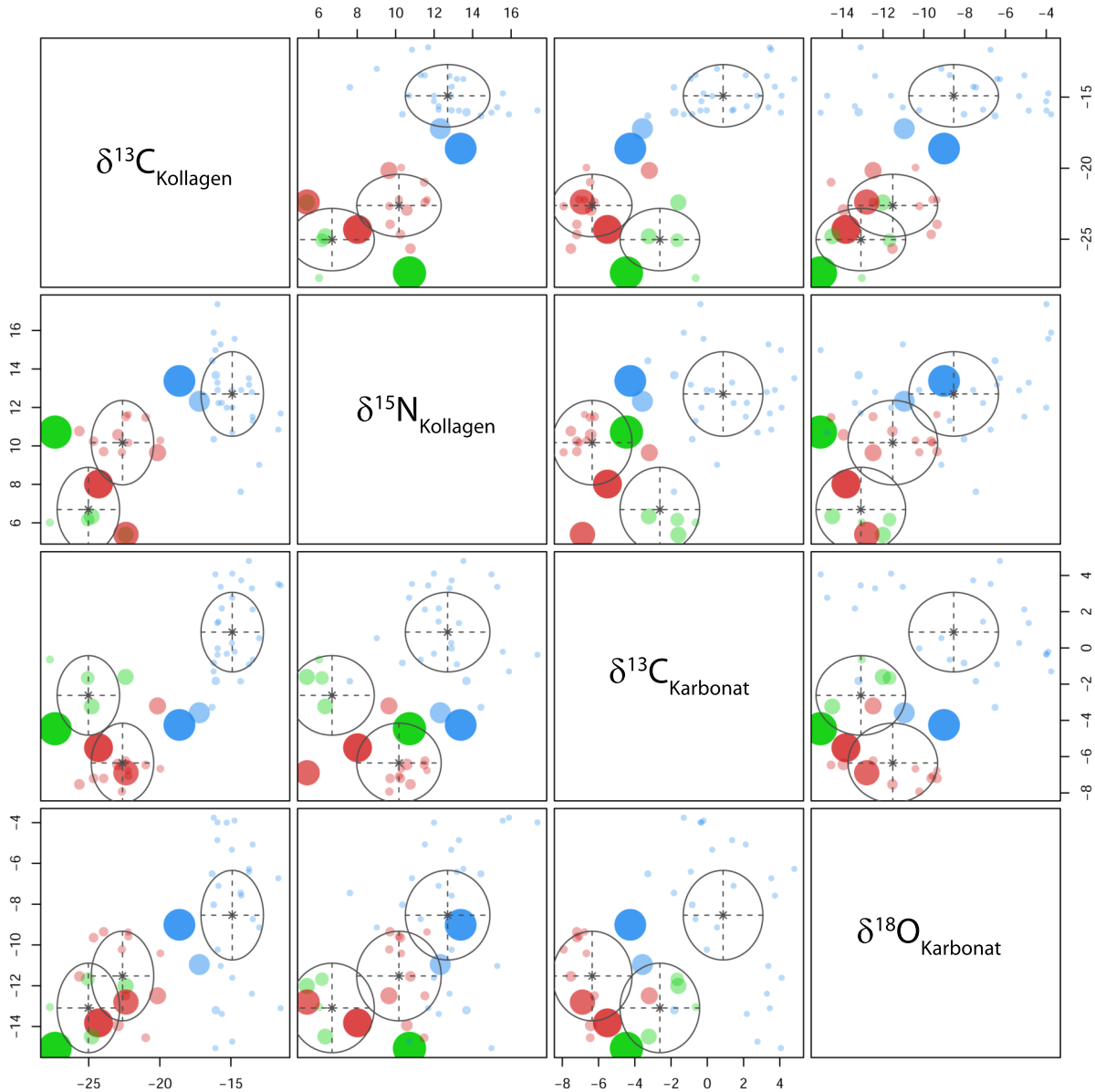


Abbildung 7: Paarweiser, bivariater Plot zur Darstellung der Cluster-Unsicherheit der resultierenden drei GMM-Cluster des „EII“-Modells (Scrucca et al., 2016) für den vier-dimensionalen Datensatz I ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$). Geclustert wurden hierbei nur Fische aus Haithabu und Schleswig. Cluster 1: blau, Cluster 2: rot, Cluster 3: grün. Große Kreise: $> 95\%$ Unsicherheits-Quantil, kleinere Kreise: $75\% - 95\%$ Unsicherheits-Quantil, Punkte: $< 75\%$ Unsicherheits-Quantil.

Während die Wahl der drei Cluster den Erwartungen über die ökologischen Merkmale der Fundorte und auch der untersuchten Fischart entspricht, so beträgt doch die mathematisch optimale Clusterzahl für das einfachste Modell „EII“ vier (vgl. Abbildung A4). Die Zuordnung der untersuchten Individuen in die Cluster ist in Abbildung 8 und Tabelle A12

dargestellt.

Das ursprüngliche erste Cluster (Tabelle A10) wird nun in zwei Cluster (Cluster 1 und 2) aufgeteilt (vgl. Tabelle A12). Lediglich zwei Individuen, Barsch 48FB5Pop und Hecht 10H1C, die zuvor in das marine Cluster (Cluster 1) eingeteilt wurden (Tabelle A10), finden sich jetzt in der vierten Gruppe (Tabelle A12). Individuen des früheren zweiten Clusters (Tabelle A10) - mit Ausnahme von Hecht 51H3C und 53H5De, die dem neuen dritten Cluster zugewiesen werden - werden jetzt in das vierte Cluster eingeordnet. Das dritte Cluster entspricht (bis auf die beiden bereits genannten Hechte) dem früheren dritten Cluster (Tabellen A10 und A12).

Die vier mathematisch bestimmten Cluster lassen sich aufgrund ihrer Isotopie wie folgt definieren: Das erste und zweite Cluster ist durch ein starkes Salzwasser- bzw. Brackwasser-Signal bestimmt. Zudem finden sich ein Süßwasser-Cluster (Cluster 3) und ein Brackwasser-Cluster (Cluster 4). Wie Abbildung 8 zeigt, lassen sich das erste und zweite Cluster deutlich von Cluster 3 und 4 trennen. Individuen der ersten beiden Cluster zeigen eine Anreicherung im ^{13}C des Kollagens und Karbonats. Dies ist vereinbar mit einem marinen Einfluss. Die Fische des dritten und vierten Clusters zeigen hingegen niedrigere $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ - und $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Werte. Auch bezüglich der $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte lassen sich Fische aus Cluster 1 und 2 von denen aus Cluster 3 und 4 unterscheiden. Die Fische der ersten beiden Cluster zeigen auch hier eine Anreicherung im schweren Isotop. Dies verdeutlicht erneut das marine Signal dieser Cluster.

Individuen des ersten und zweiten Clusters lassen sich aufgrund ihrer $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte isotopisch voneinander trennen (Abbildung 8 und Tabelle 5). Fische des ersten Clusters sind isotopisch angereicht in ^{18}O , während Individuen des zweiten Clusters negativere Sauerstoffwerte aufweisen, die denen aus Cluster 3 und 4 relativ ähnlich sind. Wie schon für die k-means-Clusteranalyse (Kapitel 5.1.1) kann hierbei ausgeschlossen werden, dass diese Trennung des ersten und zweiten Clusters erneut durch Salinitätsunterschiede hervorgerufen wird. Ein solcher Unterschied müsste sich, wie bereits erwähnt, auch in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Werten der entsprechenden Fische wiederfinden, was jedoch nicht der Fall ist (Abbildung 8, Tabelle 5). Die wahrscheinlichste Erklärung für diesen Unterschied in

den Sauerstoffisotopenwerten ist ein Temperatur-Effekt (vgl. z. B. Craig, 1961; Newsome et al., 2007). Da die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte von Fischen mit dem Umgebungswasser der Tiere zusammenhängt (vgl. z. B. Koch, 2007), weisen höhere $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte auf eine höhere Temperatur des umgebenden Wassers hin. Folglich lebten die Fische des ersten Clusters offenbar in einem kälteren Gebiet als jene des zweiten Clusters. Der Unterschied in der Sauerstoffisotopie wird durch die unterschiedlichen Mittelwerte des ersten (-6,40 ‰) und zweiten (-12,85 ‰) Clusters verdeutlicht (Tabelle 5). Somit ist eine unterschiedliche Herkunft der Fische, die in das erste Cluster eingeteilt wurden, durchaus wahrscheinlich. Dies wird auch dadurch nochmals unterstützt, dass sich die Fische aus Cluster 1 in ihrer Sauerstoffisotopie deutlich von allen anderen Clustern unterscheiden (vgl. Abbildung 8). Fische des ersten Clusters sind somit als nicht-lokal einzuordnen. Sie wurden offenbar in kälteren Gewässern (evtl. in Teilen der Nordsee; sh. Abbildung 4) gefangen und nach Haithabu bzw. Schleswig importiert.

Tabelle 5: Mittelwert (μ) und Standardabweichung (SD) in den Isotopensystemen je GMM-Cluster („EII“, 4 Cluster; Scrucca et al., 2016) für die Fische aus Haithabu und Schleswig. Aufgrund der Wahl des „EII“-Modelles ist die Standardabweichung für alle Cluster und Isotopensysteme identisch.

μ	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	-14,77	-14,84	-25,02	-22,08
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	12,62	12,87	6,92	10,55
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	0,36	2,49	-3,07	-6,28
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	-6,40	-12,85	-13,25	-11,21
SD	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	1,81	1,81	1,81	1,81
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	1,81	1,81	1,81	1,81
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	1,81	1,81	1,81	1,81
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	1,81	1,81	1,81	1,81

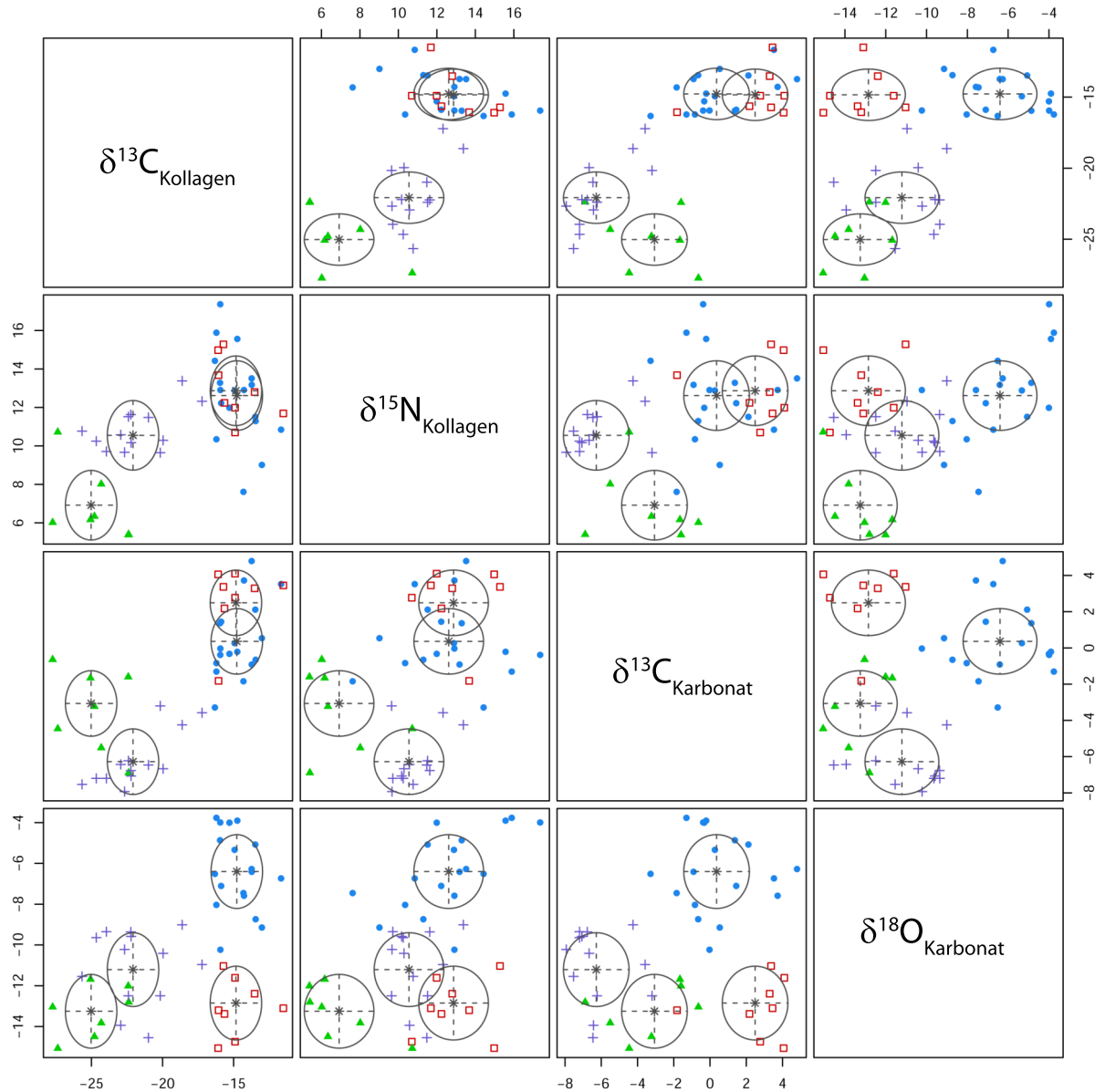


Abbildung 8: Paarweiser, bivariater Plot der resultierenden, optimalen vier GMM-Cluster des „EII“-Modells (Scrucca et al., 2016) für den vier-dimensionalen Datensatz I ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$). Geclustert wurden hierbei nur Fische aus Haithabu und Schleswig. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck), Cluster 4: violett (Plus).

Auch im Modell mit vier Clustern kommt es zu gewissen Unsicherheiten bei der Zuordnung mancher Individuen (Tabelle A13). Fünf Individuen zeigen Zuordnungswahrscheinlichkeiten unter 90 % (Flussbarsch 48 FB5Pop, Hechte 10 H1C, 51 H3C, 53 H5De, Schellfisch 60 SF2C).

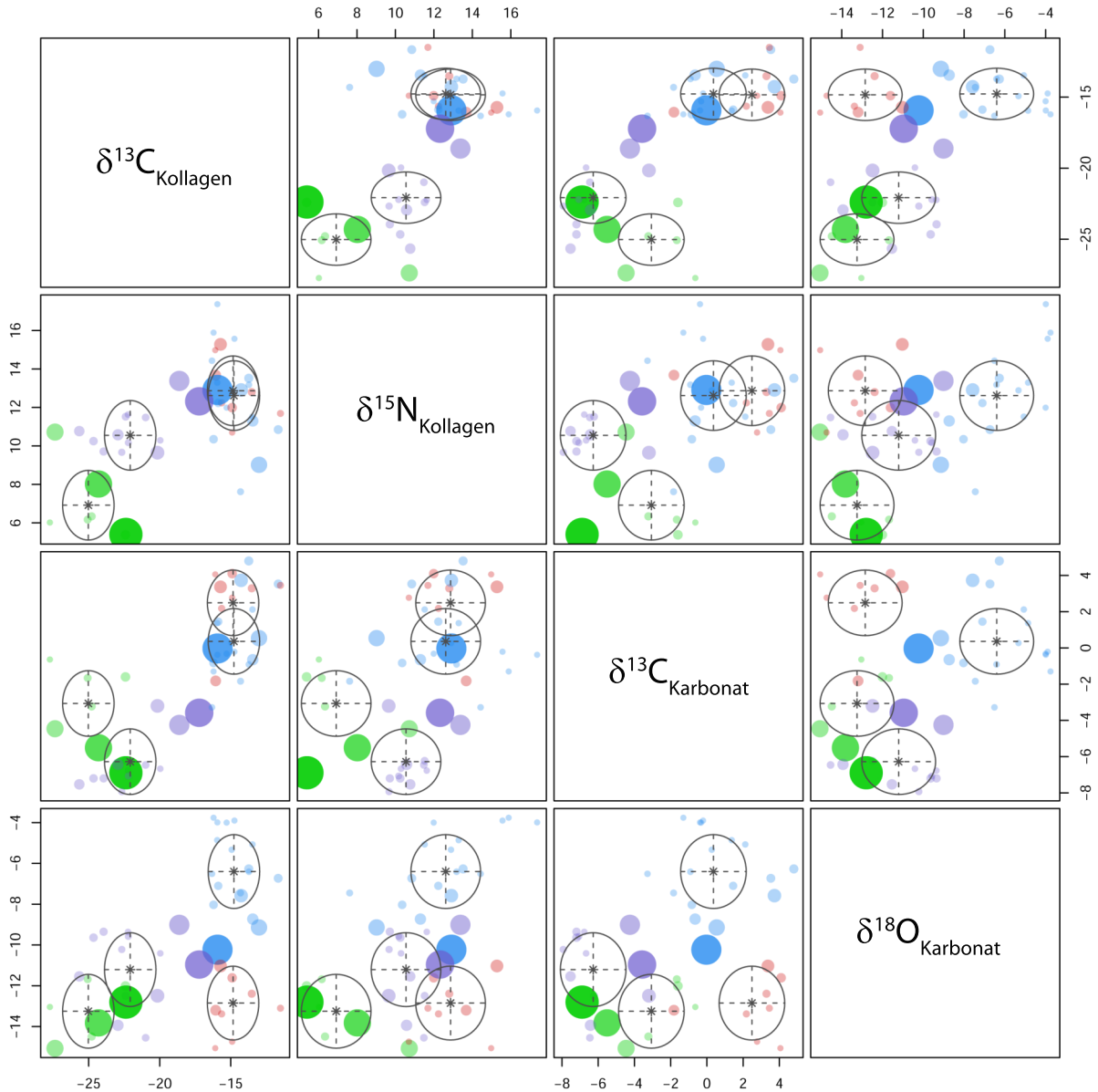


Abbildung 9: Paarweiser, bivariater Plot zur Darstellung der Cluster-Unsicherheit der resultierenden, optimalen vier GMM-Cluster des „EII“-Modells (Scruc-
ca et al., 2016) für den vier-dimensionalen Datensatz I ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$,
 $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$). Geclustert wurden hierbei nur Fi-
sche aus Haithabu und Schleswig. Cluster 1: blau, Cluster 2: rot, Cluster
3: grün, Cluster 4: violett. Große Kreise: > 95 % Unsicherheits-Quantil,
kleinere Kreise: 75 % - 95 % Unsicherheits-Quantil, Punkte: < 75 %
Unsicherheits-Quantil.

Der Schellfisch 60 SF2C wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 61,6 % in das erste Cluster eingeordnet, wobei er jedoch mit einer Wahrscheinlichkeit von 38,4 % auch in Cluster 2 gehören könnte (Tabelle A13). Beide Cluster sind zwar Salzwasser-Cluster, doch dies bedeutet den Unterschied zwischen potenziell nicht-lokal (Cluster 1) und potenziell lokal

(Cluster 2). Zwei Hechte (51 HC3, 53 H5De) werden mit Wahrscheinlichkeiten von 51,0 % bzw. 70,3 %

in das dritte Cluster eingeteilt, während sie aber mit einer Wahrscheinlichkeit von 49,0 % bzw. 29,7 % dem vierten Cluster zugewiesen werden (Tabelle A13). Isotopisch gesehen sind sich Cluster 3 und 4 relativ ähnlich. Größere Unterschiede in der Isotopensignatur bestehen hingegen zwischen den Clusterpaaren 1/2 und 3/4. Zwei Individuen (Flussbarsch 48 FB5Pop, Hecht 10 H1C) werden mit Wahrscheinlichkeiten von 67,1 % bzw. 86,8 % in Cluster 4 eingeordnet, könnten mit einer geringen Wahrscheinlichkeit (26,2 % bzw. 13,2 %) allerdings auch dem ersten Cluster zugewiesen werden (Tabelle A13). Im Falle von Hecht 10 H1C lässt sich dies wohl durch ein für Cluster 1 typisches Kollagensignal, bei einem gleichzeitig für Cluster 4 typischem Karbonatsignal erklären. Dieses Individuum lebte möglicherweise in einem Brackwasserhabitat, ernährte sich aber anders als die übrigen Hechte im vierten Cluster. Flussbarsch 48 FB5Pop zeigt erneut ein Süßwassersignal, wie schon im Modell mit drei Clustern (sh. oben).

Zur Überprüfung des Clusterverfahrens wird im Rahmen einer Diskriminanzanalyse ein Klassifikator trainiert, der zwischen den unterschiedlichen Habitaten (Süß-, Brack-, Salzwasser) bzw. zwischen wahrscheinlich lokalen und nicht-lokalen Individuen unterscheiden kann. Die Klassenzuweisungen basieren hierbei auf den Clusterergebnissen (sh. oben). Für die Evaluation des Klassifikators werden die Daten zufällig im Verhältnis 2 : 1 in einen Trainings- und einen Testdatensatz aufgeteilt, um den Klassifikator zu trainieren. Hierbei werden diejenigen Trainingsdatensätze, die nicht alle Klassen repräsentieren, aus dem Kollektiv entfernt. Insgesamt werden 100 Trainingsdatensätze und die zugehörigen Testdatensätze erzeugt. Die Trainingsdaten werden jeweils zum Trainieren eines EM-Klassifikators auf Basis eines GMM verwendet.

Für die Diskriminanzanalyse der Einteilung in drei Cluster zeigt sich ein mittlerer Trainingsfehler von 0 % (± 0 %), sowie ein mittlerer Testfehler von etwa 8,0 % ($\pm 6,8$ %) (Tabelle A15). Im Hinblick auf den relativ kleinen Datensatz ist dies ein recht gutes Ergebnis. Im Falle von vier Clustern steigt der mittlere Testfehler auf ca. 16,7 % ($\pm 10,7$ %) an. Der mittlere Trainingsfehler liegt nach wie vor bei 0 % (Tabelle A15).

Für beide Modelle ist der bestimmte Testfehler (3 Cluster: $8,0 \% \pm 6,8 \%$; 4 Cluster: $16,7 \% \pm 10,7 \%$) besser als die erwarteten (zufälligen) Fehler von $33,\bar{3} \%$ bzw. 25% . Das bessere Ergebnis für das Modell mit drei Clustern kann damit erklärt werden, dass es einfacher ist die Ergebnisse von drei Clustern richtig zu reproduzieren als von vier, denn mit steigender Clusterzahl steigt auch die Komplexität bei der Clustertrennung. Zudem ist die Wahrscheinlichkeit einer falschen Zuordnung bei einer Aufteilung in vier Cluster ($\frac{3}{4}$) höher als für drei Cluster ($\frac{2}{3}$), wodurch ohnehin ein höherer Fehler im Modell mit vier Clustern zu erwarten ist.

Der Trainingsfehler von 0% bei beiden Modellen könnte ein Artefakt des Validierungsprozesses sein, da die Clusterergebnisse, die mittels GMM erzeugt wurden, für den Trainingsdatensatz verwendet werden. Außerdem wurden keine semantischen Klassen verwendet, was die Ergebnisse der Diskriminanzanalyse ebenfalls beeinflusst haben kann. Allerdings sind die tatsächlichen Gruppenzuweisungen üblicherweise zuvor nicht bekannt, weshalb eine Zuweisung semantischer Kategorien unmöglich ist. Insbesondere die detektierten nicht-lokalen Individuen sind ohne vorangehende Clusteranalyse nicht identifizierbar. Dies rechtfertigt die Wahl der GMM-Clustereinteilung als Basis für den Trainingsdatensatz.

Allein basierend auf der Diskriminanzanalyse wäre das Modell mit nur drei Clustern zu bevorzugen. Dies würde allerdings in einem Verlust an biologisch relevanten Informationen resultieren. Je nach Fragestellung gilt es, zwischen besserer Auflösung und besserer Reproduzierbarkeit zu unterscheiden.

Die GMM-Clusteranalyse erlaubt es also die archäozoologische Zusammensetzung eines Ökosystems abzubilden. Der beispielhaft verwendete Teildatensatz der Fische ermöglicht aufgrund der durch die Clusteranalyse detektierten Auftrennung in Süß-, Brack- und Salzwasserfische, sowie nicht-lokale Salzwasserfische aber nicht nur einen Einblick in die Paläoökologie, sondern auch in die mögliche Auswahl und Nutzung von Fischgründen. Dies spielt für die Fundorte Haithabu und Schleswig aufgrund ihrer Lage an der Ostseeküste eine wesentliche, paläoökonomische Rolle.

5.2 „Feature Ranking“

5.2.1 „Adjusted Rand Index“ (ARI)

Untersucht wird der Informationsgehalt der einzelnen Isotopensysteme in den Datensätze I - IV der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig nach vorausgegangener Entfernung multivariater Ausreißer (vgl. Tabellen A16 bis A19) und Normalisieren der Isotopendaten (Formel 55). Die Anwendung von stabilen Isotopensystemen auf prähistorische Menschen erlaubt neben Rückschlüssen auf ihre Ernährung ebenso auch die Detektion primär nicht-lokaler Individuen und die Untersuchung ihrer möglichen Herkunft. Insbesondere Migrationsbewegungen und unterschiedliche Ernährungsweisen stehen hierbei im Fokus.

Für das „Ranking“ mittels ARI wird der vier- bzw. fünf-dimensionale Isotopendatensatz (Datensatz I - IV) verwendet. Die Modelleinstellungen (Clusterzahl, Modell) werden hierbei aus dem optimalen Clustermodell für Datensatz I (normalisiert, ohne multivariate Ausreißer) übernommen, da dieser Datensatz die vier Isotopensysteme enthält, die auch in allen anderen Datensätzen enthalten sind ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$). Dies ermöglicht einen besseren Vergleich über die Datensätze hinweg. Die optimale Clusterstruktur in Datensatz I besteht aus zwei Clustern und dem „mclust“-Modell „EEI“ (Scrucca et al., 2016). Für den ein-dimensionalen Fall (Relevanz) wird das entsprechende Modell „E“ gewählt (vgl. Tabelle A8). Unter Zuhilfenahme der jeweiligen Kontrollgruppe werden die „Relevanz“ jedes einzelnen Isotopensystems, sowie die „Redundanz“ im Clusterergebnis nach Entfernen eines einzelnen Isotopensystems berechnet (sh. Kapitel 4.2.7.1).

Abbildung 10 zeigt die Gegenüberstellung von Relevanz und Redundanz je Datensatz. Ein Isotopensystem ist dann besonders wichtig für das Clusterergebnis und hat folglich einen hohen Informationsgehalt, wenn die Relevanz möglichst hoch ist bei gleichzeitig möglichst geringer Redundanz. Da einem „Ranking“ mittels Relevanz und mittels Redundanz nicht dieselbe Semantik zugrunde liegt, ist eine Kombination dieser beiden Indices allerdings nicht sinnvoll (Mauder et al., 2019). Somit werden nachfolgend die „Ranking“-Ergebnisse mittels Relevanz und Redundanz getrennt voneinander dargestellt (Tabelle 6).

Auffallend ist die leicht negative Relevanz bzw. Redundanz für $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ (-0,011) in Datensatz I, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (-0,008) bzw. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (-0,018) in Datensatz II, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ (-0,002), $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (-0,002) bzw. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (-0,003) in Datensatz III, sowie $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ (-0,070), $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ (-0,032), $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (-0,037) und $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (-0,070 bzw. -0,037) im Falle von Datensatz IV (Tabelle 6). Ein $\text{ARI} < 0$ deutet auf eine Gleichverteilung bei der Zuordnung in „korrekte“ und „falsche“ Cluster hin.

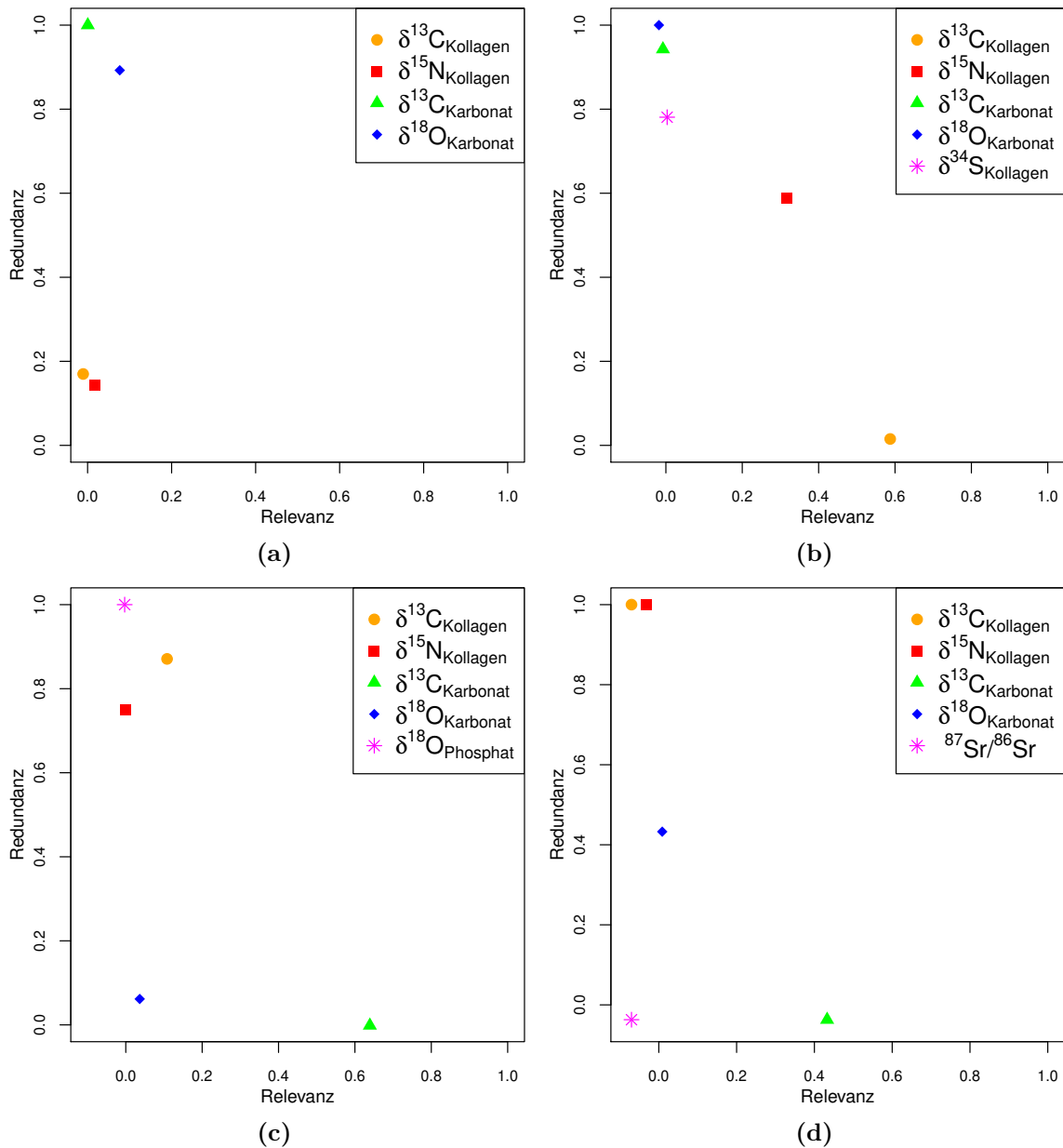


Abbildung 10: „Ranking“ mittels ARI mit Kontrollgruppe („EEI“, 2 Cluster, ohne multivariate Ausreißer, normalisiert; Scrucca et al., 2016) im Datensatz (a) I, (b) II, (c) III und (d) IV für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig (ohne multivariate Ausreißer, normalisiert).

Tabelle 6: Relevanz und Redundanz (Kontrollgruppe: „EEI“, 2 Cluster, ohne multivariate Ausreißer, normalisiert) für die untersuchten Datensätze der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig (ohne multivariate Ausreißer, normalisiert). 1 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, 2 = $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, 3 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, 4 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, 5 = $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$, 6 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$, 7 = $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

		Relevanz	Redundanz
I	1	-0,011	0,170
	2	0,018	0,143
	3	0,000	1,000
	4	0,077	0,893
		Relevanz	Redundanz
II	1	0,587	0,015
	2	0,317	0,589
	3	-0,008	0,943
	4	-0,018	1,000
	5	0,003	0,781
		Relevanz	Redundanz
III	1	0,108	0,871
	2	-0,002	0,751
	3	0,639	-0,002
	4	0,036	0,062
	6	-0,003	1,000
		Relevanz	Redundanz
IV	1	-0,070	1,000
	2	-0,032	1,000
	3	0,433	-0,037
	4	0,009	0,433
	7	-0,070	-0,037

Die Bedeutungsverschiebung in den Isotopensystemen bei Hinzunahme von $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (II), $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (III) bzw. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (IV) ist in Abbildung 10 und Tabelle 6 erkennbar: Während $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ in Datensatz I eine Relevanz von nur -0,01 aufweist (Tabelle 6), erhöht sich die Relevanz bei Hinzunahme von $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (II) deutlich auf 0,59 (Tabelle 6). Bei Aufnahme von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (III) erhöht sich die Relevanz von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ ebenfalls, auf 0,11 (Tabelle 6). Wird jedoch $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (IV) aufgenommen, verringert sich die Relevanz von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ auf -0,07 (Tabelle 6). Gleichzeitig erhöht sich die Redundanz von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ von 0,17 (I) auf 0,87 (III) bzw. 1 (IV), während sie bei Aufnahme von $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (II) absinkt (0,02; Tabelle 6). Für Datensatz IV bedeutet dies, dass die Clusterstruktur der Kontrollgruppe auch ohne $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ ohne Informationsverlust wiedergegeben werden kann.

Die Relevanz von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ nimmt von anfangs 0,02 (I) ab, wenn $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ oder $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ mit aufgenommen werden (Tabelle 6). Bei Hinzunahme von $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ steigt sie hingegen deutlich an (0,32; Tabelle 6). Für die Redundanz von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ ist ein starker Anstieg im Vergleich zu Datensatz I feststellbar, wenn $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (0,59), $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (0,75) bzw. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (1) mit aufgenommen werden (Tabelle 6).

Die Relevanz von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ ist in den Datensätzen I und II mit Werten zwischen -0,01 und 0 sehr gering. Die Aufnahme von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (III) bzw. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (IV) führt jedoch zu einer deutlichen Erhöhung der Relevanz (0,64 bzw. 0,43; Tabelle 6). Die Redundanz von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ beträgt in Datensatz I genau 1. Die Redundanz verringert sich bei Zunahme von $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ bzw. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ z. T. deutlich auf 0,94 (II), -0,002 (III) bzw. -0,04 (IV) (Tabelle 6).

Schließlich ist im Fall von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ mit einer Relevanz von 0,08 bei Datensatz I eine Reduktion in der Relevanz feststellbar, wenn $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (-0,02; II), $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (0,04) bzw. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0,01) mit aufgenommen werden. Die Redundanz von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ nimmt bei Aufnahme von $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ von ursprünglich 0,89 (I) auf 1 (II) zu. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ ist damit also in Datensatz II vollständig ersetzbar. Die Hinzunahme von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ bzw. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ führt hingegen zu einer Redundanz-Reduzierung (0,06 bzw. -0,07; Tabelle 6).

Da $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ - und $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte jeweils nur in einem Datensatz vorliegen,

ist ein Vergleich dieser Isotopensysteme untereinander nicht möglich. Eine Kombination dieser Isotopensysteme in einem Datensatz würde jedoch zu einer starken Reduktion der Stichprobengröße führen, wodurch ein „Feature Ranking“-Verfahren kaum noch Aussagekraft hätte, weshalb hier darauf verzichtet wird. Es ist jedoch auffällig, dass $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ mit einer Redundanz von 1 ohne Informationsverlust aus dem Datensatz entfernt werden könnte. Aber auch $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ zeigt eine relativ hohe Redundanz von 0,78 (Tabelle 6).

Tabelle 7: „Ranking“ mittels Relevanz und Redundanz für die mindestens adulten Menschen (ohne multivariate Ausreißer, normalisiert) aus Haithabu und Schleswig. 1 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, 2 = $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, 3 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, 4 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, 5 = $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$, 6 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$, 7 = $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

Relevanz	I	4	2	3	1	
	II	1	2	5	3	4
	III	3	1	4	2	6
	IV	3	4	2	1/7	
Redundanz	I	2	1	3	4	
	II	1	2	5	4	3
	III	3	4	2	1	6
	IV	3/7		4	1/2	

Über die Datensätze hinweg ist kein einheitliches Muster erkennbar (vgl. Tabelle 7). $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ ist für Datensatz I von gewisser Bedeutung, wohingegen das „Ranking“ insbesondere für Datensatz I und IV eine untergeordnete Rolle von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ ergibt mit einer Redundanz von 1 in Datensatz IV. $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ ist für Datensatz I und II relativ wichtig, nicht aber für IV, wo die Redundanz 1 beträgt. $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ zeigt für Datensatz III und IV eine relativ hohe Relevanz und eine negative Redundanz. Somit kann hier von einer gewissen Bedeutung dieses Isotopensystems ausgegangen werden. Hingegen weist $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ in Datensatz I eine Relevanz von 0 und eine Redundanz von 1 auf und ist folglich hier vernachlässigbar. Für $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ ergeben sich insgesamt eher niedrige Relevanzwerte, auch wenn $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ mit einer Relevanz von (lediglich) 0,08 die höchste Relevanz der untersuchten Merkmale in Datensatz I aufweist. Insgesamt ist $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$

zudem von relativ hoher Redundanz. Für Datensatz II ergibt sich eine Redundanz von 1, weshalb das Isotopensystem aus dem Datensatz entfernt werden könnte. $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ scheint eine eher mittelmäßige Rolle zu spielen, wie sowohl die Relevanz, als auch die Redundanz aufzeigen. Für $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ kann auf Basis der Relevanz und Redundanz von einer eher untergeordneten Bedeutung ausgegangen werden (Tabelle 7). $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ zeigt eine negative Relevanz und negative Redundanz. Somit führt das Entfernen der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte offenbar zu einer besonders starken Abweichung von der Kontrollgruppe.

Der Vergleich der GMM-Clusterstruktur („EEI“-Modell, 2 Cluster) der Kontrollgruppen und der Clusterkombination unter Ausschluss des Isotopensystems, das aufgrund der höchsten Redundanz als vergleichsweise unbedeutend verstanden werden kann, zeigt für alle vier Datensätzen, dass das Clusterergebnis der Kontrollgruppe (I: „1234“, II: „12345“, III: „12346“, IV: „12347“) identisch mit dem Clusterergebnis von „124“ (I), „1235“ (II), „1234“ (III) bzw. „1347“/„2347“ (IV) ist (Abbildungen A5 bis A13). Bei Ausschluss von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (I), $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (II), $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (III) bzw. $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ oder $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ (IV) ergibt sich jeweils eine Redundanz von 1 (vgl. Tabelle 6). Somit führt das Entfernen dieser Isotopensysteme (mit der Vorgabe des „EEI“-Modells mit zwei Clustern) zu keinerlei Informationsverlust im jeweiligen Teildatensatz.

Das „Feature Ranking“-Verfahren mittels ARI, das beispielhaft für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig durchgeführt wurde, zeigt, dass je nach Kombination der Isotopensysteme (vgl. I - IV) unterschiedliche Isotopensysteme als von hoher oder vergleichsweise geringer Bedeutung identifiziert werden. Somit kann kein Isotopensystem pauschal als unbedeutend bezeichnet werden.

5.2.2 Entropie-basiertes „Feature Ranking“

Anmerkung

Dieses Kapitel verwendet Material aus folgender Publikation:

- **Göhring, A.**, Mauder, M., Kröger, P. and Grupe, G. (eingereicht). „Which isotopes should we choose? Entropy-based feature ranking enables evaluation of the information content of stable isotopes in archaeofaunal material from the Baltic coast.“.

5.2.2.1 Evaluation

Die auf Entropie basierende Methode zur Bestimmung des Informationsgehaltes von Merkmalen bzw. Merkmalskombinationen wird in zwei Schritten evaluiert.

Zunächst werden vier Testdatensätze (T1 - T4) als zufällige Stichproben aus der Normalverteilung erzeugt (Tabelle A20), um das generelle Verhalten der Methode in bestimmten Extremfällen zu überprüfen. Testdatensatz T1 enthält zwei Variablen, A1 und B1, wobei B1 einen Ausreißerwert aufweist (vgl. Abbildung A14(a), Tabelle A20). Das „Feature Ranking“-Verfahren ergibt niedrigere Entropiewerte für B1 verglichen mit A1 (Abbildung 11(a)). Da sich A1 und B1 lediglich durch den Ausreißer unterscheiden, wird das Feature Ranking-Ergebnis maßgeblich durch diesen Ausreißer beeinflusst. Dies bestätigt die Notwendigkeit, (multivariate) Ausreißer vor dem eigentlichen „Ranking“-Verfahren zu entfernen.

Testdatensatz T2 enthält die Variablen A2 und B2, die einen gemeinsamen Ausreißer aufweisen, sowie Variable C2, die den Datensatz in zwei deutlich voneinander getrennte Gruppen einteilt (Abbildung A14(b), Tabelle A20). Die deutliche Auftrennung der Daten durch C2 bewirkt, dass eben diese Variable den niedrigsten Entropiewert aufweist (Abbildung 11(b)).

Im nächsten Testdatensatz (T3) wird überprüft, ob Variablen, die zu deutlicher getrennten Gruppen führen als andere Variablen, niedrigere Entropiewerte aufweisen. Die Variablen A3 und B3 erzeugen jeweils drei Gruppen, Variable C3 trennt den Datensatz nicht (Abbil-

dung A14(c), Tabelle A20). Durch Variable B3 werden die Gruppen deutlicher voneinander getrennt als durch A3 mit einer Differenz von 10 (verglichen mit 5) zwischen den jeweiligen Gruppenmittelwerten (Tabelle A20). Tatsächlich zeigt B3 den niedrigsten Entropiewert (Abbildung 11(c)).

Zuletzt wird mit Hilfe von Testdatensatz T4 überprüft, ob die Anzahl der entstehenden Cluster eine Auswirkung auf das „Feature Ranking“-Ergebnis hat. Während C4 den Datensatz nicht aufteilt, wird dieser durch Variable A4 in zwei bzw. von B4 in drei Gruppen eingeteilt (Abbildung A14(d), Tabelle A20). Das „Feature Ranking“ präferiert Variable B4, die den Datensatz in mehr Gruppen aufteilt (Abbildung 11(d)).

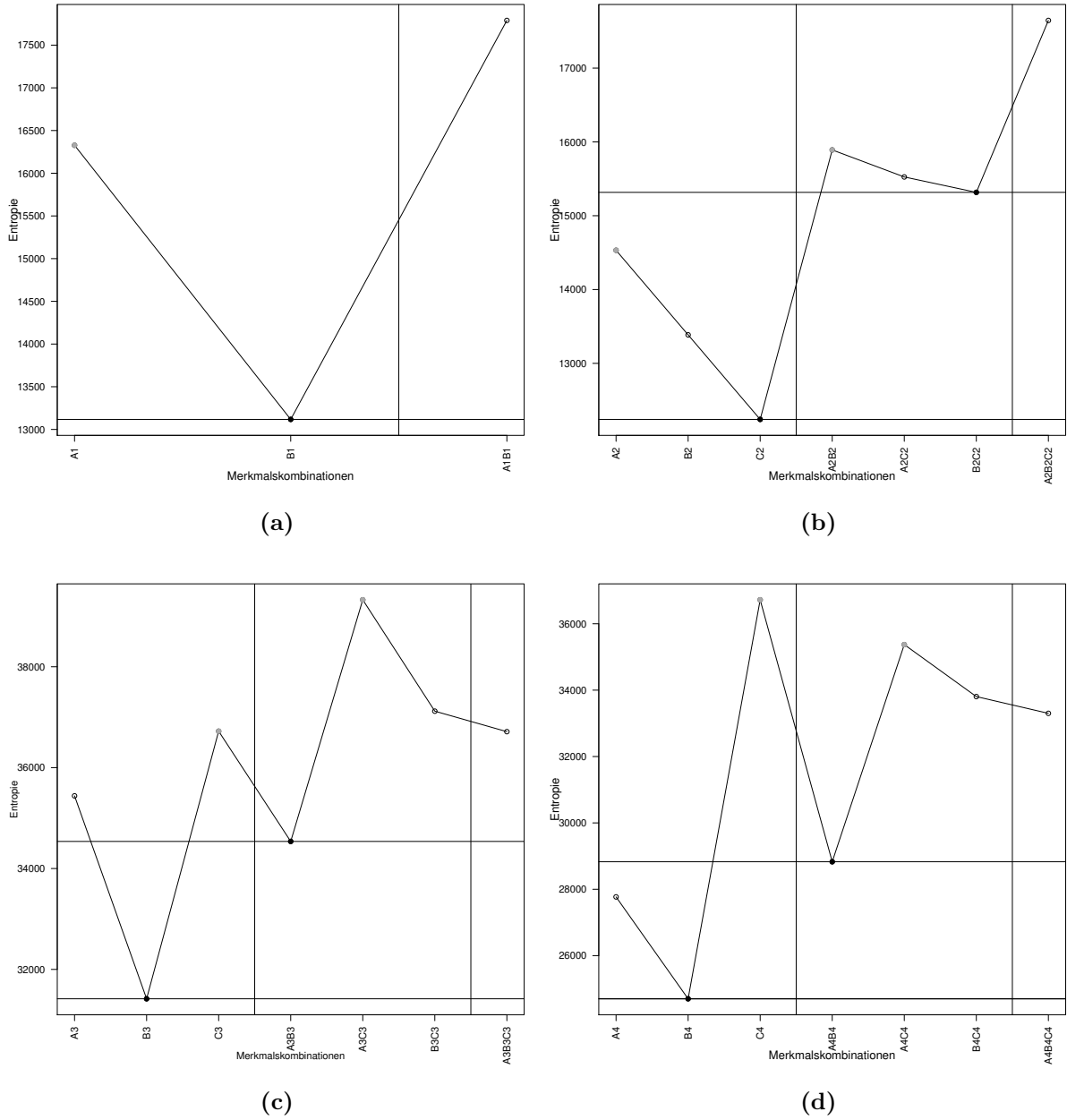


Abbildung 11: „Ranking“ mittels Distanz-basierter Entropie für die verwendeten Testdatensätze (a) T1, (b) T2, (c) T3 und (d) T4. In jeder Dimension (getrennt durch vertikale Linien) sind der minimale (schwarzer Punkt, horizontale Linie) und maximale (grauer Punkt) Entropiewert markiert.

In einem zweiten Evaluationsschritt wird überprüft, ob die Zusammensetzung des Datensatzes eine Auswirkung auf das Ergebnis des „Feature Ranking“-Verfahrens hat. Hierfür wird ein Teildatensatz bestehend aus herbivoren, carnivoren und omnivoren (terrestrischen) Säugern mit vier Isotopensystemen ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$)

ausgewählt. Da die relative Häufigkeit von Herbivoren, Carnivoren und Omnivoren von Datensatz zu Datensatz variieren kann, wird der Einfluss der Ernährungstypen auf die „Feature Ranking“-Ergebnisse untersucht. Zudem kann die unterschiedliche Testdatensatzgröße einen Eindruck davon geben, wie die „Feature Ranking“-Methode mit kleineren und größeren Stichproben umgeht.

Für jeden der acht überprüften Testdatensätze A - H (Tabelle 8) werden aus dem Gesamtdatensatz ($n = 99$) zehn zufällige Stichproben mit dem jeweils vorgegebenen Verhältnis von herbivoren, carnivoren und omnivoren Säugern gezogen (vgl. Tabelle 8) und anschließend die Distanz-basierte Entropie für jede Merkmalskombination berechnet. Um mögliche Verzerrungen zu vermeiden, die sich, wie bereits gezeigt, durch Ausreißer ergeben können, werden multivariate Ausreißer zuvor aus den einzelnen Gruppen (herbivor, carnivor, omnivor) entfernt.

Tabelle 8: Übersicht über die Evaluationsdatensätze (A - H) bestehend aus unterschiedlichen prozentualen bzw. absoluten Anteilen von herbivoren, carnivoren und omnivoren, terrestrischen Säugern und dem Ergebnis des Entropie-basierten „Feature Ranking“-Verfahrens der zehn zufälligen Stichproben im ein-dimensionalen Fall. 1 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, 2 = $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, 3 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, 4 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$.

Testdatensatz	Herbivore : Carnivore : Omnivore			n	Feature Ranking			
	prozentualer Anteil	absoluter Anteil						
A	70 % : 15 % : 15 %	55 : 12 : 12	79	2	3	1	4	
B	60 % : 30 % : 10 %	42 : 21 : 7	70	2	3	1	4	
C	60 % : 20 % : 20 %	48 : 16 : 16	80	2	3	1	4	
D	50 % : 10 % : 40 %	20 : 4 : 16	40	3	2	1	4	
E	40 % : 40 % : 20 %	21 : 21 : 10	52	2	3	1	4	
F	40 % : 20 % : 40 %	16 : 8 : 16	40	3	2	1	4	
G	33 % : 33 % : 33 %	16 : 16 : 16	48	3	2	1	4	
H	30 % : 20 % : 50 %	10 : 6 : 16	40	3	2	1	4	

Die in den Tabellen 8 und A21 gezeigten „Feature Ranking“-Ergebnisse stellen jeweils das häufigste Ergebnis aus den zehn durchgeführten Stichproben dar.

Je nach Verhältnis von herbivoren, carnivoren und omnivoren Säugern ergibt das „Feature Ranking“-Verfahren unterschiedliche Ergebnisse. Dabei können zwei Szenarien unterschieden werden (vgl. Tabelle 8): Bei der Hälfte der Teildatensätze zeigt sich im ein-dimensionalen Fall der niedrigste Entropiewert bei $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, während $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ bei den anderen Testdatensätzen in der Lage ist, den Datensatz optimal zu trennen. In beiden Szenarien ist das jeweils andere Isotopensystem das zweitwichtigste Merkmal bei Betrachtung von nur einer Dimension. Für alle Teildatensätze ergibt sich für $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ im ein-dimensionalen Fall jeweils der maximale Entropiewert (Tabelle 8).

Bei Testdatensätzen, in denen der Anteil an Herbivoren deutlich höher ist als der an carnivoren bzw. omnivoren Säugern ergibt die Wahl der $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte die niedrigsten Entropiewerte. Mit geringerem Anteil an Herbivoren, und damit einem ähnlichen Anteil der drei Gruppen, gewinnt $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ an Bedeutung. Bei Testdatensatz E liegt der Anteil an omnivoren Säugern nach wie vor relativ deutlich unter dem der herbivoren Säugern, weshalb wohl auch hier $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ präferiert wird. Es wäre auch denkbar, dass hier die vergleichsweise geringe Stichprobengröße einen Einfluss auf das „Ranking“ hat. In beiden Fällen ($\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$) erfolgt demnach eine Aufteilung der drei Gruppen aufgrund der Ernährungsunterschiede, wie es zu erwarten ist (vgl. Kapitel 2.1.2.2 und 2.1.3.1). Für die zwei-dimensionale Merkmalskombination (vgl. Tabelle A21) ergeben Kombinationen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ („13“) bzw. $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ („23“) die niedrigsten Entropiewerte. Für drei Testdatensätze (D, F, H) ist der niedrigste Entropiewert für „13“ oder „23“ unter den zehn zufälligen Stichproben gleich häufig. Bis auf Testdatensatz E zeigt sich der jeweils höchste Entropiewert in allen Testdatensätzen bei der Kombination aus $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ („14“) (Tabelle A21).

Soll lediglich ein Isotopensystem aus dem Datensatz entfernt werden, so findet das „Feature Ranking“-Verfahren - je nach Zusammensetzung des Testdatensatzes - drei verschiedene, optimale Merkmalskombinationen: „123“, „134“ und „234“. Auffällig ist hier außerdem dass die Kombination von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ („134“) bei den Testdatensätzen F und G jeweils optimal ist, während sie bei B und C die Kombination mit dem höchsten Entropiewert darstellt (Tabelle A21). Für alle anderen Testdatensätze

resultiert ein Entfernen der $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Werte („124“) in den höchsten Entropiewerten (Tabelle A21). Dies ist demnach nicht zu empfehlen.

Die Evaluation zeigt die Auswirkung der Zusammensetzung des zu untersuchenden Datensatzes auf das „Feature Ranking“-Ergebnis. Je nach Zusammensetzung werden variierende „Feature Ranking“-Ergebnisse erwartet. Im Folgenden werden daher verschiedene Teildatensätze untersucht.

5.2.2.2 Terrestrische Säuger

An einem archäologischen Fundort finden sich üblicherweise vor allem Schlachtabfälle terrestrischer Säugetiere (Knochen bzw. Zähne), darunter sowohl wildlebende als auch domestizierte Arten. Die Untersuchung dieser Individuen mit Hilfe stabiler Isotope ermöglicht beispielsweise die Detektion primär nicht-lokaler (importierter) Individuen oder gibt Hinweise auf unterschiedliche Nahrungs- oder Wasserquellen.

Die untersuchten Teildatensätze, bestehend aus 99 (Datensatz I) bzw. 91 (Datensatz III) terrestrischen Säugern (ohne multivariate Ausreißer, vgl. Tabellen A22 und A24), stehen hierbei exemplarisch für Datensätze wildlebender und domestizierter Säuger verschiedener Spezies. Tabelle 9 zeigt die Zusammensetzung der beiden Teildatensätzen bezüglich der Anteile von herbivoren, carnivoren und omnivoren Individuen (vgl. Kapitel 5.2.2.1).

Tabelle 9: Prozentuale und absolute Anteile herbivorer, carnivorer und omnivorer, terrestrischer Säuger aus Haithabu und Schleswig in den Datensätzen I und III.

Datensatz	Herbivore : Carnivore : Omnivore		Stichproben- größe
	prozentualer Anteil	absoluter Anteil	
I	61 % : 21 % : 18 %	60 : 21 : 18	99
III	60 % : 23 % : 16 %	55 : 21 : 15	91

Da das prozentuale Verhältnis herbivorer, carnivorer und omnivorer Säuger in den beiden Datensätzen relativ ähnlich ist (Tabelle 9), wird ein ähnliches „Feature Ranking“-Ergebnis erwartet. Der Anteil herbivorer Säuger ist jeweils deutlich größer als der von Carnivoren

bzw. Omnivoren. Zudem ähnelt das Verhältnis von herbivoren, carnivoren und omnivoren Säugern dem Verhältnis im Testdatensatz C (60 % : 20 % : 20 %; Tabelle 8). Entsprechend wird eine Auftrennung der Daten anhand der Nahrung erwartet (vgl. Kapitel 5.2.2.1).

Die Ergebnisse des „Feature Rankings“ sind in Abbildung 12 und Tabelle 10 dargestellt. Wird nur ein Isotopensystem betrachtet, so wird $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ bevorzugt, das die niedrigsten Entropiewerte aufweist. Auch $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ zeigt relativ niedrige Entropiewerte in beiden Datensätzen. Kombinationen anderer Isotopensysteme mit $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ bzw. $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ zeigen ebenfalls relativ niedrige Entropiewerte. Kombinationen mit $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ resultieren hingegen in vergleichsweise hohen Entropiewerten. Die beiden Datensätze stimmen, wie erwartet, in der ersten bis dritten Dimension miteinander überein (Abbildung 12 und Tabelle 10). Für Datensatz III ergeben sich zudem niedrigere Entropiewerte bei Kombinationen mit $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ verglichen mit $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (Abbildung 12(b), Tabelle 10). Folglich wird bei einem direkten Vergleich der beiden Sauerstoff-Isotopensysteme $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ bevorzugt. Insgesamt deuten die „Feature Ranking“-Ergebnisse für Datensatz I und III darauf hin, dass das Entfernen der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte aus dem Datensatz zu keinem oder nur zu einem geringen Informationsverlust führt. Ursächlich hierfür könnte der vergleichsweise hohe „sea spray“-Einfluss (62,8 %; vgl. Kapitel 5.3.1) auf die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte der terrestrischen Säuger sein. Dadurch kommt es aufgrund der durch den „sea spray“-Effekt bedingten Anreicherung mit ^{18}O zu einer Überlappung der Isotopenwerte von herbivoren, carnivoren und omnivoren, terrestrischen Säugern. Folglich ist $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ für die Auftrennung der terrestrischen Säuger im vorliegenden Teildatensatz von eher geringer Bedeutung.

Diese Ergebnisse finden sich auch in der Validierung durch den Trace-Index wieder, bei dem eben die Isotopenkombinationen als optimal angesehen werden, die auch optimale (minimale) Entropiewerte aufweisen (Tabelle 10).

Die „Feature Ranking“-Ergebnisse sollten sich auch bei der Clusteranalyse manifestieren. Die GMM-Clusteranalyse der normalisierten Isotopendaten zeigt für den vier-dimensionalen Datensatz, dass sich die Clusterstruktur aller Dimensionen nur geringfügig von dem ohne $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ („123“) unterscheidet (Abbildungen A15 und A16). In beiden Fällen werden vier Cluster gefunden, wobei lediglich acht Individuen (Pferd Hb 91, Reh S 10, Rind Hb

54, Hb 56, Hb 59, Hb 60, Schaf Hb 74, Hb 76) in unterschiedliche Cluster eingeteilt werden (Tabelle A23).

Im Falle des fünf-dimensionalen Datensatzes III führt das Entfernen der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte („1235“) zur Detektion von nur drei an Stelle der ursprünglichen vier Cluster (Abbildungen A17 und A18, Tabelle A25). Somit ist das Entfernen der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte hier mit einem gewissen Informationsverlust verbunden.

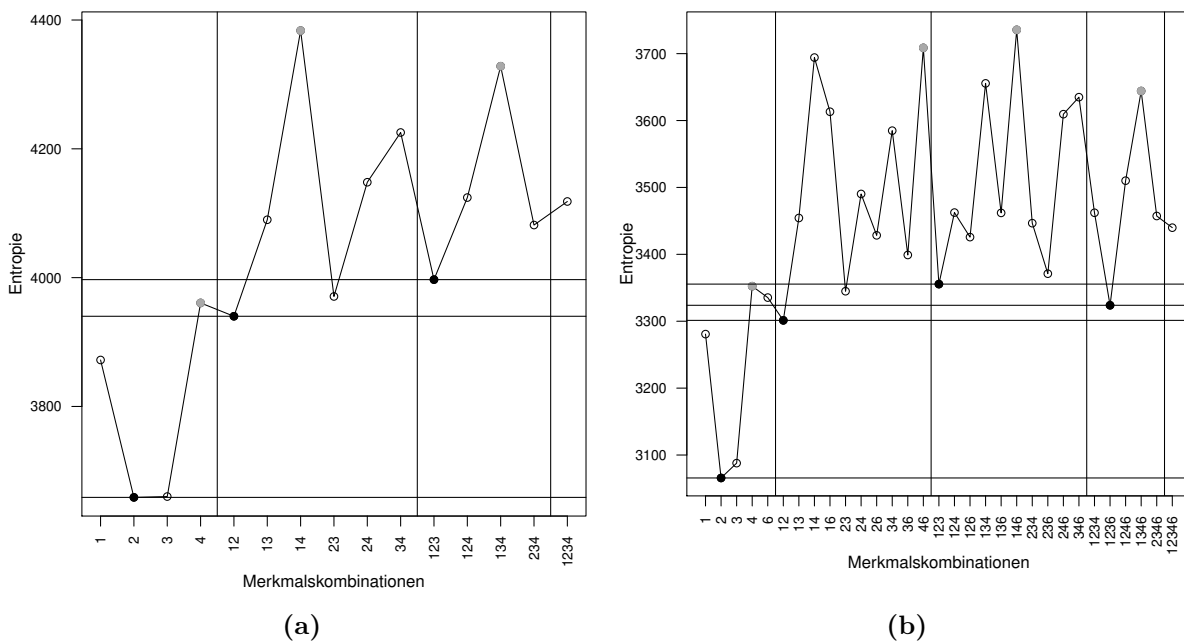


Abbildung 12: „Ranking“ mittels Distanz-basierter Entropie im Datensatz (a) I und (b) III für die terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig. In jeder Dimension (getrennt durch vertikale Linien) sind der minimale (schwarzer Punkt, horizontale Linie) und maximale (grauer Punkt) Entropiewert markiert. 1 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, 2 = $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, 3 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, 4 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, 6 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$.

Tabelle 10: „Feature Ranking“-Ergebnisse (Minima und Maxima), sowie optimaler Trace-Index (Maxima) für die terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig im Datensatz I bzw. III je Dimension. 1 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, 2 = $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, 3 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, 4 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, 5 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$.

	Minima	1 Dim.	2 Dim.	3 Dim.	4 Dim.
Feature Ranking	I	2	12	123	
	III	2	12	123	1236
	Maxima	1 Dim.	2 Dim.	3 Dim.	4 Dim.
	I	4	14	134	
	III	4	46	146	1346
Trace Index	Maxima	1 Dim.	2 Dim.	3 Dim.	4 Dim.
	I	2	12	123	
	III	2	12	123	1236

5.2.2.3 Terrestrische herbivore Säuger

Wenn nur herbivore, terrestrische Säuger (ohne multivariate Ausreißer; vgl. Tabellen A26 und A28) betrachtet werden, ändert sich (erwartungsgemäß) das Ergebnis des „Feature Rankings“: In beiden Datensätzen (I: $n = 55$; III: $n = 49$) verliert $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ an Bedeutung (Abbildung 13 und Tabelle 11) verglichen mit dem Teildatensatz bestehend aus herbivoren, carnivoren und omnivoren Säugern (Kapitel 5.2.2.2). Stattdessen werden $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, sowie Kombinationen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ mit anderen Isotopensystemen wichtiger, mit entsprechend niedrigen Entropiewerten. Wenn jedoch nur eine Dimension entfernt werden soll, so wird basierend auf den „Feature Ranking“-Ergebnissen erneut das Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ empfohlen (Abbildung 13, Tabelle 11), wie auch im Falle der terrestrischen Säuger (sh. Kapitel 5.2.2.2). Auch in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Werten der Herbivoren findet sich ein „sea spray“-Signal wieder (vgl. Kapitel 5.3.1). Da manche Individuen durchaus stärker vom „sea spray“-Effekt beeinflusst scheinen als andere (vgl. Kapitel 5.3.1), ist es möglich, die herbivoren Säuger auf Basis des „sea spray“-Effekts auf die $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Werte zu unterscheiden. Dies kann die Bedeutung von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ im vorliegenden (Teil-)Datensatz

erklären.

Wie das „Feature Ranking“-Verfahren zeigt auch der Trace-Index die besten Ergebnissen für $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ bzw. Kombinationen desselben mit anderen Isotopensystemen (Tabelle 11). Zudem ist der Trace-Index im Datensatz III, wie auch beim „Feature Ranking“, optimal für die Kombinationen „236“ bzw. „1236“ (Tabelle 11).

Die GMM-Clusteranalyse für Datensatz I ohne $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ („123“) resultiert in zwei anstelle der drei Cluster, die im vier-dimensionalen Datensatz gefunden werden (Abbildungen A19 und A20, Tabelle A27). Somit kann auch hier ein gewisser Informationsverlust im Zusammenhang mit dem Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ festgestellt werden.

Für Datensatz III werden sowohl mit als auch ohne $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte („1236“) jeweils drei Cluster gefunden (Abbildungen A21 und A22). Die Cluster werden zwar (automatisch) anders nummeriert („12346“ vs. „1236“: Cluster 1 $\hat{=}$ Cluster 3, Cluster 2 $\hat{=}$ Cluster 1, Cluster 3 $\hat{=}$ Cluster 2), doch ansonsten sind die Clusterergebnisse relativ ähnlich. Jedoch werden insgesamt zehn (20 %) Individuen (Auerochse Hb 48, Feldhase Hb 2, S 24, Pferd Hb 86, Hb 89, Hb 90, Rind Hb 57, Rothirsch Hb 35, S 1 und Schaf Hb 79) bei den beiden Szenarien anderen Clustern zugewiesen (Tabelle A29).

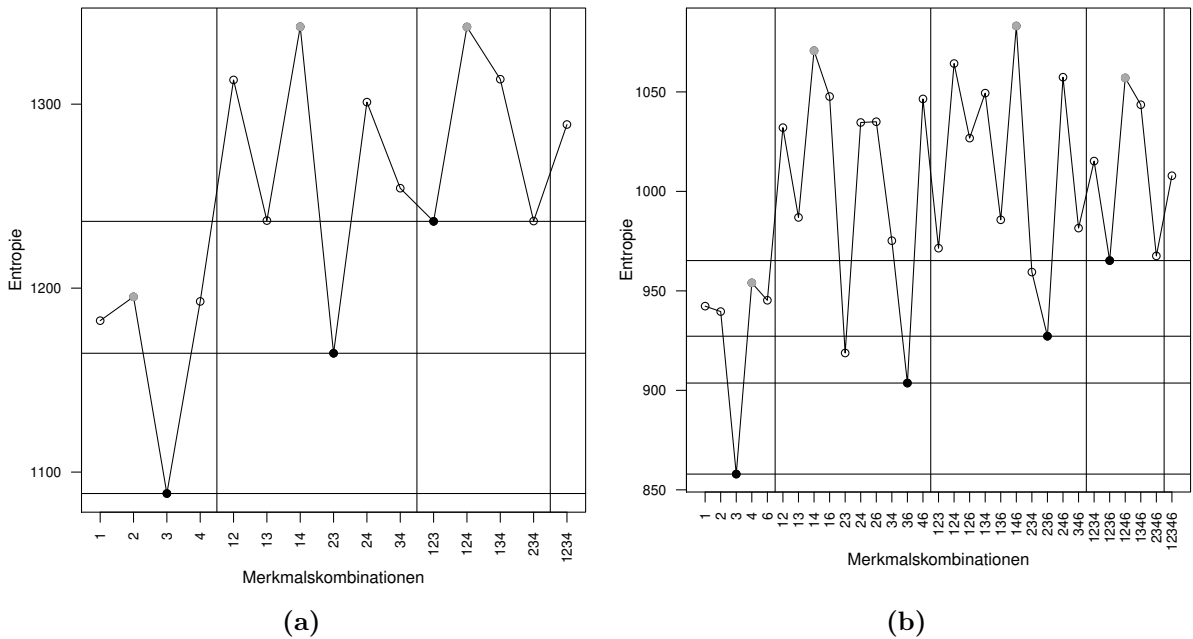


Abbildung 13: „Ranking“ mittels Distanz-basierter Entropie im Datensatz (a) I und (b) III für die terrestrischen, herbivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig. In jeder Dimension (getrennt durch vertikale Linien) sind der minimale (schwarzer Punkt, horizontale Linie) und maximale (grauer Punkt) Entropiewert markiert. 1 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, 2 = $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, 3 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, 4 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, 6 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$.

Tabelle 11: „Feature Ranking“- Ergebnisse (Minima und Maxima), sowie optimaler Trace-Index (Maxima) für die terrestrischen, herbivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig im Datensatz I bzw. III je Dimension. 1 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, 2 = $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, 3 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, 4 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, 6 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$.

Feature Ranking	Minima	1 Dim.	2 Dim.	3 Dim.	4 Dim.
	I	3	23	123	
	III	3	36	236	1236
Trace Index	Maxima	1 Dim.	2 Dim.	3 Dim.	4 Dim.
	I	2	14	124	
	III	4	14	146	1246

5.2.2.4 Fische

Das Entropie-basierte „Feature Ranking“ der Fische (Datensatz I, $n = 46$; ohne multivariate Ausreißer, vgl. Tabelle A30) ergibt niedrige Entropiewerte für $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und Kombinationen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ mit anderen Isotopensystemen. Wie auch im Teildatensatz der terrestrischen Herbivoren treten relativ hohe Entropiewerte bei Kombinationen von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ mit anderen Isotopensystemen auf. Bei der Verwendung mehrerer Dimensionen zeigt v. a. die Kombination von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ niedrige Entropiewerte (Abbildung 14, Tabelle 12). Von Bedeutung sind also die in diesen beiden Isotopensystemen enthaltenen Informationen zu Parametern wie z. B. Salinität und Temperatur (vgl. Kapitel 2.1.3 und 5.1). Gemäß der „Feature Ranking“-Ergebnisse führt das Entfernen der $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte aus dem Fisch-Teildatensatz zu einem eher geringen Informationsverlust (Abbildung 14, Tabelle 12).

Der Trace-Index stimmt nur mit dem „Feature Ranking“-Ergebnis im ein-dimensionalen Fall überein. Bei der zwei- bzw. drei-dimensionalen Merkmalskombination entspricht der optimale Index jeweils dem zweitbesten „Feature Ranking“-Ergebnis (Abbildung 14, Tabelle 12).

Die GMM-Clusteranalyse des Datensatzes ohne $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ („134“) erzeugt dieselben Clusterergebnisse wie der vier-dimensionale Datensatz (Abbildungen A23 und A24, Tabelle A31), wobei jeweils zwei Cluster detektiert werden, die sich nur in der Clusterzuweisung zweier Individuen (Barsch 48FB5Pop, Hecht 10H1C) unterscheiden. Interessanterweise ergibt sich bei der Clusteranalyse von zwei Dimensionen mit minimalem Entropiewert für die Kombination von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ („34“; Abbildungen 14 und A25 und Tabelle 12) eine recht ähnliche Clusterstruktur wie bei der Clusteranalyse des gesamten Fisch-Teildatensatzes ohne vorausgegangene Normalisierung der Isotopendaten (Abbildung 8). Durch die Entfernung des Kollagen-Signals kommt es z. T. zu einer Vermischung der ursprünglichen Süßwasser- und Brackwassercluster (Cluster 3 bzw. 4 in Abbildung 8). Jedoch bleibt insbesondere das Cluster der als „nicht-lokal“ klassifizierten Individuen erhalten (Cluster 1 bei „34“; Tabelle A32). Dieses Cluster stellt ein Kernergebnis des

GMM-Clusteranalyse für den Fisch-Teildatensatz dar (sh. Kapitel 5.1.2).

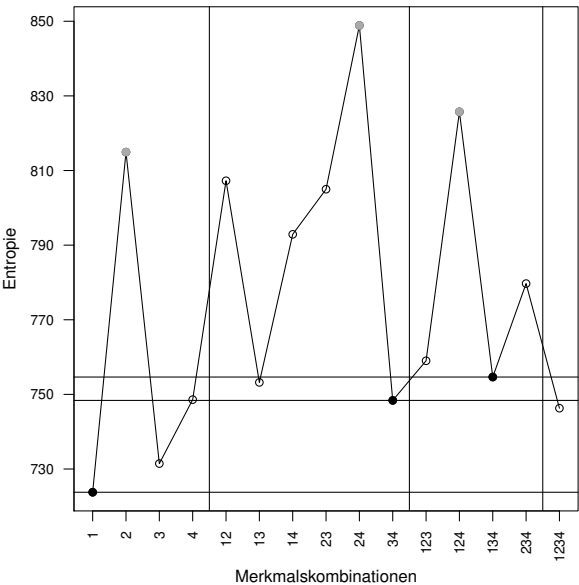


Abbildung 14: „Ranking“ mittels Distanz-basierter Entropie im Datensatz I für die Fische aus Haithabu und Schleswig. In jeder Dimension (getrennt durch vertikale Linie) sind der minimale (schwarzer Punkt, horizontale Linie) und maximale (grauer Punkt) Entropiewert markiert. 1 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, 2 = $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, 3 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, 4 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$.

Tabelle 12: „Feature Ranking“-Ergebnisse (Minima und Maxima), sowie optimaler Trace-Index (Maxima) für die Fische aus Haithabu und Schleswig im Datensatz I je Dimension. 1 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, 2 = $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, 3 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, 4 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$

Feature Ranking	Minima	1 dim.	2 dim.	3 dim.
	I	1	34	134
Trace-Index	Maxima	1 dim.	2 dim.	3 dim.
	I	2	24	124
Trace-Index	Maxima	1 dim.	2 dim.	3 dim.
	I	1	13	123

5.2.2.5 Vögel

Ähnlich den Fischen zeigen sich auch bei den Vögeln (Datensatz I, n = 160, ohne multivariate Ausreißer, vgl. Tabelle A33) niedrige Entropiewerte für $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ bzw. Kombinationen

aus $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und anderen Isotopensystemen, insbesondere mit $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ (Abbildung 15 und Tabelle 13). Die durch $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ abgebildeten, unterschiedlichen Ernährungsweisen der Vogel-Spezies im Teildatensatz (herbivor, carnivor/piscivor, omnivor, Aasfresser) erlauben folglich eine gute Trennung der Individuen. Im Gegensatz zu den Fischen scheint allerdings $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ eher unbedeutend im Vergleich zu den anderen Isotopensystemen. Es ergibt sich ein optimaler, drei-dimensionaler Datensatz bestehend aus $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ („124“; Abbildung 15 und Tabelle 13).

Der Trace-Index stimmt nicht mit den Ergebnissen des „Feature Rankings“ überein. Allerdings weist die gemäß „Feature Ranking“ optimale Merkmalskombination „124“ nach der Kombination „123“ den zweithöchsten Trace-Index auf.

Die GMM-Clusteranalyse ohne $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ („124“) detektiert, ebenso wie für den vier-dimensionalen Datensatz, drei Cluster (Abbildungen A26 und A27). Die Clusterzuweisung in das dritte Cluster entspricht mit Ausnahme von vier Individuen (2,5 %; Habicht S 86, S 87, Höckerschwan Hb 160, Seeadler Hb 166) dem dritten Cluster des vier-dimensionalen Datensatzes (Tabelle A34). Die in das ursprüngliche erste Cluster eingeordneten Vögel sind (mit Ausnahme von Gänsesäger S 76) auch ohne die $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Werte im ersten Cluster zu finden (Tabelle A34), jedoch wird das zweite Cluster nach Entfernen der $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Werte auf zwei Cluster (Cluster 1 und 2) aufgeteilt. Somit werden ohne die entsprechenden Informationen aus $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ insgesamt 50 Individuen (31 %) einem anderen Cluster zugewiesen. Das Entfernen der $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Werte aus dem Datensatz führt also zu einem gewissen Informationsverlust.

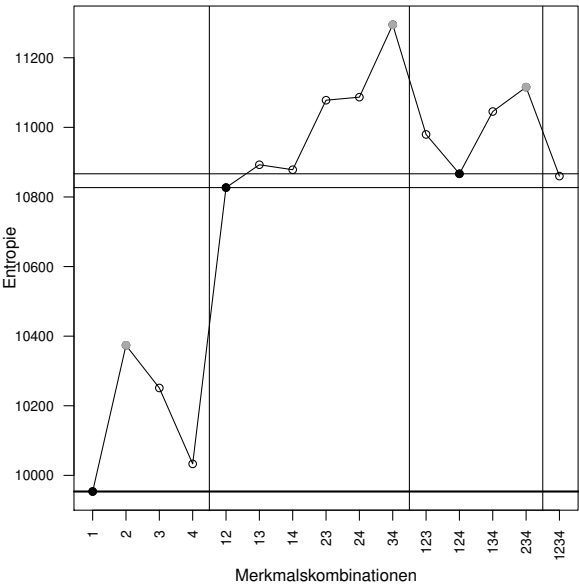


Abbildung 15: „Ranking“ mittels Distanz-basierter Entropie im Datensatz I für die Vögel aus Haithabu und Schleswig. In jeder Dimension (getrennt durch vertikale Linien) sind der minimale (schwarzer Punkt, horizontale Linie) und maximale (grauer Punkt) Entropiewert markiert. 1 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, 2 = $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, 3 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, 4 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$.

Tabelle 13: „Feature Ranking“-Ergebnisse (Minima und Maxima), sowie optimaler Trace-Index (Maxima) für die Vögel aus Haithabu und Schleswig im Datensatz I je Dimension. 1 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, 2 = $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, 3 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, 4 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$.

Feature Ranking	Minima	1 Dim.	2 Dim.	3 Dim.
	I	1	12	124
Trace-Index	Maxima	1 Dim.	2 Dim.	3 Dim.
	I	2	34	234
Trace-Index	Maxima	1 Dim.	2 Dim.	3 Dim.
	I	2	23	134

5.2.2.6 Menschen

Für die mindestens adulten Menschen der Datensätze I bis IV (I: n = 182; II: n = 70; III: n = 31; IV: n = 20; ohne multivariate Ausreißer; vgl. Tabellen A16 bis A19) aus Haithabu und Schleswig ergibt sich das folgende Entropie-basierte „Feature Ranking“:

Kombinationen aus $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ resultieren in allen vier Datensätzen in eher geringen Entropiewerten. Für Datensatz I, II und IV ergibt sich eine optimale drei- (I) bzw. vier-dimensionale Kombination von Isotopensystemen durch Weglassen der $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte („134“, „1345“, bzw. „1347“) (Abbildung 16, Tabelle 14). Für Datensatz III wird hingegen die Kombination ohne $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ („2346“) als optimal bestimmt. Die zweitbeste Kombination wäre hier jedoch ebenfalls die Kombination ohne $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ („1346“; Abbildung 16, Tabelle 14).

Der Trace-Index bestätigt das „Ranking“ mittels Entropie für die Menschen nur bedingt (Tabelle 14). Zum Teil wird die optimale ein- bzw. zwei-dimensionale Merkmalskombination im Trace-Index wiedergefunden. Teilweise entspricht der zweitbeste Trace-Index der Isotopenkombination mit dem optimalen Entropiewert, so im Datensatz II und III für den zwei-dimensionalen Fall (Tabelle 14). In Datensatz IV stimmt der Trace-Index im ein-, zwei- und vier-dimensionalen Fall mit dem optimalen Entropiewert überein. Im drei-dimensionalen Fall wäre gemäß Trace-Index die Kombination „127“ optimal, die jedoch den höchsten Entropiewert aufweist (Tabelle 14). Für Datensatz I ist eine Beurteilung mittels Trace-Index nicht möglich (vgl. Tabelle 14), da alle Kombinationen (mit Ausnahme von „1234“) einen Trace-Index von 0 aufweisen. Dies erschwert auch die Einstufung des Trace-Index in den anderen Datensätzen, für die jeweils bei mehreren Merkmalskombinationen ebenfalls ein Trace-Index von 0 auftritt. Ursächlich dafür ist, dass teilweise nur ein Cluster erzeugt wird (sh. unten), weshalb die Streuung zwischen den Clustern (P_B ; vgl. Formel 60) - und damit auch der Trace-Index - gleich null ist. Dasselbe gilt für den vier-dimensionalen Fall von Datensatz III (Tabelle 14).

Nach Entfernen der $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte aus Datensatz I („134“) zeigt sich bei der GMM-Clusteranalyse keine Clusterstruktur mehr (Abbildung A29) an Stelle von zwei Clustern im vier-dimensionalen Fall (Abbildung A28). Es kommt somit ohne $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ zu einem Informationsverlust. Datensatz II und III zeigen sowohl im fünf-dimensionalen Fall als auch nach Entfernen der $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ - (II) bzw. $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Werte (III) mit nur einem detektierten Cluster keine Clusterstruktur (Abbildungen A30 bis A33). Für Datensatz IV wiederum finden sich nach Entfernen der $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte („1347“) nicht mehr zwei Gruppen, wie

im fünf-dimensionalen Fall, sondern sechs Cluster. Hier scheint die ursprüngliche Clusterstruktur durch das Entfernen von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ zerstört worden zu sein (Abbildungen A34 und A35, Tabelle A35).

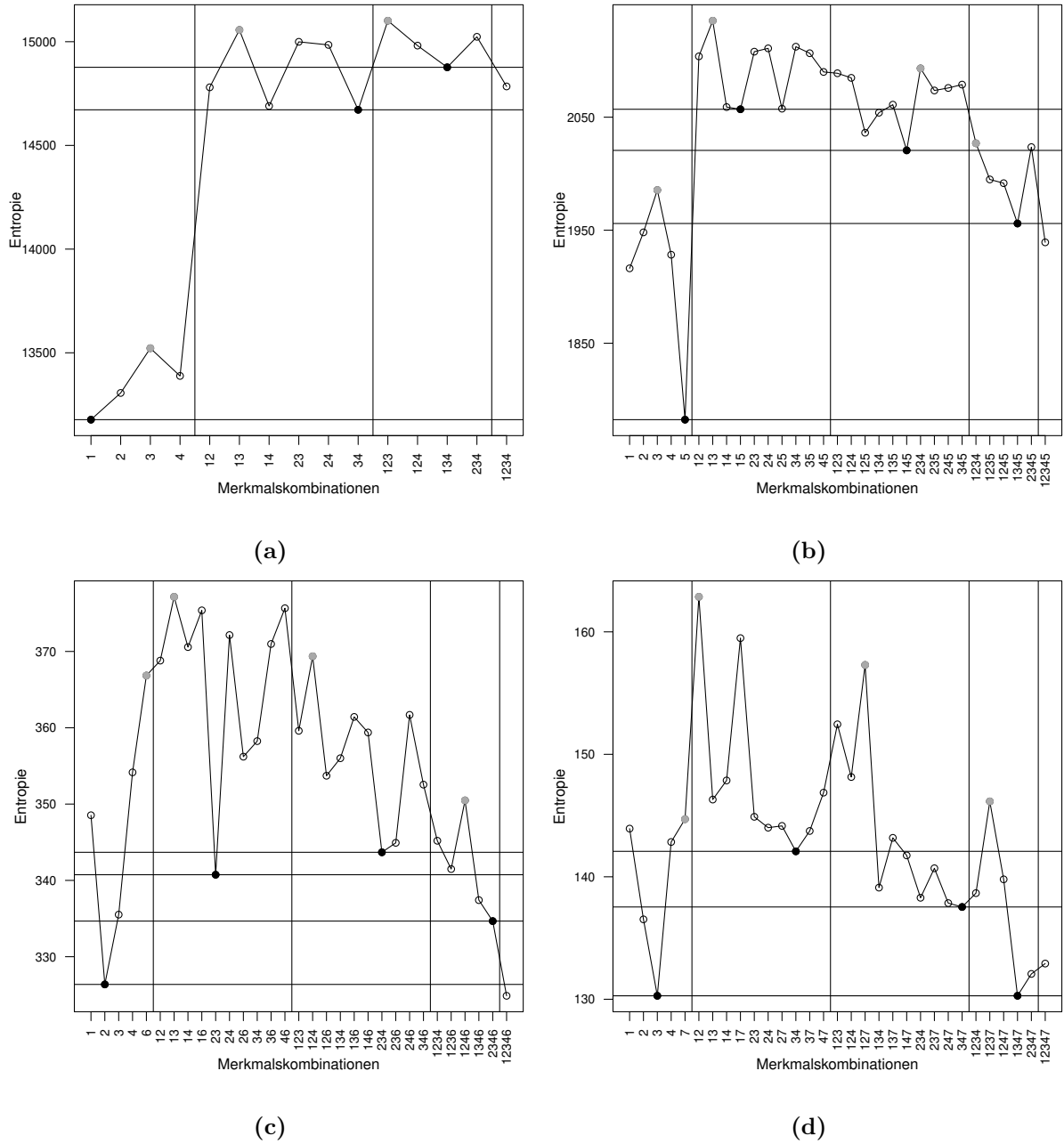


Abbildung 16: „Ranking“ mittels Distanz-basierter Entropie im Datensatz (a) I, (b) II, (c) III und (d) IV für die mindestens adulte Menschen aus Haithabu und Schleswig. In jeder Dimension (getrennt durch vertikale Linien) sind der minimale (schwarzer Punkt, horizontale Linie) und maximale (grauer Punkt) Entropiewert markiert. 1 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, 2 = $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, 3 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, 4 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, 5 = $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$, 6 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$, 7 = $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

Tabelle 14: „Feature Ranking“-Ergebnisse (Minima und Maxima), sowie optimaler Trace-Index (Maxima) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig in den Datensätzen I - IV je Dimension. 1 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, 2 = $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, 3 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, 4 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, 5 = $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$, 6 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$, 7 = $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

Feature Ranking	Minima	1 Dim.	2 Dim.	3 Dim.	4 Dim.
	I	1	34	134	
	II	5	15	145	1345
	III	2	23	234	2346
	IV	3	34	347	1347
	Maxima	1 Dim.	2 Dim.	3 Dim.	4 Dim.
	I	3	13	123	
	II	3	13	234	1234
	III	6	13	124	1246
	IV	7	12	127	1237
Trace-Index	Maxima	1 Dim.	2 Dim.	3 Dim.	4 Dim.
	I	-	-	-	-
	II	5	12	125	1235
	III	2	14	246	-
	IV	3	34	127	1347

5.2.2.7 Zusammenhang zwischen den Isotopensystemen

Je nach Teildatensatz ergeben sich für verschiedene Isotopensysteme vergleichsweise hohe Entropiewerte bzw. Kombinationen ohne die entsprechenden Isotopensysteme resultieren in niedrigen Entropiewerten. Diese Isotopensysteme könnten ohne zu großen Informationsverlust aus den jeweiligen (Teil-)Datensätzen entfernt werden. Es scheint ein Zusammenhang zu bestehen zwischen einem Isotopensystem mit geringem Informationsgehalt und der Korrelation zwischen den übrigen Isotopensystemen der entsprechenden Datensätze (vgl. Tabellen A36 bis A39).

Für alle untersuchten Teildatensätze (mit Ausnahme von Datensatz III der Menschen,

sh. unten) besteht eine signifikante Korrelation zwischen dem Isotopensystem, das gemäß Entropie-basiertem „Feature Ranking“ aus dem Datensatz entfernt werden könnte, und mindestens einem anderen Isotopensystem im Falle der Menschen bzw. mindestens zwei anderen Isotopensystemen im Falle der übrigen untersuchten Gruppen. Zumindest einer dieser Zusammenhänge zeigt zudem auch eine signifikante partielle Korrelation (vgl. Tabellen A36 bis A39).

Die terrestrischen Säuger zeigen in Datensatz I und III die Tendenz, dass $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ ohne zu großen Informationsverlust entfernt werden kann. Die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte korrelieren für Datensatz I signifikant mit den zugehörigen $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ - ($r = 0,226$ (marginal)) und $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Werten ($r = 0,374$ (marginal), $r = 0,354$ (partiell)) bzw. für Datensatz III mit $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ ($r = 0,218$ (marginal)), $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ ($r = 0,309$ (marginal)) und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ ($r = 0,522$ (marginal), $r = 0,493$ (partiell); Tabellen A36 und A37). Aus Isotopensicht sind die signifikanten partiellen Korrelationen zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (I) bzw. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (III) von Bedeutung. In beiden Fällen sind die Korrelationskoeffizienten eher gering (0,354 bzw. 0,493). Der Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ kann durch denselben Ursprung der Isotope aus dem Blut-Bikarbonat (Ambrose et al., 1997; Gannes et al., 1998; Sullivan & Krueger, 1981, vgl. hierzu auch Kapitel 2.1.3) erklärt werden. Zudem sind beide Isotopensysteme in den terrestrischen Säugern durch den „sea spray“-Effekt beeinflusst, der zu erhöhten $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ - sowie $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten führt (sh. Kapitel 5.3.1). Der Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ ist primär vermutlich ebenfalls auf den „sea spray“-Effekt in beiden Isotopensystemen zurückzuführen (sh. Kapitel 5.3.1). Zudem stehen sowohl die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - als auch die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte in Beziehung mit dem $\delta^{18}\text{O}$ -Wert des Körperwassers, da es zu einem durch Enzyme katalysierten Isotopenaustausch mit dem Körperwasser kommt (Bryant et al., 1996; Gannes et al., 1998; Green et al., 2018; Kirsanow & Tuross, 2011; Sullivan & Krueger, 1981). Die dennoch recht geringe Korrelation von nur 0,493 ist wohl die Konsequenz der Zusammenfassung verschiedenster terrestrischer Spezies (vgl. hierzu auch Kapitel 5.7).

Bei den Herbivoren ergeben sich dieselben Zusammenhänge. Auffällig ist hier die negative Korrelation zwischen $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ (I: $r = -0,339$ (partiell); III: $r =$

-0,368 (partiell)). Niedrige $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Werte werden demnach höheren $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten zugeordnet (und *vice versa*). Ursächlich hierfür könnte der limnische Einfluss auf die $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte sein (vgl. Kapitel 5.4.1), der bei einigen herbivoren Säugern des Datensatzes zu einer deutlichen Anreicherung in ^{15}N führt, wohingegen die $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Werte scheinbar nicht beeinflusst werden. Dieser Effekt müsste auch im Teildatensatz der terrestrischen Säuger vorhanden sein, wird aber wohl durch die anwesenden carnivoren und omnivoren Individuen mit ohnehin höheren $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten maskiert (Tabellen A36 und A37).

Im Fisch-Datensatz könnte das Entfernen der Stickstoffisotopenwerte kompensiert werden. Die $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte korrelieren signifikant mit den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ - ($r = 0,567$ (marginal), $r = 0,334$ (partiell)), $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ - ($r = 0,373$ (marginal)) und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten ($r = 0,453$ (marginal)). Zudem korrelieren sowohl die $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ - als auch die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte signifikant mit $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ ($r = 0,754$ bzw. $0,489$ (marginal)) bzw. $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ ($r = 0,373$ bzw. $0,453$ (marginal)), wobei für den Zusammenhang mit $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ auch die partielle Korrelation signifikant ist ($r = 0,728$ bzw. $0,383$ (partiell)). Somit liegt ein ausreichender Teil an Information aus dem Kollagen auch im Karbonat vor, weshalb das Weglassen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ zu einem nur geringen Informationsverlust führt (sh. Kapitel 5.2.2.4, Tabelle A36). Inhaltlich von Bedeutung sind hierbei die signifikanten partiellen Korrelationen zwischen $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, sowie $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$. Sowohl $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ als auch $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ spiegeln das Proteinsignal, sowie, damit zusammenhängend, die Trophiestufe der konsumierten Nahrung wider. Damit wird eine gewisse Korrelation zwischen den beiden Isotopensystemen erwartet. $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ gibt nicht nur das Proteinsignal der Nahrung wider (vgl. $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$), sondern bildet die gesamte Nahrung (Proteine, Kohlenhydrate, Fette) ab (z. B. Ambrose & Norr, 1993; Howland et al., 2003; Jim et al., 2004). Durch diese teilweise Übereinstimmung kommt es zu einer relativ hohen Korrelation ($0,728$) zwischen $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (vgl. auch z. B. Sullivan & Krueger, 1981). Die Korrelation zwischen $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ schließlich kann dadurch erklärt werden, dass $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ v. a. die Isotopie der aufgenommenen Nahrung widerspiegelt (Kirsanow & Tuross, 2011), weshalb ein gewisser (wenn

auch geringer) Zusammenhang mit den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Werten erwartet wird.

Im Teildatensatz der Vögel bestehen zwischen allen Isotopensystemen signifikante marginale, sowie z. T. auch signifikante partielle Korrelationen. Mitunter sind die Korrelationsfaktoren hierbei aber verhältnismäßig gering (Tabelle A36). Gemäß des Entropie-Verfahrens könnten die $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Werte mit verhältnismäßig geringem Informationsverlust aus dem Datensatz entfernt werden. Die $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Werte korrelieren signifikant mit den zugehörigen $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ - ($r = 0,672$ (marginal), $r = 0,598$ (partiell)), $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ - ($r = 0,382$ (marginal)) und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten ($r = 0,238$ (marginal); Tabelle A36). Inhaltlich bedeutsam für den Teildatensatz der Vögel ist die signifikante partielle Korrelation zwischen $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$. Wie schon für den Teildatensatz der Fische ist dieser Zusammenhang mit dem Abbilden des Proteinsignals und dem Signal der gesamten Nahrung (einschließlich Protein) zu erklären.

Die Datensätze I, II und IV der mindestens adulten Menschen zeigen eine signifikante marginale und partielle Korrelation zwischen $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ (I: $r = 0,435$ (marginal), $r = 0,410$ (partiell); II: $r = 0,465$ (marginal), $r = 0,500$ (partiell); IV: $0,641$ (marginal) bzw. $0,546$ (partiell); Tabellen A36, A37 und A39). Für Datensatz I besteht außerdem auch eine signifikante Korrelation zwischen $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ ($r = -0,218$ (marginal)), für Datensatz II zwischen $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ ($r = -0,256$ (marginal), $r = -0,261$ (partiell); Tabellen A36 und A37). Gemäß „Feature Ranking“ könnte $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ ohne allzu großen Informationsverlust aus den Datensätzen I, II und IV entfernt werden. Anders verhält es sich in Datensatz III. Hier sollte dem „Feature Ranking“ zufolge nicht $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, sondern $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ aus den Daten entfernt werden. Es bestehen jedoch keinerlei signifikante Korrelationen zwischen den einzelnen Isotopensystemen (Tabelle A38). Auffällig ist hierbei jedoch, dass der normalisierte Datensatz III, wie auch der entsprechende Datensatz ohne $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ („2346“), keine Clusterstruktur aufweist (wie auch Datensatz II). Im Falle der Menschen sind die signifikanten partiellen Korrelationen zwischen $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ bzw. $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ von Bedeutung. Die Korrelation zwischen $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ für Datensatz I, II und IV ist erneut mit dem von beiden Isotopensystemen wiedergegebenen Proteinsignal zu erklären (sh. oben).

Eine Korrelation zwischen $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ kann auf das durch beide Isotopensysteme abgebildete Proteinsignal (sh. Kapitel 2.1.2) erklärt werden. Dass nun aber die Korrelation hier negativ ist (-0,261) bedeutet, dass hohe $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte niedrigen $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten gegenüber gestellt werden (und *vice versa*). Dies kann wiederum damit erklärt werden, dass hohe $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte im vorliegenden Datensatz durch den „sea spray“-Effekt verursacht werden, während die zugehörigen $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte offenbar nicht durch den „sea spray“-Effekt beeinflusst werden (sh. Kapitel 5.3.1). Andererseits findet sich in den tierischen $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten ein limnischer Einfluss, der zu erhöhten $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten bei gleichzeitig eher niedrigen $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten führt (vgl. Kapitel 5.4.1). Dies ist für die Menschen sehr wahrscheinlich auch der Fall, kann jedoch nicht abschließend geklärt werden (Kapitel 5.4.1.2). Hinzu kommt aber auch eine wahrscheinliche Vermischung primär lokaler und nicht-lokaler Menschen.

Wie auch im Falle des ARI (vgl. Kapitel 5.2.1) wird deutlich, dass unterschiedlich zusammengesetzte (Teil-)Datensätze eine Auswirkung auf das Ergebnis des Entropie-basierten „Feature Ranking“-Verfahrens haben. Dies gilt umso mehr bei dem Vergleich der unterschiedlichen Teildatensätze (z. B. terrestrische Säuger vs. Fische).

5.3 „sea spray“-Effekt

Anmerkung

Dieses Kapitel verwendet Material aus folgenden Publikationen:

- **Göhring, A.**, Mauder, M., Kröger, P., Mayr, C., von Carnap-Bornheim, C., Hilberg, V., Grupe, G. (2019). „Evidence for sea spray effect on oxygen stable isotopes in bone phosphate - approximation and correction using Gaussian Mixture Model clustering“. *Science of the Total Environment* 673, 668-684.
- **Göhring, A.**, Mauder, M., Vohberger, M., Nehlich, O., von Carnap-Bornheim, C., Hilberg, V., Kröger, P., Grupe, G. (2018). „Palaeobiodiversity research based on stable isotopes: Correction of the sea spray effect on bone carbonate $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ by Gaussian Mixture Model clustering“. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 290, 673-686.
- **Göhring, A.**, Vohberger, M., Nehlich, O., Grupe, G. (2015). „Approximation of the sea spray effect and limnic influence on $\delta^{34}\text{S}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of archaeological human and terrestrial and freshwater animal skeletal finds“. *Documenta Archaeobiologiae* 12, 169-188.

5.3.1 Approximation des „sea spray“-Effektes

Für die Approximation des „sea spray“-Effektes werden die Isotopendaten wildlebender, terrestrischer, herbivorer Säuger und mariner Säuger verwendet. Diese beiden Gruppen sollten sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Ernährungsweise und ihres unterschiedlichen Habitats isotopisch eindeutig voneinander trennen lassen (vgl. z. B. Clementz et al., 2006; Clementz & Koch, 2001; Fry & Sherr, 1984; Hobson, 1999; Koch, 2007; Miyake & Wada, 1967; Mook, 2000; Mook, 1971; Nehlich, 2015; Richards et al., 2006; Richards & Hedges, 1999; Schoeninger & DeNiro, 1984, Kapitel 2.1.5). Ein Überlappen der beiden Gruppen bezüglich eines Isotopensystems kann als Hinweis auf den „sea spray“-Effekt in diesem Isotopensystem angesehen werden. Die Überprüfung des Effektes erfolgt hierbei für jedes

Isotopensystem getrennt. Das Vorgehen wird im Folgenden näher beschrieben:

Aufgrund ihrer unterschiedlichen Ernährung und ihres unterschiedlichen Habitats sollten sich terrestrische Herbivore und marine Säuger bezüglich ihrer $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen-}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat-}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat-}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat-}}$, sowie $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen-}}$ -Werte unterscheiden. Damit werden zwei deutlich unterscheidbare Cluster erwartet, wenn terrestrische herbivore und marine Säuger zusammen untersucht werden. Sollte hingegen ein „sea spray“-Effekt auftreten, würde dies ein drittes Cluster erzeugen, in das herbivore Säuger eingeteilt werden, die aufgrund eines (besonders deutlichen) „sea spray“-Einflusses erhöhte Isotopenwerte aufweisen. Da aufgrund der Nähe zum Meer ein „sea spray“-Effekt erwartet wird, wird die Clusterzahl auf drei Cluster festgesetzt. Ein Cluster (Cluster 3; Tabellen A40, A42 und A44) enthält nur marine Säuger, die in allen untersuchten Isotopensystemen erwartungsgemäß angereichert im schweren Isotop sind (Tabellen A41, A43 und A45). In einem weiteren Cluster (Cluster 2; Tabellen A40, A42 und A44) finden sich nur herbivore Säuger mit niedrigen Isotopenwerten in allen Systemen (Tabellen A41, A43 und A45). Diese Individuen wurden offenbar nicht oder in eher geringem Maße durch den „sea spray“-Effekt beeinflusst. In das letzte Cluster wiederum (Cluster 1; Tabellen A41, A43 und A45) werden herbivore Säuger eingeteilt, die relativ positive Isotopenwerte aufweisen, was durch einen „sea spray“-Einfluss erklärt werden könnte (vgl. Tabellen A41, A43 und A45). Außerdem werden im Fall von Datensatz I und III auch zwei marine Säuger (Pottwal Hb 50, Seehund Hb 23) diesem Cluster zugeordnet (Tabellen A42 und A44). Diese beiden Individuen zeigen ein Süßwasser-Signal bzw. stammen, im Falle des Pottwals, aus einer kälteren (nördlichen) Region. Während Seehunde teilweise weit in Flüsse hinein schwimmen (Reichstein, 1991), um dort zu jagen, was das Süßwassersignal von Seehund Hb 23 erklären kann, stammt Pottwal Hb 50 ursprünglich aus dem Polarmeer und strandete wohl in der Nähe von Haithabu und Schleswig. Eine sehr niedrige Wassertemperatur führt dazu, dass CO_2 besser in Wasser löslich ist. Es kommt zu einer Anreicherung des Wassers mit ^{13}C , die sich über die Nahrungskette auch im Endkonsumenten wiederfindet. Somit sind die niedrigen Isotopenwerte des Pottwals auf die Herkunft aus einem kalten Gewässer (Polarmeer) zurückzuführen (Becker & Grupe, 2011).

Wie in den Abbildungen 17 bis 19 gezeigt wird, treten zwischen herbivoren und marinen Säugern in der Mehrzahl der Isotopensysteme Überlappungen auf. Dies ist der Fall für $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$, sowie $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (Abbildungen 17 bis 19). Den ursprünglichen Annahmen entsprechend (vgl. Kapitel 2.1.5) werden die herbivoren und marinen Säuger im Falle der $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ - und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte bezüglich ihrer Isotopenwerte deutlich voneinander getrennt (vgl. z. B. Abbildung 17). Aufgrund der fehlenden Überlappung (vgl. auch Abbildungen 20(a) und 20(c)) ist es nicht möglich, den „sea spray“-Effekt für $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ bzw. $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ zu approximieren. Ein Vorhandensein des Effektes in diesen beiden Isotopensystemen kann dadurch allerdings auch nicht vollkommen ausgeschlossen werden, was auch Kapitel 6.4.2 andeutet.

Die durchgeführte Diskriminanzanalyse (auf Basis der GMM-Clusterergebnisse als Klassenzuweisung für den Trainingsdatensatz) an den unkorrigierten Datensätzen zeigt relativ geringe Trainings- und Testfehler. Für Datensatz I ergibt sich ein Trainingsfehler von $0,98 \% \pm 1,13 \%$ und ein Testfehler von $5,80 \% \pm 4,51 \%$. Die GMM-Clusteranalyse an Datensatz II ergibt einen Trainingsfehler von $0,0 \% (\pm 0,0 \%)$ und einen Testfehler von $21,4 \% \pm 16,2 \%$. Der Trainingsfehler für Datensatz III beträgt $2,4 \% \pm 2,4 \%$, der Testfehler lediglich $14,5 \% \pm 7,2 \%$.

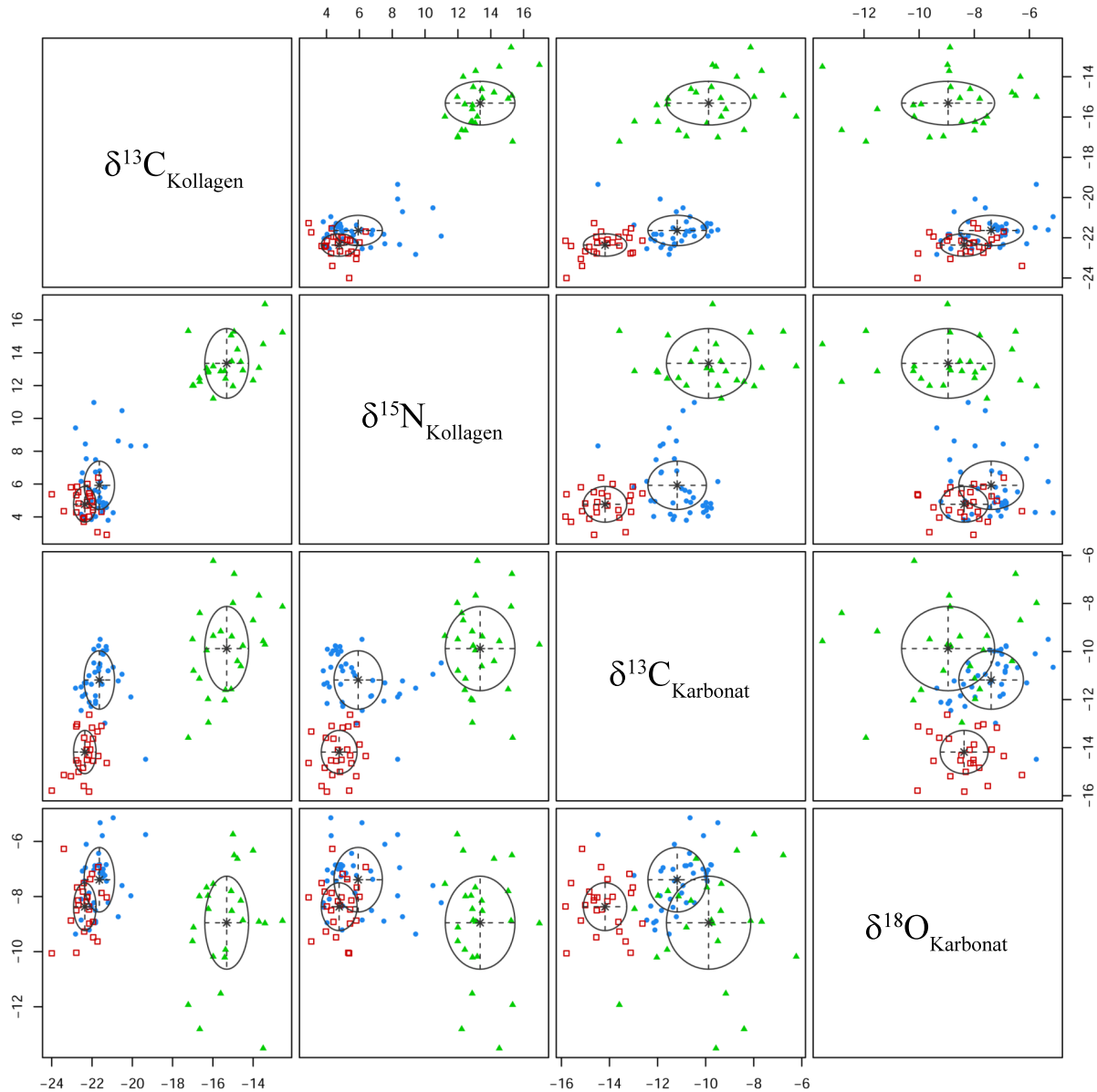


Abbildung 17: Paarweiser, bivariater Plot der resultierenden drei GMM-Cluster des „VEI“-Modells (Scrucca et al., 2016) für den vier-dimensionalen Datensatz I ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$). Geclustert wurden hierbei nur terrestrische herbivore Säuger, sowie marine Säuger aus Haithabu und Schleswig. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck).

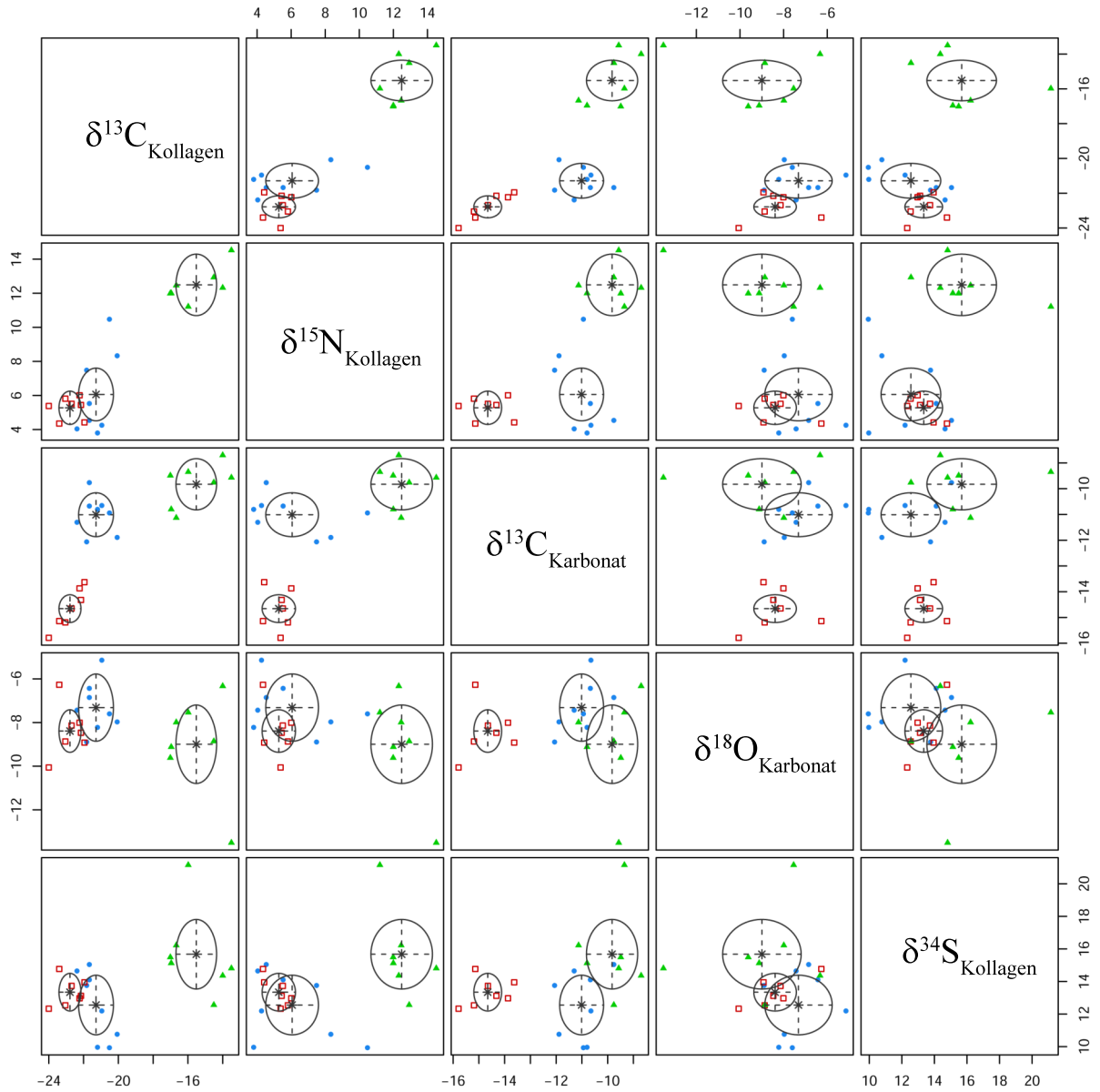


Abbildung 18: Paarweiser, bivariater Plot der resultierenden drei GMM-Cluster des „VEI“-Modells (Scrucca et al., 2016) für den fünf-dimensionalen Datensatz II ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$). Geclustert wurden hierbei nur terrestrische herbivore Säuger, sowie marine Säuger aus Haithabu und Schleswig. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck).

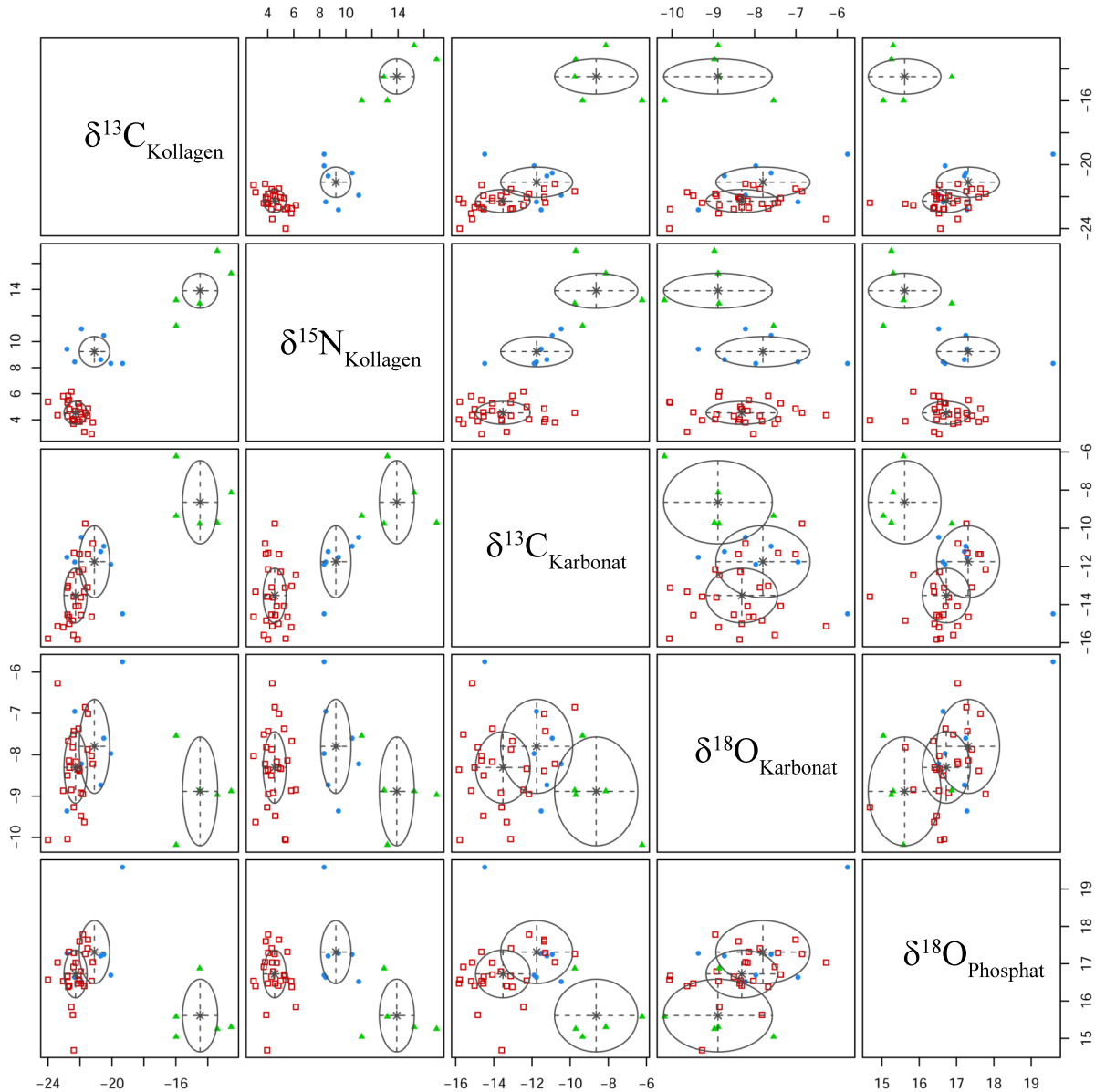


Abbildung 19: Paarweiser, bivariater Plot der resultierenden drei GMM-Cluster des „VEI“-Modells (Scrucca et al., 2016) für den fünf-dimensionalen Datensatz III ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$). Geclustert wurden hierbei nur terrestrische herbivore Säuger, sowie marine Säuger aus Haithabu und Schleswig. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck).

Gemäß der Annahme, dass sich terrestrische, herbivore und marine, piscivore Säuger aufgrund ihrer Isotopie unterscheiden sollten (vgl. Kapitel 2.1.5), wird im nächsten Schritt für jedes Isotopensystem eine sogenannte „untere marine Grenze“ festgelegt. Dies ist derjenige marine, piscivore Säuger mit dem niedrigsten Isotopenwert, der als lokal angesehen werden

kann. Die marine Grenze wird auf -12,96 ‰ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$; Kegelrobbe 23KR4V), -10,21 ‰ ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$; Kegelrobbe 72KR2Sc), 15,30 ‰ ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$; Ringelrobbe Hb 28) und 12,56 ‰ ($\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$; Kegelrobbe S 17) festgelegt (vgl. Abbildung 20).

Die Wahl der jeweiligen unteren marinen Grenze kann wie folgt erklärt werden:

Kegel- und Ringelrobben, sowie Seehunde waren früher an der Ostseeküste lokal (Reichstein, 1991). Da Seehunde jedoch, wie bereits erwähnt, oft weit in Flüsse hinein schwimmen (Reichstein, 1991) und dort auch jagen, könnte ihr Isotopensignal in Richtung der Süßwasserquellen verschoben sein. Daher werden für die Festlegung der unteren marinen Grenze keine Seehunde verwendet. Sattelrobben und Pottwale sind primär nicht lokal in der Ostsee (Heinrich, 1991; Reichstein, 1991). Sattelrobben kommen eher in arktischen Küstengewässern vor (Reichstein, 1991). Pottwal Hb 50 stammt wohl aus dem Nordseegebiet (Heinrich, 1991) oder dem Polarmeer (Becker & Grupe, 2011) und strandete an der Ostseeküste. Eine Bejagung von Pottwalen zu der damaligen Zeit ist undenkbar (Reichstein, 1991), somit sind sie auch keinesfalls eine übliche Handelsware (Heinrich, 1991). Wie zudem in der Dichtekurve der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte erkennbar ist, scheinen die Kegelrobben 73 KR3Mt und 71 KR1BuTy mit Werten von -11,93 ‰ bzw. -11,52 ‰ zusammen mit Seehund KHB 31 (-13,51 ‰) und Sattelrobbe 26 SR2Fi (-12,81 ‰) im Bereich eines kleinen zweiten (lokalen) Maximums zu liegen (vgl. Abbildung A36). Da dies auf eine mögliche nicht-lokale Herkunft hindeuten könnte, werden diese beiden Individuen ebenfalls als untere marine Grenze ausgeschlossen. Dies gilt im Fall von Kegelrobbe 73 KR3Mt auch für die marine Grenze für die $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Werte, auch wenn der Wert von -13,59 ‰ in diesem Isotopensystem nicht auffällig ist (vgl. Abbildung A36). Da nur von sieben marinen Säugern die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ - bzw. $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte gemessen wurden, wären Dichtekurven hier nicht aussagekräftig. Es zählt daher das Kriterium der Lokalität (sh. oben). Seehunde werden auch hier aufgrund eines potenziellen Süßwassersignals ausgeschlossen. Somit ergeben sich die oben genannten, jeweiligen unteren marinen Grenzen für die vier Isotopensysteme.

Die Überlappung zwischen terrestrischen herbivoren und marinen Säugern bezüglich ihrer $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ - und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte wird auch in Abbildung 20 deutlich.

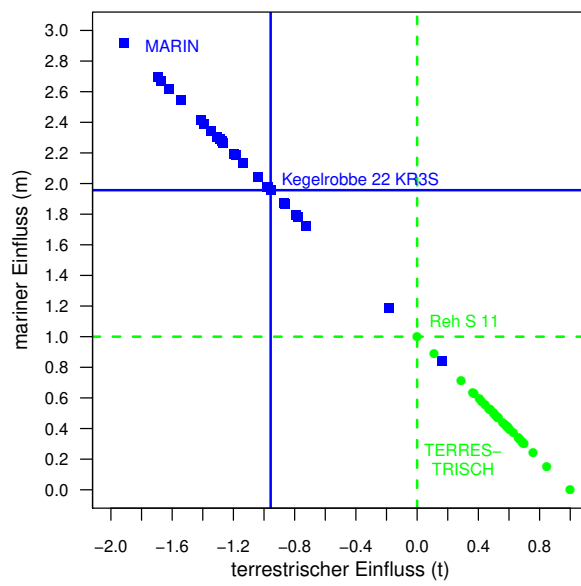
Die Differenz (Δ) zwischen dem Isotopenwert der gewählten unteren marinen Grenze und der herbivoren Säuger, die einen Isotopenwert aufweisen, der über dieser marinen Grenze liegt (vgl. Tabellen A48 bis A51), kann gemäß Formel 84 berechnet und in prozentuale Werte ($\Delta[\%]$) umgerechnet werden (Formel 85):

$$\Delta = \delta^Y X - \delta^Y X_{\text{untere marine Grenze}} \quad (84)$$

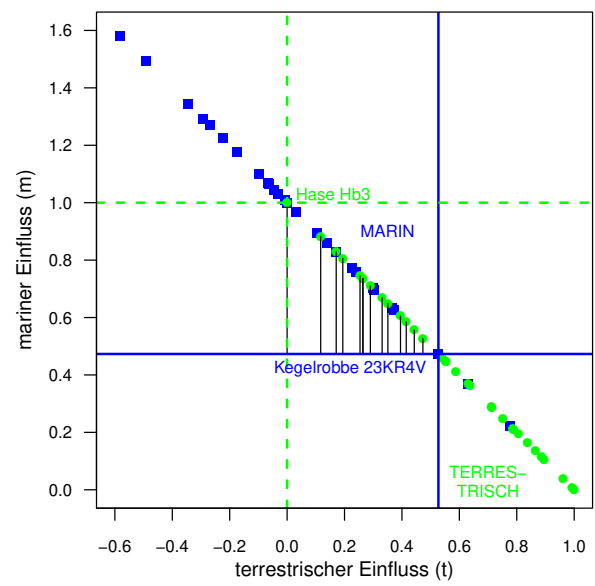
$$\Delta [\%] = \frac{\Delta * 100}{\delta^Y X_{\text{untere marine Grenze}}} \quad (85)$$

Die Approximation des „sea spray“-Effektes erfolgt mit Hilfe der prozentualen Differenz ($\Delta[\%]$) zwischen dem terrestrischen Herbivoren mit dem höchsten Isotopenwert - und somit dem höchsten „sea spray“-Einfluss - und der unteren marinen Grenze. Da angenommen wird, dass der Einfluss des Effektes mit zunehmender Entfernung von der Küste abnimmt, wie es für Schwefelisotope festgestellt wurde (vgl. z. B. Wakshal & Nielsen, 1982; Zazzo et al., 2011), und da zudem die untersuchten Individuen aufgrund einer individuellen Aufnahme von beeinflusster Nahrung wahrscheinlich auch unterschiedlich stark vom „sea spray“ beeinflusst wurden, wird die prozentuale Differenz verwendet. So kann sicher gestellt werden, dass Individuen, die kaum oder gar nicht vom „sea spray“ betroffen sind und die somit auch eher niedrige Isotopenwerte aufweisen, im Folgenden weniger stark korrigiert werden als solche mit höheren Isotopenwerten, die sehr wahrscheinlich durch den „sea spray“-Effekt verfälscht wurden.

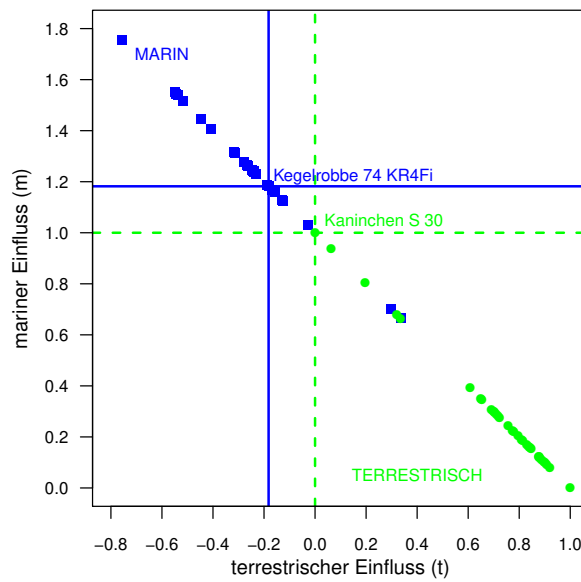
So ergibt sich eine prozentuale Differenz von 32,8 % im $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (Hase Hb 3: -9,76 ‰), 62,8 % im $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (Hase S 28: -6,27 ‰), 13,9 % im $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (Auerochse Hb 48: 17,78 ‰) und 16,5 % im $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (Hase Hb 3: 15,05 ‰) (vgl. Tabellen A48 bis A51). Diese prozentualen Werte (32,8 %, 62,8 %, 13,9 % und 16,5 %) können als minimaler „sea spray“-Effekt für die entsprechenden Isotopensysteme verstanden werden. Alle terrestrischen Tiere, sowohl herbivore, als auch carnivore und omnivore Individuen, und limnische Tiere müssen um mindestens diesen Wert korrigiert werden, damit der herbivore Säuger mit dem höchsten Isotopenwert nur noch maximal so marin ist wie der am wenigsten marine Säuger.



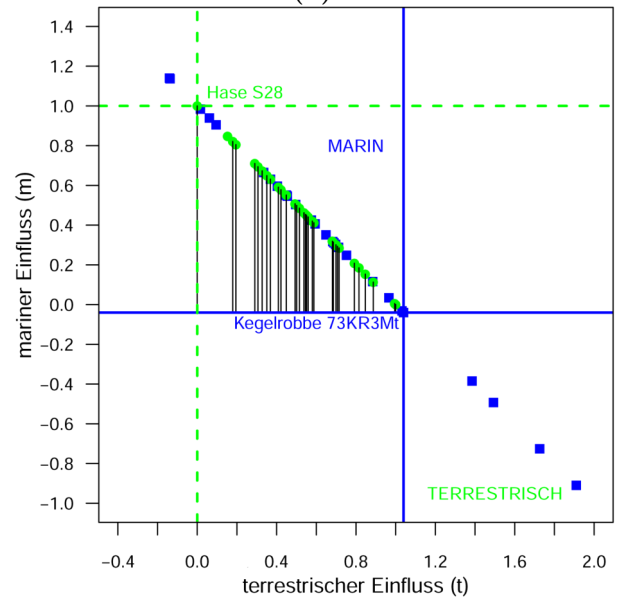
(a)



(b)



(c)



(d)

Fortsetzung von Abbildung 20 sh. nächste Seite

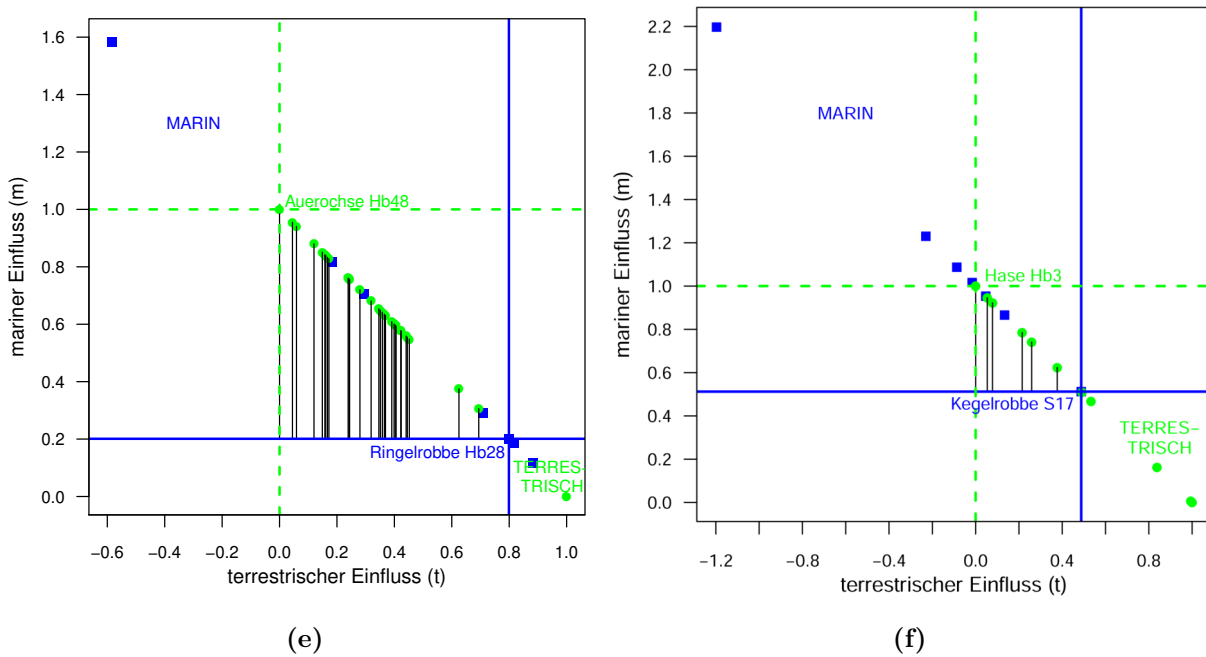


Abbildung 20: Terrestrischer bzw. mariner Einfluss im Isotopenwert wildlebender terrestrischer, herbivorer (grün) und mariner Säuger (blau) für (a) $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, (b) $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, (c) $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, (d) $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, (e) $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ und (f) $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$. Eingetragen sind zudem die jeweilige untere marine Grenze und der Herbivore mit dem höchsten marinen Signal und damit dem höchsten „sea spray“-Einfluss. Der Bereich unterhalb der unteren marinen Grenze ist somit „terrestrisch“, während der Bereich oberhalb dieser Grenze als „marin“ zu bezeichnen ist. Die senkrechten schwarzen Linien symbolisieren, welche herbivoren Säuger als „zu marin“ bezeichnet werden können.

Die Untersuchung des „sea spray“-Effektes in $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ist aufgrund nicht vorhandener $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte für marine Säuger nur bedingt möglich. Abbildung 21 zeigt die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte von Rothirschen ($n = 9$) und Rotfüchsen ($n = 3$) aus Haithabu und Schleswig (Tabelle A58). Der lokale „cut-off“-Bereich für Individuen aus Haithabu und Schleswig wurde auf Basis von analysierten Holzproben ($\mu(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}) = 0,71090$; $n = 19$; Grupe et al., 2011), dem global stabilem Wert für Strontium aus der Atmosphäre ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70918$; Faure & Mensing, 2005), sowie von approximativ bestimmten $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werten für (Trink-)Wasser ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,708801$; Grupe et al., unpubliziert) und bioverfügbarem Strontium im Boden ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,719$; Grupe et al., unpubliziert) berechnet und liegt zwischen 0,70905 und 0,71073 (vgl. Abbildung 21 Becker & Grupe, 2012; Grupe et al., unpubliziert).

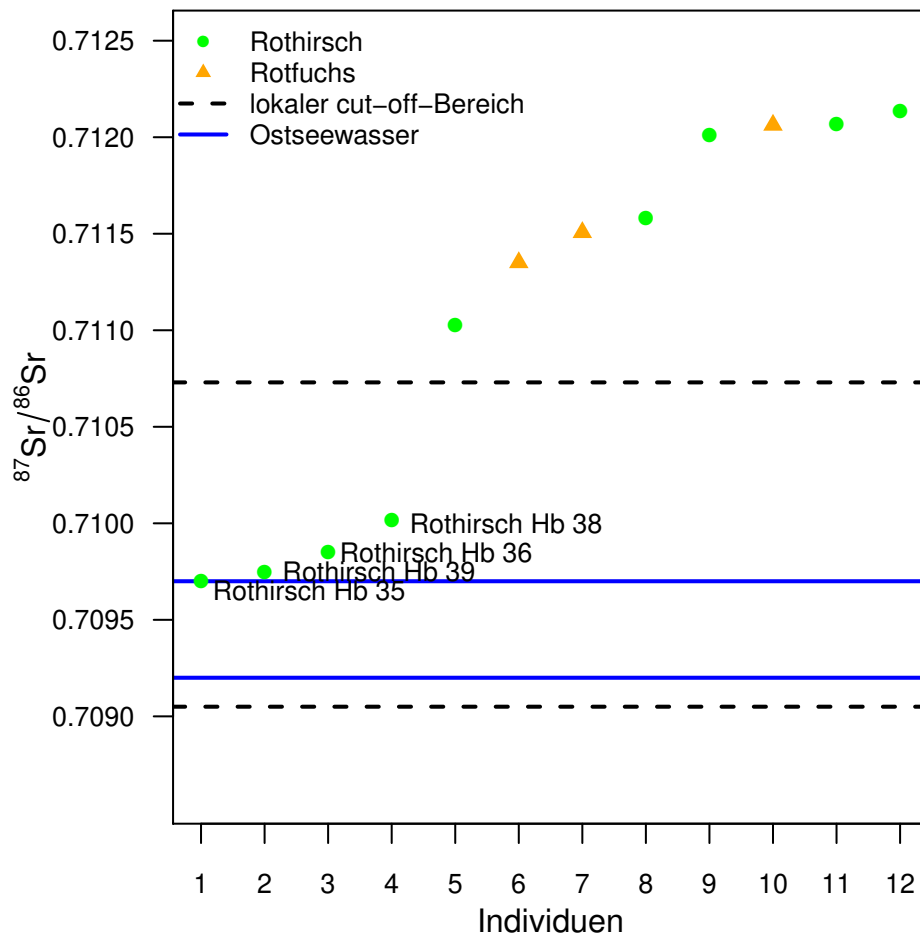


Abbildung 21: Der Größe nach sortierte $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte von Rothirschen und Rotfüchsen aus Haithabu und Schleswig. Eingetragen sind der berechnete lokale cut-off-Bereich ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70905 - 0,71073$; Grupe et al., unpubliziert), sowie der für die Ostsee erwartete Wertebereich ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,7092 - 0,7097$; Andersson et al., 1992) (sh. Text).

Ein potenzieller „sea spray“-Einfluss auf die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte terrestrischer Individuen führt zu einer Verschiebung in Richtung von etwa 0,7092 - 0,7093 (Meerwasserwert; Andersson et al., 1992; Bentley, 2006; Burton & Price, 2013; Whipkey et al., 2000). Von den im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Säugern ($n = 12$) fallen vier in den lokalen „cut-off“-Bereich (Rothirsch Hb 35, Hb 36, Hb 38, Hb 39). Rothirsch Hb 35 liegt mit einem $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert von 0,709700 im für die Ostsee bestimmten Wertebereich (0,7092 - 0,7097; Andersson et al., 1992, vgl. Abbildung 21). Insbesondere aber die gerade genannten vier Rothirsche (Hb 35, Hb 36, Hb 38, Hb 39) sind verglichen mit den übrigen terrestrischen Säugern in Richtung des Brackwasserbereiches verschoben. Rothirsche halten sich bevorzugt in

bewaldeten Gebieten auf. Sie finden sich nicht an der unmittelbaren Küste und ernähren sich auch nicht von Seegras, sodass erhöhte $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte nicht durch einen normalen Nahrungseffekt erklärt werden können. Weiter stammen die Rothirsche, die in Haithabu und Schleswig gefunden wurden, archäozoologischen Untersuchungen zufolge aus der näheren Umgebung von Jütland (vgl. Heinrich, 1991; Reichstein, 1974; Reichstein, 1991; Requate, 1956; Ulbricht, 1978). Somit sind die Rothirsche als lokal zu erachten. Eine Verschiebung in Richtung von Brackwasserwerten ist daher durch den „sea spray“-Effekt verursacht.

Die Rothirsche Hb 35 und Hb 39 werden in der oben durchgeführten GMM-Clusteranalyse für Datensatz I (Hb 35, Hb 39) bzw. III (Hb 35) dem „sea spray“-Cluster (Cluster 1; Abbildungen 17 und 19, Tabellen A40 und A44) zugeordnet. Ursächlich hierfür sind v. a. die erhöhten $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Werte (-11,36 ‰ (Hb 35) bzw. -12,28 ‰ (Hb 39); Tabelle A48), sowie der erhöhte $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Wert von Rothirsch Hb 35 (17,60 ‰; Tabelle A50). Die Rothirsche Hb 36 und Hb 38 fallen zwar nicht in das „sea spray“-Cluster, weisen jedoch dennoch erhöhte $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte (-7,37 ‰ (Hb 36) bzw. -7,67 ‰ (Hb 38); Tabelle A49) auf. Ein besonders starker „sea spray“-Einfluss im Falle von Hb 35 und Hb 39 und ein etwas geringerer, jedoch wohl ebenfalls vorhandener „sea spray“-Einfluss auf Hb 36 und Hb 38 ist wahrscheinlich. Hb 35 und Hb 39 weisen die am deutlichsten in Richtung Brackwasser verschobenen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte auf (0,709851 bzw. 0,709747; Tabelle A58). Daher sind diese Individuen (und vermutlich auch Hb 36 und Hb 38) wohl bezüglich ihrer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte durch den „sea spray“-Effekt beeinflusst. Das Ausmaß des „sea spray“-Effektes kann allerdings ohne entsprechende $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte (lokaler) mariner Säuger, sowie Strontium- und Calcium-Konzentrationswerte für die Individuen nicht bestimmt werden (sh. Kapitel 6.2.1).

Das Approximationsverfahren in Kombination mit der GMM-Clusteranalyse ermöglicht die Detektion, sowie die approximative Bestimmung des (lokalen) „sea spray“-Effektes in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ - (32,8 ‰), $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - (62,8 ‰), $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ - (13,9 ‰) und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten (16,5 ‰) terrestrischer Säuger aus Haithabu und Schleswig. Dies macht eine Korrektur der Isotopenwerte terrestrischer Individuen notwendig (sh. Kapitel 5.3.2 bis 5.3.3. Auch

in den $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werten ist der „sea spray“-Effekt wohl vorhanden, kann aber nicht näherungsweise bestimmt werden (sh. oben). Weder für $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ noch für $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ kann ein „sea spray“-Effekt verifiziert werden. Dies kann jedoch keineswegs als Indiz für einen fehlenden Einfluss auf diese beiden Isotopensysteme zu verstanden werden.

5.3.2 Korrektur des „sea spray“-Effektes in den Tieren

Die Isotopenwerte aller terrestrischen Tiere werden anhand der Formel

$$\delta^Y X_{\text{korrigiert}} = \delta^Y X - |m * \Delta [\%] * \delta^Y X| \quad (86)$$

korrigiert. Hierbei bezeichnet $\delta^Y X$ den Isotopenwert eines Individuums, $\Delta [\%]$ den approximierten, minimalen „sea spray“-Effekt (vgl. Kapitel 5.3.1) und m den sogenannten marinen Einfluss. Der marine Einfluss (m) stellte sich als notwendig heraus, da sonst aufgrund des Betrages in Formel 86 negativere Isotopenwerte stärker korrigiert würden als weniger negative, während Individuen mit negativerem Isotopenwert gemäß der Annahme aus Kapitel 2.1.5 weniger stark oder eventuell gar nicht vom „sea spray“-Effekt beeinflusst wurden und somit auch weniger stark korrigiert werden sollten. Der marine Einfluss (m) wird je Isotopensystem für jedes untersuchte Individuum mit Hilfe der beiden wildlebenden, terrestrischen Herbivoren mit dem niedrigsten bzw. dem höchsten Isotopenwert berechnet. Dieser Parameter beschreibt somit die relative Lage jedes Individuums innerhalb des Wertebereiches zwischen den extremsten Herbivoren, die ein 100 % terrestrisches ($m = 0$) bzw. ein 100 % marines ($m = 1$) Signal aufweisen. Diese beiden Herbivoren entsprechen somit den Herbivoren, die am stärksten bzw. überhaupt nicht gegen den „sea spray“-Effekt korrigiert werden. Die Berechnung des marinen Einflusses und des korrespondierenden, terrestrischen Einflusses (t) erfolgt (für jedes Isotopensystem getrennt) mittels eines linearen Gleichungssystems.

Der Wertebereich für $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ liegt für die wildlebenden, terrestrischen Herbivoren aus Haithabu bzw. Schleswig zwischen -15,83 ‰ (Hase Hb 5) und -9,76 ‰ (Hase Hb 3). Es

ergibt sich somit der folgende Zusammenhang:

$$\delta^{13}C_{\text{Karbonat}} = -15,83 * t - 9,76 * m \text{ mit } t + m = 1 \quad (87)$$

Da für diese Berechnung die beiden extremsten wildlebenden Herbivoren gewählt werden, kommt es bei der Berechnung des marinen Einflusses bei einigen Individuen, die keine wildlebenden Herbivore sind, zu Werten kleiner als 0 bzw. größer als 1 (Tabelle A48). Der mögliche Einfluss und der Umgang mit diesen Individuen wird in Kapitel 6.2.1 besprochen. Die $\delta^{18}O_{\text{Karbonat}}$ -Werte der terrestrischen, wildlebenden und herbivoren Säuger liegen zwischen -10,06 ‰ (Reh Hb 40) und -6,27 ‰ (Hase S 28). Formel 88 erlaubt die Berechnung des marinen Einflusses:

$$\delta^{18}O_{\text{Karbonat}} = -10,06 * t - 6,27 * m \text{ mit } t + m = 1 \quad (88)$$

Auch hier zeigen einige Individuen einen marinen Einfluss, der kleiner als 0 oder größer als 1 ist (Tabelle A49).

Im Falle der $\delta^{18}O_{\text{Phosphat}}$ -Werte zeigen die wildlebenden Herbivoren eine Wertespanne zwischen 14,68 ‰ (Hase S 26) und 17,78 ‰ (Auerochse Hb 48). Es gilt somit:

$$\delta^{18}O_{\text{Phosphat}} = 14,68 * t + 17,78 * m \text{ mit } t + m = 1 \quad (89)$$

Wie in den Fällen davor liegen einige Individuen unter- oder oberhalb der beiden extremsten Herbivoren Hase S 26 und Auerochse Hb 48 (Tabelle A49).

Zuletzt beträgt der Wertebereich für $\delta^{34}S_{\text{Kollagen}}$ zwischen 9,94 ‰ (Auerochse Hb 47) und 15,05 ‰ (Hase Hb 3). Damit ergibt sich Formel 90 mit

$$\delta^{34}S_{\text{Kollagen}} = 9,94 * t + 15,05 * m \text{ mit } t + m = 1. \quad (90)$$

Auch in diesem Fall zeigen zwei Individuen (Rotfuchs S 22, Schwein Hb 65) einen marinen Einfluss kleiner als 0 bzw. größer als 1 (Tabelle A51).

Nach Korrektur des „sea spray“-Effektes in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat-}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat-}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat-}}$ bzw. $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen-}}$ -Werten gemäß Formel 86 verbleiben nur wenige terrestrische Individuen oberhalb der jeweiligen unteren marinen Grenze (Abbildung 22, Tabellen A48 bis A51). Drei Säuger (Rotfuchs S 18, Schaf Hb 77, Otter 32 FO1Hepi) zeigen auch nach der Korrektur noch $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat-}}$ -Werte, die oberhalb der unteren marinen Grenze (-12,96 ‰) liegen. Die korrigierten Werte betragen hierbei -12,81 ‰, -12,74 ‰ bzw. -10,06 ‰ (Abbildung 22, Tabelle A48). Im Falle der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat-}}$ -Werte zeigen sechs Säuger (Rotfuchs Hb 18, Hb 21, Schaf Hb 76, Hb 77, Hb 78, Hb 79) auch nach der „sea spray“-Korrektur noch zu hohe Werte, die mit Werten zwischen -10,17 ‰ (Rotfuchs S 18) und -8,98 ‰ (Rotfuchs S 21) z. T. noch deutlich über der unteren marinen Grenze von -10,21 ‰ liegen (Abbildung 22 und Tabelle A49). Vier dieser Tiere (Rotfuchs S 18, S 21, Schaf Hb 78, Hb 79), sowie zwei weitere Individuen (Pferd Hb 91, Rind Hb 57) weisen auch im Falle der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat-}}$ -Werte nach wie vor zu hohe (> 15,30 ‰), korrigierte Werte auf (Abbildung 22, Tabelle A50). Bei der Korrektur der $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen-}}$ -Werte zeigt sich ein zu hoher Isotopenwert (> 12,56 ‰) nach der Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt lediglich bei Schwein Hb 65 mit einem korrigierten $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen-}}$ -Wert von 12,93 ‰ (Abbildung 22, Tabelle A51).

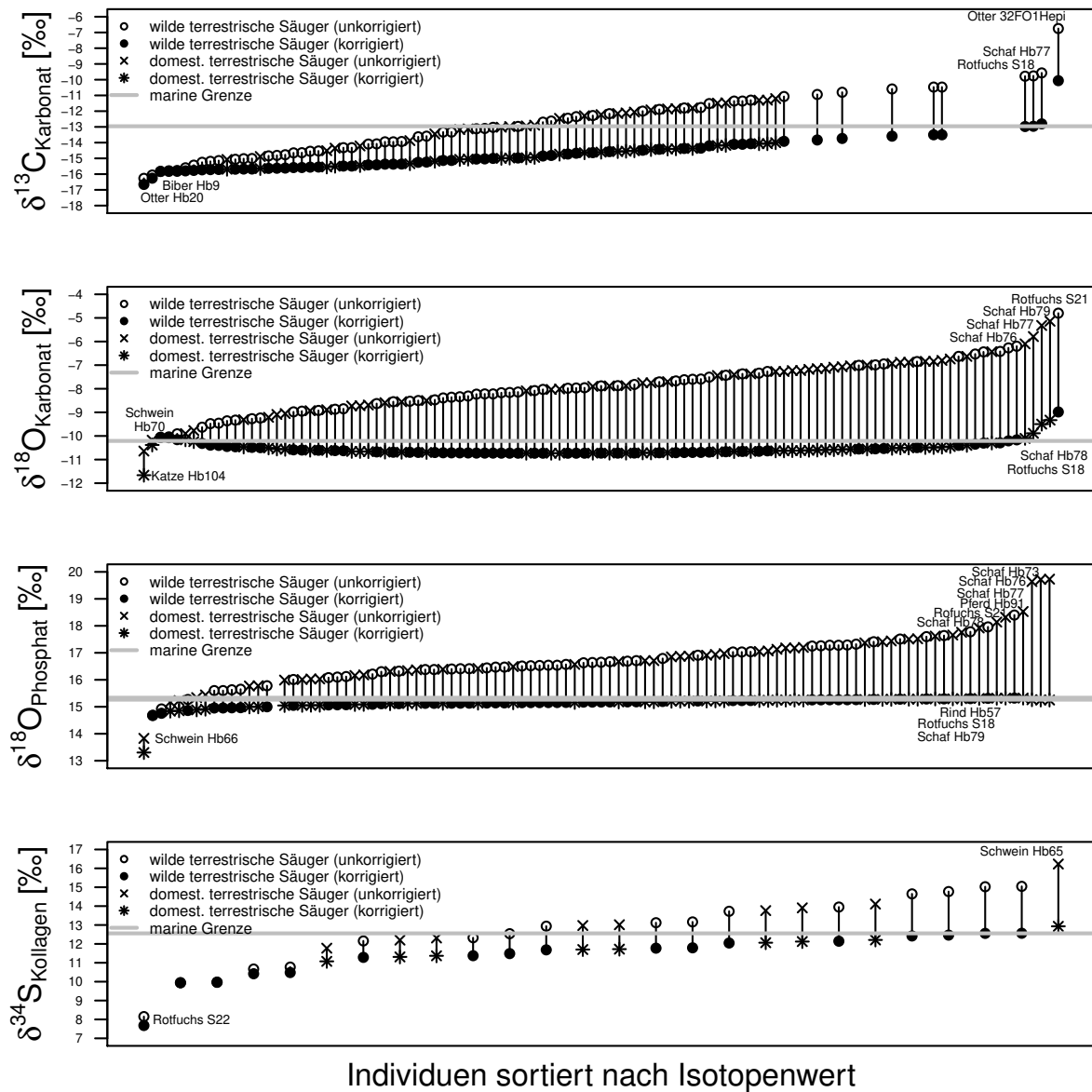


Abbildung 22: Vergleich des unkorrigierten mit dem gegen den „sea spray“-Effekt korrigierten Isotopenwert je nach Istopensystem. Die benannten Individuen werden zu wenig bzw. zu stark korrigiert (sh. Text).

Auch nach der „sea spray“-Korrektur der $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -, sowie $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte (sh. oben) werden durch das GMM nach wie vor drei Cluster detektiert (Abbildungen 23 bis 25). Während nun alle marinen Säuger einem eigenen Cluster zugeordnet werden (I: Cluster 3, II: Cluster 3, III: Cluster 1; Tabellen A52, A54 und A56), werden manche Herbivore, die vergleichsweise positive $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte aufweisen, nach wie vor einem anderen Cluster zugewiesen (I: Cluster 1, II: Cluster 1, III: Cluster 3; Tabellen A52,

A54 und A56) als die übrigen herbivoren Säuger (vgl. dazu auch Tabellen A53, A55 und A57). Die $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte dieser Individuen sind vermutlich durch den sogenannten limnischen Einfluss in Richtung zu hoher Werte verschoben (sh. Kapitel 5.4).

Die Ergebnisse der Diskriminanzanalyse für die Datensätze I - III zeigen gegenüber zuvor (vgl. Kapitel 5.3.1) niedrigere (bessere) bzw. im Falle von Datensatz I gleichbleibend gute Trainingsfehler von 0,48 % ($\pm 0,92$ %; I), 0,0 % ($\pm 0,0$ %; II), sowie 0,01 % ($\pm 0,01$ %; III). Die Testfehler betragen 5,8 % ($\pm 4,5$ %; I), 21,4 % ($\pm 16,2$ %; II) bzw. 14,5 % ($\pm 7,2$ %; III).

Die Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt in den entsprechenden Isotopensystemen führt folglich zu Isotopenwerten, die besser mit den für die terrestrischen Individuen erwarteten Werten übereinstimmen.

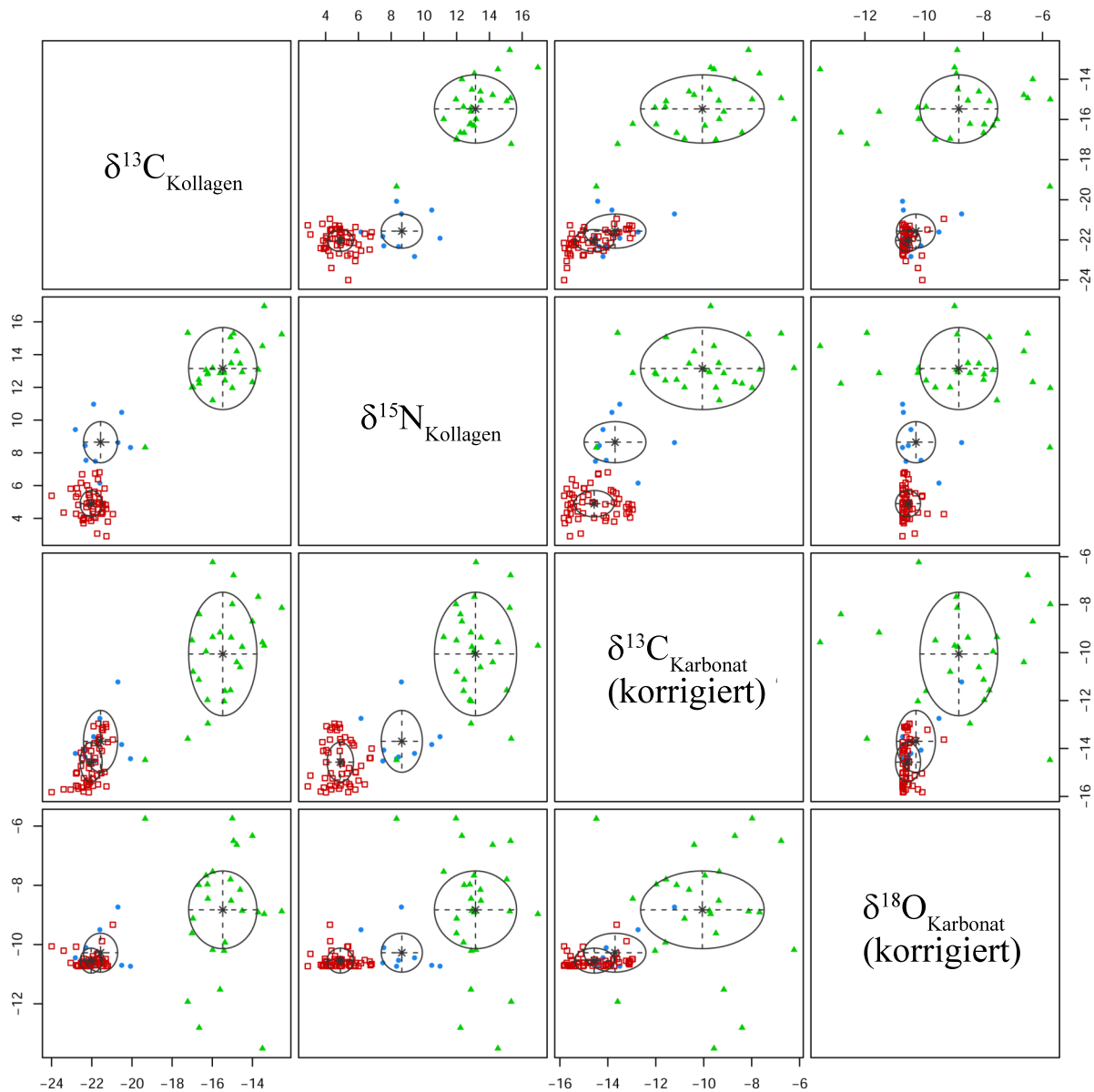


Abbildung 23: Paarweiser, bivariater Plot der resultierenden drei GMM-Cluster des „VEI“-Modells (Scrucca et al., 2016) für den vier-dimensionalen Datensatz I nach „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten. Geclustert wurden hierbei nur terrestrische herbivore Säuger, sowie marine Säuger aus Haithabu und Schleswig. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck).

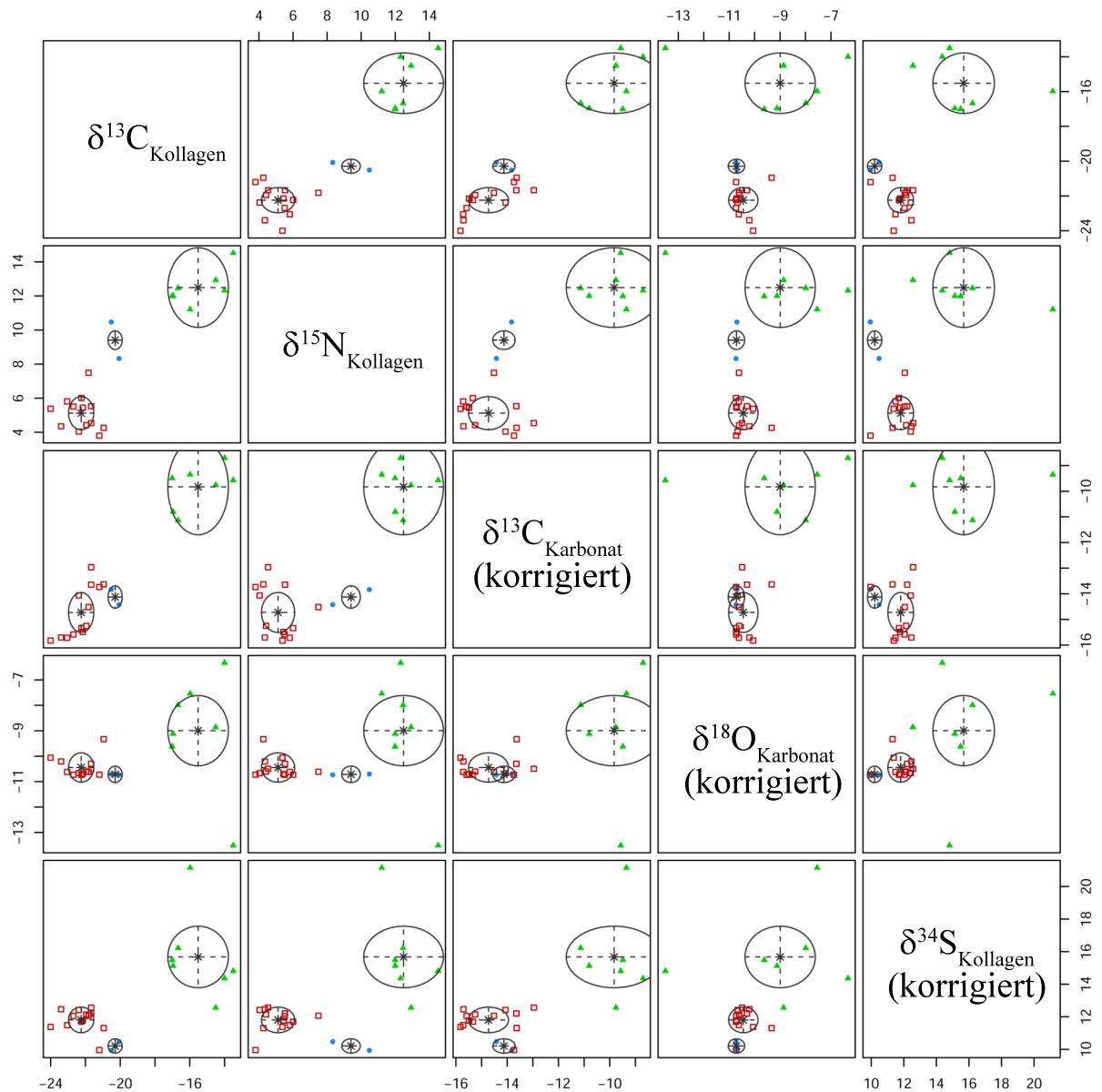


Abbildung 24: Paarweiser, bivariater Plot der resultierenden drei GMM-Cluster des „VEI“-Modells (Scrucca et al., 2016) für den fünf-dimensionalen Datensatz II nach „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten. Geclustert wurden hierbei nur terrestrische herbivore Säuger, sowie marine Säuger aus Haithabu und Schleswig. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck).

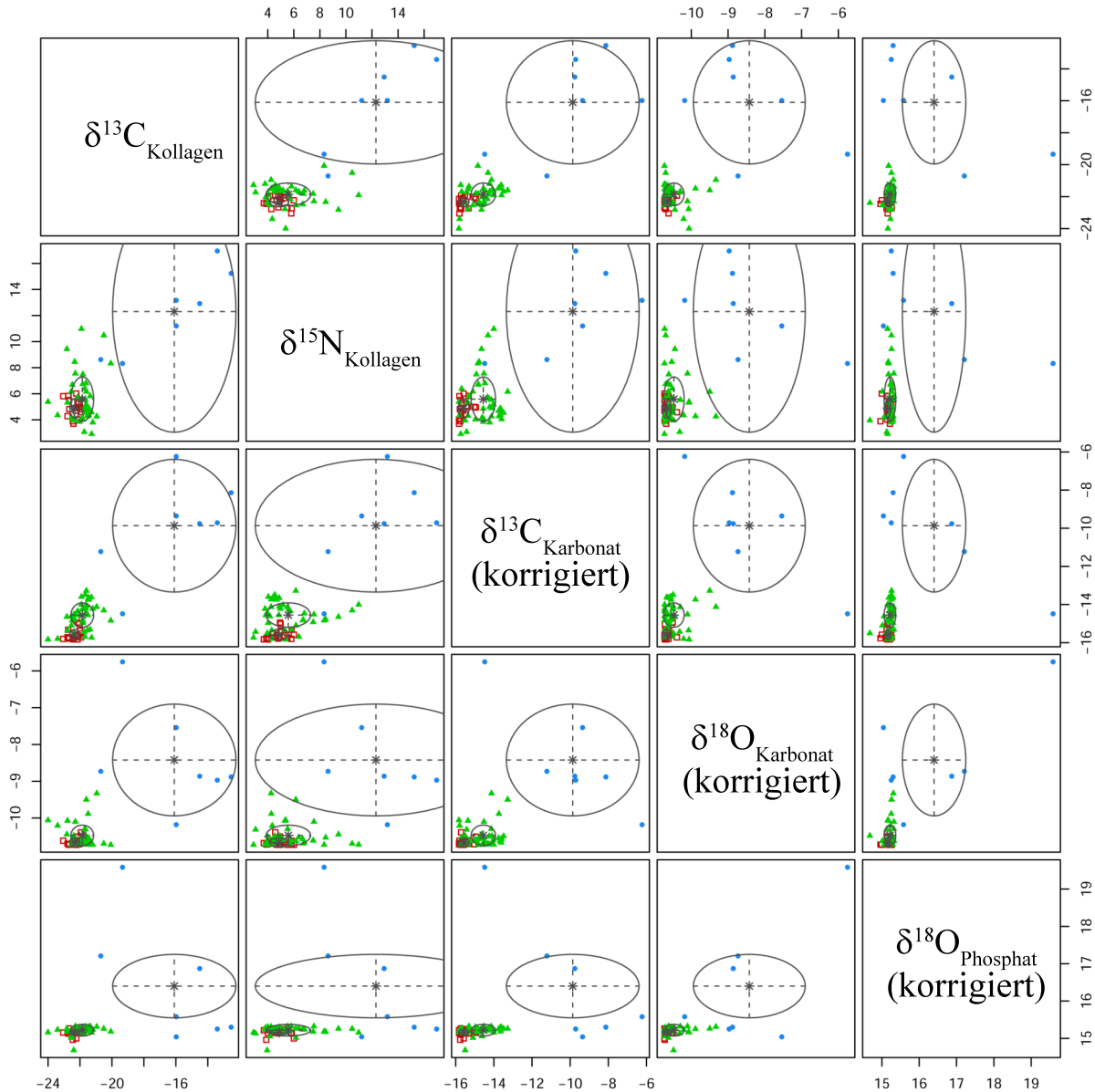


Abbildung 25: Paarweiser, bivariater Plot der resultierenden drei GMM-Cluster des „VEI“-Modells (Scrucca et al., 2016) für den fünf-dimensionalen Datensatz III nach „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten. Geclustert wurden hierbei nur terrestrische herbivore Säuger, sowie marine Säuger aus Haithabu und Schleswig. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck).

5.3.3 Korrektur des „sea spray“-Effektes in den Menschen

Der „sea spray“-Effekt manifestiert sich über die Nahrungskette auch in den in Küstengebieten lebenden oder ihre Nahrung aus einer solchen Region beziehenden Menschen. Ein

Mensch, der sich hauptsächlich von terrestrischen Nahrungsquellen ernährte, sollte ein niedrigeres Isotopensignal der leichten Isotopensysteme aufweisen als ein anderer Mensch, der bevorzugt marine Nahrung konsumierte (vgl. Kapitel 5.3.1). Der Einfluss des „sea spray“-Effektes auf Menschen sollte sich gemäß der Erwartungen aus Kapitel 2.1.5 erneut in höheren Isotopenwerten widerspiegeln.

Für die Erstellung von Mischungsmodellen werden die in Tabelle 15 aufgeführten, möglichen Nahrungsquellen verwendet. Die Kollagenwerte der Tiere werden hierfür in Fleischwerte umgerechnet ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Fleisch}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Fleisch}}$; Formeln 66 und 67), die der Menschen in die entsprechenden Nahrungswerte ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Nahrung}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Nahrung}}$; Formeln 68 und 69). In Anlehnung an Grupe et al. (2013) werden domestizierte Säuger (Rind, Schaf, Schwein; $n = 27$), Süßwasserfische ($n = 7$), Salzwasserfische ($n = 11$), sowie marine (piscivore) Säuger ($n = 25$) als Nahrungsquellen in das Mischungsmodell (Modell I) aufgenommen. Hierbei werden die Ergebnisse der GMM-Clusteranalyse berücksichtigt (Kapitel 5.1.2). Nur diejenigen Fische, die durch die GMM-Clusteranalyse dem Süßwassercluster (Cluster 1) bzw. dem (lokalen) Salzwassercluster (Cluster 2) zugewiesen werden (Abbildung 8 und Tabelle A12), werden in die Gruppe der Süßwasser- bzw. Salzwasserfische eingeordnet. Zusätzlich wird ein weiteres Modell mit fünf möglichen Nahrungsquellen (Modell II) gerechnet, das zusätzlich Pflanzen ($n = 27$) als Nahrungsquelle berücksichtigt. Die Pflanzenwerte werden mit Hilfe der Formeln 70 und 71 aus den domestizierten Herbivoren (Pferd, Rind, Schaf) der Siedlung berechnet. Die Konzentration von Kohlenstoff und Stickstoff der pflanzlichen Nahrungskomponente wird von Hagl et al. (2013) übernommen.

Tabelle 15: Übersicht über die umgerechneten Isotopenwerte, sowie die Kohlenstoff- und Stickstoffkonzentrationen der verwendeten Nahrungsquellen. Es werden nur Fische berücksichtigt, die durch die GMM-Clusteranalyse (Kapitel 5.1.2) als Süßwasser- bzw. (lokale) Salzwasserfische klassifiziert werden. Die Pflanzenvwerte werden aus domestizierten Herbivoren (Pferd, Rind, Schaf) berechnet. Die Konzentrationswerte der Pflanzen werden von Hagl et al. (2013) übernommen.

Nahrungsquellen	n	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Fleisch}}$		$\delta^{15}\text{N}_{\text{Fleisch}}$		%C		%N	
		Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD
domestizierte Säuger	27	-25,54	0,37	5,49	1,20	40,63	3,60	15,78	1,39
Süßwasserfische (GMM)	7	-29,47	2,16	6,93	2,15	45,34	5,82	13,93	1,85
Salzwasserfische (GMM)	11	-19,12	2,26	12,51	2,15	42,13	7,86	13,62	2,37
marine Säuger	25	-19,58	1,62	13,20	1,65	43,41	5,40	14,66	1,45
Pflanzen (berechnet)	27	-26,77	0,39	2,43	1,01	48,20	-	3,40	-

In Abbildung 26 werden die mindestens adulten Individuen aus Haithabu und Schleswig, deren Isotopenwerte in Nahrungswerte umgerechnet wurden, und die vier (Abbildung 26(a)) bzw. fünf (Abbildung 26(b)) ebenfalls umgerechneten Nahrungsquellen dargestellt. Die verwendeten Quellen scheinen auf den ersten Blick für die Mehrheit der Individuen plausibel zu sein.

Die Korrektur der Isotopenwerte der Menschen aus Haithabu und Schleswig erfolgt auf Grundlage eben jener Nahrungsquellen, die vom „sea spray“-Effekt beeinflusst sein könnten. Verwendet wird hierbei der prozentuale Anteil von Nahrungsprotein, das von terrestrischen (domestizierten) Säugern stammt. Wenn zusätzlich auch Pflanzen berücksichtigt werden, wird auch deren prozentualer Anteil für die Korrektur verwendet. Es ergeben sich somit die folgenden Korrekturformeln:

$$\delta^Y X_{\text{korrigiert}} = \delta^Y X - (\% \text{ Protein terr. Säuger}) * |\Delta [\%] * \delta^Y X| \quad (91)$$

$$\delta^Y X_{\text{korrigiert}} = \delta^Y X - (\% \text{ Protein terr. Säuger} + \% \text{ Protein terr. Pflanzen}) * |\Delta [\%] * \delta^Y X| \quad (92)$$

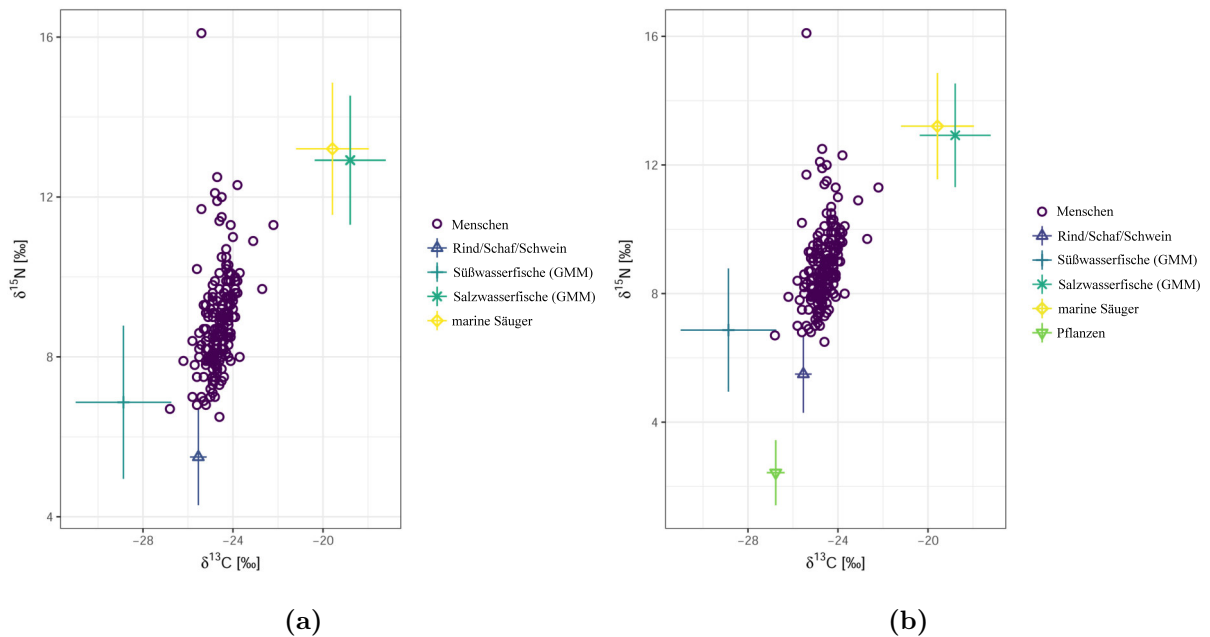


Abbildung 26: Übersicht über die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig und die potenziellen Nahrungsquellen. Dargestellt sind die Variante mit (a) vier (Modell I: Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger) bzw. (b) fünf (Modell II: Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger, Pflanzen (berechnet aus domestizierten Herbivoren)) Nahrungskomponenten.

5.3.3.1 Korrektur mittels „SISUS“

Wie in Abbildung 27 erkennbar, liegt die Mehrheit der untersuchten Individuen innerhalb des von „SISUS“ berechneten Mischungspolygons. Allerdings kann für 26 Individuen (ca. 14 %; Modell I) bzw. 24 Individuen (ca. 13 %; Modell II) kein Modell berechnet werden, da sie außerhalb des Mischungspolygons liegen (Abbildung 27, Tabellen A64 bis A66).

Bei vier Nahrungsquellen (Modell I) liegt der errechnete mittlere Anteil an domestizierten Säugern (Rind, Schaf, Schwein) in der Nahrung bei 28 % (± 18 %), der mittlere Anteil an Süß- bzw. Salzwasserfische bei 38 % (± 12 %) bzw. 16 % (± 5 %) und der Anteil an marinen Säugern in der Nahrung bei 18 % (± 8 %) (Tabellen 16 und A64).

Die Hinzunahme der Pflanzen in das Modell (Modell II) führt zu einer geringen Reduktion des mittleren Anteils an domestizierten Säugern (21 % ± 15 %) und Süßwasserfischen (21 % ± 10 %) zugunsten der Pflanzennahrung (26 % ± 7 %). Der mittlere Anteil an

Salzwasserfischen ($15 \% \pm 5 \%$) und marinen Säugern ($17 \% \pm 7 \%$) bleibt (nahezu) unverändert (Tabellen 16 und A65).

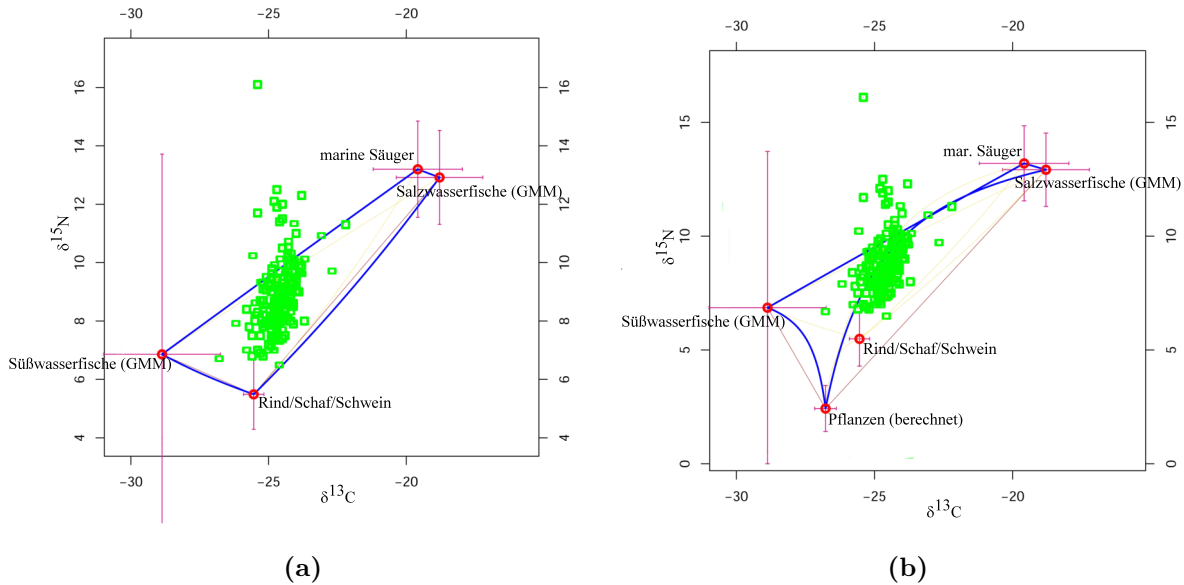


Abbildung 27: Von „SISUS“ bestimmtes Mischungspolygon mit (a) vier Nahrungskomponenten (Modell I: Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger) bzw. (b) fünf Nahrungskomponenten (Modell II: Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger, Pflanzen (berechnet aus domestizierten Herbivoren)).

Tabelle 16: Mittlerer, mittels „SISUS“, „simmr“ bzw. „MixSIAR“ berechneter Anteil ($\mu \pm \text{SD}$) an Protein aus den Nahrungskomponenten Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger und Pflanzen (berechnet aus domestizierten Herbivoren) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.

Programm	Rind/Schaf/Schwein	Süßwasserfische	Salzwasserfische	marine Säuger	Pflanzen
SISUS	$0,281 \pm 0,179$	$0,375 \pm 0,115$	$0,162 \pm 0,049$	$0,182 \pm 0,075$	
	$0,205 \pm 0,147$	$0,214 \pm 0,105$	$0,150 \pm 0,046$	$0,169 \pm 0,069$	$0,263 \pm 0,072$
simmr	$0,303 \pm 0,099$	$0,339 \pm 0,059$	$0,173 \pm 0,041$	$0,184 \pm 0,053$	
	$0,211 \pm 0,070$	$0,215 \pm 0,050$	$0,159 \pm 0,038$	$0,168 \pm 0,048$	$0,247 \pm 0,034$
MixSIAR	$0,469 \pm 0,125$	$0,286 \pm 0,052$	$0,211 \pm 0,083$	$0,029 \pm 0,014$	
	$0,205 \pm 0,218$	$0,217 \pm 0,212$	$0,204 \pm 0,219$	$0,190 \pm 0,214$	$0,187 \pm 0,198$

Unter Verwendung der Formeln 91 und 92 ergeben sich mit den mittels „SISUS“ berechneten Nahrungsanteilen der vier bzw. fünf Komponenten die in Abbildungen 28 und 29

dargestellten Verschiebungen in den vom „sea spray“-Effekt betroffenen Isotopensystemen ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$; sh. Kapitel 5.3.1).

Wie vorgesehen, werden die Isotopenwerte von Individuen mit einem höheren (berechneten) Anteil terrestrischen Proteins in der Nahrung stärker korrigiert als die von Individuen, die kaum terrestrische Nahrung, sondern v. a. marine Nahrung (Salzwasserrfische (GMM), marine (piscivore) Säuger) konsumiert haben. Bei einem erhöhten Konsum mariner Nahrung ist ein erhöhter Isotopenwert zu erwarten (sh. Kapitel 2.1.5), nicht jedoch, wenn ein Individuum sich fast ausschließlich von terrestrischer Nahrung ernährte. Eine Erhöhung der Isotopenwerte kann in diesem Fall durch den „sea spray“-Effekt verursacht worden sein.

Das Individuum mit dem höchsten Anteil terrestrischer Nahrung ist in beiden „SISUS“-Modellen RM 214 (σ , früh-adult) mit einem Anteil von jeweils ca. 84 %. Hingegen zeigt Individuum RM 143 (σ , spät-adult) jeweils den niedrigsten Anteil terrestrischen Proteins mit ca. 0,2 % bzw. 0,9 %. Insbesondere für Modell I zeigen einige Individuen einen nur sehr geringen, prozentualen Anteil terrestrischen Proteins in der Nahrung (Tabellen A67 und A68).

Die Korrekturen liegen für $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ bzw. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ in beiden Modellen zwischen ca. 0 ‰ (RM 143) und ca. 4 ‰ (RM 214, σ , früh-adult bzw. SC 232, σ , adult). Kaum eine Veränderung der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte erfolgt bei RM 57 (0,01 ‰; σ , senil) bzw. RM 81 (0,2 ‰; σ , spät-adult). Die maximale Korrektur ist auch eher gering mit jeweils ca. 2 ‰ (H 274). Die $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte werden ebenfalls nur um maximal etwa 2 ‰ (H 274, σ , adult) korrigiert (Tabellen A67 und A68).

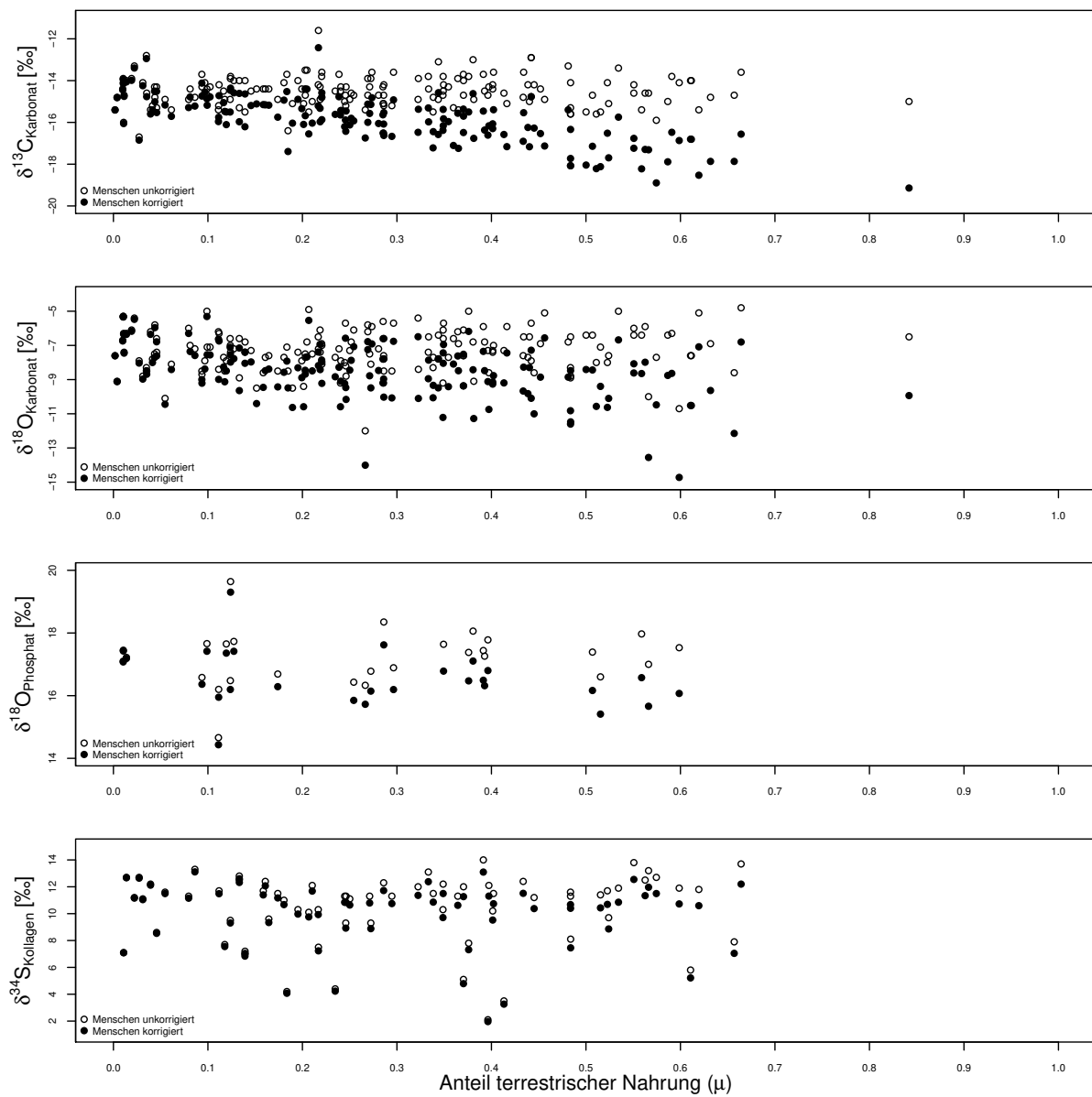


Abbildung 28: „sea spray“-Korrektur der Isotopensysteme der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig gemäß Formel 91 unter Verwendung der von „SISUS“ berechneten, mittleren terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein; Modell I) Nahrungsanteile. Leerer Kreis: unkorrigierter Isotopenwert, gefüllter Kreis: korrigierter Isotopenwert.

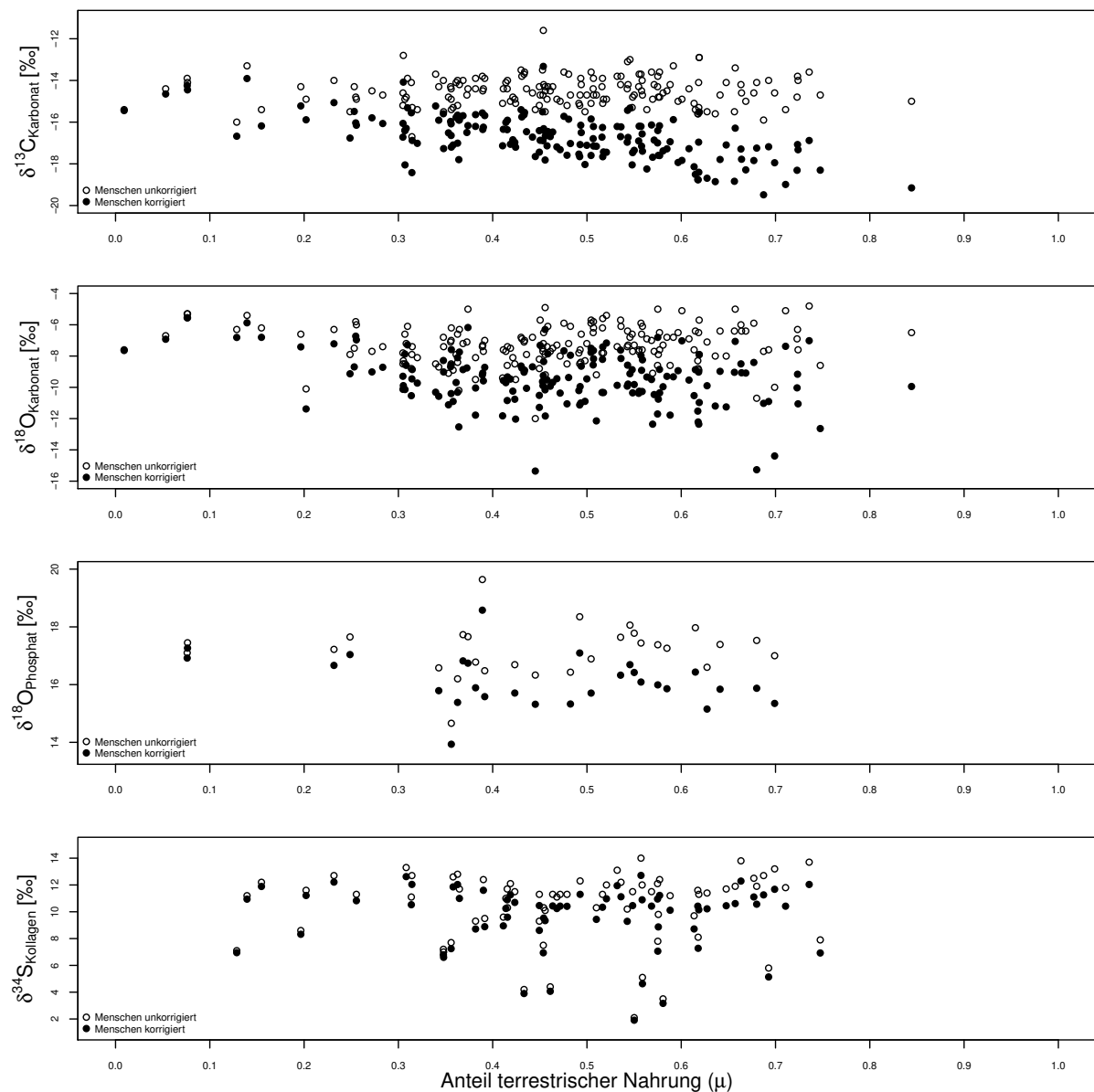


Abbildung 29: „sea spray“-Korrektur der Isotopensysteme der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig gemäß Formel 91 unter Verwendung der von „SISUS“ berechneten, mittleren terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein und Pflanzen (berechnet aus domestizierten Herbivoren); Modell II) Nahrungsanteile. Leerer Kreis: unkorrigierter Isotopenwert, gefüllter Kreis: korrigierter Isotopenwert.

5.3.3.2 Korrektur mittels „simmr“

Für die Berechnung der prozentualen Nahrungsanteile kann auch „simmr“ verwendet werden. Bei dem Modell mit vier Nahrungskomponenten (Modell I) zeigt sich ein in etwa

gleich großer mittlerer Anteil von domestizierten Säugern und Süßwasserfischen mit 30 % (± 10 %) bzw. 34 % (± 6 %). Dasselbe gilt für den mittleren Anteil der Salzwasserfische und der marinen Säuger mit 17 % (± 4 %) bzw. 18 % (± 5 %) (Tabellen 16 und A69). Die Aufnahme der Pflanzen in das „simmr“-Modell (Modell II) führt dazu, dass alle Nahrungskomponenten gemittelt über alle untersuchten Menschen in etwa denselben Anteil aufweisen mit Mittelwerten zwischen 16 und 24 % (Tabellen 16 und A70).

Die mittels „simmr“ berechneten Nahrungsanteile sind im Mittel relativ ähnlich zu denen des „SISUS“-Modelles (vgl. Tabelle 16), weichen jedoch auf Individuenebene z. T. von den Ergebnissen von „SISUS“ ab. Für die Korrektur des „sea spray“-Signals werden nur Individuen betrachtet, die innerhalb des Mischungspolygons (Abbildung 27) liegen und für die sich auch mit „SISUS“ eine Lösung ergab (sh. Kapitel 5.3.3.1). Die Auswirkung der „sea spray“-Korrektur mittels „simmr“ ist in den Abbildungen 30 und 31 ersichtlich. Der maximale, von „simmr“ berechnete Anteil terrestrischer Proteinquellen liegt bei ca. 51 % (H Kammergrab III, ♀, adult; Modell I) bzw. 63 % (RM 92, ♂, spät-adult; Modell II). Der geringste Anteil zeigt sich in beiden Modellen bei Individuum RM 102 (♂, früh-adult) mit 9 % bzw. 21 % (Tabellen A71 und A72).

Die Korrektur der $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Werte liegt zwischen 0,4 ‰ (RM 102; ♂, früh-adult) und 2,6 ‰ (H Kammergrab III) für Modell I und im Bereich von 1 ‰ (H 4; ♀, adult) bis 2,5 ‰ (RM 9; ♀, spät-adult) für Modell II. Ähnlich verhält es sich in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten mit Korrekturen um etwa 0,3 ‰ (RM 102; ♂, früh-adult) bis 3,2 ‰ (SC 232; ♂, adult) in Modell I und zwischen 0,8 ‰ (H4; ♀, adult) und 3,3 ‰ (SC 232; ♂, adult) in Modell II. Die Korrektur der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte beträgt 0,2 - 1,2 ‰ in Individuum RM 132 (♂, adult) bzw. RM 142b (♂, früh-adult) in Modell I und zwischen 0,6 ‰ (RM 145, ♀, spät-adult) und 1,2 ‰ (RM 9; ♀, spät-adult) im zweiten Modell. Die $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte werden in beiden Modellen um 0,1 ‰ (RM 116; ♀, adult) bis ca. 1 ‰ (Modell I: H 274, ♂, adult; Modell II: SC 58, ♀, adult) nach unten korrigiert (Tabellen A71 und A72).

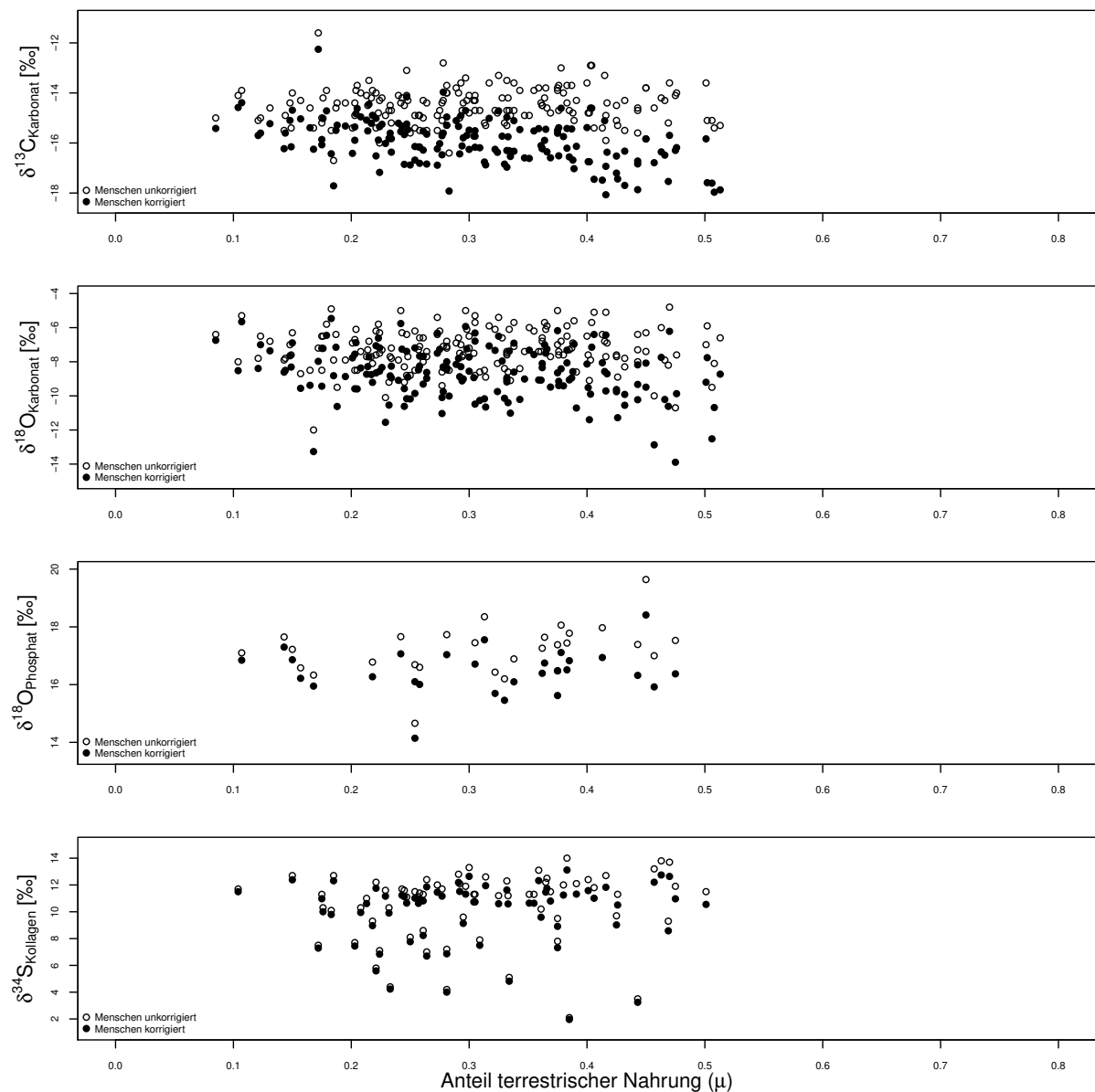


Abbildung 30: „sea spray“-Korrektur der Isotopensysteme der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig gemäß Formel 91 unter Verwendung der von „simmr“ berechneten, mittleren terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein; Modell I) Nahrungsanteile. Eine Korrektur erfolgte nur bei Individuen, die innerhalb des Mischungspolygons liegen (Abbildung 27(a)) und für die „SISUS“ demnach ein Mischungsmodell berechnen konnte. Leerer Kreis: unkorrigierter Isotopenwert, gefüllter Kreis: korrigierter Isotopenwert.

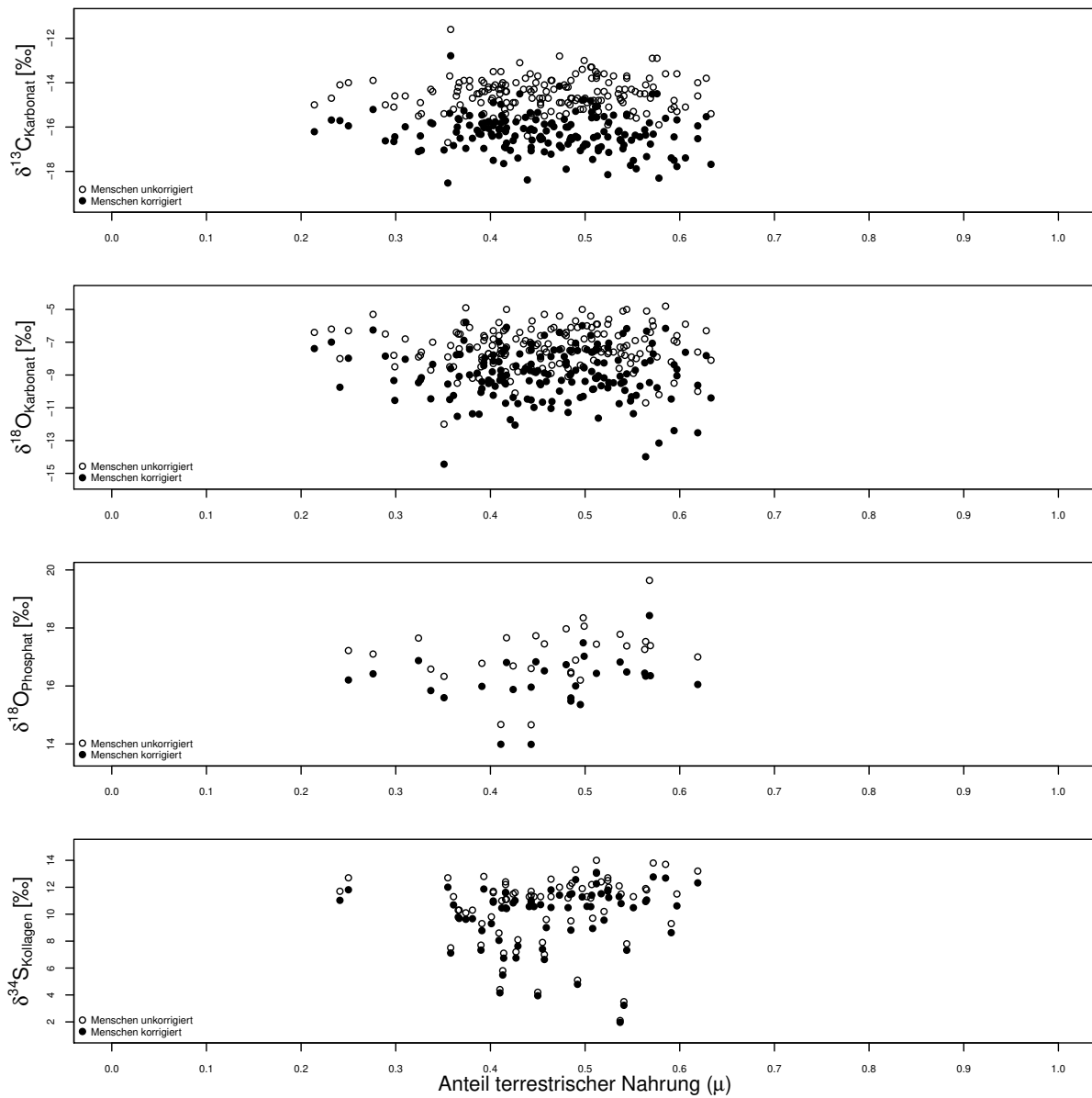


Abbildung 31: „sea spray“-Korrektur der Isotopensysteme der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig gemäß Formel 91 unter Verwendung der von „simmr“ berechneten, mittleren terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein + Pflanzen (berechnet aus domestizierten Herbivoren); Modell II) Nahrungsanteile. Eine Korrektur erfolgte nur bei Individuen, die innerhalb des Mischungspolygons liegen (Abbildung 27(b)) und für die „SISUS“ demnach ein Mischungsmodell berechnen konnte. Leerer Kreis: unkorrigierter Isotopenwert, gefüllter Kreis: korrigierter Isotopenwert.

5.3.3.3 Korrektur mittels „MixSIAR“

Zuletzt kann die Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt auch unter Zuhilfenahme der durch „MixSIAR“ berechneten, terrestrischen Nahrungsanteile durchgeführt werden.

Für das Modell mit nur vier Nahrungskomponenten (Modell I) liegt der mittlere Anteil an marinen Säugern in der Nahrung bei nur 3 % (± 1 %). Die anderen Nahrungsquellen zeigen einen deutlich höheren Anteil mit durchschnittlich 47 % (± 13 %) domestizierten Säugern, 29 % (± 5 %) Süßwasserfischen und 21 % (± 8 %) Salzwasserfischen in der Nahrung (Tabellen 16 und A73). Die Hinzunahme einer pflanzlichen Nahrungsquelle (Modell II) führt dazu, dass im Mittel alle Nahrungsquellen bei jeweils ca. 20 % liegen. Allerdings beträgt die Standardabweichung hierbei für alle Quellen ebenfalls jeweils etwa 20 % (Tabellen 16 und A74).

Auch für „MixSIAR“ erfolgt die Korrektur nur für diejenigen Individuen, für die „SISUS“ ein Modell berechnen konnte (sh. Kapitel 5.3.3.3), die also innerhalb des Mischungspolygons liegen (Abbildung 27). Die Abbildungen 32 und 33 zeigen die Verschiebung der Isotopenwerten durch die „sea spray“-Korrektur anhand der Formeln 91 und 92.

Für „MixSIAR“ liegt der maximal berechnete Anteil terrestrischen Proteins in der Nahrung bei 73 % (SC 21, ♀, adult) bzw. 85 % (RM 23, ♀, früh-adult). Der minimale Anteil beträgt lediglich 4 % für Individuum SC 19b (♀, adult) bzw. 15 % für Individuum SC 92 (♂, adult) (Tabellen A75 und A76).

Je nach Modell erfolgt eine maximale Reduktion in $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ um 3,5 ‰ (RM 94, ♂, spät-adult) bzw. 4,3 ‰ (H Kammergrab III, ♀, adult) und von 4,5 ‰ (SC 101, ♂, adult) bzw. 4,9 ‰ (SC 69, ♂, adult) in $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$. Zudem zeigt sich bei dem Mischungsmodell mit vier Komponenten eine maximale Reduktion der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ - und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte um 1,6 ‰ bzw. 1,7 ‰ für Individuum SC 101 (♂, adult). Für Modell II liegt die Korrektur der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte zwischen 0,3 ‰ (RM 120, ♂, spät-adult) und 2,2 ‰ (RM 140, ♂, früh-adult). Die $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte werden um mindestens 0,1 ‰ (H 1936 DIV, nb, adult) und maximal 1,7 ‰ (RM 109, ♀, früh-adult) korrigiert (Tabellen A75 und A76).

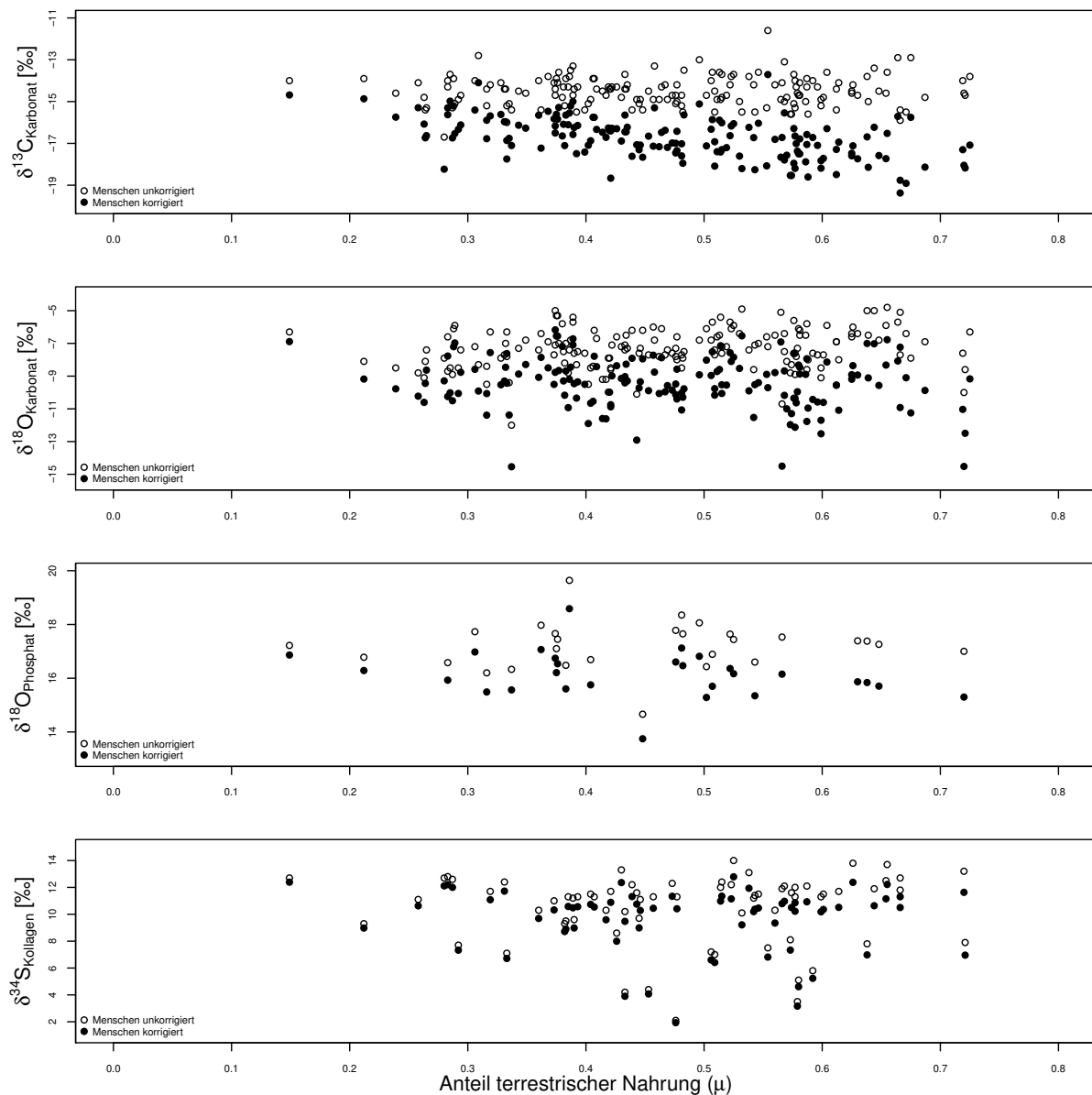


Abbildung 32: „sea spray“-Korrektur der Isotopensysteme der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig gemäß Formel 91 unter Verwendung der von „MixSIAR“ berechneten, mittleren terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein; Modell I) Nahrungsanteile. Eine Korrektur erfolgte nur bei Individuen, die innerhalb des Mischungspolygons liegen (Abbildung 27(a)) und für die „SISUS“ demnach ein Mischungsmodell berechnen konnte. Leerer Kreis: unkorrigierter Isotopenwert, gefüllter Kreis: korrigierter Isotopenwert.

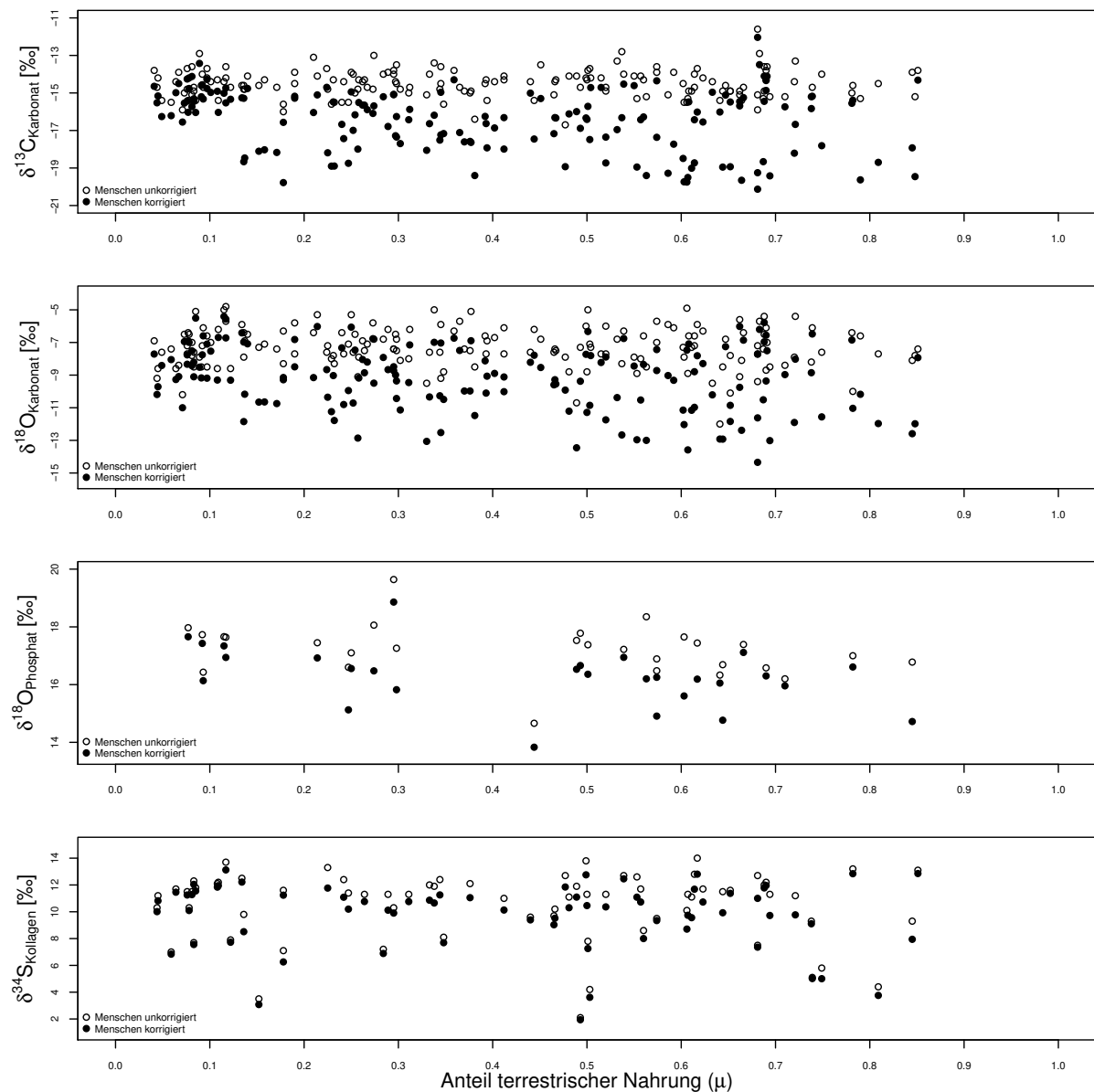


Abbildung 33: „sea spray“-Korrektur der Isotopensysteme der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig gemäß Formel 91 unter Verwendung der von „MixSIAR“ berechneten, mittleren terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein und Pflanzen (berechnet aus domestizierten Herbivoren); Modell II) Nahrungsanteile. Eine Korrektur erfolgte nur bei Individuen, die innerhalb des Mischungspolygons liegen (Abbildung 27(b)) und für die „SISUS“ demnach ein Mischungsmodell berechnen konnte. Leerer Kreis: unkorrigierter Isotopenwert, gefüllter Kreis: korrigierter Isotopenwert.

5.3.3.4 GMM-Clusteranalyse nach der „sea spray“-Korrektur

Die Auswirkung der „sea spray“-Korrektur auf die Clusterstruktur der Menschen soll beispielhaft an Datensatz II dargestellt werden. Nur mindestens adulte Individuen, für die sich für SISUS ohne (Modell I) bzw. mit Pflanzen (Modell II) eine Lösung finden lässt, werden hierbei verwendet (vgl. Tabellen A64 und A65). Es wird jeweils die nach $BIC_{M, G}$ (vgl. Formel 34) optimale Clusterzuordnung dargestellt.

Zunächst soll die Korrektur anhand von Modell I betrachtet werden. Hierbei finden sich bei der GMM-Clusteranalyse des unkorrigierten Datensatzes zwei voneinander unterscheidbare Cluster (Abbildung A37). Individuen des ersten Clusters ($n = 16$) weisen relativ niedrige $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte auf ($\mu = 7,1 \text{ ‰} \pm 2,4 \text{ ‰}$) im Vergleich zu denen des zweiten Clusters ($\mu = 11,7 \text{ ‰} \pm 1,1 \text{ ‰}$; Abbildung A37, Tabellen A77 und A78). Diese Clusterstruktur bleibt bei Korrektur mittels „SISUS“ mit nur geringen Abweichungen nahezu erhalten (Abbildung A38, Tabellen A79 und A80). Die mittels „simmr“ korrigierten Isotopenwerte zeigen ebenfalls eine ganz ähnliche Clusterstruktur wie im unkorrigierten Fall, jedoch mit drei an Stelle von zwei Clustern. Das zweite Cluster besteht allerdings lediglich aus zwei Individuen (RM 142a, SC 92), die sich aufgrund von relativ hohen $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ - und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten von den übrigen Individuen unterscheiden (Tabelle A82). Cluster 1 und 3 sind hingegen fast identisch mit denen des unkorrigierten Datensatzes mit Ausnahme von vier Individuen, die in das erste Cluster eingeordnet wurden, zuvor aber im zweiten Cluster lagen (RM 60, RM 139, RM 140, RM 232; Abbildung A39, Tabellen A81 und A82). Werden die Isotopendaten mittels „MixSIAR“ korrigiert, so resultieren daraus vier Cluster. Wie auch für „simmr“ findet sich ein eigenes Cluster für die Individuen RM 142a und SC 92. Das erste Cluster wiederum entspricht dem ersten Cluster des unkorrigierten Datensatzes, erneut mit Ausnahme der vier Individuen RM 94, RM 139, RM 140 und RM 232. Das zweite Cluster des unkorrigierten Datensatzes schließlich wird bei Korrektur mittels „MixSIAR“ in zwei Gruppen (Cluster 2 und 4) aufgetrennt. Diese Auftrennung erfolgt wohl auf Grundlage der $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ - und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte. Individuen des zweiten Clusters zeigen eine Anreicherung in ^{13}C und ^{15}N gegenüber denen des vierten Clusters

(Abbildung A40, Tabellen A81 und A82).

Ein sehr ähnliches Bild zeigt sich für Modell II, das auch eine pflanzliche Nahrungskomponente berücksichtigt. Erneut kann der unkorrigierte Datensatz aufgrund der $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte in zwei Gruppen aufgeteilt werden (Abbildung A41, Tabellen A85 und A86). Ebenfalls zwei Cluster finden sich auch nach der „sea spray“-Korrektur mittels „SISUS“ und „simmr“ (Abbildungen A42 und A43, Tabellen A87 bis A90). Auffällig ist hierbei allerdings, dass nach der „simmr“-Korrektur mehr Individuen ($n = 26$) dem ersten Cluster zugewiesen werden als noch im unkorrigierten Fall ($n = 16$). Neben Individuen mit niedrigen $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten, beinhaltet das Cluster nun auch Individuen mit tendenziell erhöhten $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ - und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten (Abbildung A43, Tabellen A89 und A90). Nach der „MixSIAR“-Korrektur erfolgt keine Clustertrennung mehr (Abbildung A44, Tabelle A91).

Es kann insgesamt festgehalten werden, dass die Wahl des Programmes zur Berechnung des Mischungsmodells einen deutlichen Einfluss auf die sich ergebenden Nahrungsanteile und (damit zusammenhängend) auch die „sea spray“-Korrektur hat.

5.4 limnischer Einfluss

Anmerkung

Dieses Kapitel verwendet Material aus folgenden Publikationen:

- **Göhring, A.**, Mauder, M., Kröger, P., Mayr, C., von Carnap-Bornheim, C., Hilberg, V., Grupe, G. (2019). „Evidence for sea spray effect on oxygen stable isotopes in bone phosphate - approximation and correction using Gaussian Mixture Model clustering“. *Science of the Total Environment* 673, 668-684.
- **Göhring, A.**, Mauder, M., Vohberger, M., Nehlich, O., von Carnap-Bornheim, C., Hilberg, V., Kröger, P., Grupe, G. (2018). „Palaeobiodiversity research based on stable isotopes: Correction of the sea spray effect on bone carbonate $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ by Gaussian Mixture Model clustering“. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 290, 673-686.
- **Göhring, A.**, Vohberger, M., Nehlich, O., Grupe, G. (2015). „Approximation of the sea spray effect and limnic influence on $\delta^{34}\text{S}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of archaeological human and terrestrial and freshwater animal skeletal finds“. *Documenta Archaeobiologiae* 12, 169-188.

Auch nach der Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat-}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat-}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat-}}$ bzw. $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen-}}$ -Werten der terrestrischen Individuen ergibt sich durch die GMM-Clusteranalyse der terrestrischen, herbivoren und marinen Säuger nach wie vor ein drittes Cluster (vgl. Kapitel 5.3.2). Manche Herbivore im Datensatz zeigen relativ erhöhte $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen-}}$ -Werte, die sich nicht durch ihre normale Ernährung erklären lassen. Insbesondere sind hierbei Auerochse Hb 47 ($\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} = 10,48 \text{ ‰}$), Damhirsch S 6 ($\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} = 9,43 \text{ ‰}$), Kaninchen S 29 ($\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} = 8,45 \text{ ‰}$) und S 30 ($\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} = 10,98 \text{ ‰}$), sowie Reh S 11 ($\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} = 8,33 \text{ ‰}$) zu erwähnen, die alle auch nach der „sea spray“-Korrektur nicht in das eigentliche herbivore Cluster fallen (Abbildungen 23 bis 25, Tabellen A52, A54 und A56).

5.4.1 Approximation des limnischen Einflusses

Abbildung 34 zeigt die $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte der Säuger aus Haithabu und Schleswig und deren zugehörige (unkorrigierte) $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte. Marine, piscivore Säuger weisen üblicherweise nicht nur eine Anreicherung in ^{34}S auf, sondern auch in ^{15}N (sh. Kapitel 5.3.1). Ursächlich hierfür ist, neben ihrer marinen Ernährung, vor allem auch das marine Habitat. Andererseits sollten terrestrische, herbivore Säuger entsprechend eher niedrigere Stickstoff- und Schwefelisotopenwerte aufweisen (Newsome et al., 2007; Coltrain et al., 2004; Schoeninger & DeNiro, 1984; Schoeninger et al., 1983; Bonsall et al., 2000). Folglich kann allerdings eine Anreicherung in ^{15}N und eine gleichzeitige Abreicherung in ^{34}S in terrestrischen Herbivoren nicht durch ihre Nahrung oder ihr Habitat erklärt werden. Ein anderer Faktor muss hierfür ursächlich sein.

Vier Säuger zeigen vergleichsweise hohe $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte bei gleichzeitig eher niedrigen $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten: Auerochse Hb 47 ($\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} = 10,48 \text{ ‰}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} = 9,94 \text{ ‰}$), Fischotter Hb 20 ($\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} = 13,81 \text{ ‰}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} = 12,94 \text{ ‰}$), Kegelrobbe S 17 ($\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} = 12,93 \text{ ‰}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} = 12,56 \text{ ‰}$) und Rotfuchs S 22 ($\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} = 11,21 \text{ ‰}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} = 8,15 \text{ ‰}$) (Abbildung 34, Tabelle A59). Diese Individuen liegen damit unterhalb der in Abbildung 34 als Hilfslinie eingezeichneten Geraden ($\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} = \delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$). Die marine Kegelrobbe S 17 liegt wohl aufgrund ihres Habitats und ihrer Ernährungsweise in diesem Bereich. Für die anderen drei Säuger könnte die Position unterhalb der Gerade einen Hinweis auf einen eventuell vorliegenden limnischen Einfluss geben. Ein limnischer Einfluss lässt sich für Otter Hb 20 durch dessen piscivore Ernährungsweise und das limnische oder brackige Habitat erklären. Auch der limnische Einfluss auf den Rotfuchs S 22 könnte durch den Konsum von Fisch(resten) oder auch aquatischen bzw. marinen Vögeln bzw. Vogeleiern (vgl. Hobson et al., 1999) erklärt werden.

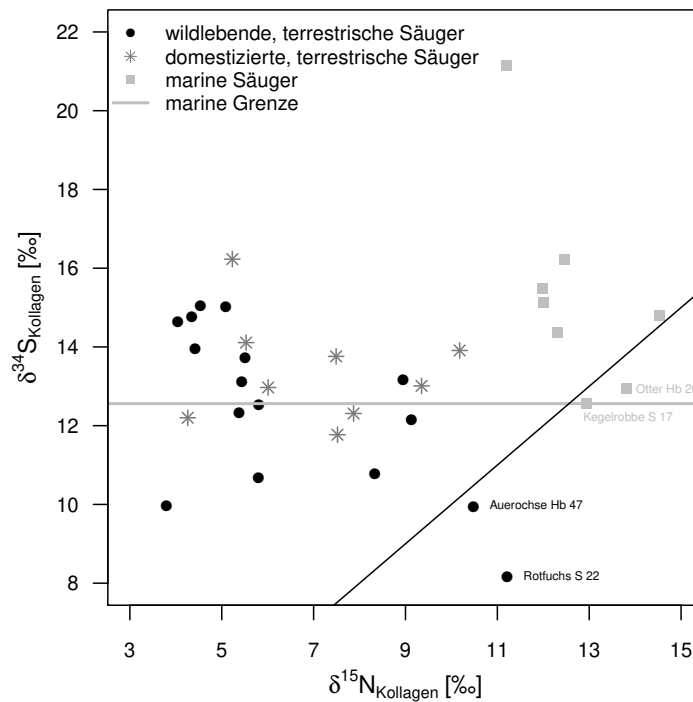


Abbildung 34: $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ - und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte der terrestrischen und marinen Säuger (Datensatz II) aus Haithabu und Schleswig. Die eingezeichnete Gerade kennzeichnet die Ursprungsgerade mit $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} = \delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$.

Ein limnischer Einfluss auf den Auerochsen Hb 47 ist jedoch nicht direkt zu erklären. Die erhöhten $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte können auf drei Arten begründet werden: Zunächst liegt ein Düngereffekt nahe. Das Düngen von Feldern und Wiesen mit Tierdung hat einen direkten Einfluss auf die $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte der Pflanzen. Durch den bevorzugten Verlust von ^{14}N in Form von gasförmigen Ammoniak kommt es zu einer Anreicherung an ^{15}N im Ammoniumion. Das Ammoniumion wird in Nitrat umgewandelt, das folglich relativ hohe $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte aufweist (Bogaard et al., 2007). Pflanzen nehmen dieses Nitrat auf. Der Düngereffekt wird über die Nahrung in den Konsumenten transportiert (van Klinken et al., 2000). Wenn Auerochse Hb 47 also auf gedüngten Feldern oder Wiesen gegrast hat, so könnte dies die erhöhten $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte erklären. Allerdings wäre ein wilder Auerochse, der auf den Feldern in unmittelbarer Nähe zur Siedlung grast, wohl kaum toleriert worden. Zudem ziehen Auerochsen ein dünn bewaldetes Habitat vor (Reichstein, 1991), was ebenfalls gegen diese Hypothese spricht.

Ein weiterer Erklärungsansatz für den erhöhten $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Wert dieses Individuums wäre,

dass solche Werte in großen Wiederkäuern auch durch physiologische und metabolische Vorgänge erklärt werden könnten, die nötig sind, um ein Maximum an Protein aus der relativ proteinarmen Nahrung zu holen. Dazu zählt auch die Fraktionierung durch Mikroorganismen im Pansen (z. B. Sutoh et al., 1993; Wattiaux & Reed, 1995; Cantalapiedra-Hijar et al., 2015; Cantalapiedra-Hijar et al., 2018).

Allerdings muss auch ein weiterer möglicher Faktor berücksichtigt werden. Auerochsen müssen regelmäßig trinken, daher halten sie sich einen gewissen Teil des Tages in Gewässernähe auf. Einige Insekten, z. B. Mücken, verbringen ihr Larvenstadium im Süßwasser und verlassen das Wasser im Adultstadium. Damit stellen sie einen wichtigen Vektor zwischen aquatischem und terrestrischem Ökosystem dar. Nach Gratton et al. (2008) liegt der geschätzte Jahreseintrag von Mücken als Biomasse, basierend auf Untersuchungen von Zuckmücken (*Chironomidae*) auf Island, bei 1200 bis 2500 kg/ha. Eine Mücke besteht zu etwa 9,2 % aus Stickstoff und damit kann der Mückeneintrag eine Art von Düngereffekt haben (Gratton et al., 2008; Sayle et al., 2016). Mücken werden entweder direkt von anderen Tieren gefressen oder fungieren nach ihrem Tod als Düngemittel für die Pflanzen in Gewässernähe. Da adulte Mücken häufig gar nicht mehr fressen, stellt die Mücken-Biomasse damit einen direkten Eintrag limnischen Materials auf das terrestrische Ökosystem dar, was zu einer Erhöhung in den $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten der Pflanzen (Gratton et al., 2008; Sayle et al., 2016), sowie auch den terrestrischen Herbivoren führen kann (van Klinken et al., 2000). Da Schietzel (2014) aufgrund des archäozoologischen Fundguts von saisonalen Mückenplagen in Haithabu ausgeht, ist ein solcher limnischer Effekt hier wahrscheinlich.

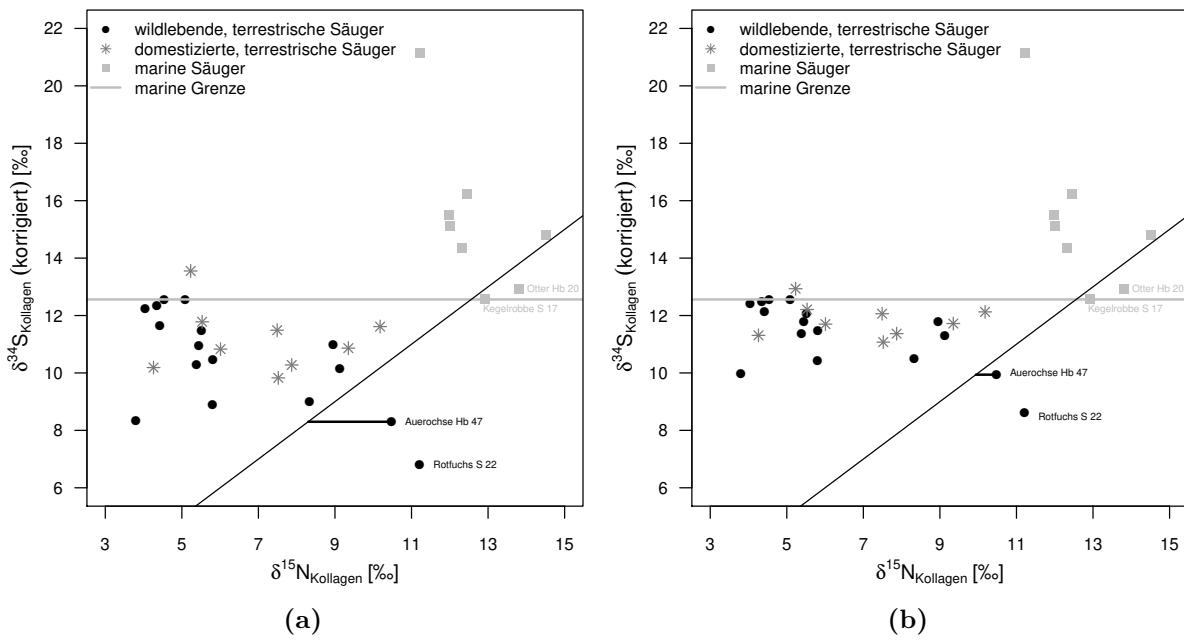


Abbildung 35: $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ - und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte der terrestrischen und marinen Säuger (Datensatz II) aus Haithabu und Schleswig nach „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten (a) ohne und (b) mit Berücksichtigung des marinen Einflusses (sh. Text). Der limnische Einfluss wird jeweils durch eine schwarze, waagrechte Linie dargestellt. Die eingezeichnete Gerade kennzeichnet die Ursprungsgerade mit $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} = \delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert).

Werden die korrigierten $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte gegen die zugehörigen $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte aufgetragen (Abbildung 35), so wird der limnische Einfluss besonders deutlich. Analog zur Approximation des „sea spray“-Effektes wird nun angenommen, dass herbivore Säuger keine $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte aufweisen sollten, die (deutlich) höher sind als die korrespondierenden, gegen den „sea spray“-Effekt korrigierten $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte (vgl. Abbildung 35). Dieser Annahme widerspricht der Auerochse Hb47 ($\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert), Abbildung 35). Der absolute Abstand (Δ , Formel 93) zwischen dem $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Wert dieses Individuums und dem zugehörigen, korrigierten $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Wert kann berechnet werden und wird - wie auch im Fall der „sea spray“-Approximation - in einen prozentualen Wert umgewandelt (Δ [%], Formel 94).

$$\Delta = \delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} - \delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen (korrigiert)}} \quad (93)$$

$$\Delta [\text{‰}] = \frac{\Delta * 100}{\delta^{15}N_{Kollagen}} \quad (94)$$

Für die Berechnung des limnischen Einflusses wird zunächst der marine Einfluss (m) (Kapitel 5.3.2) auf die $\delta^{34}S_{Kollagen}$ -Werte ignoriert (vgl. Abbildung 35(a)). Der marine Einfluss führt im vorliegenden Beispiel dazu, dass Auerochse Hb 47 als terrestrischer Herbivorer innerhalb der $\delta^{34}S_{Kollagen}$ -Werte mit $m = 0$ nicht gegen den „sea spray“-Effekt korrigiert wird (vgl. Abbildung 35(b)). Dies könnte im Einzelfall den „sea spray“-Effekt unterschätzen (vgl. Kapitel 6.2.1). Wird entsprechend die „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{34}S_{Kollagen}$ -Werten ohne Zuhilfenahme des marinen Einflusses berechnet, so ergibt sich für den Auerochsen ein korrigierter $\delta^{34}S_{Kollagen}$ -Wert von 8,3 ‰. Entsprechend beträgt die absolute Differenz (Δ) für dieses Individuum ca. 2,2 ‰, was einem limnischen Einfluss ($\Delta[\text{‰}]$) von 20,8 ‰ entspricht. Ein etwas zurückhaltenderer Ansatz unter Verwendung des marinen Einflusses ergibt einen limnischen Einfluss von vergleichsweise geringen 5,2 ‰. Kaninchen S 30 mit einem $\delta^{15}N_{Kollagen}$ -Wert von 10,98 ‰ ist noch extremer als der Auerochse Hb 47. Jedoch fehlt hier ein zugehöriger $\delta^{34}S_{Kollagen}$ -Wert, was die Approximation des limnischen Einflusses somit nicht erlaubt. Es ist allerdings durchaus denkbar, dass hier ein evtl. stärkerer limnischer Einfluss als berechnet vorliegt.

Im Folgenden werden für die Korrektur des limnischen Einflusses beide möglichen Werte (20,8 ‰, 5,2 ‰) einander gegenüber gestellt, um zu überprüfen, welcher Korrekturfaktor sinnvoller erscheint.

5.4.1.1 Korrektur des limnischen Einflusses in den Tieren

Die Korrektur des limnischen Einflusses ($\Delta[\text{‰}]$) in den terrestrischen Säugern erfolgt gemäß der nachfolgenden Formel:

$$\delta^{15}N_{Kollagen \text{ (korrigiert)}} = \delta^{15}N_{Kollagen} - \Delta [\text{‰}] * \delta^{15}N_{Kollagen} \quad (95)$$

Der am stärksten korrigierte Herbivore ist das Kaninchen S 30 mit einer Korrektur des $\delta^{15}N_{Kollagen}$ -Wertes um ca. 2,3 ‰ (limnischer Einfluss: 20,8 ‰) bzw. 0,6 ‰ (limnischer

Einfluss: 5,2 ‰).

Im Hinblick darauf, dass ein Düngereffekt durch Tierdung zu einer Anreicherung um mindestens etwa 2 ‰ in den $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten von Pflanzen führt (Bogaard et al., 2007), erscheint die Korrektur um etwa 2,3 ‰ (bzw. 2,2 ‰ im Falle des Auerochsen Hb 47) realistisch. Dies ist insbesondere der Fall, da sich nach van Klinken et al. (2000) der Düngereffekt auch im Konsumenten widerspiegeln sollte. Eine Korrektur um lediglich 0,6 ‰ ist hingegen eher zu gering. Somit wird der limnische Einfluss mit 5,2 ‰ wohl eher unterschätzt. Im Folgenden wird daher ein limnischer Einfluss von ca. 21 ‰ angenommen. Werden die $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte der herbivoren Säuger bezüglich Formel 95 korrigiert, so ergibt sich zusammen mit der „sea spray“-Korrektur bei der Clusteranalyse ein neues Bild. Tatsächlich ist es nun möglich, klar zwischen einem rein herbivoren und einem rein marinen Cluster zu unterscheiden (Abbildung 37, Tabellen A62 und A63), wie es aufgrund der unterschiedlichen Ernährungsweise und des unterschiedlichen Habitats zu erwarten ist (sh. Kapitel 5.4.1). Diese Einteilung ist allerdings nach vorausgegangener „sea spray“-Korrektur alleine auch bei Vorgabe von zwei Clustern nicht möglich (Abbildung 36, Tabellen A60 und A61).

Die Diskriminanzanalyse für Datensatz I zeigt nach zusätzlich durchgeführter Korrektur gegen den limnischen Einfluss eine gegenüber den unkorrigierten Werten (sh. Kapitel 5.3.1) und auch den gegen den „sea spray“-Effekt korrigierten Werten (sh. Kapitel 5.3.2) einen nochmals niedrigeren Trainings- und Testfehler von 0,02 % ($\pm 0,17$ %) bzw. 0,80 % ($\pm 2,07$ %).

5.4.1.2 Korrektur des limnischen Einflusses in den Menschen

Die Korrektur der Isotopenwerte der Menschen gegen den „sea spray“-Effekt basiert auf der Berechnung von Mischungsmodellen mittels der (umgerechneten) $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ - und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte (Kapitel 5.3.3). Die Korrektur der $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte der Menschen gegen den limnischen Einfluss kann jedoch nicht ebenfalls anhand der mit Hilfe der $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte berechneten Mischungsmodelle erfolgen, da dies einen Zirkelschluss verursachen würde. An dieser Stelle erfolgt aus diesem Grund für die Menschen aus

Haithabu und Schleswig keine Korrektur der $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte gegen den limnischen Einfluss (sh. Kapitel 6.2.2).

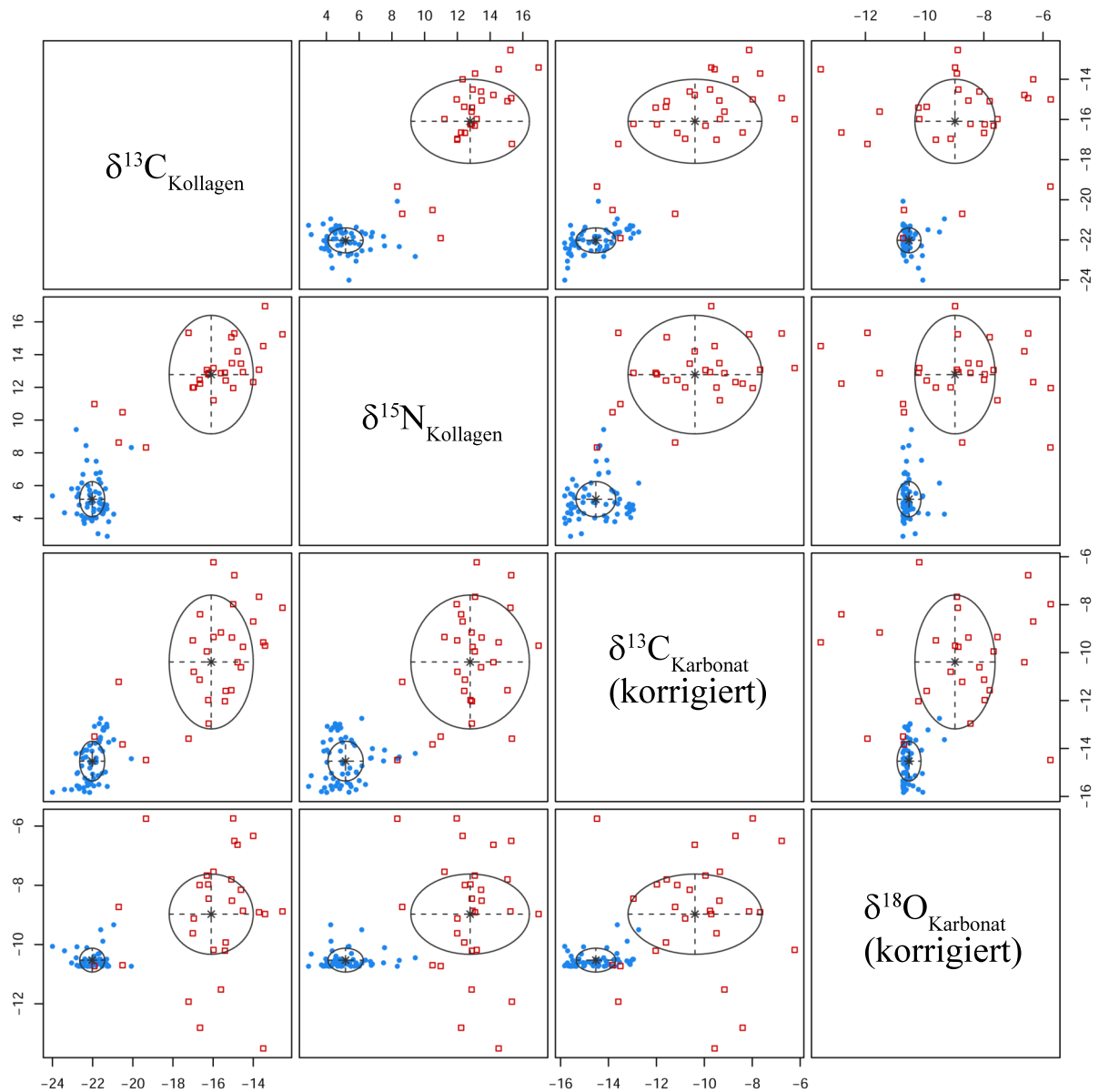


Abbildung 36: Paarweiser, bivariater Plot des „VEI“-Modells (Scrucca et al., 2016) mit einer festgesetzten Clusterzahl von zwei für den vier-dimensionalen Datensatz I nach „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten. Geclustert wurden hierbei nur terrestrische herbivore Säuger, sowie marine Säuger aus Haithabu und Schleswig. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

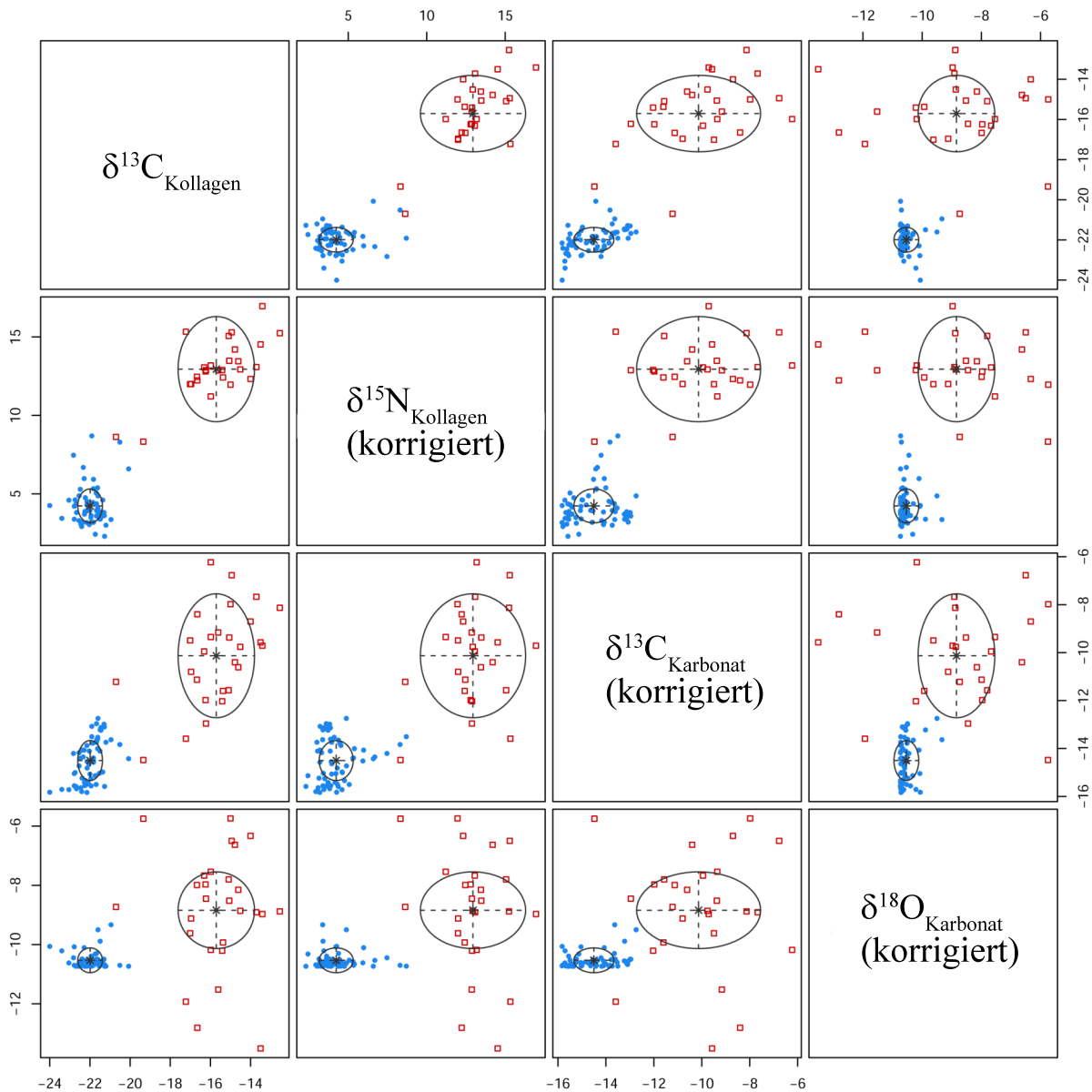


Abbildung 37: Paarweiser, bivariater Plot des „VEI“-Modells (Scrucca et al., 2016) mit einer festgesetzten Clusterzahl von zwei für den vier-dimensionalen Datensatz I nach „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten, sowie Korrektur gegen den limnischen Einfluss in den $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten. Geclustert wurden hierbei nur terrestrische herbivore Säuger, sowie marine Säuger aus Haithabu und Schleswig. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

5.5 Hauptkomponentenanalyse (PCA)

Die Detektion einer Gruppe primär nicht-lokaler Individuen im Teildatensatz der Fische und einer Gruppe terrestrischer, herbivorer Säuger, die offenbar besonders stark durch den „sea spray“-Einfluss beeinflusst wurden, sind Hauptergebnisse der Clusteranalyse-Verfahren (vgl. Kapitel 5.1 und 5.3). Im Folgenden soll überprüft werden, ob sich ähnliche oder auch neue Informationen auch mittels üblicher Hauptkomponentenanalyse (PCA) detektieren lassen.

5.5.1 PCA der Fische

Die PCA erfolgt zunächst für den Teildatensatz der Fische (Datensatz I). Die durch die vier Hauptkomponenten (PC 1 - PC 4) erklärte Varianz ist in Tabelle 17 dargestellt. Alle Hauptkomponenten tragen zur Erklärung der Varianz bei, allerdings liegt die durch PC 4 erklärte Varianz bei lediglich 6 %. Tabelle 18 zeigt, dass die erste Hauptkomponente v. a. $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ repräsentiert. $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ spielen für PC 2 eine relativ große Rolle. Die dritte Hauptkomponente wird durch $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ dominiert. PC 4 schließlich wird v. a. durch $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ beeinflusst. Da somit alle vier Isotopensysteme durch die ersten drei Hauptkomponenten wiedergegeben werden, werden im Folgenden die ersten drei Hauptkomponenten betrachtet, die zusammen über 90 % der Varianz im Datensatz erklären (Tabelle 17)

Tabelle 17: Übersicht über die durch die Hauptkomponenten (PC 1 - PC 4) erklärte Varianz, sowie die kumulative Varianz für die Fische (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig.

	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
erklärte Varianz	0,672	0,189	0,082	0,056
kumulative Varianz	0,672	0,861	0,944	1,000

Tabelle 18: Ladungen der Hauptkomponenten (PC 1 - PC 4) für die vier Isotopensysteme der Fische (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig.

	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	-0,721	0,068	-0,036	-0,689
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	-0,295	-0,266	-0,857	0,328
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	-0,535	0,543	0,245	0,600
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	-0,328	-0,794	0,452	0,241

Für die Fischarten aus Haithabu und Schleswig ist jeweils das erwartete Habitat unterschiedlicher Salinität bekannt (vgl. Kapitel 5.1.1 und 5.1.2). Dieses entspricht nicht unbedingt dem tatsächlichen Habitat eines Individuums, sondern vielmehr dem Salinitätsbereich, in dem sich die jeweiligen Arten aufhalten können. Mit Hilfe der ersten Hauptkomponente (PC 1) können die Daten in zwei Gruppen aufgetrennt werden. Eine Gruppe setzt sich nur aus den Fischen zusammen, die dem Süßwasser- oder Brackwasser-Habitat angehören. Manche Individuen dieses Habitats werden allerdings auch der anderen Gruppe zugewiesen. Diese zweite Gruppe beinhaltet Fische verschiedenster Habitate. Die Zuweisung in die beiden Gruppen steht scheinbar nicht im Zusammenhang mit der Klassenzuordnung gemäß Habitat (Abbildungen 38 und 39).

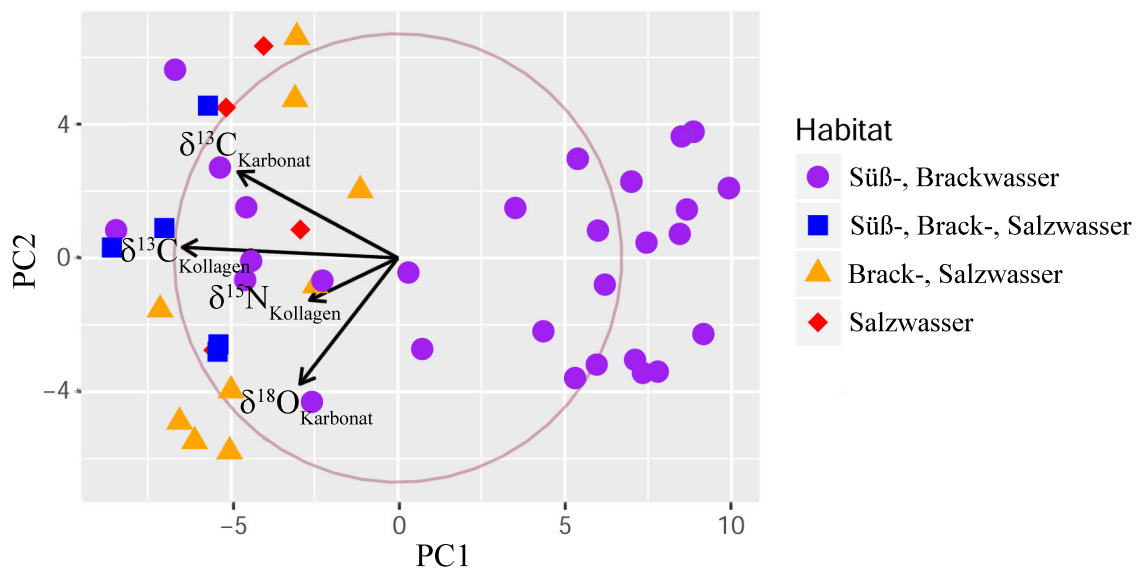


Abbildung 38: Biplot der ersten beiden Hauptkomponenten für den Teildatensatz der Fische (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig. Farblich markiert sind die für die Individuen auf archäozoologischer Grundlage vermuteten Habitate (vgl. Tabelle A1).

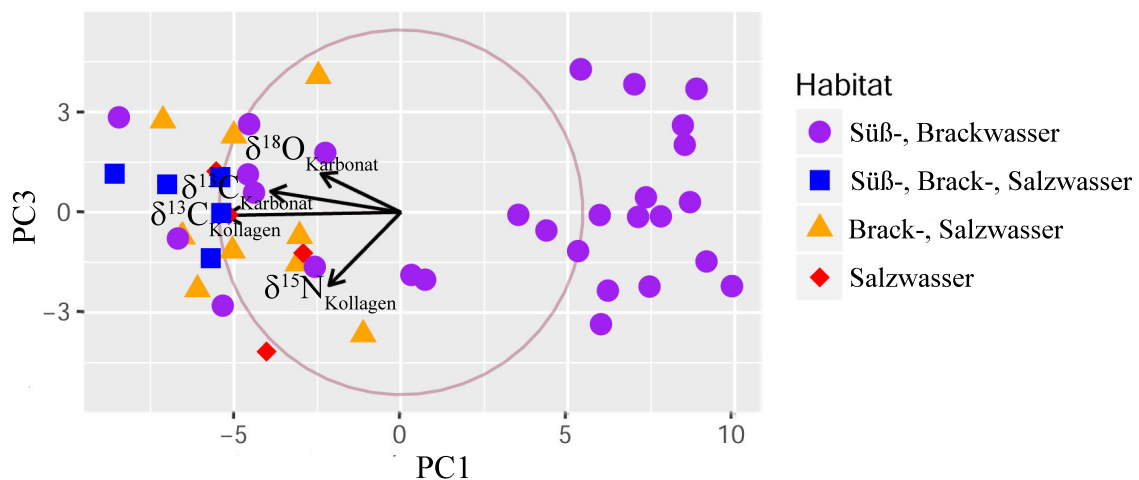


Abbildung 39: Biplot der ersten und dritten Hauptkomponenten für den Teildatensatz der Fische (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig. Farblich markiert sind die für die Individuen auf archäozoologischer Grundlage vermuteten Habitate (vgl. Tabelle A1).

Wie in Kapitel 5.1.2 aufgezeigt wurde, kann mit Hilfe von GMM-Clusteranalyse bei optimaler Clusterzahl ($G = 4$) neben der Auftrennung in die drei Salinitätsbereiche (Süßwasser, Brackwasser, Salzwasser) eine Gruppe nicht lokaler Fische identifiziert werden (Abbildung 8, Cluster 1). Das Clusterergebnis wird als Farbkodierung bei der PCA verwendet.

Hierbei greift die PCA jedoch nicht auf die Clusterinformation zu. Die Einfärbung der vom GMM identifizierten Cluster dient lediglich der Veranschaulichung der Analyse.

Die mittels GMM identifizierten Cluster sind durch PC 1 und PC 2 (Abbildungen 40 und 41) darstellbar. Lediglich zwei Individuen des vierten GMM-Clusters (Flussbarsch 48FB5Pop, Hecht 10H1C) liegen relativ weit entfernt von eben diesem Cluster. Diese beiden Individuen zeigen bei der GMM-Clusteranalyse eine gewisse Unsicherheit bei der Clusterzuordnung, wonach sie mit einer Wahrscheinlichkeit von 26,2 % bzw. 13,2 % auch dem ersten Cluster zugewiesen werden könnten (vgl. Tabelle A13). Die Auftrennung in die vier GMM-Cluster ist alleine mittels PCA nicht möglich. Hierdurch können lediglich Süß- bzw. Brackwasser-Fische (Cluster 3 und 4) von Salzwasser-Fischen (Cluster 1 und 2) unterschieden werden. Wie aber Abbildung 38 bzw. Abbildung 39 zeigen, ist selbst diese Aufteilung ohne Kenntnis der GMM-Cluster nicht möglich.

Die PCA kann somit nicht im selben Maße Informationen aus den multi-dimensionalen Daten ziehen wie die GMM-Clusteranalyse (vgl. Kapitel 5.1.2). Für die Detektion der Salinitätsbereiche ist die PCA nur begrenzt geeignet, die potenziell nicht-lokalen Individuen werden gar nicht erkannt.

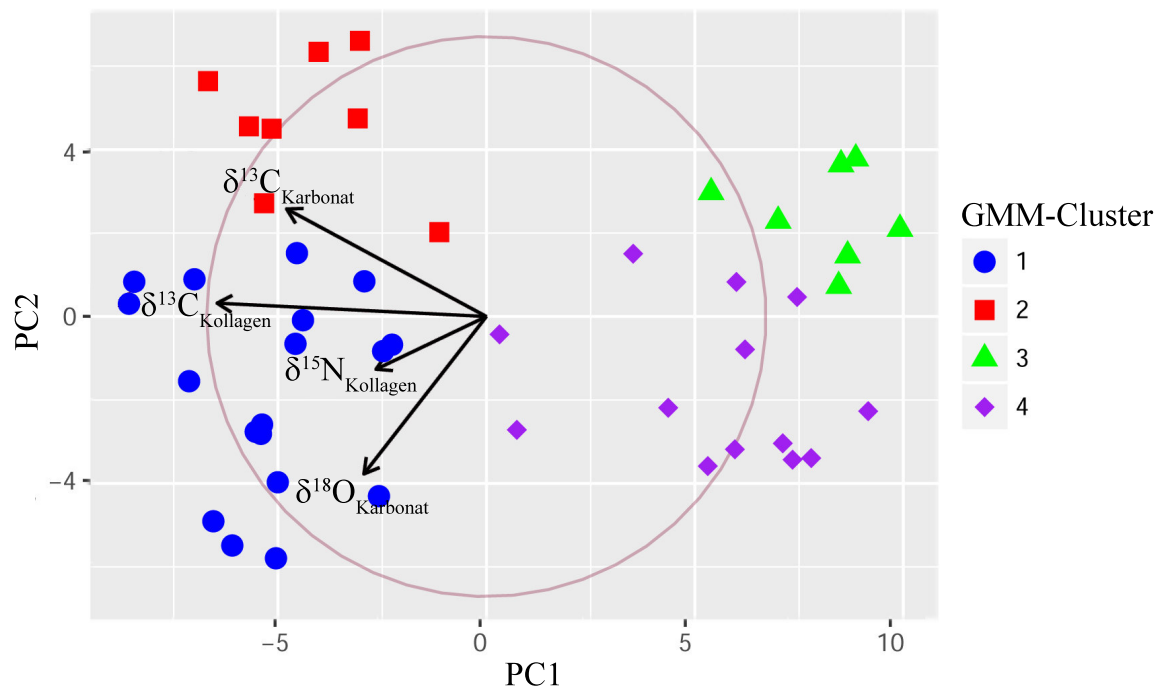


Abbildung 40: Biplot der ersten beiden Hauptkomponenten für den Teildatensatz der Fische (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig. Farblich markiert sind die vier mittels GMM-Clusteranalyse detektierten Cluster (vgl. Kapitel 5.1.2).

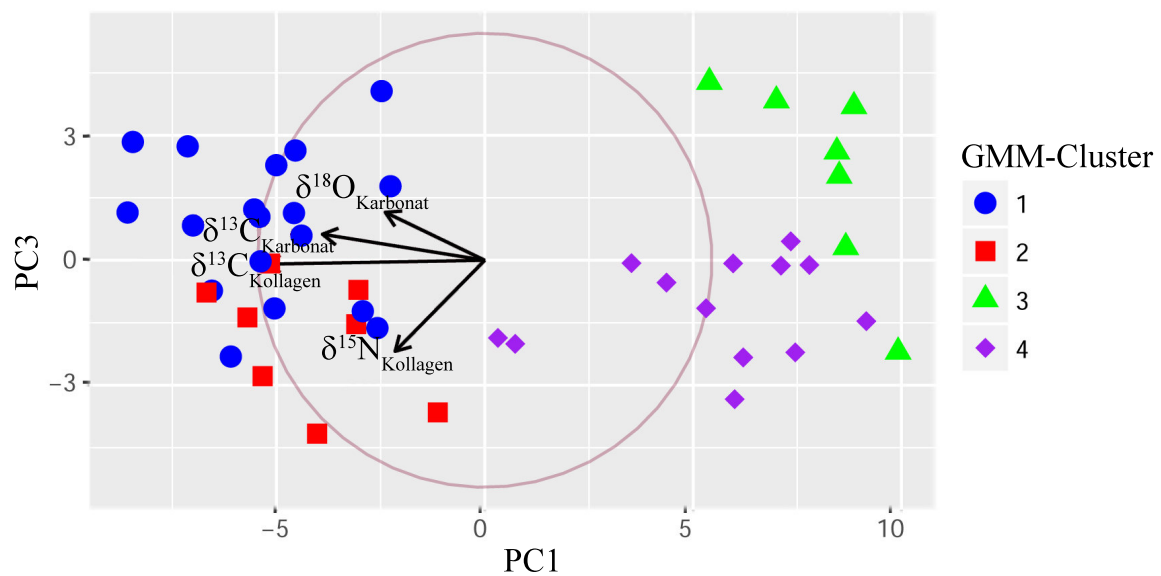


Abbildung 41: Biplot der ersten und dritten Hauptkomponenten für den Teildatensatz der Fische (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig. Farblich markiert sind die vier mittels GMM-Clusteranalyse detektierten Cluster (vgl. Kapitel 5.1.2).

5.5.2 PCA der terrestrischen, herbivoren und marinen Säuger

Im Teildatensatz der terrestrischen, herbivoren Säuger und der marinen Säuger (Datensatz I) erklären die ersten beiden Hauptkomponenten über 90 % der Varianz (Tabelle 19). Dabei repräsentiert PC 1 v. a. $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$. $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ werden durch PC 2 und $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ durch PC 3 abgebildet. Die vierte Hauptkomponente wird, wie auch PC 1, durch $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ dominiert (Tabelle 20). Der geringe Anteil der durch PC 3 und PC 4 erklärten Varianz führt zum Ausschluss dieser beiden Komponenten.

Tabelle 19: Übersicht über die durch die Hauptkomponenten (PC 1 - PC 4) erklärte Varianz, sowie die kumulative Varianz für die terrestrischen, herbivoren und marinen Säuger (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig.

	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
erklärte Varianz	0,813	0,107	0,049	0.030
kumulative Varianz	0,813	0,921	0,970	1,000

Tabelle 20: Ladungen der Hauptkomponenten (PC 1 - PC 4) für die vier Isotopensysteme der terrestrischen, herbivoren und marinen Säuger (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig.

	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	0,595	-0,043	0,084	0,798
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	0,752	0,274	0,197	-0,566
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	0,269	-0,833	-0,440	-0,199
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	-0,091	-0.478	0,872	-0,049

Die verfügbare Klassenzuordnung der terrestrischen, herbivoren Säuger und der marinen Säuger kann mit Hilfe von PC 1 und PC 2 (Abbildung 42) abgebildet werden. Lediglich Seehund Hb 23 und Pottwal Hb 50 werden, wie auch bei der GMM-Clusteranalyse (sh. Kapitel 5.3.1), eher dem terrestrischen Cluster zugewiesen (Abbildung 42). Diese Darstellung erlaubt jedoch keinerlei Informationsgewinn über die untersuchten Daten. Wie Abbildung 43 zeigt, ist eine Abbildung der drei GMM-Cluster (terrestrisch, „sea spray“,

marin; vgl. Kapitel 5.3.1) zwar möglich, ohne Kenntnis über die drei Cluster wären diese jedoch mittels PCA nicht identifizierbar. Die beiden terrestrischen Cluster können von dem marinen Cluster unterschieden werden, die Identifizierung der vom „sea spray“-Effekt beeinflussten Herbivoren ist so jedoch nicht möglich. In der Trennung der durch den „sea spray“-Effekt beeinflussten, terrestrischen Herbivoren von den übrigen herbivoren Säugern besteht jedoch das Hauptergebnis der GMM-Clusteranalyse. Eine Trennung von terrestrischen und marinen Säugern wäre auch ohne PCA (durch Begutachtung der $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ - bzw. $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte und natürlich auch bereits auf Stufe der Skelettbegutachtung) möglich.

Somit führt die PCA auch hier im Gegensatz zur GMM-Clusteranalyse (vgl. Kapitel 5.3.1) zu keinerlei Erkenntnisgewinn. Eine der Kernfragen der vorliegenden Arbeit, die Untersuchung des „sea spray“-Effektes, ist mittels PCA nicht möglich. Entsprechend ist die GMM-Clusteranalyse für den vorliegenden Datensatz und für die konkrete Fragestellung von wesentlich höherer Bedeutung und ist damit der PCA vorzuziehen (vgl. Kapitel 6.1.2).

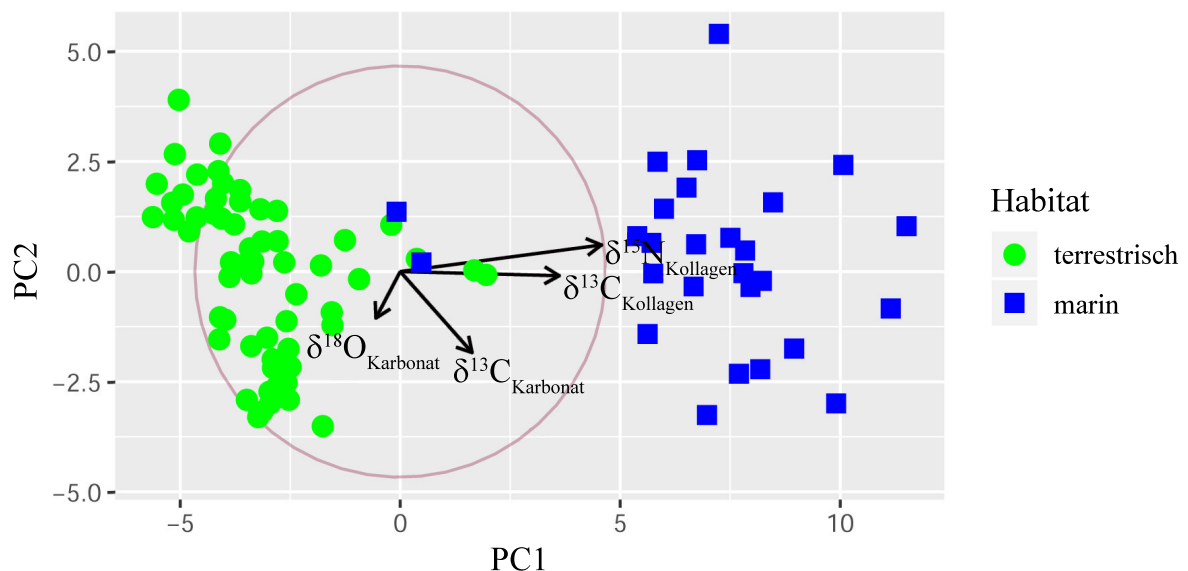


Abbildung 42: Biplot der ersten beiden Hauptkomponenten für den Teildatensatz der terrestrischen, herbivoren und marinen Säuger (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig. Farblich markiert ist das Habitat (terrestrisch vs. marin) der untersuchten Individuen.

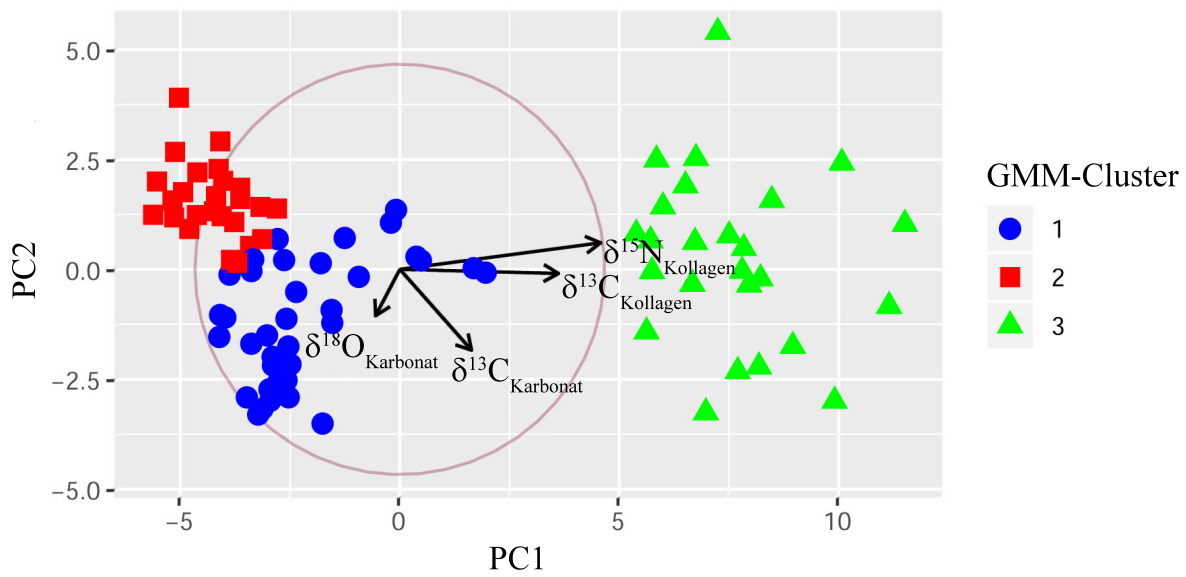


Abbildung 43: Biplot der ersten beiden Hauptkomponenten für den Teildatensatz der terrestrischen, herbivoren und marinen Säuger (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig. Farblich markiert sind die drei mittels GMM-Clusteranalyse detektierten Cluster (vgl. Kapitel 5.3.1).

5.6 „Support Vector Machine“ (SVM)

Ähnlich wie für die PCA (vgl. Kapitel 5.5.2) soll überprüft werden, ob sich die aufgrund eines erhöhten „sea spray“-Einflusses auffälligen terrestrischen, herbivoren Säuger mittels SVM in ähnlicher Weise wiederfinden lassen oder ob noch weitere Informationen aus den Daten gezogen werden können.

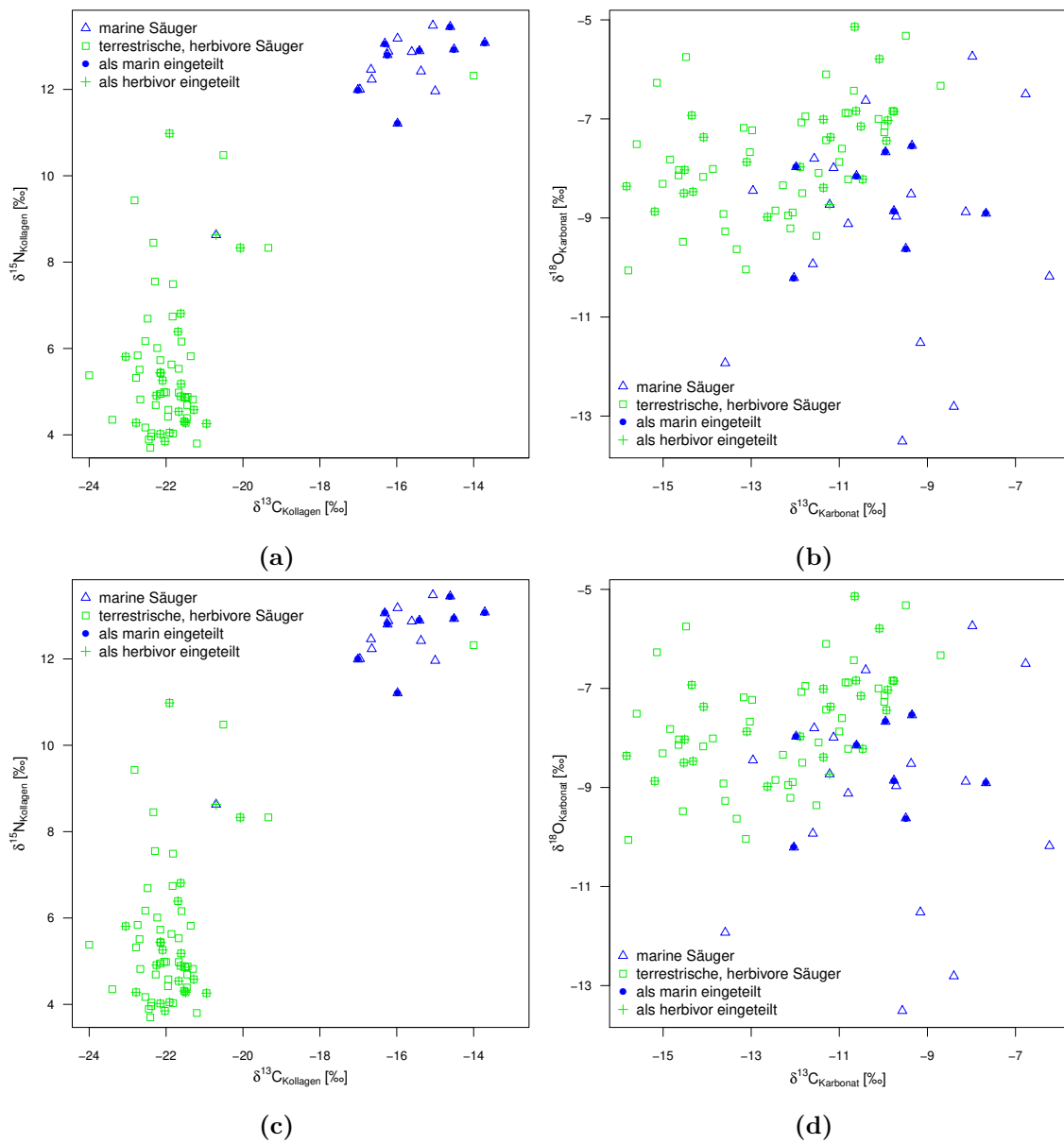
Für die SVM am Beispiel der terrestrischen, herbivoren und marinen Säuger (Datensatz I, vgl. Tabelle A2) wird zwischen Trainings- ($n = 58$) und Testdatensatz ($n = 30$) unterschieden (vgl. Kapitel 4.2.4). Im Trainingsdatensatz kommt es mit allen drei überprüften Kernen („vanilladot“, „polydot“, „rbfdot“) zu einer Fehlklassifizierung eines Individuums (Pottwal Hb 50). Der aus dem Polarmeer stammende Pottwal wird aufgrund der bereits zuvor angesprochenen, hier temperaturbedingt nicht eindeutigen Isotopie (vgl. Kapitel 5.3.1) durch die SVM als terrestrisch eingestuft. Der Trainingsfehler beträgt somit für alle untersuchten Modelle ca. 1,7 %.

Die SVM mit linearem Kern („vanilladot“) weist nur ein Test-Individuum (Seehund Hb 23) der falschen Gruppe zu (Abbildungen 44(a) und 44(b), Tabelle A94). Dies entspricht einem Testfehler von 3,3 %. Kegelrobbe 21 KR2T, Reh S 11, sowie Sattelrobbe Hb 30 werden mit eher geringer Zuordnungswahrscheinlichkeit (< 80 %) korrekt in die herbivore bzw. marine Gruppe eingeordnet (Abbildungen 44(a) und 44(b), Tabelle A94).

Bei der SVM mit quadratischem Kern („polydot“) wird ein Individuum des Testdatensatzes (Seehund Hb 23) als herbivor eingeordnet (Abbildungen 44(c) und 44(d), Tabelle A95). Gemäß Zuordnungswahrscheinlichkeit würde auch Sattelrobbe Hb 30 der herbivoren Klasse zugeordnet werden, die Klassenzuweisung ist jedoch korrekt, auch wenn dieses Individuum nur mit 34,8 % Wahrscheinlichkeit in die marine Klasse gehört. Der Testfehler liegt daher erneut bei 3,3 %. Sechs weitere marine Säuger weisen eine eher geringe Zuordnungswahrscheinlichkeit von unter 80 % auf (Tabelle A95). Besonders hervorzuheben sind hierbei die Seehunde Hb 24 und KHb 30, die mit einer Zuordnungswahrscheinlichkeit von nur 59,1 % bzw. 55,6 % eher zufällig in die marine Gruppe eingeteilt werden (Abbildungen 44(c) und 44(d), Tabelle A95).

Für die SVM mit der Gauß'schen Radial-Basisfunktion („rbfdot“) wird Seehund Hb 23 nach wie vor in die herbivore Gruppe eingeordnet, bei gleichzeitig jedoch eher hohen Zuordnungswahrscheinlichkeiten für die übrigen Individuen, mit Ausnahme der Sattelrobbe Hb 30 (Abbildungen 44(e) und 44(f), Tabelle A96). Auch hier beträgt der Testfehler demnach 3,3 %.

In keinem Fall werden herbivore Säuger fälschlicherweise der marinen Gruppe zugewiesen, was durch den „sea spray“-Einfluss denkbar wäre. Ohne die Vorgabe einer „sea spray“-Gruppe können die Daten demnach nicht auf die Detektion von „sea spray“-Individuen trainiert werden. Kenntnis über diese Einteilung erhält man jedoch nur durch vorausgegangene Clusteranalyse.



Fortsetzung von Abbildung 44 sh. nächste Seite

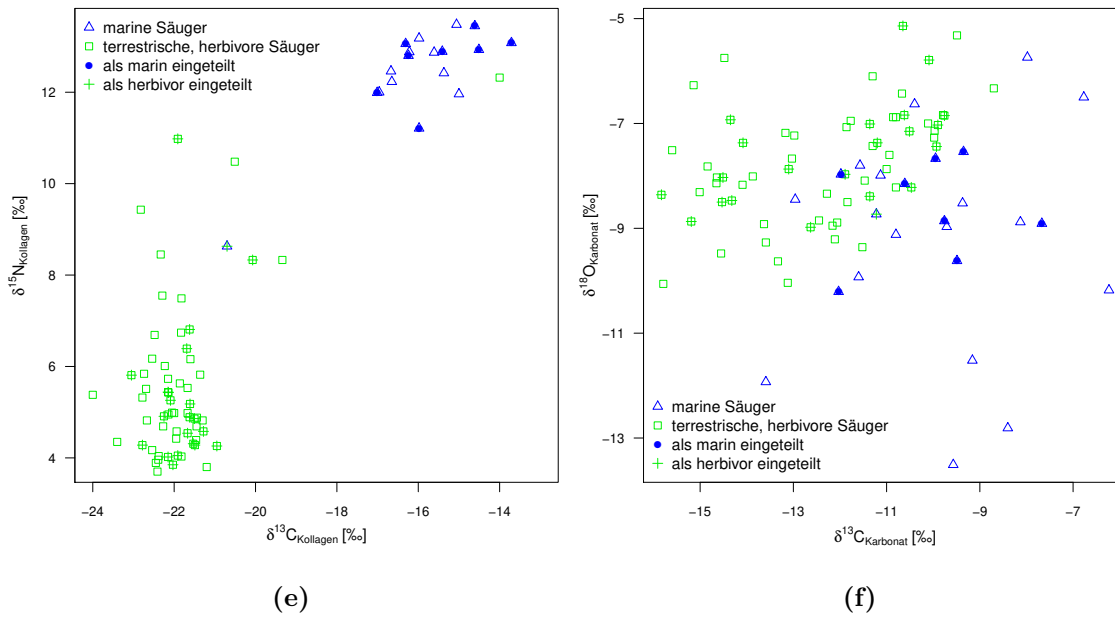


Abbildung 44: Zuordnung der terrestrischen, herbivoren und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig mittels SVM mit (a)/(b) linearem Kern („vanilladot“), (c)/(d) polynomialem (quadratischem) Kern („polydot“) und (e)/(f) Radial-Basiskern Kern („rbfdot“) im Trainings- und Testdatensatz. Die mittels SVM erzeugten Klassenzuordnungen (Punkte bzw. Kreuze) werden im Falle des Testdatensatzes der tatsächlichen Klassenzugehörigkeit (terrestrisch herbivor (Quadrate) vs. marin (Dreiecke)) einbeschrieben. Für den Trainingsdatensatz sind nur die tatsächlichen Klassenzugehörigkeiten eingetragen. Ein Übereinstimmen der Farben der Klassenzuordnung und tatsächlichen Klassenzugehörigkeit entspricht einer korrekten Zuordnung (und *vice versa*).

5.7 Zusammenhang zwischen Karbonat und Phosphat

Anmerkung

Dieses Kapitel verwendet Material aus folgenden Publikationen:

- **Göhring, A.**, Mauder, M., Kröger, P., Mayr, C., von Carnap-Bornheim, C., Hilberg, V., Grupe, G. (2019). „Evidence for sea spray effect on oxygen stable isotopes in bone phosphate - approximation and correction using Gaussian Mixture Model clustering“. *Science of the Total Environment* 673, 668-684.
- **Göhring, A.**, von Carnap-Bornheim, C., Hilberg, V., Mayr, C., Grupe, G. (2019). „Diet and species-specific stable oxygen isotope relationship and oxygen isotope spacing between structural carbonate and phosphate in archaeological mammalian bones“. *Archaeological and Anthropological Sciences* 11 (6), 2467-2487.

5.7.1 Haithabu vs. Schleswig

Der mehrfach publizierte Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (vgl. Kapitel 2.1.3.2) gilt, wie bereits zuvor erwähnt, als allgemeingültig. Ebenso wird ein fester Wert von etwa 9 ‰ für die Differenz aus $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten angenommen (vgl. Kapitel 2.1.3.2). Mit Hilfe des Teildatensatzes der terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig soll nachfolgend überprüft werden, ob dieser Zusammenhang bzw. der konstante Wert von etwa 9 ‰ tatsächlich generell anwendbar ist.

Insgesamt variieren die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte der terrestrischen Säuger zwischen 19,9 ‰ und 26,0 ‰ ($22,8 \text{ ‰} \pm 1,2 \text{ ‰}$). Die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte im Datensatz liegen im Bereich von 13,8 ‰ bis 19,7 ‰ ($16,8 \text{ ‰} \pm 0,9 \text{ ‰}$). Nach erfolgter „sea spray“-Korrektur weisen die terrestrischen Säuger $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte zwischen -11,7 ‰ und -9,0 ‰ ($-10,5 \text{ ‰} \pm 0,3 \text{ ‰}$) und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte zwischen 13,6 und 18,1 ‰ auf. Die marinen Säuger liegen bezüglich ihrer $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte im Bereich von -10,2 ‰ bis -5,8 ‰ ($-8,4 \text{ ‰} \pm 1,4 \text{ ‰}$) und bezüglich ihrer $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte zwischen 15,0 ‰ und 19,6 ‰ ($16,4 \text{ ‰} \pm 1,6 \text{ ‰}$).

Die Sauerstoff-Isotopenwerte der terrestrischen Säuger aus Haithabu ($n = 78$) und Schleswig ($n = 23$) sind nicht signifikant verschieden gemäß Wilcoxon-Rangsummen-Tests

($\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$: $W = 985$; $p = 0,479$; $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$: $W = 924,5$; $p = 0,827$). Dies verändert sich auch nach Ausschluss von fünf bivariaten Ausreißern (Katze Hb 104, Schaf Hb 73, Hb 76, Hb 77, Schwein Hb 66) nicht ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$: $W = 850$, $p = 0,757$; $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$: $W = 781,5$; $p = 0,780$). Aus diesem Grund werden die Daten aus Haithabu und Schleswig im Folgenden gemeinsam untersucht.

5.7.2 Habitats-spezifischer Zusammenhang

Die fünf bereits genannten, bivariaten Ausreißer innerhalb der terrestrischen Säuger (Katze Hb 104, Schaf Hb 73, Hb 76, Hb 77, Schwein Hb 66), sowie ein weiterer bivariater Ausreißer in der Gruppe der marinen Säuger (Pottwal Hb 50) werden von den folgenden Untersuchungen ausgeschlossen.

Für den Gesamtdatensatz bestehend aus terrestrischen und marinen Säugern ($n = 102$, unter Ausschluss der insgesamt sechs bivariaten Ausreißer) ergibt sich der folgende Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (Tabelle A98).

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat (terr.+marin)}} = 0,365 (\pm 0,061) \delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat (terr.+marin)}} + 8,362 (\pm 1,397) \quad (96)$$

Dieser Zusammenhang unterscheidet sich von dem innerhalb der terrestrischen ($n = 96$) bzw. innerhalb der marinen ($n = 6$) Säuger (Abbildung 45(a)).

$$\begin{aligned} \delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat (terrestrisch)}} = 0,358 (\pm 0,061) \delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat (terrestrisch)}} + \\ + 8,555 (\pm 1,397) \end{aligned} \quad (97)$$

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat (marin)}} = -0,127 (\pm 0,531) \delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat (marin)}} + 18,648 (\pm 11,577) \quad (98)$$

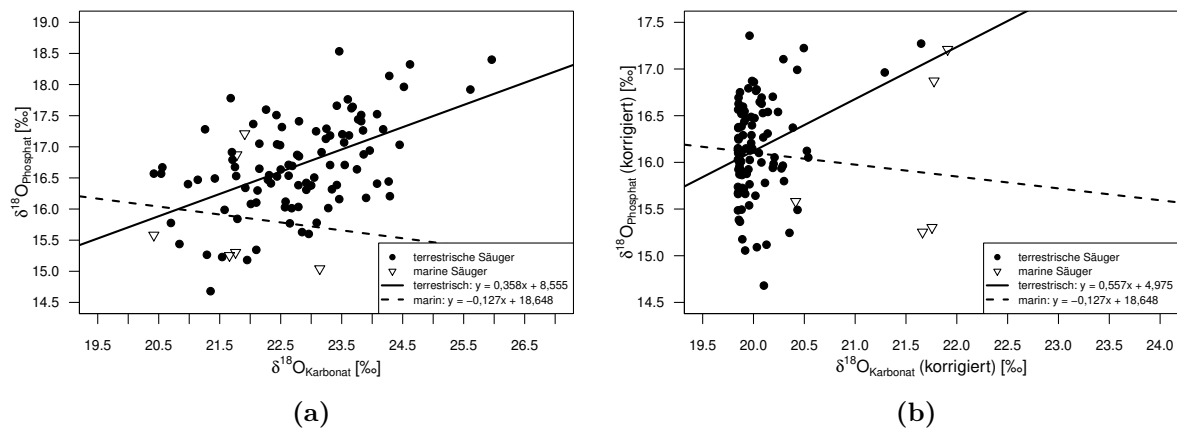


Abbildung 45: Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (x) und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (y) in allen terrestrischen, sowie allen marinen Säugern (a) vor und (b) nach der „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten (vgl. auch Tabelle A98).

Das lineare Modell für die marinen Säuger weicht deutlich von dem der terrestrischen Säuger ab. Insgesamt beeinflussen die sechs marinen Säuger jedoch den Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ im Gesamtdatensatz nicht allzu sehr (Formel 96). Es muss berücksichtigt werden, dass weder die Steigung noch der y-Achsen-Abschnitt in Formel 98 signifikante p-Werte aufweisen (Tabelle A98), was mit der sehr geringen Stichprobenzahl ($n = 6$) zu erklären ist.

Die Sauerstoff-Isotopenwerte des Gesamtdatensatzes korrelieren mit einem relativ geringen Koeffizienten von $r = 0,511$ ($p = 4,04\text{E-}08$). Die Korrelation verbessert sich geringfügig bei Betrachtung der terrestrischen Säuger mit $r = 0,548$ ($p = 1,31\text{E-}08$). Die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der marinen Säuger sind unkorreliert ($\tau = 0,07$; $p = 1$), was vermutlich erneut mit der geringen Stichprobe zusammenhängt (Tabellen A99 und A100).

Der Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ in marinen Säugern muss mit einer größeren Stichprobe überprüft werden. Nach momentanem Stand deutet sich jedoch ein Unterschied in den mittleren $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - bzw. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten von terrestrischen ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}: 22,80 \text{ ‰} \pm 1,08 \text{ ‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}: 16,71 \text{ ‰} \pm 0,75 \text{ ‰}$) und marinen Säugern ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}: 21,78 \text{ ‰} \pm 0,86 \text{ ‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}: 15,88 \text{ ‰} \pm 0,92 \text{ ‰}$) an, was eine Kombination von terrestrischen und marinen Säugern im linearen Modell stören könnte. Auffällig ist hier insbesondere, dass die terrestrischen Säuger im Mittel höhere Isotopenwerte aufweisen als

die marinen Säuger. Es liegt nahe, dass der „sea spray“-Effekt, der sowohl $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ als auch $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ beeinflusst (Kapitel 5.3.1), sich auch auf den Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ auswirkt, zumal der approximierte „sea spray“-Effekt im Karbonat-Sauerstoff ($\sim 61,8\%$) von dem im Phosphat-Sauerstoff ($\sim 13,9\%$) deutlich abweicht (vgl. Kapitel 5.3.1).

Nach erfolgter „sea spray“-Korrektur (sh. Kapitel 5.3.2) verändert sich der Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ im Gesamtdatensatz im Vergleich zum unkorrigierten Modell (vgl. Formel 96) deutlich:

$$\begin{aligned} \delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat (terr. (korr.)+marin)}} &= 0,034 (\pm 0,103) \delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat (terr. (korr.)+marin)}} + \\ &+ 15,443 (\pm 2,085) \end{aligned} \quad (99)$$

Ein Zusammenhang ist hier nicht mehr erkennbar (vgl. Steigungsparameter $m = 0,034$; $p = 0,744$, Tabelle A98). Auch im rein terrestrischen Datensatz ist der Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ nach der „sea spray“-Korrektur (Abbildung 45(b)) weniger deutlich als zuvor (Formel 97) mit

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat (terr. (korr.))}} = 0,557 (\pm 0,185) \delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat (terr. (korr.))}} + 4,975 (\pm 3,710). \quad (100)$$

Der Standardfehler für Steigungsparameter und y-Achsen-Abschnitt erhöht sich im Vergleich zum unkorrigierten Modell (Formel 97) und der Korrelationskoeffizient sinkt auf 0,296 ($p = 0,003$) verglichen mit 0,548 im ursprünglichen Modell. Der Steigungsparameter wird durch die Korrektur allerdings etwas größer (0,557 im Vergleich zu 0,358; $p = 0,003$).

5.7.3 Ernährungs-spezifischer Zusammenhang

Eine kombinierte Analyse von herbivoren, carnivoren und omnivoren (terrestrischen) Säugern (vgl. Kapitel 5.7.2) kann allerdings äußerst irreführend sein aufgrund der bestehenden Unterschiede dieser Tiergruppen bezüglich der Sauerstoff-Isotopie (vgl. Kapitel 2.1.3.2). Daher werden die lineare Regression, sowie die Korrelationskoeffizienten getrennt nach Ernährungsgewohnheit (herbivor, carnivor, omnivor) untersucht.

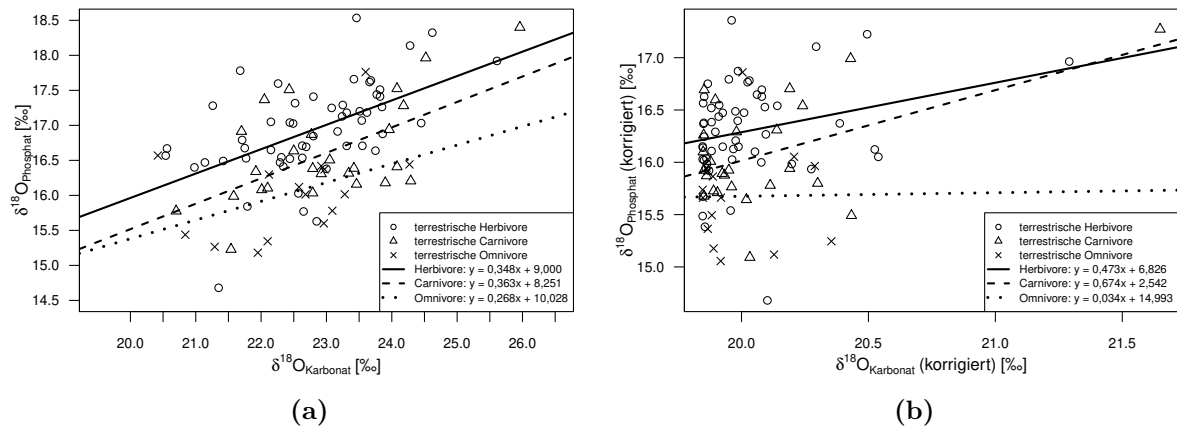


Abbildung 46: Zusammenhang zwischen $\delta^{18}O_{\text{Karbonat}}$ (x) und $\delta^{18}O_{\text{Phosphat}}$ (y) in terrestrischen Herbivoren, Carnivoren und Omnivoren (a) vor und (b) nach der „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{18}O_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}O_{\text{Phosphat}}$ -Werten (vgl. auch Tabelle A98).

Für die Herbivoren ($n = 58$) kann der Zusammenhang zwischen den Sauerstoffisotopen durch

$$\delta^{18}O_{\text{Phosphat}} (\text{herbivor}) = 0,348 (\pm 0,074) \delta^{18}O_{\text{Karbonat}} (\text{herbivor}) + 9,000 (\pm 1,705) \quad (101)$$

bzw. nach erfolgter „sea spray“-Korrektur durch

$$\delta^{18}O_{\text{Phosphat}} (\text{herbivor (korr.)}) = 0,473 (\pm 0,248) \delta^{18}O_{\text{Karbonat}} (\text{herbivor (korr.)}) + 6,826 (\pm 4,972) \quad (102)$$

beschrieben werden (Abbildung 46). Der Korrelationskoeffizient ist in beiden Fällen geringer als im terrestrischen Datensatz (vgl. Kapitel 5.7.2) mit 0,539 ($p = 2,17\text{E-}05$; unkorrigiert) und 0,296 ($p = 0,003$; korrigiert) (Tabellen A99 und A100). Auch hier erhöht sich der berechnete Steigungsparameter durch die Korrektur. Die Modellparameter im korrigierten Fall sind allerdings nicht signifikant von Null verschieden (Tabelle A98).

Für carnivore Säuger ($n = 26$) können die folgenden linearen Modelle für die unkorrigierten

bzw. korrigierten Daten aufgestellt werden (vgl. Abbildung 46):

$$\delta^{18}O_{Phosphat (carnivor)} = 0,363 (\pm 0,100) \delta^{18}O_{Karbonat (carnivor)} + 8,251 (\pm 2,301) \quad (103)$$

$$\delta^{18}O_{Phosphat (carnivor (korr.))} = 0,674 (\pm 0,237) \delta^{18}O_{Karbonat (carnivor (korr.))} + 2,542 (\pm 4,750) \quad (104)$$

Der y-Achsen-Abschnitt im korrigierten Fall ist nicht signifikant verschieden von Null (Tabelle A98). Im Vergleich zum terrestrischen Datensatz ist die Korrelation hier (v. a. im korrigierten Fall) etwas stärker mit $r = 0,596$ ($p = 1,31E-03$; unkorrigiert) bzw. $r = 0,503$ ($p = 8,86E-03$; korrigiert) (Tabellen A99 und A100).

Bei den Omnivoren ($n = 18$) lässt sich der Zusammenhang zwischen Karbonat- und Phosphat-Sauerstoff wie folgt beschreiben (vgl. Abbildung 46):

$$\delta^{18}O_{Phosphat (omnivor)} = 0,268 (\pm 0,161) \delta^{18}O_{Karbonat (omnivor)} + 10,028 (\pm 3,628) \quad (105)$$

$$\delta^{18}O_{Phosphat (omnivor (korr.))} = 0,034 (\pm 0,751) \delta^{18}O_{Karbonat (omnivor (korr.))} + 14,993 (\pm 15,014) \quad (106)$$

Die Modellparameter sind (bis auf den y-Achsen-Abschnitt für die unkorrigierten Daten) nicht signifikant verschieden von Null (Tabelle A98), vermutlich bedingt durch die geringe Anzahl von Omnivoren ($n = 16$) im Datensatz und den damit wohl einhergehenden, großen Standardfehlern. Ebenso verhält es sich für die Korrelationskoeffizienten (Tabellen A99 und A100).

5.7.4 Wildlebende versus domestizierte Säuger

Da sich sowohl die Nahrungsquellen, als auch die Trinkwasserquellen von wildlebenden und domestizierten Individuen unterscheiden können, werden wildlebende ($n = 51$) und

domestizierte ($n = 45$) Säuger nachfolgend getrennt voneinander untersucht. Es ergeben sich relativ deutliche Unterschiede in den linearen Modellen dieser beiden Gruppen (vgl. Abbildung 47):

$$\delta^{18}O_{Phosphat} (wild) = 0,242 (\pm 0,085) \delta^{18}O_{Karbonat} (wild) + 11,155 (\pm 1,922) \quad (107)$$

$$\delta^{18}O_{Phosphat} (wild (korr.)) = 0,500 (\pm 0,216) \delta^{18}O_{Karbonat} (wild (korr.)) + 6,093 (\pm 4,319) \quad (108)$$

$$\delta^{18}O_{Phosphat} (dom.) = 0,485 (\pm 0,088) \delta^{18}O_{Karbonat} (dom.) + 5,649 (\pm 2,018) \quad (109)$$

$$\delta^{18}O_{Phosphat} (dom. (korr.)) = 0,651 (\pm 0,333) \delta^{18}O_{Karbonat} (dom. (korr.)) + 3,137 (\pm 6,673) \quad (110)$$

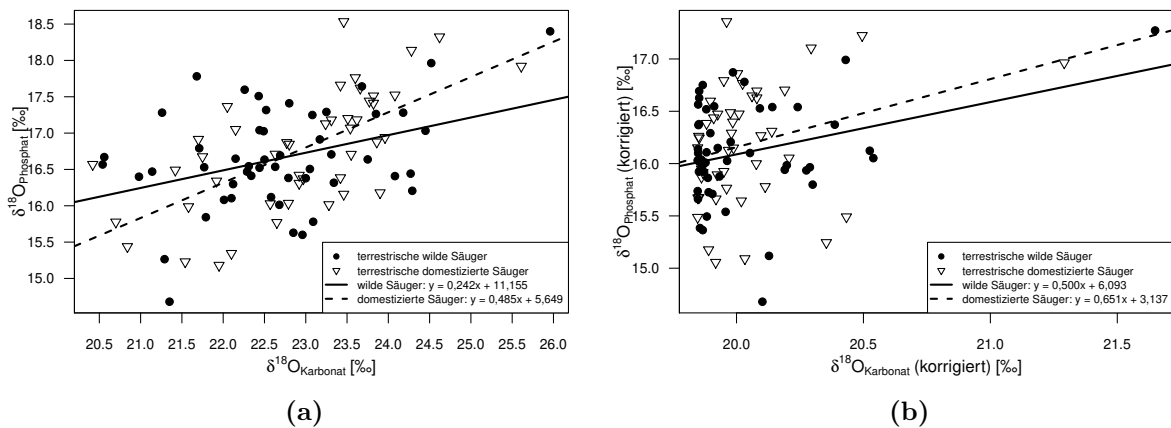


Abbildung 47: Zusammenhang zwischen $\delta^{18}O_{Karbonat}$ (x) und $\delta^{18}O_{Phosphat}$ (y) in wildlebenden und domestizierten, terrestrischen Säugern (a) vor und (b) nach der „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{18}O_{Karbonat}$ - und $\delta^{18}O_{Phosphat}$ -Werten (vgl. auch Tabelle A98).

Die Korrelation zwischen $\delta^{18}O_{Karbonat}$ und $\delta^{18}O_{Phosphat}$ sinkt durch die Korrektur des „sea spray“-Effektes zwar ab - von 0,379 (wildlebend) bzw. 0,644 (domestiziert) auf 0,314 bzw. 0,286 - bleibt jedoch signifikant (Tabelle A98). Auffällig ist die starke Reduktion des Korrelationskoeffizienten im Falle der domestizierten Säuger. Ursprünglich liegt der Koeffizient der domestizierten Säuger deutlich über dem der Wildsäuger und auch dem des terrestrischen Datensatzes (0,548). Durch die „sea spray“-Korrektur verschiebt sich

dies jedoch und der Koeffizient im domestizierten Teildatensatz ist sowohl niedriger als der bei den wildlebenden Säugern, als auch niedriger als der des korrigierten terrestrischen Datensatzes (0,296; vgl. Kapitel 5.7.2). Wildsäuger zeigen hingegen nach der Korrektur einen Pearson-Koeffizienten, der mit 0,314 etwas über dem des terrestrischen Datensatzes liegt (Tabellen A99 und A100).

5.7.5 Spezies-spezifischer Zusammenhang

Auf Spezies-spezifischer Ebene ist die Untersuchung linearer Modelle aufgrund der relativ kleinen Stichprobengrößen schwierig. Es findet sich aber im unkorrigierten Zustand eine signifikante Korrelation zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ für die Gruppe der Rotfüchse ($\tau = 0,643$, $p = 0,031$; $r = 0,799$, $p = 0,017$; $n = 8$), sowie die Gruppe der Hunde ($\tau = 0,511$, $p = 0,047$; $n = 10$) (Tabellen A99 und A100). Diese beiden Spezies zeigen einen deutlich voneinander verschiedenen, linearen Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (Formeln 111 und 112), obwohl sich die beiden Spezies in ihrer Physiologie und Ernährung (bis auf die Tatsache, dass sie wildlebend bzw. domestiziert sind) relativ ähnlich sein sollten.

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat (Rotfuchs)}} = 0,579 (\pm 0,178) \delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat (Rotfuchs)}} + 3,076 (\pm 4,260) \quad (111)$$

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat (Hund)}} = 0,337 (\pm 0,166) \delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat (Hund)}} + 8,705 (\pm 3,721) \quad (112)$$

Nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt findet sich eine signifikante Korrelation zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ in der Gruppe der Rotfüchse ($r = 0,813$, $p = 0,014$; $n = 8$), sowie außerdem in der Gruppe der Pferde ($\tau = 0,494$, $p = 0,048$; $n = 10$) (Tabellen A99 und A100).

Als Vergleich zum unkorrigierten Modell sei der Zusammenhang der Sauerstoffisotope in der Gruppe der Rotfüchse nach der „sea spray“-Korrektur dargestellt:

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat (Rotfuchs (korr.))}} = 0,815 (\pm 0,239) \delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat (Rotfuchs (korr.))}} - 0,264 (\pm 4,846) \quad (113)$$

Sowohl in Formel 111 als auch in Formel 113 ist der Steigungsparameter signifikant verschieden von Null (unkorrigiert: $p = 0,018$; korrigiert: $p = 0,014$). Durch die „sea spray“-Korrektur wird der Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ innerhalb der Rotfuchse verstärkt. Durch die jeweils geringe Stichprobengröße ist die Aussagekraft von Korrelation und Regression allerdings eher gering und muss mit einer größeren Spezies-spezifischen Stichprobe überprüft werden.

5.7.6 $\Delta\delta^{18}\text{O}$: Ernährungs- und Physiologie-spezifische Unterschiede

In allen zuvor gezeigten Korrelationen fällt eine relativ große Streuung der Daten auf. Ursächlich hierfür können Unterschiede in einzelnen Untergruppen sein. Dies soll anhand der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte nachfolgend genauer untersucht werden.

Die $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte im unkorrigierten, terrestrischen Datensatz liegen bei $6,1\text{‰} \pm 1,0\text{‰}$ mit Werten zwischen $3,9\text{‰}$ (Schwein Hb 70) und $8,1\text{‰}$ (Rotfuchs Hb 12). Die Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt führt zu einer deutlichen Reduktion des mittleren $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wertes auf $3,9\text{‰} \pm 0,5\text{‰}$. Die Wertespanne verringert sich auf $2,6\text{‰}$ (Pferd Hb 91) bis maximal $5,4\text{‰}$ (Hase S 26). Für die marinen Säuger liegt der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wert bei $5,9\text{‰} \pm 1,3\text{‰}$ mit Werten zwischen $4,7\text{‰}$ (Seehund Hb 23) und $8,1\text{‰}$ (Sattelrobbe Hb 30). Damit liegen die marinen $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Bereich der unkorrigierten terrestrischen Säuger, jedoch über den korrigierten terrestrischen $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werten.

Terrestrische und marine Säuger unterscheiden sich bezüglich ihrer $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte vor der „sea spray“-Korrektur nicht signifikant voneinander ($W = 334$, $p = 0,518$). Nach der „sea spray“-Korrektur findet sich ein signifikanter Unterschied zwischen terrestrischen und marinen Säugern ($W = 18$, $p = 0,0001$) - auch nach Ausschluss eines Ausreißers (Hase S 26, $W = 15$, $p = 0,0001$). Dieser signifikante Unterschied entspricht den ursprünglichen Erwartungen (vgl. Kapitel 5.3.1). Ebenfalls erwartungsgemäß zeigt sich ein signifikanter Unterschied der terrestrischen und marinen Säuger bezüglich ihrer $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte vor ($W = 450$, $p = 0,022$), sowie nach ($W = 7$, $p = 6,614\text{E-}02$) der Korrektur gegen den „sea spray“. Dies gilt auch bei Ausschluss der Ausreißer Rotfuchs S 21 ($W = 444$, $p = 0,023$ (unkorr.)) bzw. Hase S 25, Reh Hb 40, Rotfuchs S 21, Schaf Hb 78, Schaf

Hb 79, Sattelrobbe Hb 30, sowie Seehund Hb 26 ($W = 2$, $p = 5,091\text{E-}05$ (korr.)). Die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte terrestrischer und mariner Säuger sind vor der „sea spray“-Korrektur signifikant voneinander verschieden ($W = 433$, $p = 0,040$), auch nach Ausschluss eines univariaten Ausreißers (Hase S 26, $W = 433$, $p = 0,034$). Hingegen findet sich nach der Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt kein signifikanter Unterschied mehr zwischen den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten der terrestrischen und marinen Säuger ($W = 368,5$, $p = 0,255$), was sich auch bei Ausschluss des Ausreißers Hase S 26 nicht verändert ($W = 368,5$, $p = 0,233$). Abbildung 48 zeigt den Einfluss der Ernährung auf die $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte getrennt nach herbivoren, carnivoren und omnivoren Säugern. Herbivore (unkorrigiert: $5,9 \text{‰} \pm 0,9 \text{‰}$; korrigiert: $3,7 \text{‰} \pm 0,5 \text{‰}$) weisen vor und nach der „sea spray“-Korrektur signifikant niedrigere $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte auf als die carnivoren (unkorrigiert: $W = 488$, $p = 0,022$; korrigiert: $W = 512$, $p = 0,041$) und omnivoren Säugern (unkorrigiert: $W = 250$, $p = 0,020$; korrigiert: $W = 146$, $p = 0,0001$). Carnivore und omnivore Säuger zeigen fast identische $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte auf (Abbildung 48, Tabelle A103). Der Unterschied von carnivoren und omnivoren Individuen bezüglich ihrer $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte ist vor der „sea spray“-Korrektur nicht signifikant ($W = 185$, $p = 0,700$), wohingegen nach der Korrektur ein signifikanter Unterschied feststellbar ist ($W = 115$, $p = 0,030$).

Die Gruppen der korrigierten Herbivoren, unkorrigierten Omnivoren, sowie korrigierten Omnivoren zeigen jeweils univariate Ausreißer (herbivor (korrigiert): Hase S 26, Pferd Hb 91; omnivor (unkorrigiert): Schwein Hb 70; omnivor (korrigiert): Schwein Hb 69). Der Ausschluss dieser Ausreißer resultiert in einer deutlicheren Signifikanz zwischen herbivoren und omnivoren Individuen bezüglich ihrer $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte vor ($W = 195$, $p = 0,005$) bzw. nach ($W = 80$, $p = 7,463\text{E-}06$) der „sea spray“-Korrektur. Auch der signifikante Unterschied zwischen korrigierten herbivoren und carnivoren Säugern bleibt nach Ausschluss dieser Ausreißer bestehen ($W = 486$, $p = 0,035$). Überdies wird im Falle der gegen den „sea spray“-Effekt korrigierten Carnivoren und Omnivoren durch den Ausschluss des univariaten Ausreißers (Schwein Hb 69) der Unterschied bezüglich der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte noch deutlicher ($W = 89$, $p = 0,008$).

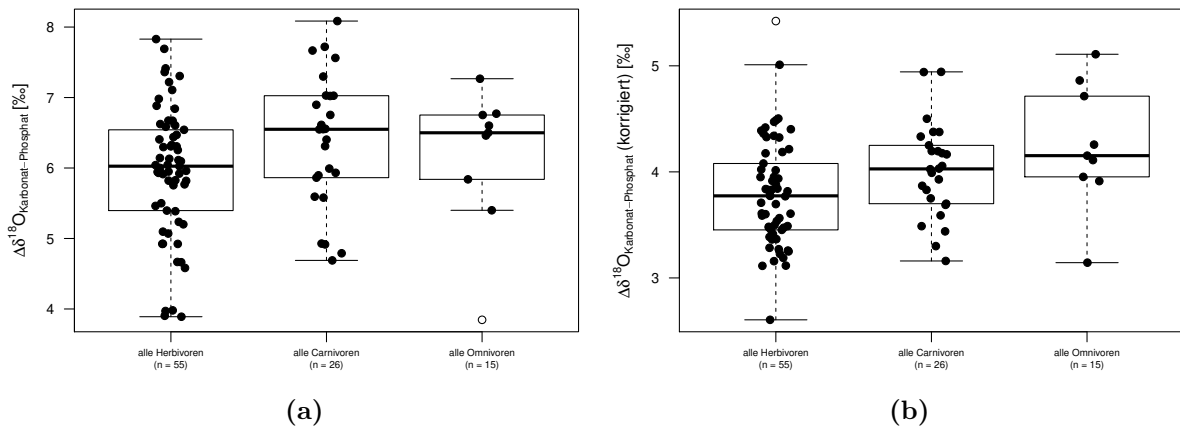


Abbildung 48: Vergleich der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte der herbivoren, carnivoren und omnivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig (a) vor und (b) nach der „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten.

Wildlebende und domestizierte Säuger zeigen vor der „sea spray“-Korrektur keine signifikant unterschiedlichen $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte ($W = 1040$, $p = 0,432$; Abbildung 49(a)). Auch nach Ausschluss eines Ausreißers (Schwein Hb 70) vom domestizierten Teildatensatz sind wildelebende und domestizierte Säuger nicht signifikant voneinander verschieden ($W = 989$, $p = 0,323$). Bezüglich der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - ($W = 948,5$, $p = 0,145$) bzw. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte ($W = 1049$, $p = 0,472$) unterscheiden sich die wildelebenden und domestizierten Säuger ebenfalls nicht signifikant voneinander. Der Ausschluss univariater Ausreißer ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$: Rotfuchs S 21; $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$: Hase S 26, Rotfuchs S 21) verändert das Ergebnis der Signifikanztests kaum - die beiden Gruppen bleiben nicht-signifikant verschieden ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$: $W = 903,5$, $p = 0,100$; $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$: $W = 1005$, $p = 0,463$).

Die gegen den „sea spray“-Effekt korrigierten, wildelebenden und domestizierten Individuen zeigen ebenfalls keine signifikanten Unterschiede bezüglich ihrer $\Delta\delta^{18}\text{O}$ - ($W = 1259$, $p = 0,415$; Abbildung 49(b)), $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - ($W = 971$, $p = 0,196$) und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte ($W = 1050$, $p = 0,476$). Das Entfernen univariater Ausreißer ($\Delta\delta^{18}\text{O}$: Hase S 26; $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$: Hase S 25, Hund Hb 95, Reh Hb 40, Rotfuchs S 21, Schaf Hb 78, Hb 79; $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$: Hase S 26) verändert die Ergebnisse der Signifikanztests nur geringfügig ($\Delta\delta^{18}\text{O}$: $W = 1214$, $p = 0,510$; $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$: $W = 838$, $p = 0,170$; $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$: $W = 1050$, $p = 0,476$).

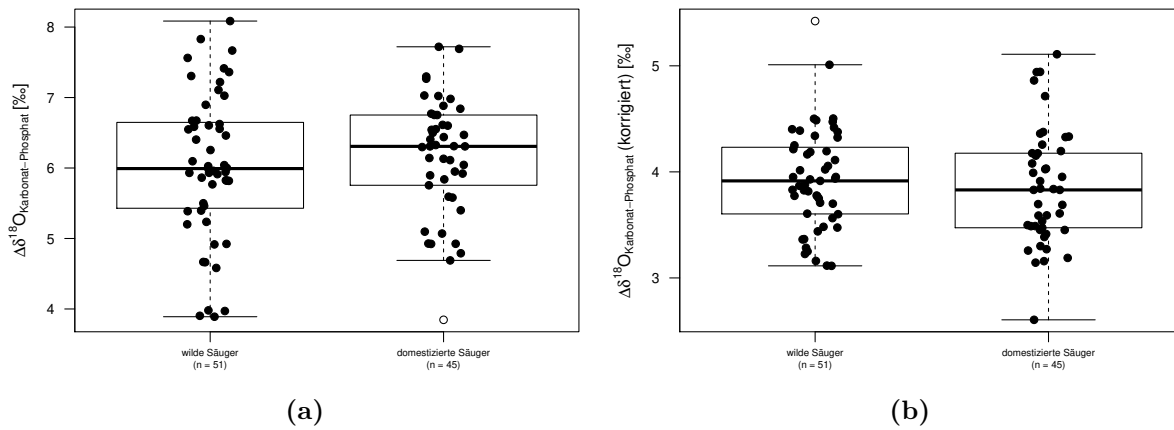


Abbildung 49: Vergleich der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte der wildlebenden und domestizierten Säuger aus Haithabu und Schleswig (a) vor und (b) nach der „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten.

Obwohl sich wildlebende und domestizierte Säuger somit nicht-signifikant voneinander unterscheiden, wird der Unterschied zwischen diesen beiden Gruppen deutlicher, wenn zusätzlich auch noch nach dem Ernährungstypen unterschieden wird (vgl. Abbildung 50): Vor der Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt finden sich signifikant verschiedene $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte zwischen wildlebenden und domestizierten Herbivoren ($W = 238$, $p = 0,027$), sowie zwischen wildlebenden herbivoren Säugern und wildlebenden carnivoren ($W = 90$, $p = 0,006$) bzw. wildlebenden omnivoren Individuen ($W = 39$, $p = 0,006$) (Abbildung 50(a)). In der Gruppe der domestizierten Herbivoren bzw. Omnivoren werden einige univariate Ausreißer gefunden (Pferde Hb 85, Hb 87 und Hb 91, Schafe Hb 74 und Hb 79, Schwein Hb 70). Ein Ausschluss dieser Ausreißer verstärkt die Signifikanz zwischen wildlebenden und domestizierten Herbivoren ($W = 169$, $p = 0,017$) und führt zu einem zusätzlichen signifikanten Unterschied in den $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werten wildlebender herbivorer und domestizierter omnivorer Säuger ($W = 55$, $p = 0,037$).

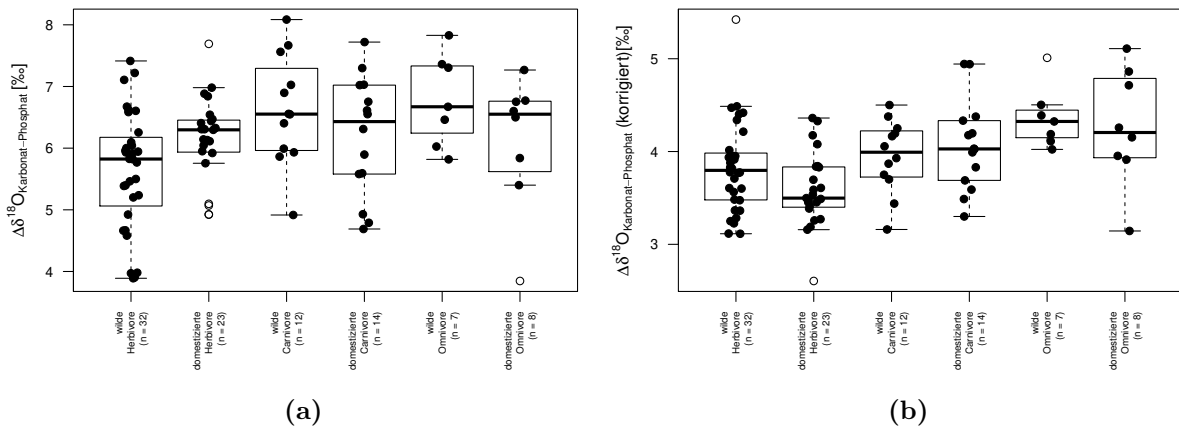


Abbildung 50: Vergleich der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte der wildlebenden und domestizierten Säuger aus Haithabu und Schleswig im Hinblick auf ihre Ernährungsweise (herbivore, carnivore, omnivore) (a) vor und (b) nach der „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat-}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat-}}$ -Werten.

Nach erfolgter „sea spray“-Korrektur besteht nach wie vor ein signifikanter Unterschied zwischen wildlebenden Herbivoren und wildlebenden (W = 34, $p = 0,003$), sowie domestizierten Omnivoren (W = 66, $p = 0,036$) (Abbildung 50(b)). Dies gilt auch nach Ausschluss der univariaten Ausreißer Hase S 26 und Wildschwein S 13. Die Signifikanz zwischen wildlebenden Herbivoren und wildlebenden Omnivoren (W = 27, $p = 0,005$) bzw. domestizierten Omnivoren (W = 58, $p = 0,021$) bleibt bestehen. Im Gegensatz zum unkorrigierten Fall unterscheiden sich die $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte wildlebender und domestizierter, herbivorer Säuger nicht mehr signifikant voneinander (W = 151, $p = 0,290$), auch nach Entfernen des Ausreißers Hase S 26 (W = 139, $p = 0,211$). Hingegen treten bezüglich der korrigierten $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte vier neue, signifikante Unterschiede auf, nämlich zwischen domestizierten Herbivoren und wildlebenden Carnivoren (W = 70, $p = 0,017$), domestizierten Carnivoren (W = 71,5, $p = 0,005$), wildlebenden Omnivoren (W = 11, $p = 0,002$) und domestizierten Omnivoren (W = 35, $p = 0,009$) (Abbildung 50(b)). Der signifikante Unterschied bleibt in allen Fällen auch nach Entfernen der univariaten Ausreißer (Pferd Hb 91, Wildschwein S 13) bestehen. Der signifikante Unterschied zwischen herbivoren und carnivoren bzw. omnivoren Säugern ist damit vor der „sea spray“-Korrektur v. a. durch Unterschiede zu wildlebenden Herbivoren zu erklären, nach der Korrektur hingegen eher durch Unterschiede zu domestizierten Herbivoren.

Die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von Gras- und Laubfressern (vgl. Tabelle A97) sollten sich, wie in Kapitel 2.1.3.2 erwähnt, unterscheiden (Bocherens et al., 1996; Kohn et al., 1996; Sponheimer & Lee-Thorp, 1999). Aufgrund fehlender C_4 -Pflanzen im damaligen Haithabu und Schleswig sollte dieser Unterschied jedoch eher gering sein.

Tatsächlich sind Grasfresser ($n = 45$) signifikant verschieden von Laubfressern ($n = 9$) bezüglich ihrer $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte ($W = 105,5$, $p = 0,025$), nicht jedoch bezüglich ihrer $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte ($W = 130,5$, $p = 0,097$). Nach Ausschluss mathematischer Ausreißer im $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (Schaf Hb 79) und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (Elch Hb 46, Feldhase S 26) zeigt sich allerdings auch ein signifikanter Unterschied in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten von Gras- und Laubfressern ($W = 83,5$, $p = 0,020$), während der Unterschied bezüglich der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte signifikant bleibt ($W = 105,5$, $p = 0,029$). Es zeigen sich zudem auch signifikant unterschiedliche $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte ($W = 115$, $p = 0,004$). Grasfresser weisen signifikant höhere $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte auf als Laubfresser (Abbildung 51(a)) mit Werten von $6,0\text{‰} \pm 0,9\text{‰}$ für Grasfresser und $5,3\text{‰} \pm 0,8\text{‰}$ für Laubfresser.

Nach der Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt findet sich kein signifikanter Unterschied in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten von Gras- und Laubfressern wieder ($W = 225$, $p = 0,610$). Dies gilt auch nach Ausschluss von drei univariaten Ausreißern (Hase S 25, Schaf Hb 78, Schaf Hb 79; $W = 223$, $p = 0,408$). Die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte der Gras- und Laubfresser zeigen ebenfalls keinen signifikanten Unterschied ($W = 130,5$, $p = 0,097$). Allerdings führt das Entfernen der Ausreißer Hase S 26 und Elch Hb 46 zu einer Signifikanz ($W = 83,5$, $p = 0,020$). Bezüglich der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte weisen Gras- ($3,7\text{‰} \pm 0,5\text{‰}$) und Laubfresser ($4,0\text{‰} \pm 0,3\text{‰}$) nach der Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt keine signifikanten Unterschiede mehr auf ($W = 264$, $p = 0,159$; Abbildung 51(b)), auch nach Entfernen des Ausreißers Hase S 26 ($W = 264$, $p = 0,122$). Tendenziell scheinen Grasfresser nun jedoch, im Gegensatz zu den unkorrigierten Werten, niedrigere $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte aufzuweisen als Laubfresser (Grasfresser (korr.): $3,7\text{‰} \pm 0,5\text{‰}$; Laubfresser (korr.): $4,0\text{‰} \pm 0,3\text{‰}$).

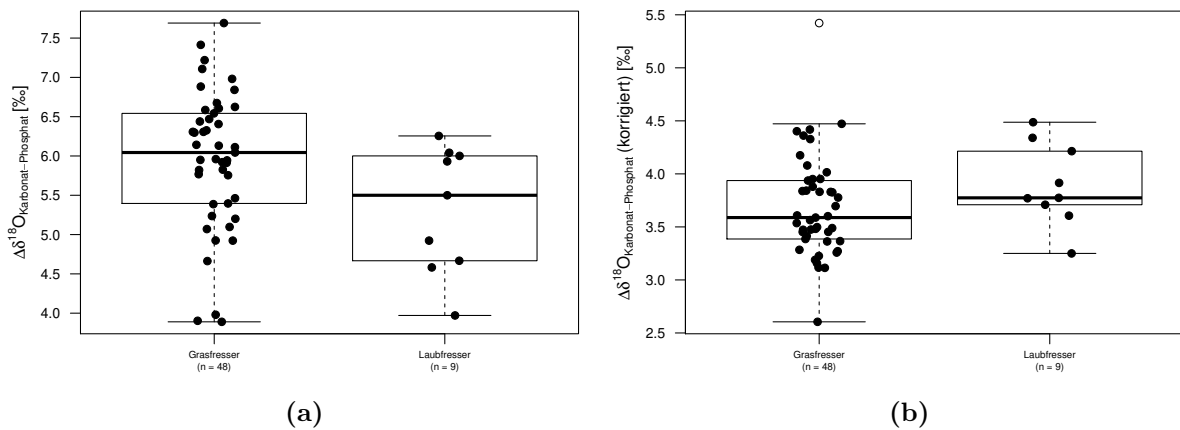


Abbildung 51: Vergleich der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Grasfresser und Laubfresser aus Haithabu und Schleswig (a) vor und (b) nach der „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat-}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat-}}$ -Werten.

Gemäß Hofmann (1989) ist eine Einteilung von Wiederkäuern in Gras- und Laubfresser nicht ausreichend. Es können drei Wiederkäuer-Typen unterschieden werden (Hofmann, 1991; Hofmann, 1989; Hofmann & Stewart, 1972): Gras- und Rauhfutterfresser (GR), Konzentratselktierer (CS), sowie ein intermediärer Typ (IM) (vgl. Tabelle A97).

Wiederkäuer des GR-Typs ($n = 15$) zeigen signifikant verschiedene $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat-}}$ -Werte im Vergleich zum CS-Typ ($n = 9$; $W = 119$, $p = 0,003$) und IM-Typ ($n = 9$; $W = 116,5$, $p = 0,004$). Der GR-Typ ist hierbei angereichert mit ^{18}O . Wiederkäuer des CS- und IM-Typs zeigen keinen signifikanten Unterschied bezüglich ihrer $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat-}}$ -Werte ($W = 30$, $p = 0,387$). Der Ausschluss von vier univariaten Ausreißern (Auerochse Hb 48, Damhirsch S 6, Schaf Hb 74, Hb 79) führt zu einer noch deutlicheren Unterscheidung zwischen dem GR- und CS-Typ ($W = 108$, $p = 0,0004$) und zwischen dem GR- und IM-Typ ($W = 101,5$, $p = 0,0004$). Individuen des CS- und IM-Typs bleiben nicht-signifikant verschieden bezüglich ihrer $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat-}}$ -Werte ($W = 24$; $p = 0,277$). Auch bezüglich der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat-}}$ -Werte können Individuen des GR- und des CS-Typs signifikant unterschieden werden ($W = 119$, $p = 0,001$). Wiederkäuer des GR-Typs weisen höhere $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat-}}$ -Werte auf als Individuen des CS-Typs. Zwischen Tieren des IM-Typs und solchen des GR- ($W = 98$, $p = 0,073$) und CS-Typs ($W = 29$, $p = 0,340$) finden sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat-}}$ -Werte. Das Entfernen eines Ausreißers (Elch Hb 46) ändert die Ergebnisse

des Signifikanztests nicht.

Wie schon für $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ unterscheiden sich Individuen des GR- und CS-Typs auch bezüglich ihrer $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte signifikant voneinander ($W = 109$, $p = 0,012$; Abbildung 52(a)). Wiederkäuer des IM-Typs sind bezüglich der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte nicht signifikant verschieden von Individuen des GR-Typs ($W = 98$, $p = 0,073$) bzw. des CS-Typs ($W = 39$, $p = 0,931$). Das Entfernen von fünf univariaten Ausreißern (Auerochse Hb 48, Damhirsch S 6; Rothirsch Hb 38, Schaf Hb 74, Hb 79) resultiert in einem noch deutlicheren Unterschied zwischen Individuen des GR- und CS-Typs ($W = 96$, $p = 0,002$) und führt zudem auch zu einem signifikanten Unterschied zwischen dem GR- und IM-Typ ($W = 73$, $p = 0,007$). Der Unterschied zwischen Individuen des CS- und IM-Typs bleibt nicht signifikant ($W = 31$, $p = 1$).

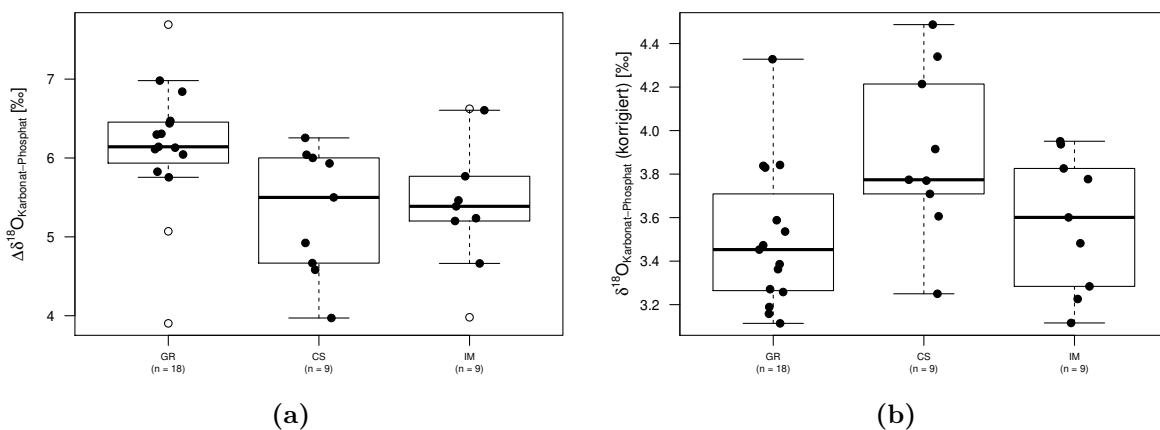


Abbildung 52: Vergleich der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Wiederkäuer aus Haithabu und Schleswig (a) vor und (b) nach der „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten. Die Einteilung erfolgte nach Hofmann (1989): Gras- und Raufutterfresser (GR), Konzentratselktierer (CS), Intermediärer Typ (IM).

Nach erfolgter Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt bleiben die signifikanten Unterschiede zwischen Wiederkäuern des GR- und CS-Typs bezüglich ihrer $\Delta\delta^{18}\text{O}$ - ($W = 30$, $p = 0,025$; Abbildung 52(b)) und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte ($W = 119$, $p = 0,001$) bestehen. Individuen des GR-Typs weisen signifikant höhere $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte, jedoch signifikant niedrigere $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte auf als Tiere des CS-Typs. Das Entfernen eines univariaten Ausreißers (Elch Hb 46) in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten verstärkt den signifikanten Unterschied weiter ($W =$

114, $p = 0,0001$). Die zuvor detektierte Signifikanz zwischen den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten von Individuen des GR- und CS-Typs kann nach erfolgter „sea spray“-Korrektur nicht mehr festgestellt werden ($W = 80$, $p = 0,482$). Auch nach Entfernen eines univariaten Ausreißers (Damhirsch S 6) bleibt der Unterschied nicht-signifikant ($W = 55$, $p = 0,972$).

Für Wiederkäuer des GR- und IM-Typs wird nach der Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt ein nach wie vor signifikanter Unterschied hinsichtlich der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte sichtbar ($W = 116,5$, $p = 0,004$), der sich durch den Ausschluss einiger univariater Ausreißer (Damhirsch S 6, Rind Hb 57, Schaf Hb 78, Schaf Hb 79) weiter verstärkt ($W = 89,5$, $p = 0,002$). Ebenfalls wie im unkorrigierten Fall zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen Individuen des GR- und IM-Typs bezüglich ihrer $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte ($W = 97,5$, $p = 0,079$). Der zuvor detektierte, signifikante Unterschied der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte dieser beiden Wiederkäuer-Gruppen liegt nach der „sea spray“-Korrektur nicht mehr vor ($W = 56$, $p = 0,520$).

Die beiden Wiederkäuer-Typen CS und IM zeigen auch nach der Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt keinerlei signifikante Unterschiede bezüglich $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ ($W = 58$, $p = 0,136$), $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ ($W = 29$, $p = 0,340$) bzw. $\Delta\delta^{18}\text{O}$ ($W = 56$, $p = 0,190$). Dies gilt auch nach Ausschluss von Damhirsch S 6 bzw. Elch Hb 46 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$: $W = 55$, $p = 0,074$; $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$: $W = 20$, $p = 0,139$).

Abbildung 53 zeigt einen Spezies-spezifischen Vergleich der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte am Beispiel von zehn verschiedenen Arten (Hase/Kaninchen, Reh, Rothirsch, Pferd, Rind, Rotfuchs, Hund, Wildschwein, Hausschwein).

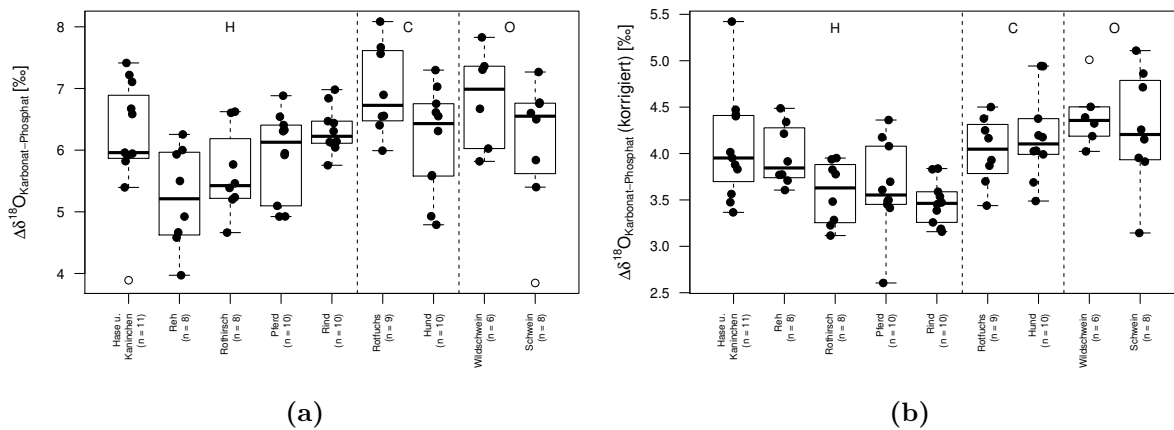


Abbildung 53: Vergleich der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte ausgewählter herbivorer (H), carnivorer (C) und omnivorer (O) Spezies aus Haithabu und Schleswig (a) vor und (b) nach der „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten.

In der Gruppe der Herbivoren weisen vor der „sea spray“-Korrektur Hasen bzw. Kaninchen ($6,2\text{‰} \pm 1,0\text{‰}$), Pferde ($5,9\text{‰} \pm 0,7\text{‰}$), sowie Rinder ($6,3\text{‰} \pm 0,4\text{‰}$) relativ ähnliche Werte auf. Das Entfernen eines univariaten Ausreißers aus der Gruppe der Hasen und Kaninchen (Hase S 25; $\Delta\delta^{18}\text{O} = 3,9\text{‰}$) führt dazu, dass diese Gruppe etwas höhere $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte ($6,4\text{‰} \pm 0,7\text{‰}$) aufweist als Pferde bzw. Rinder. Rehe weisen im Vergleich der Herbivoren die niedrigsten $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte auf ($5,2\text{‰} \pm 0,8\text{‰}$) (Abbildung 53(a)).

Nach der „sea spray“-Korrektur werden alle Gruppen hinsichtlich ihrer $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte ähnlicher. Hasen bzw. Kaninchen weisen zwar nach wie vor den höchsten mittleren $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wert auf ($4,1\text{‰} \pm 0,6\text{‰}$), jedoch ist dieser Wert nun fast identisch mit dem mittleren Wert der Rehe ($4,0\text{‰} \pm 0,3\text{‰}$). Die Rothirsche ($3,6\text{‰} \pm 0,3\text{‰}$), Pferde ($3,6\text{‰} \pm 0,5\text{‰}$) und Rinder ($3,5\text{‰} \pm 0,2\text{‰}$) zeigen ebenfalls einander sehr ähnliche $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte, die jedoch gegenüber den Hasen/Kaninchen und Rehen im Mittel niedriger sind (Abbildung 53(b)).

Unter den Carnivoren zeigen Rotfüchse vor der Korrektur etwas höhere $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte ($7,0\text{‰} \pm 0,7\text{‰}$) als Hunde ($6,1\text{‰} \pm 0,9\text{‰}$) (Abbildung 53(a)). Durch die Korrektur nähern sich die beiden Spezies im Bezug auf ihre $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte weiter an (Rotfuchs: $4,0\text{‰} \pm 0,4\text{‰}$; Hund: $4,2\text{‰} \pm 0,5\text{‰}$; Abbildung 53(b)).

In der Gruppe der omnivoren Säuger sind die unkorrigierten $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte von Wildschweinen mit $6,8\text{‰} \pm 0,8\text{‰}$ etwas höher als die der Hausschweine ($6,1\text{‰} \pm 1,1\text{‰}$).

Nach Entfernen eines univariaten Ausreißers (Schwein Hb 70) verschiebt sich der mittlere $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wert der Schweine auf $6,5 \text{ ‰} (\pm 0,6 \text{ ‰})$ (Abbildung 53(a)). Nach vorausgegangener „sea spray“-Korrektur weisen Wildschweine und Hausschweine fast identische $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte auf (Wildschweine: $4,4 \text{ ‰} \pm 0,3 \text{ ‰}$; Hausschweine: $4,3 \text{ ‰} \pm 0,6 \text{ ‰}$). Dies verstärkt sich nochmals durch den Ausschluss eines univariaten Ausreißers unter den Wildschweinen, nämlich Wildschwein S 13 ($\Delta\delta^{18}\text{O} = 6,0 \text{ ‰}$), wodurch sich der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wert der Wildschweine auf $4,3 \text{ ‰} \pm 0,2 \text{ ‰}$ reduziert (Abbildung 53(b)).

Auf statistische Tests wird auf Spezies-Ebene aufgrund der sehr geringen Stichprobenzahlen verzichtet.

Für alle untersuchten Tiergruppen (vgl. Tabelle A104) zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen dem mittleren $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wert vor und nach der „sea spray“-Korrektur. In allen Fällen wird der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wert durch die „sea spray“-Korrektur signifikant kleiner. Die Differenz zwischen unkorrigiertem und korrigierten Wert liegt hierbei im Mittel zwischen $1,4 \text{ ‰}$ (Wiederkäuer des CS-Typ) und $2,7 \text{ ‰}$ (wildlebende Carnivore) (vgl. Tabelle A104).

6 Diskussion

6.1 „Data Mining“ in der Isotopenanalyse

6.1.1 Vergleich der Clusterverfahren

Das im Falle der Fische hervorzuhebende Ergebnis der Clusteranalyse ist die Detektion einer Gruppe wahrscheinlich nicht-lokaler Individuen. Dieses Cluster findet sich, in abgewandelter Form, in beiden Clustermodellen (k-means, GMM): Das k-means-Modell mit drei Clustern findet 18 tendenziell nicht-lokale Individuen (Cluster 3, Abbildung 5, Tabelle A9) und die GMM-Clusteranalyse findet ein nicht-lokales Cluster ebenfalls bestehend aus 18 Individuen bei Verwendung von 4 Clustern (Cluster 1, Abbildung 8, Tabelle A12). Die verwendeten Modelle ergeben keine identische Clustereinteilung (vgl. Tabellen A105 und A106). Auffällig ist, dass das GMM bei der optimalen Anzahl von vier Clustern (bzgl. $BIC_{M,G}$) ein weiteres Cluster generiert. Dieses zusätzliche Cluster ermöglicht die Trennung von Süß- und Brackwasser-Fischen (GMM: Cluster 3 bzw. 4; Abbildung 8, Tabelle A12). Eine Unterscheidung in Süßwasser- und Brackwasser-Individuen erfolgt im BIC-optimalen k-means-Modell mit drei Clustern nicht. Hier werden diese Individuen als ein einzelnes Cluster betrachtet (Cluster 1). Es ist zudem auffällig, dass die Detektion der vermutlich nicht-lokalen Individuen im GMM mit nur drei Clustern nicht möglich ist. Hierbei werden die Individuen aufgrund ihrer Salinitätsunterschiede aufgetrennt, was jedoch in einer großen Streuung in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten resultiert (Abbildung 6 und Tabelle 4). Diese Streuung ist wohl auch der Grund dafür, dass die optimale Clusterzahl im GMM mit vier festgelegt wird. Das k-means-Modell trennt bereits bei drei Clustern nicht-lokale Fische von den übrigen Gruppen, die dann wiederum nur noch eher grob nach ihrer Salinität eingeordnet werden. Insgesamt beinhaltet die GMM-Clusteranalyse damit im Falle der optimalen Clusterzahl also mehr Informationen als das k-means-Modell.

Abweichungen im Clusterergebnis zwischen dem GMM mit drei bzw. vier Clustern und den drei Clustern des k-means-Modells (vgl. Tabellen A105 und A106) spiegeln in den meisten Fällen Klassifizierungsunsicherheiten im GMM wider: Das Clusterergebnis mit

vier Clustern zeigt unsichere Zuordnungswahrscheinlichkeiten für Hecht 10H1C, 51H3C und 53H5De, sowie für Flussbarsch 48FB5Pop und Schellfisch 60SF2C (Tabelle A13). Für die Hechte und den Flussbarsch findet sich ebenso eine Unsicherheit in der Klassifizierung bei der Clusteranalyse mit nur drei Gruppen, wobei hier zusätzlich noch Brachse 38B5C mit eher geringer Wahrscheinlichkeit einem Cluster zugewiesen wird (Tabelle A11).

Individuen, die durch das k-means-Modell in andere Cluster eingeteilt werden als durch das GMM mit drei bzw. vier Clustern, sind jeweils diejenigen Fische aus Tabelle A11 bzw. Tabelle A13 mit niedriger Zuordnungswahrscheinlichkeit. Brachse 38B5C wird, trotz niedriger Zuordnungswahrscheinlichkeit, jedoch auch mittels k-means so eingeteilt wie bei der GMM-Clusteranalyse mit der Vorgabe von drei Clustern (Cluster 3). Die unsicheren Zuordnungen aller anderen Fische erklären die Abweichungen in den Klassifizierungen durch k-means. So unterscheidet sich das Ergebnis der k-means-Clusteranalyse von dem der GMM-Clusteranalyse mit vier Gruppen (mit Ausnahme der „fehlenden“ Auftrennung von Süß- und Brackwasser-Fischen) lediglich in drei Individuen: Flussbarsch 48FB5Pop, Hecht 10H1C und Schellfisch 60SF2C (sh. Tabelle A106). Einzig die gegenüber der GMM-Clusteranalyse mit vier Gruppen veränderte Zuweisung des Flussbarsches 48FB5Pop kann nicht durch die niedrige Zuordnungswahrscheinlichkeit erklärt werden. Diese würde einer Einteilung in das erste k-means-Cluster entsprechen, jedoch wird das Individuum in das zweite Cluster eingeordnet, das dem zweiten GMM-Cluster entspricht. Die unterschiedliche Clusterform (vgl. Abbildungen 5 und 8) ist wohl vor allem für die Umgruppierung mancher Individuen verantwortlich. Und auch die unterschiedliche, optimale Clusterzahl spielt vermutlich eine Rolle.

Der größte Unterschied zwischen der k-means- und der GMM-Clusteranalyse liegt wohl in der unterschiedlichen Clusterzahl begründet. Die Annahme, dass drei Cluster (Süßwasser-, Brackwasser-, Salzwasser-Fische) vorhanden sein sollten, rechtfertigt die Vorgabe von drei Clustern. Jedoch ist die gemäß BIC optimale Clusterzahl für das k-means-Modell tatsächlich drei (vgl. Abbildung A3), für das GMM hingegen vier (vgl. Abbildung A4). Das optimale k-means-Modell beinhaltet demnach weniger Informationen als das optimale GMM. Somit wäre das GMM dem k-means-Modell vorzuziehen. Auch Untersuchungen

an anderen Teildatensätzen bestätigen dieses Ergebnis (nicht dargestellt). Scheinbar ist eine Clusteranalyse mittels k-means zumindest für Isotopendaten weniger gut geeignet. Es empfiehlt sich hingegen eine Analyse mittels GMM, das auch bereits erfolgreich auf einen anderen Isotopendatensatz mit stabilen Sauerstoff-, Strontium- und Bleiisotopen angewendet wurde (Grupe et al., 2018; Mauder et al., 2017; Mauder, 2017; Mauder et al., 2016a; Mauder et al., 2016b).

6.1.2 Vergleich zwischen GMM und PCA

Die PCA der Fischdaten mit Hinblick auf das mögliche Habitat lässt zwei Gruppen erahnen, die jedoch alleine durch die Habitatsinformationen nicht erklärt werden können (vgl. Abbildung 38). Tatsächlich lässt sich die mittels GMM-Clusteranalyse detektierte Aufteilung in vier Gruppen mit Hilfe der PCA darstellen (Abbildung 40). Die beiden durch die PCA selbst detektierbaren Gruppen erlauben jedoch lediglich eine Trennung von Süß- bzw. Brackwasser-Fischen (Cluster 3 und 4) und Salzwasserfischen (Cluster 1 und 2). Zwei Individuen des vierten Clusters (Flussbarsch 48 FB5Pop, Hecht 10 H1C) zeigen eine Tendenz in Richtung der beiden Salzwassercluster (vgl. Abbildung 40). Diese beiden Individuen werden durch das GMM zwar dem vierten Cluster zugewiesen, könnten mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit allerdings auch in das erste Cluster eingeteilt werden (vgl. Tabelle A13). Doch die Detektion der nicht-lokalen Fische (Cluster 1), in der ein Hauptergebnis der GMM-Clusteranalyse besteht, ist allein mit PCA nicht möglich.

Die Untersuchung der terrestrischen, herbivoren und marinen Säuger zeigt, dass sich zwar terrestrische und marine Individuen (mit Ausnahme von Pottwal Hb 50 und Seehund Hb 23) problemlos voneinander trennen lassen (Abbildung 42), doch diese Aufteilung bedarf (im Normalfall) keiner Clusteranalyse bzw. PCA. Wie schon für die Fische können die drei GMM-Cluster in der PCA gut dargestellt werden (Abbildung 43). Die Detektion einer dritten Gruppe, nämlich der vom „sea spray“-Effekt beeinflussten Herbivoren (Cluster 1; vgl. Kapitel 5.3.1), ist mittels PCA jedoch nicht möglich.

In beiden Beispielen beinhaltet die GMM-Clusteranalyse mehr Informationen als die PCA. Es wird damit allerdings auch deutlich, dass im Falle der Fische insbesondere die ersten

beiden Hauptkomponenten mit $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ (PC 1) bzw. $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (PC 2) bereits die wesentlichen Informationen enthalten (Tabelle 18; vgl. dazu auch Kapitel 5.2.2.4). Im Falle des Teildatensatzes der terrestrischen, herbivoren und marinen Säuger werden alle vier Isotopensysteme durch die ersten beiden Hauptkomponenten repräsentiert (Tabelle 19). Doch die entscheidene Detektion der nicht-lokalen Gruppe bzw. der „sea spray“-Gruppe ist nur mittels GMM möglich, nicht aber mittels PCA. Die PCA zeigt nur die (vergleichsweise) extremsten Gruppierungen, die in den Daten verborgen liegen. Für eine erste Einschätzung der Datenstruktur sind beide Methoden demnach recht nützlich. Soll aber eine detaillierte Datenauswertung erfolgen, so ist wohl eine Clusteranalyse mittels GMM die Methode der Wahl, wenn es um die Untersuchung von Isotopendaten geht. Es kann jedoch festgehalten werden, dass sich die PCA zur anschließenden, graphischen Darstellung der detektierten GMM-Cluster gut eignet.

6.1.3 Vergleich zwischen GMM und SVM

Die Bestimmung der Zuordnungswahrscheinlichkeit in ein „herbivores“ bzw. „marines“ Cluster mittels SVM könnte möglicherweise helfen, vom „sea spray“-Effekt oder auch dem limnischen Einfluss betroffene Tiere zu identifizieren. Individuen, die dem „falschen“ Cluster zugewiesen werden oder solche die mit einer geringen Zuordnungswahrscheinlichkeit in die prinzipiell „richtige“ Gruppe eingeordnet werden, sind möglicherweise durch den „sea spray“-Effekt oder den limnischen Einfluss beeinflusst bzw. weisen - im Falle mariner Säuger - ein Süßwassersignal auf.

Allerdings ist nur ein herbivorer Säuger (Reh S 11) mit einer Zuordnungswahrscheinlichkeit von 79 % („vanilladot“) etwas auffällig (Tabelle A94). Dieses Individuum wird aber dennoch korrekt in die Gruppe der Herbivoren eingeordnet. Tatsächlich weist dieses Individuum mit einem $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Wert von 8,3 ‰ einen relativ starken limnischen Einfluss auf (vgl. Kapitel 5.4). Eine Verschiebung in Richtung scheinbar mariner $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte ist damit erklärbar. Ansonsten ist allerdings kein herbivorer Säuger auffällig, sodass der (vorhandene) „sea spray“-Effekt (vgl. Kapitel 5.3.1) mittels SVM nicht darzustellen ist, solange eine Zuordnung des Trainingsdatensatzes in eine dritte Gruppe („sea spray“) nicht möglich

ist. Da aber eben diese Individuen gefunden werden sollen, ist eine Klassifizierung mittels GMM, das in der Detektion eines „sea spray“-Clusters resultiert (sh. Abbildungen 17 bis 19), hier durchaus sinnvoller.

Bei den marinen Säuger kommt es für alle Kerne zu einer falschen Zuordnung von Seehund Hb 23 in die herbivore Gruppe mit Wahrscheinlichkeiten zwischen 78 % und 97 %. Im Falle des „polydot“-Kerns wird auch Sattelrobbe Hb 30 mit einer Wahrscheinlichkeit von 65 % der herbivoren Gruppe zugewiesen, wobei das Individuum dennoch korrekt in die marine Gruppe eingeteilt wird. Diese korrekte Zuordnung muss jedoch als Zufall betrachtet werden, da die Sattelrobbe Hb 30 nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 35 % der marinen Gruppe angehört. Ebenfalls im Zusammenhang mit dem „polydot“-Kern zu erwähnen sind die Seehunde Hb 24 und KHb 30, die mit nur 56 % bzw. 59 % Wahrscheinlichkeit in die marine Gruppe eingeordnet werden. Weitere Zuordnungsprobleme (Wahrscheinlichkeit < 80 %) finden sich (je nach Kern) für die Kegelrobben S 17, 21 KR2T, 22 KR3S und 75 KR5Mt. Lediglich für den „rbfdot“-Kern bleibt es einzig bei der fehlerhaften Zuordnung von Seehund Hb 23 in die herbivore Gruppe.

Seehund Hb 23 wird (zusammen mit Pottwal Hb 50) in das „sea spray“ Cluster eingeordnet (Tabelle A40). Dies ist wohl durch ein Süßwassersignal des Seehundes (bzw. das Kaltwassersignal des Pottwals) zu erklären. Da gleichzeitig aber Pottwal Hb 50 (zufällig) in den Trainingsdatensatz eingeteilt wird (Tabelle A92), kann es sein, dass hierdurch ein falsches Bild der marinen Gruppe entsteht. Dies könnte erklären, dass einige marine Säuger in der SVM auffällig sind, während sie durch GMM eindeutig dem marinen Cluster zugeordnet werden können (vgl. Kapitel 5.3.3.4). Da die unsicherste Zuordnung im Falle des quadratischen „polydot“-Kerns erfolgt, ist dieser hier wohl am wenigsten geeignet. Der lineare „vanilladot“-Kern detektiert zwar ein aufgrund des limnischen Einflusses auffälliges, herbivores Individuum (Reh S 11), jedoch sind auch Kegelrobbe 21 KR2T und Sattelrobbe Hb 30 mit relativ niedrigen Zuordnungswahrscheinlichkeiten auffällig, was bei der GMM-Clusteranalyse nicht der Fall ist. Der hier zu empfehlende Kern ist demnach wohl der Gauß'sche Radial-Basiskern („rbfdot“). Die SVM mit „rbfdot“ findet den vom Süßwasser beeinflussten Seehund Hb 23.

Insgesamt kann die SVM hier nur bedingt angewendet werden, da die Klassifizierung einer „sea spray“-Gruppe, wie bereits erwähnt, fehlt. Andererseits scheinen aber zumindest auffällige marine Säuger hierdurch detektiert zu werden. Dies ist jedoch, auch im Falle der herbivoren Säuger, stark abhängig vom (zufällig erstellten) Trainingsdatensatz, der ggf. in irgendeiner Art und Weise auffällige Individuen enthält, wodurch ebenfalls auffällige Tiere im Testdatensatz nicht gefunden werden können. Ein derartiges Problem tritt bei der GMM-Clusteranalyse nicht auf. Somit ist - ohne Vorkenntnisse über mögliche „sea spray“-Individuen, die im Normalfall nicht vorliegen - das GMM der SVM vorzuziehen, wenn es um die Klassifizierung auffälliger, potenziell vom „sea spray“ beeinflusster Individuen geht.

6.1.4 Vergleich der „Feature Ranking“-Verfahren

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden zwei „Feature Ranking“-Verfahren am Beispiel der Menschen (Datensätze I - IV) einander gewissermaßen gegenüber gestellt: „Ranking“ mittels ARI (Kapitel 5.2.1), sowie „Ranking“ mittels Distanz-basierter Entropie (Kapitel 5.2.2). Tabelle 21 zeigt die sich ergebenden „Ranking“-Ergebnisse je nach Wahl des „Feature Ranking“-Verfahrens. Der Informationsgehalt lässt sich im Falle des ARI indirekt daran messen, wie viel Übereinstimmung zwischen dem Clusterergebnis der Kontrollgruppe und dem Clusterergebnis der Merkmalskombination ohne ein bestimmtes Isotopensystem (Redundanz) bzw. dem Clusterergebnis mit allein diesem Isotopensystem (Relevanz) besteht. Eine hohe Relevanz bzw. eine niedrige Redundanz sprechen für eine gewisse Bedeutung des untersuchten Isotopensystems. Im Falle des Entropie-basierten „Feature Rankings“ wird der Informationsgehalt eines Isotopensystems an der Fähigkeit des entsprechenden Isotopensystems gemessen, die Daten zu strukturieren. Eine niedrige Entropie spricht für einen hohen Informationsgehalt eines einzelnen Isotopensystems („nur mit“). Wird die Entropie einer Merkmalskombination unter Ausschluss eines Isotopensystems („ohne“) betrachtet, so ist dieses Isotopensystem eben dann besonders informativ, wenn sich durch das Entfernen des Merkmals eine hohe Entropie, also eine große Unordnung, ergibt.

Die „Ranking“-Ergebnisse der verschiedenen Methoden sind sich in gewisser Weise ähnlich.

Ein Vergleich der Methoden erfolgt hierbei nur innerhalb der Kategorie „nur mit“ bzw. „Relevanz“ und der Kategorie „ohne“ bzw. „Redundanz“, da diese beiden Kategorien nicht als gleich bedeutend aufgefasst werden können. Die Kategorie „nur mit“/„Relevanz“ gibt an, wie viel Information ein einzelnes Isotopensystem besitzt. Die andere Kategorie („ohne“/„Redundanz“) beschreibt gewissermaßen, wie groß der Informationsverlust bei Weglassen eines bestimmten Isotopensystems wäre. Aufgrund dieses grundlegenden Unterschieds werden diese beiden Kategorien nicht direkt miteinander verglichen.

Bei dem in Tabelle 21 dargestellten „Ranking“ werden die einzelnen Isotopensysteme nach absteigender Relevanz bzw. ansteigender Redundanz, sowie nach ansteigender Entropie im Falle der Kategorie „nur mit“ bzw. absteigender Entropie im Falle der Kategorie „ohne“ sortiert und innerhalb der genannten Kategorien verglichen. Ein Isotopensystem mit der ersten Position im „Ranking“ (jeweils ganz links in Tabelle 21) entspricht somit in allen untersuchten Kategorien dem Isotopensystem mit dem jeweils höchsten Informationsgehalt. Für Datensatz I ($n = 182$) zeigt sich eine relativ geringe Übereinstimmung der Kategorien „Relevanz“/„nur mit“ bzw. „Redundanz“/„ohne“ (vgl. Tabelle 21). $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ bzw. $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ enthalten scheinbar relativ viel Information, was vor allem anhand der vergleichsweise niedrigen Redundanz (0,17 bzw. 0,14; Tabelle 6) ersichtlich ist. Dem gegenüber steht das Ergebnis des Entropie-Verfahrens, das anzeigt, dass das Entfernen der $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte mit dem geringsten Informationsverlust verbunden wäre und das Ergebnis der Relevanz mit einem negativen Wert für $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ (-0,01; Tabellen 6 und 21). Allerdings zeigt die GMM-Clusteranalyse, dass das Entfernen von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ durchaus zu einem gewissen Informationsverlust führt, da keine Clusterstruktur mehr erkannt wird an Stelle der zwei Cluster im vier-dimensionalen Fall (vgl. Kapitel 5.2.2.6). Dies gilt jedoch in diesem Teildatensatz für alle Merkmalskombinationen, die mindestens ein Isotopensystem weniger umfassen als der vollständige, vier-dimensionale Datensatz. Zudem weist $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ den niedrigsten Entropiewert im ein-dimensionalen Fall auf (Tabelle 21). $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ weist die höchste Redundanz auf (1,00; Tabelle 6). Somit könnte dem ARI-„Ranking“ zufolge $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ mit dem geringsten Informationsverlust aus dem Datensatz entfernt werden (vgl. Redundanz; Tabelle 21). Der Entropiewert bei der Merkmalskom-

bination ohne $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ („124“) ist ebenfalls relativ gering (Tabelle 21). Gemäß des „Rankings“ mittels Entropie weist jedoch $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ den geringsten Informationsgehalt auf (vgl. „ohne“; Tabelle 21). Allerdings ist die Kombination ohne $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ („134“) bezüglich Entropie nur etwas besser als die Kombination ohne $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ („124“; vgl. Abbildung 16).

Für Datensatz II ($n = 70$) ergibt sich für die beiden „Feature Ranking“-Verfahren eine vergleichsweise große Bedeutung von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ bzw. $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$. Gemäß des ARI-Verfahrens wäre das Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (Redundanz: 1,00; Tabelle 6) mit dem geringsten Informationsverlust verbunden, gemäß Entropie-Verfahrens sollte jedoch eher $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ ausgeschlossen werden (Tabelle 21).

Datensatz III ($n = 31$) weist hinsichtlich beider Kategorien („Relevanz“/„nur mit“, „Redundanz“/„ohne“) Ähnlichkeiten zwischen beiden Verfahren auf (Tabelle 21). $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ wird von beiden Verfahren als wichtig eingestuft. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ hat eine nur mittelmäßige Bedeutung (Tabelle 21). Auffällig ist jedoch, dass gemäß ARI $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ vergleichsweise unbedeutend ist mit einer Relevanz von -0,003 und einer Redundanz von 1 (Tabelle 6), was zwar bei der Untersuchung dieses Isotopensystems alleine („nur mit“) vom Entropie-Verfahren bestätigt wird, jedoch im Widerspruch zur Kategorie „ohne“ steht. Gemäß dieser Kategorie ist $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ als eher wichtig anzusehen. Das „Feature Ranking“ mittels Entropie zeigt zudem, dass $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ von eher geringer Bedeutung ist, denn die Merkmalskombination ohne $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ („2346“) zeigt den niedrigsten Entropiewert (vgl. Abbildung 16). Dieses Isotopensystem weist zwar die zweithöchste Relevanz (0,11), aber auch die zweithöchste Redundanz (0,87) auf (vgl. Tabellen 6 und 21).

Schließlich zeigen die „Feature Ranking“-Ergebnisse für Datensatz IV ($n = 20$) im Falle beider Verfahren, sowie beider Kategorien, dass $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ bzw. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ relativ unwichtig für die Datenstruktur sind (Tabelle 21). Von gewisser Bedeutung ist hingegen $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$. Wenn es um die Wahl des Isotopensystems geht, das mit dem geringsten Informationsverlust aus dem Datensatz entfernt werden kann, so ergibt sich für die beiden Verfahren dasselbe Ergebnis. Gemäß ARI (Redundanz) und Entropie („ohne“) sollte $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ oder $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ entfernt werden (Tabelle 21).

Tabelle 21: Vergleich der beiden Verfahren zum „Feature Ranking“ am Beispiel der Datensätze I - IV der mindestens adulten Menschen (ohne multivariate Ausreißer, normalisiert) aus Haithabu und Schleswig (vgl. Abbildung 10 und Tabelle 7 bzw. Abbildung 16 und Tabelle 14). 1 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, 2 = $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, 3 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, 4 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, 5 = $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$, 6 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$, 7 = $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

Datensatz	Methode		Ranking					
I	ARI	Relevanz	4	2	3	1		
		Redundanz	2	1	4	3		
	Entropie	nur mit	1	2	4	3		
		ohne	4	1	3	2		
II	ARI	Relevanz	1	2	5	3	4	
		Redundanz	1	2	5	3	4	
	Entropie	nur mit	5	1	4	2	3	
		ohne	5	1	4	3	2	
III	ARI	Relevanz	3	1	4	2	6	
		Redundanz	3	4	2	1	6	
	Entropie	nur mit	2	3	1	4	6	
		ohne	3	6	4	2	1	
IV	ARI	Relevanz	3	4	2	1/7		
		Redundanz	3/7		4	1/2		
	Entropie	nur mit	3	2	4	1	7	
		ohne	4	3	7	1	2	

Im Falle des „Feature Rankings“ mittels Entropie zeigt sich somit für alle vier Teildatensätze der Menschen, dass die Isotopensysteme $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ (III) bzw. $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ (I, II, IV) von geringerer Bedeutung für die Clusterstruktur sind als die allen Teildatensätzen gemeinsamen Isotopensysteme $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, sowie die zusätzlichen Isotopensysteme der fünf-dimensionalen Teildatensätze II - IV ($\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$; vgl. Tabelle 21). Von allen untersuchten Isotopensystemen empfiehlt sich gemäß Entropie-basiertem „Feature Ranking“ ein Ausschluss der $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ - bzw. $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -

Werte. Dies bedeutet in erster Linie einen teilweisen Ausschluss des Proteinsignals in der Nahrung (vgl. Kapitel 2.1.2). Für das „Feature Ranking“ mittels ARI ist eine solche Regelmäßigkeit nicht erkennbar (vgl. Tabelle 21). Demnach wäre empfehlenswert, entweder einen Teil des Karbonatsignals ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (I) bzw. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (II); vgl. Tabelle 21), das Phosphatsignal ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (III); vgl. Tabelle 21) oder einen Teil des Kollagensignals ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ bzw. $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ (IV); vgl. Tabelle 21) zu entfernen. Je nach Teildatensatz wird somit gegebenenfalls das Signal des Nahrungsproteins ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ bzw. $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$) bzw. der gesamten konsumierten Nahrung ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$; vgl. Kapitel 2.1.3.1) entfernt oder ein für die Herkunftsanalyse, aber auch für die Untersuchung verschiedener anderer Faktoren, wie Nahrung ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$; vgl. Kapitel 2.1.3.2) bzw. Trinkwasser ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$; vgl. Kapitel 2.1.3.2), relevantes Signal aus den entsprechenden Teildatensätzen ausgeschlossen. Mit Ausnahme von Teildatensatz IV, bei dem beide „Feature Ranking“-Verfahren (Kategorie „Redundanz“ / „ohne“) für den Ausschluss von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ (bzw. $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$) sprechen (vgl. Tabelle 21) und bei dem beide Verfahren (Kategorie „Relevanz“ / „nur mit“) die große Bedeutung von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ aufzeigen (Tabelle 21), wird von den beiden untersuchten „Feature Ranking“-Verfahren stets ein (v. a. auch inhaltlich) anderes Isotopensystem als besonders wichtig bzw. vergleichsweise unbedeutend eingestuft.

Insgesamt sind sich die beiden untersuchten „Feature Ranking“-Verfahren zwar relativ ähnlich, die Entscheidung, welches Isotopensystem entfernt werden könnte, würde jedoch für drei der vier Datensätze je nach Wahl des Verfahrens anders ausfallen. Dies wäre insbesondere für Datensatz III allerdings durchaus problematisch. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ zeigt die höchste Redundanz (= 1), sowie die zweitkleinste Relevanz (Tabelle 6). Demnach könnte das Entfernen dieses Isotopensystemes vollständig durch die übrigen Isotopensysteme kompensiert werden. Jedoch weist die Merkmalskombination ohne $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ („1234“) den zweithöchsten Entropiewert (im vier-dimensionalen Fall) auf (Tabelle 21), weshalb dieses Isotopensystem eher nicht entfernt werden sollte. Vielmehr könnte gemäß Entropie $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ aus dem Datensatz entfernt werden („2346“). Dieses Isotopensystem weist die zweithöchste Relevanz, aber auch die zweithöchste Redundanz auf.

Die Frage, ob nun eher das Ergebnis mittels ARI oder mittels Entropie zu bevorzugen

wäre, kann nicht abschließend beantwortet werden. Die Vor- oder Nachteile bzw. die Problematik bei Verwendung des einen oder des anderen Verfahrens sollen jedoch nachfolgend besprochen werden.

Ein entscheidendes Problem bei dem „Feature Ranking“-Verfahren mittels ARI ist, dass die Merkmalskombinationen mit einer Kontrollgruppe verglichen werden müssen. Die Wahl dieser Kontrollgruppe - sei es die Auswahl der Merkmale selbst, die Wahl des Clustermodells (z. B. „EEI“) oder die Clusterzahl (z. B. zwei Cluster) - hat einen entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis des „Feature Ranking“. Zudem kann es dazu kommen, dass für manche Merkmalskombinationen mit den entsprechenden Modellvorgaben keine Cluster gefunden werden können, was die Untersuchung der betroffenen Merkmalskombination(en) nicht erlaubt. Es wird hierbei angenommen, dass die Kombination aller Isotopensysteme eines Datensatzes die optimale, bestmögliche Clusterstruktur darstellt. Eine andere Kontrollgruppe kann jedoch zu einem anderen „Ranking“ führen (vgl. Mauder et al., 2019; Mauder, 2017).

In allen vier Datensätzen der mindestens adulten Menschen ergeben sich mit ARI für manche Isotopensysteme bzw. Kombinationen von Isotopensystemen Relevanz- oder Redundanz-Werte, die leicht negative Werte (-0,002 bis -0,018) aufweisen (vgl. Tabelle 6). Das kann damit erklärt werden, dass die Übereinstimmung zwischen dem Clusterergebnis eines Merkmals bzw. einer Merkmalskombination schlechter ist als zwischen zwei zufälligen Clusterergebnissen. Dies trifft auf die Relevanz von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ (I, IV), $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ (III, IV), $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (II), $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (II), $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (III) und $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (IV) zu, sowie auf die Redundanz von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (III, IV), $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (IV) und $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (IV). Kombinationen nur mit diesen bzw. ohne diese Isotopensysteme führen damit zu einer besonders großen Abweichung von der Clusterstruktur der jeweils vorgegebenen Kontrollgruppe.

Die negative Redundanz für $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ in Datensatz III (vgl. Tabelle 6) ergibt sich durch eine von der Clusterstruktur der Kontrollgruppe deutlich abweichende Clusterstruktur nach Entfernen des Isotopensystems. Im vollständigen Datensatz III (Kontrollgruppe) wird die Clusterstruktur v. a. durch $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ bestimmt (vgl. Abbildung A9). Nach Entfernen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ („1246“) erfolgt die Clusterzuweisung primär aufgrund von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$

(vgl. Abbildung A45). Dies resultiert in einer anderen Clustereinteilung für 13 der insgesamt 31 Individuen (ca. 42 %). Im Falle des vollständigen Datensatzes IV (Kontrollgruppe) spielen $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ und $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ eine wesentliche Rolle für die Clusterstruktur, denn ein Entfernen eines dieser beiden Isotopensysteme führt zu einer deutlich abweichenden Clusterstruktur (vgl. Abbildungen A46 und A47) von der Kontrollgruppe (vgl. Abbildung A11). Bei den Kombinationen ohne $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ („1247“) bzw. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ („1234“) werden neun (45 %) bzw. zehn (50 %) der 20 Individuen einem anderen Cluster zugeteilt (vgl. Abbildungen A46 und A47). Die in beiden Fällen gänzlich andere Clusterstruktur im Vergleich zu der fünf-dimensionalen Kontrollgruppe erklärt die negativen Werte für die Redundanz.

Auch für die Fälle von negativer Relevanz finden sich deutliche Unterschiede zwischen den Clusterergebnissen mit nur einem Isotop und der jeweiligen Kontrollgruppe. Die jeweiligen Isotopensysteme tragen sichtbar wenig zur Clusterstruktur der Kontrollgruppe bei und mit Ausnahme von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ (III) wäre die optimale Clusterzahl jeweils nur ein Cluster. Die Vorgabe von zwei Clustern ist damit für die Isotopensysteme nicht optimal. Das kann die schlechte Übereinstimmung mit der Kontrollgruppe erklären. Für die Clusteranalyse des Datensatzes III alleine mit $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ wäre die optimale Clusterzahl drei. Das Isotopensystem trägt in der Kontrollgruppe nicht wesentlich zur Clusterstruktur bei (vgl. Abbildung A9). Somit liegt auch hier ein deutlich anderes Clusterergebnis vor als in der Kontrollgruppe. Die Folge dessen sind negative Relevanz-Werte.

Mit der Annahme, dass die Kontrollgruppe die wahre Clusterstruktur wiedergibt, sollten die erwähnten Isotopensysteme bzw. Kombinationen von Isotopensystemen aufgrund der besonders deutlichen Abweichung von der Clusterstruktur der Kontrollgruppe keineswegs ausgewählt werden. Problematisch ist hierbei jedoch zum Einen, dass die Kontrollgruppe keineswegs zu dem einzig wahren Clusterergebnis führt, und zum Anderen, dass durch die Vorgabe von Clustermodell und -zahl eine Verzerrung („bias“) nicht ausgeschlossen werden kann.

Das auf Entropie-basierte Verfahren benötigt keine Kontrollgruppe. Es ist daher allgemeingültiger als das Verfahren mittels ARI. Das „Ranking“-Ergebnis hängt hier von

der partiellen Korrelation zwischen den einzelnen Isotopensystemen ab. Isotopensysteme, die viele und starke Korrelationen mit anderen Systemen aufweisen, können eher aus dem Datensatz entfernt werden als solche mit einer nur sehr geringen oder gar keiner Korrelation. Während das Entfernen eines stark korrelierten Isotopensystems durch die übrigen Isotopensysteme ohne allzu viel Informationsverlust aufgefangen werden kann, führt das Entfernen eines Isotopensystems, das nicht oder kaum mit anderen Systemen zusammenhängt, zu einem (potenziellen) Informationsverlust.

Die Wahl geeigneter Isotopensysteme erfolgt primär auf Basis einer spezifischen, zu beantwortenden Fragestellung (z. B. im Hinblick auf Migration, Handel oder Ernährung). Dennoch kann es notwendig sein, auch prinzipiell für die Beantwortung der Fragestellung sinnvolle Isotopensysteme von der Analyse auszuschließen. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn nur wenig Material zur Untersuchung zur Verfügung steht, z. B. verursacht durch einen schlechten Erhaltungsgrad der (archäologischen) Funde. Im Falle sehr wertvoller Proben (z. B. paläoanthropologische Überreste) muss die (invasive) Isotopenanalyse ebenfalls auf ein Minimum begrenzt sein. Durch Ausschluss uninformativer oder wenig informativer Isotopensysteme kann die benötigte Probenmenge reduziert werden. Andererseits erlaubt „Feature Ranking“ auch, ein Isotopensystem fest auszuwählen (z. B. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) und dann mit denjenigen Isotopensystemen zu kombinieren, die möglichst viel Informationen enthalten. Im Falle einer Herkunftsanalyse wäre das Weglassen der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte beispielsweise keine Option. Jedoch könnten verschiedene andere Isotopensysteme von der Analyse ausgeschlossen werden (z. B. $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$; vgl. Tabelle 21). So ist es auch möglich, die gemäß „Feature Ranking“ zweit- oder drittbeste Merkmalskombination auszuwählen. Zudem wäre auch nur der paarweise Ausschluss gemeinsam gemessener Isotopensysteme ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$; $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$) sinnvoll, wenn es darum geht die Menge des benötigten Probenmaterials möglichst gering zu halten oder für den Fall, dass z. B. das Kollagen zu schlecht erhalten ist (vgl. hierzu auch Kapitel 5.2.2.4). Auch hier ist die Wahl der besten Merkmalskombination aus den verbleibenden Isotopensystemen von Interesse.

Die Entropie-basierte Methode funktioniert auch mit eher kleinen Datensätzen, wie auch in

Kapitel 5.2.2.1 gezeigt werden konnte. Dasselbe gilt offenbar auch für das ARI-Verfahren. Datensatz IV mit nur 20 Individuen kann untersucht werden. Dies ist insofern auch von Bedeutung als auf diese Weise eine kleine Vorstudie, bei der alle Isotopensysteme gemessen werden, bei entsprechend korrekter Stichprobenentnahme bereits einen guten Eindruck über die Bedeutung der einzelnen Merkmale geben kann. Eine solche Vorstudie ist sinnvoll, da die Merkmale von Datensatz zu Datensatz anders gewichtet sein können. Dies zeigt auch Kapitel 5.2.2.1 sehr deutlich. Die Zusammensetzung eines Datensatzes hat einen wesentlichen Einfluss auf das „Ranking“. Dasselbe gilt auch für Ausreißer, die das „Ranking“ z. T. stark beeinflussen können (sh. Kapitel 5.2.2.1), weshalb es ratsam ist, Ausreißer vor dem „Ranking“ zu entfernen.

Sowohl ARI als auch das Entropie-basierte „Feature Ranking“-Verfahren erlauben die Beurteilung der Bedeutung bzw. des Informationsgehaltes der unterschiedlichen Isotopensysteme. Die Notwendigkeit einer Kontrollgruppe für das „Ranking“ mittels ARI schränkt dieses Verfahren allerdings ein. Eine Kontrollgruppe kann (abhängig von den mit Hilfe der Daten zu beantwortenden Fragestellungen) prinzipiell neben Isotopendaten auch Lageparameter (Breiten- und Längengrad, Höhe über dem Meeresspiegel; vgl. Mauder et al., 2019) oder andere Variablen beinhalten. Somit ist es schwer zu beurteilen, welche Gruppe als Kontrollgruppe definiert werden sollte. Um dieses Problem zu umgehen, kann das „Feature Ranking“ mit Hilfe des Entropie-Verfahrens erfolgen. Eine weitere Untersuchung der Entropie-basierten „Feature Ranking“-Methode an anderen multivariaten Datensätzen ist allerdings nötig, um die generelle Anwendbarkeit des Verfahrens zu prüfen.

6.2 „sea spray“-Effekt und limnischer Einfluss

Anmerkung

Dieses Kapitel verwendet Material aus folgenden Publikationen:

- **Göhring, A.**, Mauder, M., Kröger, P., Mayr, C., von Carnap-Bornheim, C., Hilberg, V., Grupe, G. (2019). „Evidence for sea spray effect on oxygen stable isotopes in bone phosphate - approximation and correction using Gaussian Mixture Model clustering“. *Science of the Total Environment* 673, 668-684.
- **Göhring, A.**, Mauder, M., Vohberger, M., Nehlich, O., von Carnap-Bornheim, C., Hilberg, V., Kröger, P., Grupe, G. (2018). „Palaeobiodiversity research based on stable isotopes: Correction of the sea spray effect on bone carbonate $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ by Gaussian Mixture Model clustering“. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 290, 673-686.
- **Göhring, A.**, Vohberger, M., Nehlich, O., Grupe, G. (2015). „Approximation of the sea spray effect and limnic influence on $\delta^{34}\text{S}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of archaeological human and terrestrial and freshwater animal skeletal finds“. *Documenta Archaeobiologiae* 12, 169-188.

6.2.1 „sea spray“-Effekt und limnischer Einfluss bei Tieren

Die Detektion des „sea spray“-Effektes ist für den vorliegenden Datensatz aus Haithabu und Schleswig essentiell. Die Lage in der Nähe der Ostsee führt zu einem Einfluss auf die untersuchten Individuen. Die Verschiebung der Isotopenwerte der terrestrischen Tiere und Menschen in Richtung mariner Werte ist nicht alleine durch die Nahrung der einzelnen Individuen zu erklären, sondern muss durch den „sea spray“-Effekt verursacht worden sein. Mittels GMM-Clusteranalyse können terrestrische, herbivore Säuger identifiziert werden, die durch den „sea spray“-Effekt beeinflusst wurden. Diese Individuen weisen erhöhte Isotopenwerte auf, was sie von anderen Herbivoren des Datensatzes unterscheidet, die negativere Isotopenwerte zeigen und die wohl nicht oder kaum von dem „sea spray“-Effekt

beeinflusst wurden. Marine Säuger grenzen sich wiederum von den herbivoren Individuen durch ihre positiveren Isotopenwerte in allen Dimensionen (mit Ausnahme von $^{87}/^{86}\text{Sr}$; sh. unten) ab. Dies lässt sich durch ihre piscivore Nahrung und ihr marines Habitat erklären (Kapitel 2.1.5; vgl. z. B. Clementz et al., 2006; Clementz & Koch, 2001; Fry & Sherr, 1984; Hobson, 1999; Koch, 2007; Miyake & Wada, 1967; Mook, 2000; Mook, 1971; Nehlich, 2015; Richards et al., 2006; Richards & Hedges, 1999; Schoeninger & DeNiro, 1984). Aufgrund der grundsätzlich verschiedenen Ernährungsweise (herbivor vs. piscivor) und des unterschiedlichen Habitats (terrestrisch vs. marin) müssten sich terrestrische, herbivore Säuger in ihrer Isotopie deutlich von marinen, piscivoren Säugern desselben Fundortes unterscheiden. Eine Überlappung dieser beiden Gruppen in mindestens einem Isotopensystem spricht für einen „sea spray“-Einfluss. Eine fehlende Überschneidung herbivorer und mariner Wertebereiche im Falle von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ ist umgekehrt allerdings kein Hinweis darauf, dass kein „sea spray“-Effekt in diesen beiden Isotopensystemen vorliegt. Der Effekt könnte für $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ auch sehr gering sein. An anderen Fundorten ist der „sea spray“-Effekt möglicherweise auch stärker (vgl. auch Kapitel 6.4.2).

Richards et al. (2006) vermuteten einen „sea spray“-Effekt in den $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten von Schafen bzw. Ziegen aus Orkney (Schottland). Auch hier kommt es jedoch zu keiner Überlappung der $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte von Schafen/Ziegen ($7,0 \text{ ‰} \pm 0,9 \text{ ‰}$) und Seehunden ($17,2 \text{ ‰} \pm 1,5 \text{ ‰}$; Richards et al., 2006). Auch wenn ein $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Wert von 7 ‰ im Vergleich zu den Werten des vorliegenden Datensatzes (Damhirsch S 6: $9,43 \text{ ‰}$, Auerochse Hb 47: $10,48 \text{ ‰}$, Kaninchen S 30: $10,98 \text{ ‰}$) relativ gering erscheint, kann doch nicht ausgeschlossen werden, dass im Datensatz von Richards et al. (2006) ein „sea spray“-Effekt in den $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten auftrat. Allerdings könnte auch ein limnischer Einfluss die erhöhten $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Schafe bzw. Ziegen in der Studie von Richards et al. (2006) erklären.

Der approximativ bestimmte, minimale „sea spray“-Effekt beträgt $32,8 \text{ ‰}$ in $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $62,8 \text{ ‰}$ in $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $13,9 \text{ ‰}$ in $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ und $16,5 \text{ ‰}$ in $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$. Das unterschiedliche Ausmaß des Effektes auf die Isotopensysteme kann folgendermaßen erklärt werden: Kohlenstoff kommt in marinen Aerosolen in drei wesentlichen Formen vor: Karbonat

(CO_3^{2-})-Bikarbonat (HCO_3^-), organischer Kohlenstoff und elementarer Kohlenstoff (Alexander et al., 2005; Duce, 1983; Mook, 2000; Wright & Colling, 1995). Schwefel liegt in den Aerosolen als Sulfat (SO_4^{2-}) vor (Alexander et al., 2005; Duce, 1983; Jayarathne et al., 2016; Keene et al., 2007). Mariner Sauerstoff kann beispielsweise über H_2O , $\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^-$, PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , oder auch gelöstes CO_2 an Land kommen (Wright & Colling, 1995).

Die Molmasse von CO_2 , CO_3^{2-} , HCO_3^- und PO_4^{3-} ist niedriger als jene von SO_4^{2-} . Daher könnte vermutet werden, dass mehr Kohlenstoff- und Sauerstoffverbindungen über Aerosole an Land transportiert werden. Das würde den höheren Einfluss des „sea spray“-Effektes auf $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ erklären. Der Anteil von SO_4^{2-} im Meerwasser ist allerdings deutlich höher (2,6 Gew.‰) als der von $\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^-$ (0,1 Gew.‰). Ebenso ist auch der insgesamt in den Ozeanen gelöste Schwefel (z. B. SO_4^{2-}) mit $1,2 \cdot 10^{15}$ t durchaus höher als von Kohlenstoff (z. B. CO_3^{2-} , HCO_3^- , CO_2 (g); $3,7 \cdot 10^{13}$ t), Sauerstoff (z. B. O_2 (g); $7,9 \cdot 10^{12}$ t) oder auch Phosphor (z. B. HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , H_2PO_4^- ; $7,9 \cdot 10^{10}$ t Wright & Colling, 1995). Doch alle eben genannten Verbindungen enthalten mehr Sauerstoff-Atome als Kohlenstoff- bzw. Schwefel-Atome. Der besonders hohe Einfluss des „sea spray“-Effektes im Karbonatsauerstoff kann damit eventuell auch durch eine höhere Wahrscheinlichkeit des Eintrags marinen (angereicherten) Sauerstoffs (aus verschiedensten Verbindungen) erklärt werden.

Auffällig ist jedoch, dass der „sea spray“-Effekt in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten mit ca. 14% deutlich geringer ist als in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten (ca. 63 ‰). Ursächlich hierfür sind wohl die unterschiedlichen Aufnahmewege der verschiedenen Verbindungen, sowie die primär verschiedenen Sauerstoff-Quellen im Knochenkarbonat und -phosphat (vgl. Kirsanow & Tuross, 2011). Die Inkorporation des „sea spray“-Effektes in terrestrische Pflanzen, sowie Tiere soll nachfolgend für die unterschiedlichen Isotopensysteme diskutiert werden (vgl. hierzu Abbildung 54).

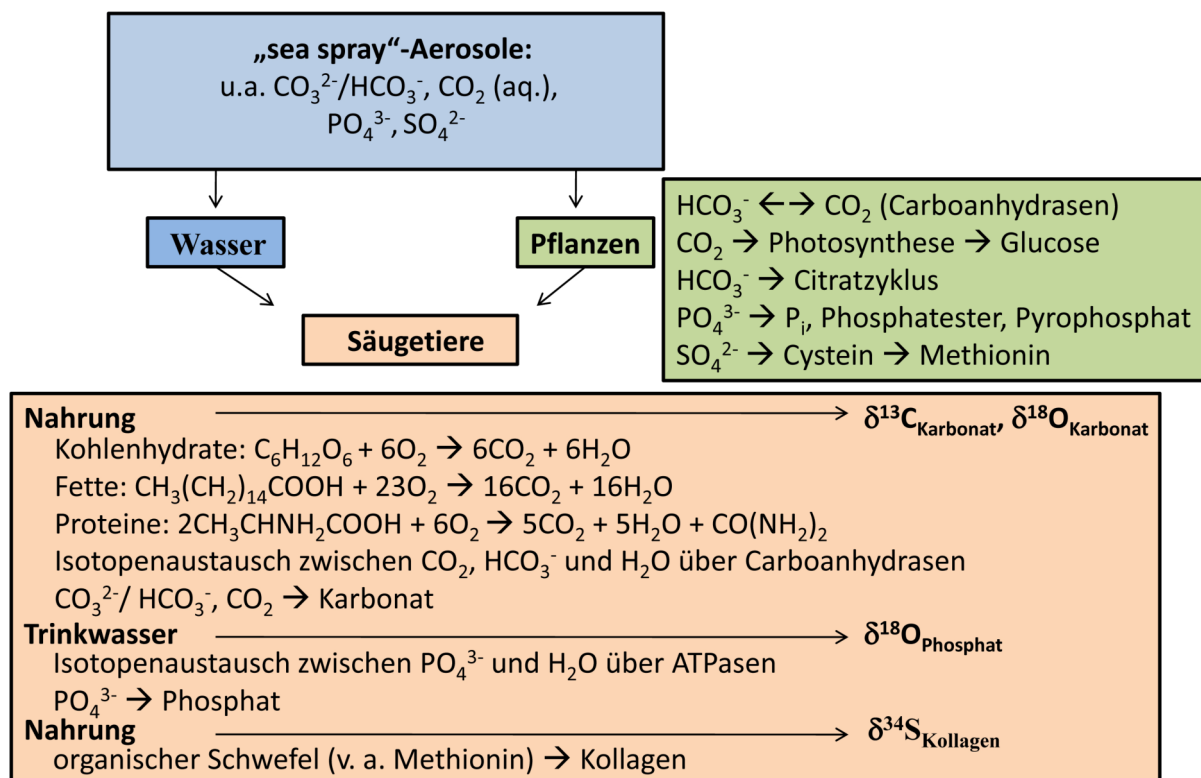


Abbildung 54: Überblick zur Erklärung des „sea spray“-Einflusses auf $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$. Die hierbei wesentlichen Prozesse in Pflanzen und im Säugetier-Körper sind aufgeführt (sh. Text für weitere Informationen; Ambrose et al., 1997; Badger & Price, 1994; Bryant et al., 1996; Bryant & Froelich, 1995; Green et al., 2018; Hawkesford et al., 2012; Kirsanow & Tuross, 2011; Kohn, 1996; Krueger & Sullivan, 1984; Leustek et al., 2000; Leustek & Saito, 1999; Melzer & O’Leary, 1987; Ravel et al., 1998; Schmidt et al., 2015; Schwarcz, 2000; Sullivan & Krueger, 1981; Tanz & Schmidt, 2010; Tiwari et al., 2005).

Pflanzen nehmen Schwefel als atmosphärisches SO_2 und in Form von Sulfaten über ihre Blätter bzw. Wurzeln auf (Hawkesford et al., 2012; Krouse, 1980). Die wichtigste Schwefelquelle ist hierbei die Sulfat-Aufnahme über die Wurzeln (Hawkesford et al., 2012). Auch wenn es in Pflanzen zu assimilatorischen Sulfat-Reduktionen kommt, wodurch z. B. Aminosäuren (Methionin, Cystein) und Proteine synthetisiert werden (Thode, 1991), so sind die durchschnittlichen $\delta^{34}\text{S}$ -Werte doch fast identisch zu den primären $\delta^{34}\text{S}$ -Werten der Schwefelquelle, da die Reaktionen (in terrestrischen Pflanzen) in einem geschlossenen System ablaufen (Schmidt, 2003). Tiere nehmen Schwefel über ihre Nahrung und ihr Trinkwasser auf (vgl. Kapitel 2.1.2.3; Schmidt et al., 2015). Herbivore Säuger decken einen

wesentlichen Teil ihres Schwefelbedarfs (10 - 40 %) in Form von mit ^{34}S angereicherten Sulfaten und 60 - 90 % in Form organischen Schwefels, der vergleichsweise niedrigere Isotopenwerte zeigt (Tanz & Schmidt, 2010). Von besonderer Bedeutung ist das von den Pflanzen aus aufgenommenem Sulfat synthetisierte Methionin und Cystein (vgl. Leustek et al., 2000; Leustek & Saito, 1999; Ravanel et al., 1998; Tanz & Schmidt, 2010), das aufgrund des „sea spray“-Einflusses ein marines Isotopensignal aufweist. Da der Schwefel im Knochen-Kollagen zu über 95 % aus der essentiellen Aminosäure Methionin stammt (z. B. Nehlich & Richards, 2009), hat das über die Nahrung aufgenommene Methionin einen wesentlichen Einfluss auf die $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte des Konsumenten. Das „sea spray“-Signal findet sich folglich im Kollagen wieder. Da es zudem für Schwefel zu nur geringen Fraktionierungsprozessen im tierischen Organismus kommt, z. B. bei der Biosynthese von Sulfateestern (Schmidt et al., 2015), sollte ansonsten ein relativ reines und direktes „sea spray“-Signal in Tieren detektiert werden können. Tatsächlich zeigen die $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte einen vergleichsweise geringen „sea spray“-Effekt von 16,5 %.

Pflanzen nehmen marinen Kohlenstoff und Sauerstoff in Form von CO_2 bzw. HCO_3^- über Blätter bzw. Wurzeln auf. In verschiedenen Studien mit Isotopenmarkern konnte gezeigt werden, dass der Kohlenstoff aus Bikarbonat, das über die Wurzeln aufgenommen wird, in den Pflanzenspross und die Samen transportiert wird und für die Synthese von Zuckern und Stärke verwendet wird (z. B. Bedri et al., 1960; Overstreet et al., 1940; Schäfer, 1988; Zamanian et al., 2017). Der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von Meerwasser-Karbonat beträgt (per Definition) 0 ‰ und marines Bikarbonat zeigt einen $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von etwa 1 ‰ (Mook, 2000). Somit wird ein relativ hoher Isotopenwert an die terrestrischen Systeme übermittelt. HCO_3^- kann durch pflanzliche Carboanhydrasen außerdem in CO_2 umgewandelt werden (und *vice versa*; z. B. Badger & Price, 1994; Tiwari et al., 2005). Es spielt damit (indirekt) also auch eine wichtige Rolle für die Photosynthese. Zudem dient Bikarbonat auch sogenannten anapleurotischen Reaktionen, also Auffüllreaktionen, im Citratzyklus, indem aus Bikarbonat mittels Phosphoenolpyruvat-Carboxylase (PEPC) zunächst Oxalacetat und daraus mit Hilfe von Dehydrogenasen z. B. Malat gebildet wird (Melzer & O’Leary, 1987).

Marines Phosphat wird von terrestrischen Pflanzen über die Wurzeln aufgenommen. Pflan-

zen können Phosphat entweder in Form von organischem oder anorganischem Phosphat, das für Pflanzen durch Desorption und Solubilisierung verfügbar wird, aufnehmen (Schachtman et al., 1998). Unter Normalbedingungen wird Phosphat als Dihydrogenphosphat (H_2PO_4^-) aufgenommen. Nach der Aufnahme liegt das Phosphat entweder als anorganisches Phosphat (P_i) vor oder wird in Phosphatester (z. B. Zuckerphosphat) oder Pyrophosphat (z. B. ATP) umgewandelt (z. B. Hawkesford et al., 2012).

Durch den Verzehr der Pflanzen gelangt das marine Kohlenstoff- und Sauerstoff-Signal in das terrestrische System, wo der marine Sauerstoff mit dem Körperwasser des konsumierenden Säugers austauscht. Phosphat wird aktiv zu den Roten Blutkörperchen transportiert und betritt die Glykolyse über die Glycerinaldehyd-3-Phosphat-Dehydrogenase-Reaktion (Prankerd & Altman, 1954). Über ATPasen kommt es zu einem Sauerstoff-Isotopenaustausch zwischen PO_4^{3-} und Körperwasser (Bryant et al., 1996).

Kohlenstoff- und Sauerstoff-Isotope im Knochenkarbonat stammen aus dem Blut-Bikarbonat (HCO_3^-) und dem CO_2 des Blut-Serums. Durch den Katabolismus von aufgenommenen Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen entstehen CO_2 und H_2O . Das CO_2 steht hierbei im Gleichgewicht mit HCO_3^- . Zwischen CO_2 , HCO_3^- und Körperwasser erfolgt ein schneller Sauerstoffaustausch, der von Carboanhydrasen katalysiert wird (Bryant et al., 1996; Gannes et al., 1998; Green et al., 2018; Kirsanow & Tuross, 2011; Sullivan & Krueger, 1981). Daher zeigen CO_2 und HCO_3^- im Blut eine Isotopensignatur, die für die metabolisierten Nahrungskomponenten (Kohlenhydrate, Fette, Proteine) charakteristisch ist (Ambrose et al., 1997; Krueger & Sullivan, 1984; Schwarcz, 2000). Insgesamt spiegeln folglich $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ primär die Isotopensignatur der Nahrung wider (vgl. Kirsanow & Tuross, 2011).

Durch die Aufnahme und Verdauung pflanzlicher Kohlenhydrate, Fette und Proteine wird das marine Signal weiter in terrestrische Tiere transportiert. Die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte spiegeln den Sauerstoff-Eintrag in das Körperwasser wider: Trinkwasser, metabolischer Sauerstoff (aus der Nahrung) und atmosphärischer Sauerstoff (Bryant & Froelich, 1995; Kohn, 1996). Da $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ v. a. durch das Trinkwasser und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ wiederum v. a. durch die Sauerstoff-Isotopenzusammensetzung der aufgenommenen Nahrung beeinflusst wird (vgl.

Kirsanow & Tuross, 2011), führt die Aufnahme von durch den „sea spray“-Effekt beeinflussten Pflanzen zu einer Anreicherung mit ^{13}C und ^{18}O im Karbonat. Der Einfluss auf das Knochenkarbonat ist mit etwa 33 % ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$) bzw. 63 % ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$) vergleichsweise hoch. Der Einfluss auf die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte ist deutlich geringer (ca. 14 %).

Die Sauerstoff-Isotope im Knochenphosphat werden im Gegensatz zum Sauerstoff im Knochenkarbonat, wie bereits erwähnt, v.a. durch das meteorische (Trink-)Wasser beeinflusst (vgl. Kirsanow & Tuross, 2011). Daher gelangt ein deutlich geringerer Anteil marinen Sauerstoffs in das tierische Phosphat als in das tierische Karbonat, denn die meisten Säugetiere können kein Salzwasser trinken (vgl. z. B. Peirce, 1957). Damit kann der in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten detektierte „sea spray“-Effekt (ca. 14 %), der fast identisch mit dem in den $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten approximierten Effekt (ca. 17 %) ist, möglicherweise als deutlich reineres und unverfälschteres Signal angesehen werden als der Effekt in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ - bzw. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten. Die Ähnlichkeit zum approximierten Ausmaß in den $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten, die, wie bereits erwähnt, nur sehr geringfügig von Fraktionierungsprozessen verändert werden, deutet darauf hin.

Die Detektion des „sea spray“-Signals im Phosphatsauerstoff, der als weniger anfällig gegenüber diagenetischer Veränderungen gilt (vgl. Kapitel 2.1.3.2), kann zudem als zusätzlicher Beweis für den Effekt im Karbonat angesehen werden. Im Karbonat kommt es aufgrund der unterschiedlichen Aktivierungs- sowie Bindungsenergie zwischen den Sauerstoff-Atomen und dem Kohlenstoff- bzw. Phosphor-Atom häufiger zu einem Sauerstoff-Austausch als im Phosphat (Longinelli & Nuti, 1968). Isotopenmessungen im Karbonat - und insbesondere $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - sind in den letzten Jahren zunehmend in Frage gestellt worden, was neben einem höheren Diagenese-Risiko auch an relativ umstrittenen Extraktionsprotokollen (vgl. Kapitel 6.3.1) liegt.

Verschiedene andere Faktoren neben dem „sea spray“-Effekt, die ebenfalls einen Einfluss auf die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte haben können, müssen hier allerdings auch berücksichtigt werden. Umweltfaktoren, wie z. B. Temperatur, Niederschlag, Wasserquellen etc., können die einzelnen Isotopensysteme in unterschiedlichem Maße beeinflussen. Die approximierten „sea spray“-Werte sind also möglicherweise zu einem gewissen Ausmaß auch durch andere Faktoren

beeinflusst. Im Falle archäologischer Funde ist ein Trennen dieser Einflüsse vom reinen „sea spray“-Signal allerdings mit dem heutigen Kenntnisstand noch nicht möglich. Es kann jedoch angenommen werden, dass zumindest der in den $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten detektierte „sea spray“-Effekt von ca. 17 ‰ und eventuell auch der Effekt in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten (ca. 14 ‰) relativ unverändert und gewissermaßen rein ist. Für $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ kann ein Einfluss anderer Faktoren nicht völlig ausgeschlossen werden. Die externen Faktoren (Temperatur, Niederschlag, Wasserquelle) sollten jedoch über das damit zusammenhängende $\delta^{18}\text{O}$ -Signal des Trinkwassers vielmehr die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte und damit den darin detektierten „sea spray“-Effekt beeinflussen. Dies kann in dem vorliegenden Datensatz jedoch durch die Ähnlichkeit des Ausmaßes zum vermutlich unveränderten Signal im Schwefel (sh. oben) eher ausgeschlossen werden. Daher kann davon ausgegangen werden, dass das „sea spray“-Signal in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ - bzw. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte wohl nur in einem geringen Maße durch externe Faktoren verfälscht wurde. Dies bedarf jedoch einer ausführlicheren Untersuchung, die unter kontrollierten Bedingungen stattfinden muss. Hierbei gilt es zu beachten, dass Knochen Informationen aus vielen Jahren akkumulieren (vgl. z. B. Martin et al., 2015). Strontium gelangt in Form von in Aerosolen enthaltenem Sr^{2+} an Land. Hierbei ist der Anteil an Sr^{2+} in Meerwasser mit 0,013 Gew.‰ bzw. $1,06 \cdot 10^{13}$ t in den Ozeanen insgesamt relativ hoch (Wright & Colling, 1995). Für $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ kann der „sea spray“-Effekt mit den vorliegenden Daten nicht sicher belegt werden, da sowohl Werte lokaler mariner Säuger, als auch entsprechende Konzentrationswerte fehlen. Insbesondere auch die Untersuchung von Kationenverhältnissen (z. B. Sr/Na , Sr/Ca) terrestrischer Proben könnten bei der Untersuchung des „sea spray“-Einflusses helfen (vgl. Whipkey et al., 2000). Hierfür sind allerdings weitere Untersuchungen nötig. Nichtsdestotrotz scheint es zu einer Verschiebung der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte (mancher) terrestrischer Säuger in Richtung der Brackwasserwerte (0,7092 - 0,7097; Andersson et al., 1992) zu kommen. Auffällig ist, dass zwei in anderen Isotopensystemen besonders vom „sea spray“-Effekt beeinflusste Rothirsche (Hb 35 und Hb 39) auch bezüglich ihrer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte deutlich in Richtung der Brackwasserwerte verschoben sind, was als „sea spray“-Einfluss identifiziert werden kann (vgl. Montgomery et al., 2014; Snoeck, 2014; Whipkey et al., 2000).

Es wäre denkbar, dass auch die untersuchten Holzproben aus Schleswig (Grupe et al., 2011) z. T. durch den „sea spray“-Effekt beeinflusst wurden. Da aber die Vegetationswerte in die Berechnung des lokalen „cut-off“-Bereiches (0,70905 - 0,71073; Becker & Grupe, 2012; Grupe et al., unpubliziert) miteinbezogen wurden, kann nicht ausgeschlossen werden, dass der tatsächliche, lokale Bereich (ohne „sea spray“-Einfluss) eigentlich höhere $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte aufweist. Dasselbe gilt auch für die Berechnung lokaler Grenzen mittels Tier- und Menshendaten (vgl. Gillmaier et al., 2009; Rott, 2011; Toncala, 2012). Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte von Pflanzen werden durch die Strontium-Isotopenverhältnisse des Grundwassers, des Bodens und der Atmosphäre beeinflusst (Söllner et al., 2016). Die Atmosphäre wiederum spiegelt die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte des nächstgelegenen Gewässers wider (Andersson et al., 1990; Montgomery et al., 2007). In Küstennähe findet sich daher in Pflanzen durchaus ein Salzwassersignal.

Der Anteil an Individuen, die aus dem lokalen „cut-off“-Bereich fallen und daher als wahrscheinlich primär nicht lokal angesehen werden können, ist relativ hoch: 46 % der Menschen aus der frühen Phase des Schleswiger Rathausmarktes ($n = 50$) und 39 % der späten Phase ($n = 23$), 80 % der Individuen vom St. Clemens-Friedhof ($n = 15$), sowie 83 % der untersuchten Schweine ($n = 12$), 76 % der Rinder ($n = 21$), 87 % der Rothirsche ($n = 31$) und alle vier Rotfüchse (Becker & Grupe, 2012; Grupe et al., unpubliziert). Zwar ist eine hohe Zuwanderung, sowie eine große Anzahl importierter Tiere für ein Handelszentrum wie Haithabu und Schleswig nicht verwunderlich, doch wäre es denkbar, dass der eigentliche lokale Bereich höhere $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte aufweist und damit möglicherweise auch mehr Individuen umfasst. Die Detektion primär nicht-lokaler Individuen ist unter diesem Gesichtspunkt erschwert. Eine Fehlklassifikation primär nicht-lokaler Individuen kann folglich nicht ausgeschlossen werden. Dies gilt für Tiere ebenso wie für Menschen.

Einige Schafe (Hb 73, Hb 76, Hb 77, Hb 78, Hb 79) sind bezüglich ihrer $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - bzw. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte auffällig und zeigen vergleichsweise hohe bis sehr hohe Isotopenwerte (vgl. Tabellen A49 und A50). Archäozoologisch zeigt sich, dass eine nicht geringe Zahl der Schafe, deren Überreste in Haithabu und Schleswig gefunden wurden, wohl importiert worden sind (Hüster, 1990). Es ist damit sehr wahrscheinlich, dass manche der genannten

Schafe von einem anderen Ort mit anderen Nahrungs- und Trinkwasserquellen und/oder höherem „sea spray“-Einfluss nach Haithabu importiert wurden. Ein Import der Tiere aus anderen Orten in Küstennähe mit einer höheren Salinität des Meerwassers als es für die Umgebung von Haithabu und Schleswig der Fall war (vgl. Abbildung 3) würde die erhöhten Isotopenwerte der genannten Individuen erklären.

Interessanterweise scheinen domestizierte Säuger in höherem Maße vom „sea spray“-Effekt beeinflusst zu werden als wildlebende Säuger. Die Mehrheit der domestizierten Herbivoren werden dem „sea spray“-Cluster zugeordnet (Abbildungen 17 bis 19, Tabellen A40, A42 und A44). Während die domestizierten Tiere üblicherweise auf offenen Flächen gehalten werden, verbringen wildlebende Herbivore, wie z. B. Rehe, einen großen Teil ihres Lebens im Wald oder auf Waldlichtungen. Das Blätterdach hält vermutlich einen großen Teil des „sea spray“-Effektes ab, bevor dieser auf den Boden gelangt und so die Nahrung und das Trinkwasser der Herbivoren beeinflussen kann. Hinzu kommt möglicherweise auch der sogenannte „Baldachin-Effekt“, der aufgrund des verringerten Austausches von CO_2 unter dem Blätterdach und der damit verbundenen höheren CO_2 -Konzentration am Waldboden zu einer Anreicherung in ^{13}C in den Pflanzen führt (Cerling et al., 1997; Cerling et al., 2003; Merwe & Medina, 1991). Ähnlich verhält es sich auch mit $\delta^{18}\text{O}$ -Werten, die im Bereich des kühlen und vergleichsweise humiden Waldbodens ebenfalls negativer sind (Cerling et al., 2003). Entsprechend wäre es hier auch denkbar, dass der Baldachin-Effekt dem „sea spray“-Effekt gewissermaßen entgegen wirkt. Insgesamt hat der „sea spray“-Effekt wohl einen höheren Einfluss auf die auf offenen Weiden gehaltenen, domestizierten Herbivoren, deren Weideflächen auch relativ nahe an der Küste lagen. Da sicherlich davon auszugehen ist, dass es rund um Haithabu und Schleswig mehrere Weideflächen gab, zeigen die unterschiedlichen Individuen das „sea spray“-Signal auch nicht im selben Ausmaß. Zudem spielen hier auch physiologische Unterschiede, sowie die natürliche Variabilität innerhalb einer Spezies eine Rolle.

Auch nach der „sea spray“-Korrektur weisen manche terrestrischen Säuger immer noch erhöhte, „zu marine“ $\delta^{13}\text{C}$ -, $\delta^{18}\text{O}$ - bzw. $\delta^{34}\text{S}$ -Werte auf (vgl. Abbildung 22). In manchen Fällen (Rotfuchs S 18, S 21, Schwein Hb 65) kann dies durch eine teilweise marine Nahrung

(z. B. Fische, Fischreste, marine Vögel und deren Eier; vgl. Hobson et al., 1999) erklärt werden, für Otter 32 FO1Hepi durch das Salz- oder Brackwasser-Habitat (vgl. Becker & Grupe, 2012). Herbivore hingegen (Pferd Hb 91, Rind Hb 57, Schaf Hb 73, Hb 76, Hb 77, Hb 78, Hb 79) sollten keine Isotopenwerte aufweisen, die über der marinen Grenze liegen. Für die Schafe könnten die erhöhten Isotopenwerte mit einem Konsum von Seegras oder Brackwasser erklärt werden. Der Verzehr von Seegras, wie er beispielsweise für die Schafe aus Orkney (Schottland) bekannt ist, führt zu erhöhten $\delta^{18}\text{O}$ -Werten (Balasse et al., 2009). Diese Praxis der Seegras-Weide ist allerdings für Haithabu und Schleswig nicht überliefert. Es wäre auch denkbar, dass diese Individuen primär nicht lokal waren, sondern von einem anderen Ort mit anderem $\delta^{18}\text{O}$ -Signal des lokalen Trinkwassers oder der lokalen Nahrung bzw. mit einem stärkeren lokalen „sea spray“-Effekt stammten. Allerdings können Schafe auch Brackwasser trinken und sind hierbei in der Lage, relativ hohe Salzkonzentrationen im Trinkwasser zu tolerieren (Meyer & Weir, 1954). Dies könnte die auch nach der Korrektur nach wie vor erhöhten $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte der Schafe Hb 78 (18,32 ‰ (unkorr.), 15,32 ‰ (korr.)) und Hb 79 (17,92 ‰ (unkorr.), 15,31 ‰ (korr.)) erklären. Allerdings scheinen auch das Rind Hb 57 (18,14 ‰ (unkorr.), 15,32 ‰ (korr.)) und das Pferd Hb 91 (18,53 ‰ (unkorr.), 15,32 ‰ (korr.)) stärker vom „sea spray“-Effekt beeinflusst zu sein als der terrestrische, wildlebende Herbivore mit dem höchsten $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Wert, Auerochse Hb 48 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (unkorr.) = 17,78 ‰). Physiologische Unterschiede zwischen Auerochsen und domestizierten Schafen, Rindern und Pferden bei der Aufnahme des Sauerstoffsignals sind hier denkbar. Andererseits sollten Auerochsen und Rinder physiologisch recht ähnlich sein. Unterschiede zwischen Wiederkäuern (Auerochse, Rind, Schaf) und Nicht-Wiederkäuern (Pferd) könnten ebenfalls eine gewisse Variabilität in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten erklären (vgl. hierzu auch Kapitel 6.3.3). Und auch der bereits angesprochene Unterschied zwischen domestizierten und wildlebenden Säugetieren hinsichtlich Nahrung und Trinkwasser, sowie Mobilität und Aufenthaltsort (Wald vs. offene Weidefläche) spielt hier eine nicht unwesentliche Rolle.

Die Wahl der Endpunkte zur Berechnung des marinen Einflusses (m), nämlich die beiden jeweils extremsten, wildlebenden, terrestrischen Herbivoren (vgl. Kapitel 5.3.2), führt dazu,

dass manche Individuen rechnerisch einen marinen Einfluss > 1 bzw. < 0 erhalten (vgl. Abbildung 22, Tabellen A48 bis A51). Insbesondere bei Individuen mit einem negativen marinen Einfluss kann dies kritisch sein, da für die Tiere aufgrund eines vergleichsweise niedrigen Isotopenwertes und damit eines geringen „sea spray“-Einflusses eine nur geringe Korrektur nötig wäre. Der Betrag in Formel 86 führt jedoch zu einer zu starken Korrektur des Isotopenwertes, woraus wohl, verglichen mit dem ursprünglichen Wert, ein zu niedriger Isotopenwert resultiert. Dies ist der Fall für Biber Hb 9 und Otter Hb 20 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$), Katze Hb 104 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$), Schwein Hb 66 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$), sowie Rotfuchs Hb 22 ($\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$) (Abbildung 22). Diese Individuen sollten allerdings dennoch nicht zwangsläufig von der Korrektur ausgeschlossen werden. Die vermutlich zu starke Korrektur muss jedoch bei möglichen weiteren Analysen berücksichtigt werden.

Individuen, die einen marinen Einfluss > 1 aufweisen, werden ebenfalls möglicherweise zu stark korrigiert. Dies ist besonders gut anhand der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte der Schafe Hb 73, Hb 76 und Hb 79 zu demonstrieren. Diese Tiere zeigen unkorrigierte $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte von 19,73 ‰, 19,72 ‰ und 19,64 ‰ und einen marinen Einfluss von jeweils etwa 1,6 ‰ (vgl. Abbildung 22, Tabelle A50). Diese Isotopenwerte liegen sehr nahe am Meerwasser-Durchschnitt (ca. 20 ‰; McLaughlin et al., 2006b; McLaughlin et al., 2006a). Auch liegen sie höher als der entsprechende Isotopenwert des marinen Säugers mit dem höchsten $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Wert, nämlich Pottwal Hb 50 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}} = 19,59$ ‰), der allerdings nicht lokal war, sondern aus nördlicheren und kälteren Gewässern stammte (Becker & Grupe, 2011; Heinrich, 1991). Nach der „sea spray“-Korrektur liegen die drei Schafe allerdings unterhalb der unteren marinen Grenze ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}} = 15,30$ ‰), was ein Artefakt des sehr hohen marinen Einflusses von $m = 1,6$ ist. Die Individuen liegen damit nämlich auch unterhalb von anderen terrestrischen Tieren, die zuvor deutlich niedrigere $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte aufwiesen (Abbildung 22, Tabelle A50). Damit werden Individuen mit $m > 1$ wohl, wie auch im Falle von $m < 0$, zu stark korrigiert. Im Falle dieser drei Schafe wurden mögliche Erklärungsansätze für die sehr hohen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte bereits diskutiert (sh. oben).

Der approximativ bestimmte „sea spray“-Effekt von ca. 33 ‰ in $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, 63 ‰ in $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, 14 ‰ in $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ und 17 ‰ in $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ ist sicherlich standortspezifisch.

Durch Unterschiede in der Entfernung zur Küste, der Salinität des Meerwassers (vgl. z. B. Abbildung 3), der Haupt-Windrichtung oder auch der Windstärke ist zu erwarten, dass je nach Ort mit einem unterschiedlich starken „sea spray“-Einfluss zu rechnen ist (sh. hierzu auch Kapitel 6.4.2). Dies gilt wohl auch für den limnischen Einfluss (vgl. Kapitel 6.4.3), der z. B. von der Anzahl entsprechender Insekten mit aquatischem Larvenstadium und terrestrischer Lebensweise im adulten Stadium, abhängt. Für Haithabu geht Schietzel (2014) von einer sommerlichen Mückenplage aus. Der Mückeneintrag, der von Gratton et al. (2008) auf Island festgestellt wurde, kann in der auf Island untersuchten Region bis zu $19 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ betragen. Im Jahresdurchschnitt sind das schätzungsweise 1200 - 2500 kg Mücken (Gratton et al., 2008). Eine solche oder ähnliche Menge an Mücken (oder anderen Insekten) kann den limnischen Einfluss in den terrestrischen Säugern wohl erklären. Die Insekten dienen entweder als Nahrungsquelle für terrestrische Tiere oder führen nach ihrem Tod zu einem Düngereffekt in terrestrischen Pflanzen, der sich über die Nahrungskette auch in terrestrischen Tieren manifestiert (vgl. Bogaard et al., 2007). Da aquatische Systeme aufgrund längerer Nahrungsketten mit $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ angereichert sind, wird diese höhere Isotopensignatur durch den limnischen Einfluss auf terrestrische Systeme übertragen. Werden die aquatischen Insekten konsumiert, so führt dies zu einer weiteren Anreicherung in ^{15}N aufgrund des Trophiestufeneffektes (vgl. Kapitel 2.1.2.2). Tote Insekten wiederum dienen als Dünger für terrestrische Pflanzen, die wiederum von Herbivoren konsumiert werden. Auch hier spielt der Trophiestufeneffekt eine Rolle. Je nach Höhe des Mückeneintrages schwankt sicherlich auch das Ausmaß des limnischen Einflusses. Die Untersuchung von Vergleichsdatensätzen (vgl. Kapitel 6.4.3) deutet darauf hin, dass auch dieser Einfluss standortspezifisch ist. Ein limnischer Einfluss von etwa 21 ‰ scheint insofern plausibel als dadurch der am stärksten bezüglich des $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Wertes korrigierte herbivore Säuger, Kaninchen S 30, um ca. 2,3 ‰ korrigiert wird. Gemäß Bogaard et al. (2007) führt ein Düngereffekt zu einer Anreicherung um mindestens etwa 2 ‰. Da der limnische Einfluss in Herbivoren primär als Düngereffekt auftreten sollte, der sich überdies auch im Konsumenten wiederfindet (van Klinken et al., 2000), entspricht die Korrektur um etwa 2 ‰ damit den Erwartungen.

Der Vergleich der Ergebnisse der Diskriminanzanalyse zeigt, dass sich der Trainings- und Testfehler durch die „sea spray“-Korrektur, sowie auch durch die anschließende Korrektur gegen den limnischen Einfluss in allen Datensätzen jeweils verringert. Ein niedriger Klassifizierungsfehler im Trainingsdatensatz (Trainingsfehler) und ein niedriger Anteil falsch klassifizierter Individuen im Testdatensatz sprechen für valide Clusterergebnisse. Bereits die unkorrigierten Datensätze zeigen bei der Auftrennung in drei Cluster Trainings- und Testfehler, die besser sind als bei einer zufälligen Clusterzuweisung erwartet ($< 33,3\%$). Die Ergebnisse verbessern sich weiter durch die Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt. Werden überdies auch noch die $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte gegen den limnischen Einfluss korrigiert und eine GMM-Clusteranalyse mit zwei Clustern durchgeführt, so ergeben sich Trainings- und Testfehler von nahezu 0 %. Im Falle des unkorrigierten und gegen den „sea spray“-Effekt korrigierten Datensatz II ergeben sich Trainingsfehler von 0,0 %. Dies ist möglicherweise als mathematisches Artefakt zu betrachten, da die Klassenzuweisungen des Trainingsdatensatzes (aufgrund fehlender, bekannter Zuordnungen) auf den Ergebnissen einer vorausgegangenen GMM-Clusteranalyse beruhen. Da allerdings ohne vorausgegangene Clusteranalyse keine Klassen bekannt sind, ist dieser Schritt als notwendig anzusehen. Für eine sinnvolle Clusterstruktur wird allerdings ohnehin ein Trainingsfehler von etwa 0 % erwartet. Der relativ hohe Testfehler von 21,4 % ($\pm 16,2\%$; unkorrigiert) bzw. 17,1 % ($\pm 13,2\%$; nach „sea spray“-Korrektur) in Datensatz II resultiert wohl aus dem relativ kleinen Datensatz von lediglich 23 Individuen. Dennoch ist der Testfehler in beiden Fällen besser als mathematisch erwartet ($< 33,3\%$). Die gegenüber den ursprünglichen (unkorrigierten) Daten besseren Ergebnisse der Diskriminanzanalyse können als Hinweis auf die Validität des Korrekturprozesses, sowohl im Falle der „sea spray“-Korrektur als auch der Korrektur gegen den limnischen Einfluss, verstanden werden.

6.2.2 „sea spray“-Effekt und limnischer Einfluss bei Menschen

Die „sea spray“-Korrektur an den Isotopendaten der Menschen aus Haithabu und Schleswig ist unmittelbar abhängig von den mittels Mischungsmodellen berechneten (mittleren) Nahrungsanteilen. Die Korrekturformeln für die Menschen (Formeln 91 und 92) basieren

auf dem prozentualen Anteil terrestrischen Nahrungsproteins. Dieses setzt sich für die gewählten Quellen aus domestizierten Säugern (Rind, Schaf, Schwein; Modell I) und ggf. auch pflanzlicher Nahrung (Modell II) zusammen. Ebenso wären hier natürlich auch andere terrestrische Nahrungsquellen (z. B. Wild, Geflügel) denkbar. Die Formeln 91 und 92 können entsprechend angepasst werden.

Eine Korrektur der Menschen gegen den „sea spray“-Effekt ist in Küstengebieten generell als sinnvoll zu betrachten. Dies gilt umso mehr für Individuen mit einem hohen Anteil terrestrischen Proteins in der Nahrung, da so das „sea spray“-Signal der terrestrischen Nahrungsquellen (Pflanzen, Tiere) aufgenommen wird. Sobald also in tierischen oder auch pflanzlichen Funden ein „sea spray“-Effekt nachgewiesen und approximativ bestimmt werden kann, sollten alle Menschen des Fundortes gegen den lokalen „sea spray“-Effekt in den entsprechenden Isotopensystemen korrigiert werden. So können fehlerhafte Interpretationen der Isotopendaten vermieden werden. Dasselbe gilt so natürlich auch für die aufgefundenen Tiere (und Pflanzen). Es ist wichtig zu erwähnen, dass für die Korrektur der Isotopendaten in der vorliegenden Arbeit die mittleren Nahrungsanteile verwendet werden. Die resultierenden Isotopenwerte können durch die Berücksichtigung der Standardabweichungen entsprechend variieren (vgl. Tabellen A64, A65, A69, A70, A73 und A74). Zudem dürfen die berechneten Anteile nur als Näherungswerte, nicht aber als tatsächliche und unbedingt wahre Werte, verstanden werden. Die Berechnung von Mischungsmodellen ist lediglich ein approximatives Verfahren, um zu ermitteln welche Nahrungsquellen als mögliche Proteinquellen zu einem Isotopenwert beigetragen haben könnten. Die Wahl anderer, ebenfalls sinnvoller Nahrungsquellen, kann zu anderen (nicht weniger wahrscheinlichen) Ergebnissen führen. Somit ist die Korrektur, wie auch für die wildlebenden und domestizierten Säuger (Kapitel 6.2.1), als approximative Korrektur zu verstehen. Nichtsdestotrotz ist die Wahl der häufigsten archäozoologischen Funde für die Berechnung von Mischungsmodellen zumindest für die Mehrheit der Individuen des Fundortes generell als sinnvoll zu erachten.

Wenn nun aber der mit Hilfe eines Mischungsmodells bestimmte, durchschnittliche Anteil an terrestrischem Protein in der Nahrung wesentlich von dem durch ein anderes Programm

berechneten Anteil abweicht, führt dies konsequenterweise auch zu einer unterschiedlich starken Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt. Somit muss zunächst überprüft werden, ob die Wahl des Programmes zur Erstellung des Mischungsmodells (hier: „SISUS“, „simmr“, „MixSIAR“) einen wesentlichen Unterschied in der Berechnung des terrestrischen Proteinanteils verursacht, der sich dann auch unmittelbar auf die Korrektur des „sea spray“-Effektes auswirken würde.

Die Berechnung der Nahrungsanteile mit Hilfe von „SISUS“, „simmr“ und „MixSIAR“ ist in den Tabellen A64, A69 und A73 dargestellt. Bei der Berechnung ohne pflanzliche Nahrung (Modell I) sind die Ergebnisse von „SISUS“ und „simmr“ im Mittel relativ ähnlich, jedoch weichen die mit „MixSIAR“ berechneten Nahrungsanteile zum Teil deutlich von denen der beiden anderen Programme ab. Hierbei fällt vor allem auf, dass der Anteil an von marinen Säugern stammendem Protein bei „MixSIAR“ sehr gering geschätzt wird - im Mittel auf 3 % (± 1 %) - wohingegen laut „MixSIAR“ ein größerer Anteil an domestizierten Säugern zur Nahrung beigetragen hat (47 % ± 13 %) als gemäß „SISUS“ (28 % ± 18 %) bzw. „simmr“ (30 % ± 10 %) (Tabelle 16).

Die Ergebnisse der drei Programme werden allerdings deutlich ähnlicher, wenn Pflanzen als zusätzliche Nahrungskomponente in das Mischungsmodell mit aufgenommen werden (Modell II; vgl. Tabellen A65, A70 und A74). Die mittleren Nahrungsanteile, die von „SISUS“ und „simmr“ bestimmt werden, sind nahezu identisch (Tabelle 16). „MixSIAR“ zeigt insbesondere für den mittleren prozentualen Anteil domestizierter Säuger und Süßwasserfische eine sehr gute Übereinstimmung mit dem Mittelwert, der durch „SISUS“ und „simmr“ ermittelt wird. Die berechneten mittleren Anteile der Salzwasserfische, marinen Säuger und auch der Pflanzen sind auch vergleichbar mit denen aus „SISUS“ und „simmr“. Jedoch liegt die Standardabweichung für alle Komponenten bei „MixSIAR“ bei ca 20 %, während sie für „SISUS“ und „simmr“ recht gering ist (Tabelle 16).

Die Abbildungen 28 bis 33 lassen erkennen, dass die Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt bei den Menschen je nach Wahl des Programms in unterschiedlichem Maße erfolgt. Der maximale Anteil terrestrischen Proteins in der Nahrung beträgt für „SISUS“ für beide Modelle etwa 84 %, für „simmr“ hingegen nur 51 % (Modell I) bzw. 63 % (Modell II). Bei

„MixSIAR“ liegt der maximale, prozentuale Anteil bei 73 % (Modell I) bzw. 85 % (Modell II). Auch der kleinste berechnete, terrestrische Anteil ist je nach Mischungsprogramm verschieden mit etwa 0 % (0,2 % bzw. 0,9 %) für „SISUS“, 9 % (Modell I) bzw. 21 % (Modell II) für „simmr“ und 0,4 % (Modell I) bzw. 15 % (Modell II) für „MixSIAR“. Es ist wichtig zu erwähnen, dass ein terrestrischer Proteinanteil in der Nahrung von etwa 0 % zwar auf Basis der gewählten Nahrungsquellen mathematisch korrekt sein mag, allerdings nicht oder kaum realistisch ist. Die Wahl der Nahrungsquellen beeinflusst hier die sich ergebenden Nahrungsbestandteile für die einzelnen Individuen. Ein Ausschluss dieser unrealistischen (extremsten) Individuen erfolgt an dieser Stelle nicht, da hier der Vergleich zwischen den einzelnen Programmen („SISUS“, „simmr“, „MixSIAR“) im Fokus steht. Dennoch sollte stets im Hinterkopf behalten werden, dass die Berechnungen approximativ und stets abhängig von den gewählten Nahrungsquellen sind.

Die jeweils extremsten Individuen sind ebenfalls je nach Programm verschieden (Tabellen A64, A65, A69, A70, A73 und A74). Die Konsequenz dessen ist eine z. T. deutlich unterschiedliche Korrektur der einzelnen Individuen je nach Wahl des Programmes zur Berechnung des Mischungsmodells. Als Beispiele seien die beiden Individuen mit dem minimalen bzw. maximalen Anteil terrestrischen Nahrungsproteins im Falle von „SISUS“, RM 143 (♂, spät-adult, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}} = -15,4 \text{ ‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} = -7,6 \text{ ‰}$) und RM 214 (♂, früh-adult, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}} = -15,0 \text{ ‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} = -6,5 \text{ ‰}$), genannt.

Die Korrektur des $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ - bzw. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Wertes ist für RM 143 aufgrund des sehr geringen, terrestrischen Proteinanteils gemäß „SISUS“ (0,2 % bzw. 0,9 %; Tabelle 22) verschwindend gering. Nach „simmr“ liegt der terrestrische Anteil jedoch bei 15 % (Modell I) bzw. 33 % (Modell II), was entsprechend für Modell I eine Korrektur von 0,8 ‰ bzw. 0,7 ‰ in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ - bzw. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten, sowie von 1,7 ‰ bzw. 1,6 ‰ in Modell II nach sich zieht. Gemäß „MixSIAR“ beträgt der terrestrische Anteil etwa 40 % (Modell I) bzw. 5 % (Modell II; Tabelle 22). Dies führt zu einer Korrektur des $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ - bzw. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Wertes um jeweils ca. 2 ‰ in Modell I und um 0,9 ‰ bzw. 0,8 ‰ in Modell II.

Für RM 214 zeigt sich nach „SISUS“ ein terrestrischer Proteinanteil von jeweils ca. 84 %

(Tabelle 22), was eine Korrektur des $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ - bzw. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Wertes um etwa 4,1 ‰ bzw. 3,4 ‰ für beide Modelle bewirkt. Deutlich niedriger ist der mittels „simmr“ berechnete Anteil terrestrischer Nahrung (12 ‰ bzw. 29 ‰; Tabelle 22). Somit werden auch der $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ - und der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Wert nur um 0,6 ‰ bzw. 0,5 ‰ im Falle von Modell I und um 1,6 ‰ bzw. 1,4 ‰ im Falle von Modell II korrigiert. Der von „MixSIAR“ bestimmte, terrestrische Anteil liegt bei 64 % (Modell I) bzw. 25 % (Modell II; Tabelle 22). Folglich erfolgt eine Korrektur um 3,1 ‰ bzw. 1,2 ‰ in $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ und um 2,6 ‰ bzw. 1,0 ‰ in $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$.

Betrachtet man allerdings die explizite Position der Individuen RM 143 und RM 214 im Mischungspolygon (Abbildung 55), so wird ersichtlich, dass RM 214 deutlich in Richtung der domestizierten Säuger verschoben ist und die Ernährung von RM 143 vor allem aus Süßwasserfischen und auch aus marinen Säugern bestanden haben muss. Dies gilt sowohl für Modell I (Abbildung 55(a)) als auch für Modell II (Abbildung 55(b)).

Für Individuum RM 143 ergibt sich bei SISUS tatsächlich eine von Süßwasserfischen (61 %) und marinen Säugern (37 %) dominierte Ernährung. Die anderen Komponenten liegen bei maximal 1 % (Tabelle 22). Ganz andere Ergebnisse ergeben sich für „simmr“, bei dem für beiden Modelle alle Komponenten fast gleich bedeutend zu sein scheinen und maximal etwa 30 % betragen (Tabelle 22). Mit „MixSIAR“ ergibt sich in Modell I, dass die Nahrung nur zu 2 % aus marinen Säugern bestanden haben soll. Der Hauptanteil liegt mit 40 % bei den domestizierten Säugern. Für Modell II beträgt der Anteil der marinen Säuger 60 %, der der Süßwasserfische hingegen 37 % (Tabelle 22). Eine Positionierung, wie sie für RM 143 in Abbildung 55 vorliegt, kann allerdings nicht durch einen sehr geringen Anteil von marinen Säugern von nur 2 % (vgl. „MixSIAR“ Modell I; Tabelle 22) erklärt werden. Zudem liegt RM 143 etwas näher an den Süßwasserfischen als an den marinen Säugern (Abbildung 55), sodass es eher unwahrscheinlich ist, dass sich hier tatsächlich eine Nahrung bestehend aus 60 % marinen Säugern (vgl. „MixSIAR“ Modell II; Tabelle 22) ergibt. Ebenso wenig ist die Position von Individuum RM 143 - auf der Polygonlinie zwischen Süßwasserfischen und marinen Säugern (Abbildung 55) - durch eine Ernährung zu erklären, die aus fast gleichen Teilen der untersuchten Nahrungsquellen besteht (vgl. „simmr“ Modell I und II;

Tabelle 22). Eine solche Ernährung würde zu einer Position etwa in der Mitte zwischen allen Nahrungsquellen führen.

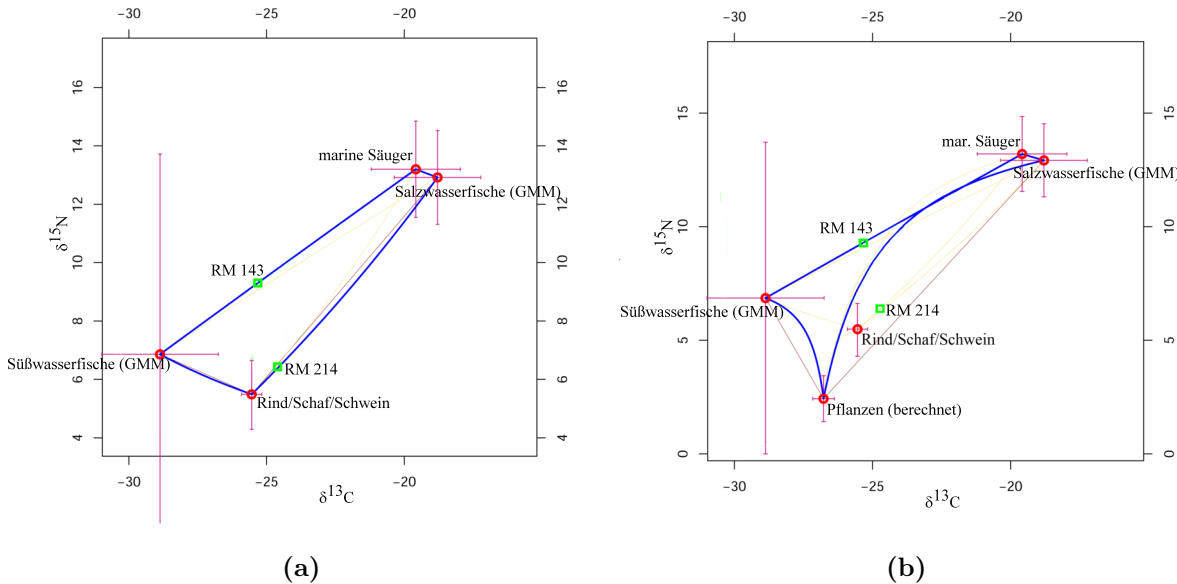


Abbildung 55: Von „SISUS“ bestimmtes Mischungspolygon mit (a) vier Nahrungskomponenten (Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger) bzw. (b) fünf Nahrungskomponenten (Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger, Pflanzen (berechnet aus domestizierten Herbivoren)) für die Individuen RM 143 (♂, spät-adult) und RM 214 (♂, früh-adult).

Tabelle 22: Exemplarischer Vergleich der mit „SISUS“, „simmr“ und „MixSIAR“ berechneten Nahrungsanteile ($\mu \pm \text{SD}$) der aus vier (Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger) bzw. fünf (Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger, Pflanzen (berechnet aus domestizierten Herbivoren)) Nahrungskomponenten bestehenden Mischungsmodelle für die Individuen RM 143 (♂, spät-adult) und RM 214 (♂, früh-adult).

Individuum	Programm	Rind/Schaf/Schwein	Süßwasserfische (GMM)	Salzwasserfische (GMM)	marine Säuger	Pflanzen (berechnet)	terrestrischer Anteil
RM 143	SISUS	0,002 (\pm 0,001)	0,615 (\pm 0,001)	0,011 (\pm 0,006)	0,373 (\pm 0,006)		0,002 (\pm 0,001)
		0,001 (\pm 0,001)	0,609 (\pm 0,004)	0,007 (\pm 0,005)	0,375 (\pm 0,005)	0,008 (\pm 0,006)	0,009 (\pm 0,007)
	simmr	0,149 (\pm 0,098)	0,333 (\pm 0,121)	0,233 (\pm 0,144)	0,285 (\pm 0,158)		0,149 (\pm 0,098)
		0,110 (\pm 0,078)	0,201 (\pm 0,120)	0,217 (\pm 0,136)	0,256 (\pm 0,146)	0,217 (\pm 0,139)	0,327 (\pm 0,217)
	MixSIAR	0,399 (\pm 0,221)	0,371 (\pm 0,310)	0,210 (\pm 0,210)	0,020 (\pm 0,024)		0,399 (\pm 0,221)
		0,028 (\pm 0,029)	0,372 (\pm 0,234)	0,142 (\pm 0,150)	0,603 (\pm 0,214)	0,021 (\pm 0,021)	0,049 (\pm 0,050)
RM 214	SISUS	0,842 (\pm 0,007)	0,012 (\pm 0,007)	0,080 (\pm 0,040)	0,067 (\pm 0,039)		0,842 (\pm 0,007)
		0,822 (\pm 0,015)	0,008 (\pm 0,005)	0,104 (\pm 0,032)	0,045 (\pm 0,031)	0,022 (\pm 0,015)	0,844 (\pm 0,030)
	simmr	0,123 (\pm 0,080)	0,293 (\pm 0,114)	0,256 (\pm 0,169)	0,328 (\pm 0,181)		0,123 (\pm 0,080)
		0,094 (\pm 0,065)	0,179 (\pm 0,110)	0,236 (\pm 0,158)	0,296 (\pm 0,168)	0,195 (\pm 0,127)	0,289 (\pm 0,192)
	MixSIAR	0,639 (\pm 0,224)	0,230 (\pm 0,253)	0,109 (\pm 0,105)	0,023 (\pm 0,026)		0,639 (\pm 0,224)
		0,183 (\pm 0,135)	0,652 (\pm 0,193)	0,054 (\pm 0,054)	0,040 (\pm 0,048)	0,071 (\pm 0,076)	0,254 (\pm 0,211)

Für RM 214 zeigt sich mit „SISUS“ eine deutlich von domestizierten Säugern ($> 80\%$; Tabelle 22) dominierte Ernährungsweise, wie sie auch die Lage im Polygon vermuten lässt (Abbildung 55). Mit „simmr“ ergibt sich hingegen ein Anteil an domestizierten Säugern von nur 12% (Modell I) bzw. 9% (Modell II; Tabelle 22). Erneut ist der Anteil der übrigen Nahrungsquellen mit ca. 20% bis 30% sehr ähnlich (Tabelle 22). Im Falle der Berechnung mittels „MixSIAR“ ergibt sich für Modell I eine durch domestizierte Säuger dominierte Ernährung (64%). Außerdem machen Süßwasserfische demnach etwa 20% der Ernährung aus (Tabelle 22). Wird jedoch die Pflanzenkomponente mitberücksichtigt (Modell II), so verschiebt sich die Dominanz in Richtung der Süßwasserfische (65%), während die domestizierten Säuger nur noch etwa 20% des Proteins in der Nahrung erklären (Tabelle 22). Auch für das Individuum RM 214 ist die Position innerhalb des Mischungspolygons sehr deutlich in Richtung der domestizierten Säuger verschoben. Dies ist insbesondere in Abbildung 55(a) gut erkennbar. Weder die Berechnung mittels „simmr“ noch die mittels „MixSIAR“ kann die gefundene Position des Individuums erklären. Ein Einfluss von Süßwasserfischen (vgl. „MixSIAR“ Modell I und II; Tabelle 22) müsste zu einer Verschiebung des Individuums in Richtung dieser Nahrungskomponente führen. Ein nur sehr geringer Einfluss von domestizierten Säugern bei gleichzeitig etwa gleichem Einfluss der übrigen Nahrungsquellen (vgl. „simmr“; Tabelle 22) würde, wie auch für Individuum RM 143, zu einer eher zentralen bzw. etwas in Richtung der übrigen Quellen verschobenen Position führen.

Was allein durch diese beiden Beispiele deutlich wird, ist der große Unterschied in den berechneten durchschnittlichen Anteilen terrestrischen Proteins in der Nahrung je nach Wahl von „SISUS“, „simmr“ oder „MixSIAR“, sowie (damit direkt zusammenhängend) dem Ausmaß der Korrektur in den Isotopenwerten. Es macht durchaus einen Unterschied, ob ein Individuum gar nicht korrigiert wird oder um 1‰ oder 2‰ (RM 143). Noch deutlicher ist der Unterschied für Individuum RM 214, dessen $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Wert beispielsweise um $4,1\text{‰}$ („SISUS“), $0,6\text{‰}$ („simmr“) oder $3,1\text{‰}$ („MixSIAR“) korrigiert wird. Entsprechend ist die Wahl des Programms zur Berechnung des Mischungsmodells entscheidend. Es gilt damit abzuwägen, welches Programm, und damit welche Korrektur, als am besten geeignet

erscheint.

Eine gewisse Problematik bei der Verwendung von „simmr“ und auch „MixSIAR“ liegt darin, dass immer eine Lösung gefunden wird, auch wenn diese möglicherweise gar keinen Sinn macht. Sowohl „simmr“ als auch „MixSIAR“ können für alle 190 mindestens adulten Individuen aus Haithabu und Schleswig ein Modell berechnen. Tatsächlich finden „simmr“ und „MixSIAR“ aufgrund ihres Bayes-Modellansatzes immer eine Lösung. Diese muss aber nicht unbedingt sinnvoll sein. Dies ist insbesondere der Fall, wenn Individuen außerhalb des Mischungspolygons liegen (vgl. Abbildungen 27(a) und 27(b)). Solche Individuen können durch das Mischungsmodell von „SISUS“ nicht erfasst werden. Dies liegt darin begründet, dass im Bayes-Modell die Nahrungsquellen nicht als Durchschnittswerte in das Mischungsmodell aufgenommen werden, sondern als Verteilungen. Damit werden auch die Nahrungsanteile für Konsumenten berechnet, die außerhalb des eigentlichen Polygons liegen (Smith et al., 2013).

Als Beispiel sei Individuum SC 229 genannt, eine adulte Frau vom St. Clemens Friedhof (Schleswig), die einen (umgerechneten) $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von $-25,4\text{‰}$ und einen (ebenfalls umgerechneten) $\delta^{15}\text{N}$ -Wert von $16,1\text{‰}$ aufweist (Abbildung 56). Dieses Individuum liegt klar außerhalb des von „SISUS“ verwendeten Mischungspolygons. Daher kann „SISUS“ keine Nahrungsanteile berechnen. Für dieses Individuum ergeben sich allerdings mit „simmr“ bzw. „MixSIAR“ die in Tabelle 23 gezeigten Nahrungsanteile. Keine dieser dort gezeigten Zusammensetzungen würde jedoch den so weit abseits gelegenen Isotopenwert tatsächlich erklären, für den wohl (rein rechnerisch) mindestens eine weitere Nahrungsquelle ursächlich ist. Die berechneten Anteile sind damit wohl ein Artefakt der Fehlerrechnung von „simmr“ und „MixSIAR“.

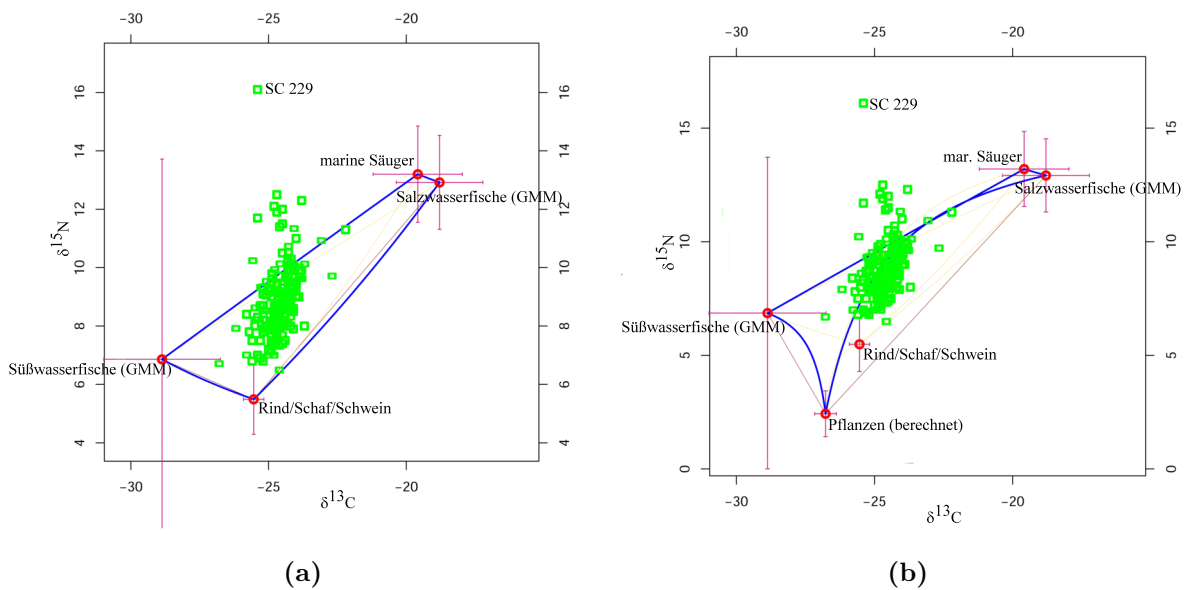


Abbildung 56: Von „SISUS“ bestimmtes Mischungspolygon mit (a) vier (Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger) bzw. (b) fünf Nahrungskomponenten (Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger, Pflanzen (berechnet aus domestizierten Herbivoren)) für das Individuum SC 229 (♀, adult), für das eine Berechnung mittels „SISUS“ nicht möglich war.

Tabelle 23: Exemplarischer Vergleich der mit „simmr“ und „MixSIAR“ berechneten Nahrungsanteile der aus vier (Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger) bzw. fünf (Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger, Pflanzen (berechnet aus domestizierten Herbivoren)) Nahrungskomponenten bestehenden Mischungsmodelle für das Individuum SC 229 (♀, adult), für das eine Berechnung mittels „SISUS“ nicht möglich war.

Programm	Schaf/Rind/Schwein	Süßwasserfische (GMM)	Salzwasserfische (GMM)	marine Säuger	Pflanzen (berechnet)	terrestrischer Anteil
simmr	0,041 (± 0,029)	0,091 (± 0,091)	0,090 (± 0,182)	0,777 (± 0,208)		0,041 (± 0,029)
	0,035 (± 0,025)	0,070 (± 0,075)	0,082 (± 0,174)	0,735 (± 0,199)	0,079 (± 0,067)	0,114 (± 0,092)
MixSIAR	0,076 (± 0,068)	0,595 (± 0,367)	0,310 (± 0,365)	0,019 (± 0,048)		0,076 (± 0,068)
	0,048 (± 0,054)	0,068 (± 0,069)	0,683 (± 0,179)	0,029 (± 0,034)	0,169 (± 0,137)	0,217 (± 0,191)

Es ist damit auch nicht ratsam, für Individuen, die außerhalb des Mischungspolygons liegen (Tabelle A66) und für die „SISUS“ daher kein Ergebnis findet, ein Modell mittels „simmr“ oder „MixSIAR“ zu berechnen - obwohl dies, rein rechnerisch, für diese beiden Programme möglich wäre. Daher werden die 26 (Modell I) bzw. 24 (Modell II) Individuen, die außerhalb des Polygons liegen, in der vorliegenden Arbeit ausgeschlossen. Eine Korrektur mittels

der durch „simmr“ bzw. „MixSIAR“ berechneten Nahrungsanteile wäre irreführend. Die Isotopenzusammensetzung dieser Individuen lässt sich nicht (sinnvoll) mit den verwendeten Nahrungskomponenten erklären.

Bei alleiniger Verwendung von „simmr“ oder „MixSIAR“ ist es unbedingt notwendig, das Mischungspolygon graphisch darzustellen, was ohnehin immer ratsam ist. So können Individuen, die außerhalb des Polygons liegen, problemlos identifiziert werden. Für Bayes-Modelle ist hierbei eine Simulation des Mischungspolygons hilfreich (vgl. Smith et al., 2013). Nur für diejenigen Individuen, die innerhalb des simulierten Mischungspolygons liegen, sollte dann eine Berechnung erfolgen. Tatsächlich zeigen die Abbildungen 57(a) und 57(b), dass bei beiden Modellen nur ein Individuum (SC 229) außerhalb des (simulierten) 95 %-Mischungsbereiches liegt. Demnach wäre nach der Regel von Smith et al. (2013) nur dieses Individuum auszuschließen. Eine Berechnung der Nahrungsanteile mit „simmr“ bzw. „MixSIAR“ ist allerdings, wie bereits erwähnt, auch für Individuum SC 229 möglich (vgl. Tabelle 23).

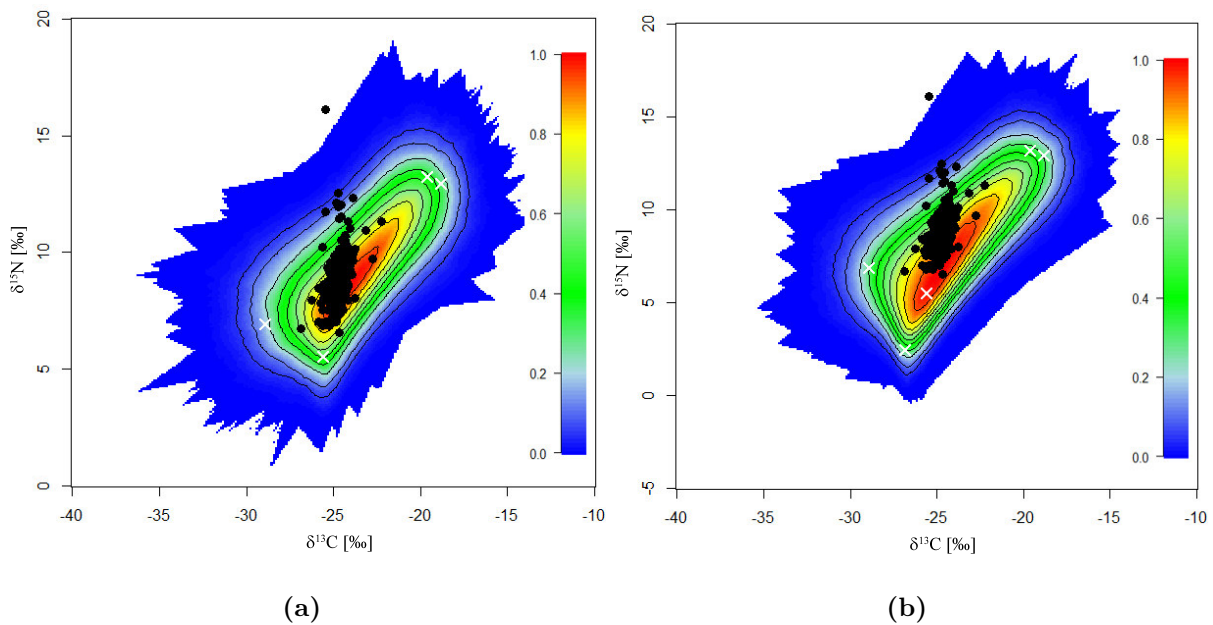


Abbildung 57: Simuliertes Mischungspolygon für das Mischungsmodell mit (a) vier (Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger) bzw. (b) fünf (Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger, Pflanzen (berechnet aus domestizierten Herbivoren) Nahrungskomponenten. Der äußerste (dunkelblaue) Bereich beschreibt den 95 %-Mischungsbereich. Individuen außerhalb dieses Bereiches sollten aus dem Mischungsmodell ausgeschlossen werden. Die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig sind als schwarze Punkte, die Nahrungsquellen als weiße Kreuze eingezeichnet. Die simulierten Mischungsregionen wurden mit Hilfe des R-Skripts aus Smith et al. (2013) erstellt.

Allerdings zeigt die Berechnung der Wahrscheinlichkeit, mit der die untersuchten Individuen laut der Simulation innerhalb des jeweiligen Polygons liegen (Abbildungen A48 und A49, Tabelle A107), dass die Individuen, die für „SISUS“ keine Lösung ergeben (vgl. Abbildungen 27(a) und 27(b)), jeweils mit nur sehr geringer Wahrscheinlichkeit (0 % - 59 %) im Polygon liegen. Es ist demnach möglich, solche Individuen mit Hilfe der Simulation zu detektieren und somit auch im Falle von auf Bayes-Statistik basierenden Programmen (wie „simmr“ oder „MixSIAR“) aus den Berechnungen auszuschließen.

Es ist wichtig zu erwähnen, dass es bei den simulierten Mischungsregionen einige Einschränkungen gibt, die es zu berücksichtigen gilt. Die hier wohl bedeutendste Einschränkung ist, dass die Simulation eine konstante Konzentration zwischen den Konsumenten, sowie die

Unabhängigkeit zwischen Isotopen annimmt. Wird jedoch ein Konzentrations-gewichtetes Modell gewählt (vgl. Phillips & Koch, 2002), wie im vorliegenden Fall, oder eine Korrelation zwischen den Isotopen berücksichtigt (vgl. Hopkins & Ferguson, 2012), so kann der tatsächliche Mischungsbereich nicht korrekt abgebildet werden (Smith et al., 2013). Außerdem basiert die Simulation auf frequentistischer Statistik. Es wird angenommen, dass es ein wahres Mischungspolygon gibt und dass durch die Simulation der Bereich dieses Polygons umfasst wird. Bei dem Bayes-Ansatz von bspw. „simmr“ und „MixSIAR“ wird hingegen angenommen, dass das Mischungspolygon von einer Wahrscheinlichkeitsfunktion stammt. Alle Mischungsmodelle können (mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit) als möglich erachtet werden. Somit besteht ein grundlegender Unterschied hinsichtlich der Beurteilung der Wahrscheinlichkeit im simulierten (frequentistischen) Modell und im Bayes-Modell. Wird jedoch die Simulation dafür verwendet zu beurteilen, ob ein Mischungsmodell eine Lösung hat (mit Hilfe der 95 %-Grenze bzw. der berechneten Wahrscheinlichkeit), so ist hier ein Vergleich mit dem Bayes-Modell möglich (Smith et al., 2013). Zuletzt sei noch erwähnt, dass der simulierte Bereich in keinerlei Weise eine Aussage über die Richtigkeit eines Modells erlaubt. Es stellt lediglich das kleinstmögliche Polygon dar, das alle Punkte beinhaltet (Smith et al., 2013). Somit kann der simulierte Mischungsbereich als Richtwert für Bayes-basierte Modelle dienen.

Insgesamt scheint eine Korrektur des „sea spray“-Effektes mittels „SISUS“ am sinnvollsten zu sein. Die Berechnung ist in besserer Übereinstimmung mit der Position der Individuen im Mischungspolygon, obgleich sich alle Individuen (außer SC 229) im simulierten Mischungsbereich befinden (sh. Abbildung 57). Die hierbei jedoch vernachlässigte Konzentrationsabhängigkeit (sh. oben), erschwert die Beurteilung dieser Simulationen und ist vor allem für Modell II, das Pflanzen als Nahrungsquelle enthält, zumindest in gewissem Maße fehlerhaft. „SISUS“ hingegen gibt nur Lösungen aus, wenn die entsprechenden Individuen tatsächlich im (konzentrationsabhängigen) Polygon liegen. Die Ergebnisse der Berechnungen können demnach jederzeit problemlos auf ihre Sinnhaftigkeit hin überprüft werden.

Somit sollte auch nur die GMM-Clusteranalyse vor und nach der „sea spray“ Korrektur

mittels „SISUS“ berücksichtigt werden. Durch die „SISUS“-Korrektur weicht die Clusterstruktur für beide Modelle kaum von derjenigen des unkorrigierten Datensatzes ab (Tabellen A77, A79, A85 und A87). Es ergeben sich jeweils zwei Cluster. Allerdings verändert sich die Zuordnung in das erste Cluster, das sich durch niedrigere $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte auszeichnet, ein wenig. In Modell I werden vor der Korrektur 16 Individuen diesem Cluster zugewiesen, nach der Korrektur nur noch zwölf. Vier Individuen (RM 94, RM 139, RM 140, RM 232) werden nach der Korrektur also in das zweite Cluster eingeordnet. Individuen des zweiten Clusters weisen höhere $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte ($10,87 \text{ ‰} \pm 1,41 \text{ ‰}$) auf als diejenigen des ersten Clusters ($5,68 \text{ ‰} \pm 1,41 \text{ ‰}$; Tabellen A79 und A80). Die vergleichsweise niedrigen $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte der Individuen des ersten Clusters lassen sich möglicherweise durch einen erhöhten Konsum von terrestrischen Nahrungsquellen oder auch Süßwasserfischen erklären (vgl. Nehlich & Richards, 2009). Tatsächlich liegt der nach „SISUS“ berechnete Anteil von Protein aus Süßwasserfischen für Individuen des ersten Clusters (Modell I) nach der Korrektur mit ca. 41 % etwas höher als für die übrigen Individuen des Datensatzes (35 %). Die vier nach dem Korrekturverfahren anders zugeteilten Individuen zeigen einen Anteil von durchschnittlich 33 % (vgl. Tabelle A64). Für Modell II werden von den ursprünglich 17 Individuen nach der Korrektur mit Hilfe von „SISUS“ dieselben zwölf Individuen in das erste Cluster eingeteilt wie schon im Falle von Modell I (vgl. Tabellen A87 und A88). Auch hier liegt der berechnete Anteil der Süßwasserfische im ersten Cluster nach der Korrektur mit 25 % über dem im zweiten Cluster (19 %; vgl. Tabelle A64).

Es wäre denkbar, dass die Individuen des ersten Clusters primär nicht lokal waren. Insbesondere die z. T. (vergleichsweise) sehr niedrigen $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte dieser Individuen (Modell I: $5,7 \text{ ‰} \pm 1,4 \text{ ‰}$; Modell II: $5,5 \text{ ‰} \pm 1,4 \text{ ‰}$) im Vergleich zu den übrigen mindestens adulten Menschen ($10,5 \text{ ‰} \pm 1,4 \text{ ‰}$; Tabellen A80 und A88) lassen ein Küstensignal, wie es eigentlich zu erwarten wäre, vermissen. Somit wird hier eine Gruppe vermutlich primär ortsfremder Individuen gefunden, die durch die Korrektur mittels „SISUS“ kaum verändert wird, da sie eben v. a. in den $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten kaum „sea spray“-Signal aufweisen und folglich auch nur unwesentlich korrigiert werden. Allerdings wären ohne die „sea spray“-Korrektur manche Individuen in dieses potenziell nicht-lokale Cluster eingeteilt

worden, die nach der Korrektur nicht mehr als auffällig hinsichtlich ihrer $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte beurteilt werden. Diese vier Individuen im Falle von Modell I (RM 94, RM 139, RM 140, RM 232) bzw. fünf Individuen im Falle von Modell II (H 72, H 12370 KIX/6, H 1912 XII/3, H1912 XIV.3, SC 226) wären damit ohne die entsprechende Korrektur als wahrscheinlich nicht-lokal eingestuft worden. Diese Einteilung wird jedoch durch die „sea spray“-Korrektur aufgehoben.

Dies zeigt einerseits erneut die Möglichkeiten der Datenanalyse mittels GMM, andererseits aber auch die Sinnhaftigkeit der Korrekturformel(n) gegen den „sea spray“-Effekt in den Isotopendaten von Menschen (Formeln 91 und 92). Hierbei ist das mittels „SISUS“ berechnete Mischungsmodell jenem von „simmr“ und „MixSIAR“ wohl vorzuziehen. Allerdings ist noch ein ausführlicher Vergleich der verschiedenen Programme zur Erzeugung von Mischungsmodellen notwendig, um ein besseres Verständnis der Unterschiede zwischen den einzelnen Programmen zu erlangen (vgl. hierzu Sebald, in Vorbereitung). Es stehen auch noch eine Reihe weiterer Programme zur Berechnung von Mischungsmodellen zur Verfügung, wie z. B. „IsoConc“ (Phillips & Koch, 2002), „IsotopeR“ (Ferguson & Hopkins, 2016; Hopkins & Ferguson, 2012), „MixSIR“ (Moore & Semmens, 2008), „SIAR“ (Parnell & Jackson, 2013) oder „SIBER“ (Jackson et al., 2011). All diese Programme müssten auf ihre Anwendbarkeit für die Korrektur des „sea spray“-Effektes nochmal im Detail verglichen werden. Hierfür wären moderne, ökologische Proben besonders geeignet, da dann nicht nur der Konsument, sondern auch die tatsächlich konsumierte Nahrung isotopisch untersucht werden kann.

Da die Korrektur des limnischen Einflusses in den $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten der Menschen, ähnlich wie bei der „sea spray“-Korrektur, die Berechnung des terrestrischen Proteinanteiles in der Nahrung benötigen würde, wofür wiederum die Berechnung eines Mischungsmodelles nötig wäre, das an den potenziell verfälschten $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten erfolgen müsste, ist eine Korrektur der $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte für die Menschen nicht sinnvoll. Diese wäre Folge eines Zirkelschlusses. Da zudem - im Gegensatz zu herbivoren Säugern - das Süßwassersignal bei den Menschen auch direkt über die Nahrung aufgenommen werden kann, ist eine entsprechende Erhöhung in den $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten möglicherweise durch den Konsum von

Süßwasserfischen (o. ä.) zu erklären.

Sollte jedoch der limnische Einfluss über den Konsum beeinflusster, terrestrischer Tiere (oder auch Pflanzen) auch in menschlichen $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten auftreten, was bislang nicht bestätigt werden konnte, so ergibt sich für die Berechnung von Mischungsmodellen ein nicht unwesentliches Problem. Erhöhte $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte werden tendenziell mit marinen Nahrungsquellen oder auch Süßwasserfischen in Verbindung gebracht. Hier kann ein Blick auf die zugehörigen $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Werte helfen. Dies gilt jedoch nicht mehr, wenn die $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Werte durch den „sea spray“-Effekt verfälscht wurden (vgl. hierzu Kapitel 6.4.2). Wenn auch die terrestrische Nahrungskomponente (z. B. domestizierte Säuger oder Wild) entsprechend erhöhte $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte zeigt, so wird der Einfluss auf den Menschen zumindest indirekt berücksichtigt. Bei Auswahl einer potentiellen Nahrungsgruppe, die unbeeinflusst ist vom limnischen Einfluss, wohingegen aber die tatsächlichen Nahrungsquellen deutlich stärker beeinflusst waren, ergeben sich möglicherweise fehlerhafte Berechnungen für die Mischungsmodelle. Dies kann insbesondere dann zutreffen, wenn die für die Berechnung der Mischungsmodelle verwendeten Tiere (oder auch Pflanzen) nicht vom selben Fundort stammen, sondern aus anderen (etwas entfernten) Fundkomplexen. Ein Mangel an verfügbaren Tierknochenfunden an manchen Fundorten kann dies durchaus nötig machen. Wenn jedoch der limnische Einfluss am anderen Ort schwächer (oder auch stärker) war als am eigentlichen Ort von Interesse, so folgt in der Konsequenz eine potenziell verfälschte Ernährungsrekonstruktion. Dies gilt entsprechend auch für die „sea spray“-Korrektur bei den Menschen (sh. oben).

6.3 Zusammenhang zwischen Karbonat und Phosphat

Anmerkung

Dieses Kapitel verwendet Material aus folgenden Publikationen:

- **Göhring, A.**, Mauder, M., Kröger, P., Mayr, C., von Carnap-Bornheim, C., Hilberg, V., Grupe, G. (2019). „Evidence for sea spray effect on oxygen stable isotopes in bone phosphate - approximation and correction using Gaussian Mixture Model clustering“. *Science of the Total Environment* 673, 668-684.
- **Göhring, A.**, von Carnap-Bornheim, C., Hilberg, V., Mayr, C., Grupe, G. (2019). „Diet and species-specific stable oxygen isotope relationship and oxygen isotope spacing between structural carbonate and phosphate in archaeological mammalian bones“. *Archaeological and Anthropological Sciences* 11 (6), 2467-2487.

Die Frage, ob ein allgemein gültiger, fester Wert von etwa 9 ‰ für $\Delta\delta^{18}\text{O}$ angenommen werden darf (vgl. Kapitel 2.1.3.2), muss auf Grundlage der Daten aus Haithabu und Schleswig entschieden verneint werden. Eine Berechnung von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten aus den zugehörigen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten kann fehlerhaft sein und wäre es auf jeden Fall für den vorliegenden Datensatz (Kapitel 5.7). Die Regressionsgleichung für den Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ für den terrestrischen Datensatz (Formel 97) unterscheidet sich bereits deutlich vom Modell nach Iacumin et al. (1996) (Formel 2) hinsichtlich Steigungsparameter und Achsenabschnitt. Dies wird durch die „sea spray“-Korrektur noch verstärkt (Formel 100). Der mittlere $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wert der terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig liegt bei 6,1 ‰ ($\pm 1,0$ ‰) bzw. 3,9 ‰ ($\pm 0,5$ ‰) nach erfolgter „sea spray“-Korrektur. Damit unterscheiden sich die ermittelten Werte von dem in anderen Studien publizierten $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wert von etwa 9 ‰ (Bryant et al., 1996; Iacumin et al., 1996; Martin et al., 2008; Pellegrini et al., 2011).

Die möglichen Gründe hierfür sind vielfältig und sollen nachfolgend diskutiert werden.

6.3.1 Abweichung aufgrund von Diagenese und Labormethoden

Eine Abweichung von der durch Iacumin et al. (1996) aufgestellten Regressionsgerade (Formel 2) wird üblicherweise als diagenetische Veränderung des Probenmaterials interpretiert. Da die verwendeten Proben aus Haithabu und Schleswig jedoch den Qualitätskriterien entsprechen (sh. Kapitel 4.2.1.2), ist Diagenese hier eher unwahrscheinlich - auch wenn diese nicht ganz ausgeschlossen werden kann. Andererseits stimmt die weite Spanne in den $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werten (unkorrigiert: 3,8 ‰ - 8,1 ‰, korrigiert: 2,6 ‰ - 5,4 ‰) gut mit den Ergebnissen von Kirsanow & Tuross (2011) überein, die zeigten, dass auch moderne Proben, die sicher nicht diagenetisch verändert sind, sehr variable $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte aufweisen können. Zudem wäre im Umfeld von Haithabu und Schleswig insbesondere Diagenese durch Brack- oder Salzwasser denkbar. Dies führt gemäß Kocsis et al. (2007) aber zu erhöhten $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten. Da die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte generell stabiler gegenüber Diagenese sind (vgl. Kapitel 2.1.3.2), würde eine solche Veränderung jedoch zu höheren $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werten führen im Vergleich zu 9 ‰, nicht aber zu niedrigeren wie im Fall der Daten aus Haithabu und Schleswig.

Probenmaterial mit höherer Kristallinität als Knochen (z. B. Zahnschmelz) könnte mögliche diagenetische Veränderungen unwahrscheinlicher machen, jedoch auch nicht völlig ausschließen, wie Rink & Schwarcz (1995) zeigten. Zudem sind Knochen-Proben an Stelle von Zahnschmelz-Proben zu bevorzugen, da Zahnschmelz für die untersuchte Fragestellung wenig geeignet erscheint aufgrund des darin enthaltenen Stillsignals, sowie saisonaler Variabilität. Durch den Stilleffekt ergeben sich positivere $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Zahnschmelz früh gebildeter Zähne (z. B. erster Molar) verglichen mit Zähnen, die zu einem späteren Zeitpunkt gebildet werden (z. B. dritter Molar; Wright & Schwarcz, 1999; Wright & Schwarcz, 1998). Der Stilleffekt wird dadurch hervorgerufen, dass Muttermilch isotopisch angereichert ist mit ^{18}O verglichen mit dem Trinkwasser der Mutter, da diese aus mit ^{18}O angereicherten Stoffwechselprodukten gebildet wird (Camin et al., 2008; Luz & Kolodny, 1985; Rossmann, 2001). Auch saisonale Effekte können sich im Zahnschmelz widerspiegeln (vgl. Kapitel 6.3.5). Somit ist die Untersuchung von Knochenproben hier den Zahnschmelz-

proben vorzuziehen.

Manche Chemikalien, die für die Karbonatextraktion verwendet werden, stehen im Verdacht, das eigentliche Isotopensignal der Proben zu verfälschen. Zu diesen Chemikalien zählen auch Natriumhypochlorit und Essigsäure, die für die Extraktion der untersuchten Proben verwendet wurden (vgl. Kapitel 4.2.1.1). Die Verwendung einer Kombination von Natriumhypochlorit und Essigsäure-Puffer lässt sich jedoch wie folgt begründen: Natriumhypochlorit (NaOCl) kann organisches Material im Vergleich zu anderen (gebräuchlichen) Chemikalien (H_2O_2 , N_2H_4 , CH_3COOH , NaClO_2) effektiver aus der Probe entfernen (Pellegrini & Snoeck, 2016; Snoeck & Pellegrini, 2015). Snoeck & Pellegrini (2015) betonen die Bedeutung der vollständigen Entfernung der Organik aus den Proben vor der Isotopenanalyse. Zwar kann es bei Behandlung mit Natriumhypochlorit zur Absorption von atmosphärischem CO_2 , sowie zum Einbau sekundärer Karbonate kommen, jedoch können diese Verunreinigungen durch eine anschließende Behandlung mit Essigsäure wieder entfernt werden (Pellegrini & Snoeck, 2016; Snoeck & Pellegrini, 2015). Auch Essigsäure kann die Isotopie beeinflussen, doch nach Pellegrini & Snoeck (2016) wäre sekundäres Karbonat ebenso problematisch. Zudem liegen sekundäre Karbonate in archäologischen Proben auch ohne vorhergehende Behandlung mit Natriumhypochlorit vor. Die Behandlungsdauer mit Essigsäure, die nötig ist, um sekundäres Karbonat effizient zu entfernen, ist nach wie vor fraglich. Allerdings konnten Garvie-Lok et al. (2004) zeigen, dass eine Behandlung mit Essigsäure über einen Zeitraum von vier bis 24 h keinen signifikanten Einfluss auf die Isotopie des Karbonats hat. Auch wenn Natriumhypochlorit möglicherweise zur Absorption sekundärer Karbonate führt, kann dieser unerwünschte Nebeneffekt durch die nachfolgende Behandlung mit einem Essigsäure-Puffer kontrolliert werden (Pellegrini & Snoeck, 2016; Snoeck & Pellegrini, 2015).

6.3.2 Abweichung aufgrund von nicht-lokalen Individuen

Sowohl Haithabu als auch Schleswig waren wichtige Handelszentren ihrer Zeit (Kapitel 2.3). Daher könnten einige Individuen des untersuchten Teildatensatzes primär nicht lokal, sondern als Handelsware importiert worden sein. Dies kann zu einer höheren Variabilität in

der Sauerstoffisotopie des Karbonats und Phosphats, sowie in den $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werten führen. Unterschiedliche Orte unterscheiden sich hinsichtlich verschiedener Faktoren, wie z. B. Temperatur oder Humidität, was die Sauerstoffisotopie beeinflussen wird (vgl. Kapitel 6.3.5). Fünf terrestrische Individuen (Katze Hb 104, Schaf Hb 73, Hb 76, Hb 77, Schwein Hb 66), sowie Pottwal Hb 50 werden als bivariate Ausreißer klassifiziert (Kapitel 5.7.2) und aus dem Teildatensatz ausgeschlossen. Der Pottwal wurde bereits zuvor als aus nördlichen Gebieten stammend identifiziert (vgl. auch Becker & Grupe, 2011). Die terrestrischen Ausreißer sind allesamt domestizierte Säuger, die möglicherweise Zuchtlinien aus anderen Orten entstammen und physiologische Variationen auch innerhalb einer Spezies aufweisen können. Diese Variabilität könnte die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von Karbonat und Phosphat, sowie auch die $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte beeinflussen (sh. Kapitel 6.3.3).

Zusätzlich zu den bivariaten Ausreißern (sh. oben) finden sich auch einige univariate Ausreißer in verschiedenen Teildatensätzen. Diese Individuen werden aus den folgenden Gründen als Ausreißer bestimmt:

Individuen, die dieselben $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte aufweisen wie die Mehrheit der untersuchten Individuen, jedoch $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte zeigen, die von denen der übrigen Individuen abweichen, hatten wohl dieselbe Wasserquelle ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$; vgl. Kirsanow & Tuross, 2011), aber unterschiedliche Nahrungsquellen ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$; vgl. Kirsanow & Tuross, 2011). Diese Individuen waren vermutlich lokal, haben jedoch z. T. eine andere Nahrung konsumiert. Doch es könnte dennoch auch nicht-lokale Individuen unter diesen Individuen geben. In diese Gruppe gehören beispielsweise Katze Hb 104, Pferd Hb 85 und Hb 87, Reh Hb 40, Schaf Hb 79, sowie Wildschwein Hb 31.

Individuen mit unterschiedlichen Trinkwasserquellen ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$; vgl. Kirsanow & Tuross, 2011), aber ähnlicher Nahrung ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$; vgl. Kirsanow & Tuross, 2011) sind möglicherweise primär nicht lokal. Dies gilt wohl für den Auerochsen Hb 48, den Hasen S 26 und das Schaf Hb 74. Allerdings können Schafe auch Brackwasser trinken und sich zudem von Seegras ernähren (Balasse et al., 2009). Daher ist es durchaus erklärbar, dass ihre $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte von denen anderer domestizierter Säuger oder Herbivorer im Speziellen abweichen. Die in Haithabu und Schleswig gefundenen Auerochsen waren

andererseits wahrscheinlich lokal, auch wenn Import nicht völlig ausgeschlossen werden kann (Reichstein, 1991). Daher erklärt möglicherweise eine gewisse natürliche Variabilität (vgl. Kirsanow & Tuross, 2011; Sponheimer & Lee-Thorp, 2001) die Ausreißerdetektion im Falle von Auerchse Hb 48 und Schaf Hb 74. Dies ist vielleicht auch der Fall bei Rothirsch Hb 38, der einen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Wert aufweist, der höher ist, und einen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Wert, der niedriger ist, als die jeweilige Mehrheit der wilden Herbivoren.

Manche Individuen (z. B. Damhirsch S 6, Schaf Hb 73, Hb 76, Hb 77, Schwein Hb 66) zeigen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte, die außerhalb der erwarteten Bereiche liegen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass diese Tiere primär nicht lokal waren, sondern von einem anderen Ort importiert wurden. Dies gilt insbesondere für den Damhirsch S 6, da Damhirsche in der Gegend um Haithabu und Schleswig nicht lokal waren, sondern v.a. im späten Schleswig wohl in Parkanlagen gehalten wurden (Heinrich, 1991), wodurch vermutlich ihre Nahrung und auch das Trinkwasser eingeschränkt wurden. Eine lokale Zucht von Damhirschen in den Parks kann aber auch nicht ausgeschlossen werden.

Alle drei genannten Gruppen (Ausreißer in $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, Ausreißer in $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$, Ausreißer in $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$) enthalten möglicherweise nicht-lokale Individuen. Da aber Individuen von anderen Orten eine andere Sauerstoff-Isotopensignatur aufweisen können (vgl. Kapitel 6.3.5), sind diese Individuen als Ausreißer aus den Daten zu entfernen.

Auch wenn manche Individuen des Teildatensatzes nach Haithabu und Schleswig importiert wurden, so scheint die Mehrheit der Individuen doch lokal bzw. von ihrer Sauerstoff-Isotopensignatur her von den eigentlich lokalen Individuen nicht unterscheidbar zu sein. Damit kann ausgeschlossen werden, dass die Abweichung der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte durch nicht-lokale Individuen verursacht wird, v. a. auch weil bivariate Ausreißer vor der statistischen Auswertung entfernt wurden.

6.3.3 Abweichung aufgrund von Unterschieden in Ernährung und Physiologie

In der von Iacumin et al. (1996) publizierte Studie wurden Spezies zusammengefasst, die sich hinsichtlich ihrer Ernährungsweise und Physiologie deutlich unterscheiden. Der Datensatz enthält Herbivore, wie z. B. Rothirsch, Ren und Dromedar, Carnivore (Hunde), sowie

omnivore Säuger (Amerikanischer Schwarzbär, Weißschwanzmanguste). Jedoch konnte für andere Fundplätze bereits gezeigt werden, dass sich herbivore und carnivore Säuger signifikant hinsichtlich ihrer Sauerstoffisotopie unterscheiden (z. B. Sponheimer & Lee-Thorp, 1999; Sponheimer & Lee-Thorp, 2001; White et al., 2004, ; sh. Kapitel 2.1.3.2). Für die Daten aus Haithabu und Schleswig finden sich vor und nach der „sea spray“-Korrektur für herbivore Säuger signifikant niedrigere $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Vergleich zu Carnivoren ($p = 0,022$ (unkorr.), $p = 0,035$ (korr.)) und Omnivoren ($p = 0,005$ (unkorr.), $p = 7,463\text{E-}06$ (korr.)). Der Unterschied zwischen carnivoren und omnivoren Säugern ist vor der „sea spray“-Korrektur nicht signifikant ($p = 0,528$), nach der Korrektur zeigt sich jedoch ein signifikanter Unterschied ($p = 0,007$) mit höheren $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werten bei den omnivoren ($4,4 \text{‰} \pm 0,4 \text{‰}$) im Vergleich zu den carnivoren Säugern ($4,0 \text{‰} \pm 0,5 \text{‰}$).

Der Unterschied in den $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werten zwischen den Ernährungstypen liegt v. a. in dem signifikanten Unterschied bezüglich der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte zwischen herbivoren, carnivoren und omnivoren Säugern begründet. Herbivore Säuger zeigen signifikant höhere $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte als carnivore ($p = 0,010$ (unkorr.), $p = 0,041$ (korr.)) und omnivore Säugern ($p = 1,788\text{E-}05$ (unkorr.), $p = 9,759\text{E-}06$ (korr.)). Diese Ergebnisse stimmen mit denen von Sponheimer & Lee-Thorp (1999) und Sponheimer & Lee-Thorp (2001) überein. Allerdings widersprechen sie den Ergebnissen von White et al. (2004), die feststellten, dass carnivore Säuger signifikant höhere $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte aufweisen als herbivore Säuger.

Die signifikant niedrigeren $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte in den Herbivoren verglichen mit den Carnivoren und Omnivoren können neben grundlegenden metabolischen bzw. physiologischen Unterschieden durch Unterschiede in den Nahrungskomponenten, sowie den Trinkwasserquellen erklärt werden: Primäre Nahrungskomponenten, wie z. B. Kohlenhydrate, sind angereichert mit ^{18}O verglichen mit dem Grundwasser (Schmidt, 1999). Daher erwarten Sponheimer & Lee-Thorp (2001), dass die proteinarme Nahrung von Herbivoren stärker mit ^{18}O angereichert ist als die proteinreiche Nahrung carnivorer Säuger. Zudem sollten Herbivore beispielsweise höhere $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im L-Tyrosin aufweisen als Carnivore (Fronza et al., 2002; Schmidt et al., 2001). Die für Tiere nicht-essentielle Aminosäure L-Tyrosin kann entweder durch Hydroxylierung aus der essentiellen Aminosäure L-Phenylalanin synthetisiert wer-

den oder über Pflanzennahrung aufgenommen werden. Pflanzliches L-Tyrosin wird über Dehydrierung aus Arogensäure gebildet. Da Pflanzen L-Phenylalanin nicht hydroxylieren können, behält Tyrosin das von Erythrose stammende Sauerstoffatom in p-Position, das in ^{18}O angereichert ist. Dieses Sauerstoffatom wurde ursprünglich über einen Gleichgewichtsisotopeneffekt aus Wasser in den Zucker eingebaut. Pflanzliches L-Tyrosin ist daher um ca. 30 ‰ gegenüber dem Isotopenwert des Pflanzenwassers angereichert. Im tierischen L-Tyrosin stammt das Sauerstoffatom in der p-Position hingegen aus atmosphärischem Sauerstoff, der einen $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von etwa 23,5 ‰ (Kroopnick & Craig, 1972) aufweist, und wurde über einen kinetischen Isotopeneffekt eingebaut. Tierisches L-Tyrosin weist damit $\delta^{18}\text{O}$ -Werte zwischen 6 und 30 ‰ auf, in Abhängigkeit davon, in welchem Ausmaß es selbst synthetisiert oder über die Nahrung aufgenommen wurde (Fronza et al., 2002). Ein herbivorer Säuger nimmt also über die Pflanzennahrung stark angereichertes L-Tyrosin auf und kann auch eigenes L-Tyrosin, das einen niedrigeren $\delta^{18}\text{O}$ -Wert aufweist, synthetisieren. Carnivore ernähren sich hingegen von herbivoren Säugern, die bereits eine Mischung aus pflanzlichem und selbst synthetisiertem L-Tyrosin aufweisen. Dies kann einen Einfluss auf die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte von herbivoren und carnivoren Säugern haben. Als weiteres Beispiel sei Glycerin genannt. Pflanzliches Glycerin ist in ^{18}O angereichert im Vergleich zu tierischem Glycerin aufgrund der unterschiedlichen Biosynthese (Roßmann et al., 1998; Schmidt et al., 2001). Während pflanzliches Glycerin von primären Assimilationsprodukten stammt, wird tierisches Glycerin während des Sekundärmetabolismus bzw. im Rahmen verschiedener biochemischer Reaktionen (z. B. Gluconeogenese) gebildet (Roßmann et al., 1998). Auch dieser Unterschied wird möglicherweise in das $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Signal von herbivoren und carnivoren Säugern weitergegeben.

Somit sollten Herbivore höhere $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte aufweisen als Carnivore. Ein Unterschied ist im vorliegenden Datensatz zwar in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten vorhanden, jedoch nicht signifikant.

Weiter sollten sich herbivore und carnivore Säuger hinsichtlich ihrer $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte unterscheiden. Die hauptsächlichen Wasserquellen von Herbivoren (meteorisches Wasser) und Carnivoren (Körperwasser der Beutetiere) sind verschieden. Damit sollten sich auch

die entsprechenden $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte unterscheiden. Die Aufnahme der Körperflüssigkeiten von Beutetieren, insbesondere Blut, führt zu höheren Sauerstoffisotopenwerten im Körperwasser der carnivoren Konsumenten. Das Ausmaß dessen hängt allerdings von der Spezies ab (Pietsch & Tütken, 2016).

Auch Humidität beeinflusst herbivore und carnivore Säuger auf unterschiedliche Weise. Gemäß Kohn (1996) sinkt der Einfluss der Humidität mit zunehmender Trophiestufe ab. Pflanzen werden meist deutlich von Humidität beeinflusst. Ein herbivores Individuum nimmt ca. 30 % seines Sauerstoffs über Pflanzen auf und wird damit stärker von der Humidität beeinflusst als ein carnivores Individuum, das zwar auch etwa 30 % seines Sauerstoffs von der herbivoren Beute erhält, wobei sich dieser aber aus lediglich 9 % (30 % von 30 %) pflanzlichem, durch Humidität direkt beeinflusstem Sauerstoff zusammensetzen (Kohn, 1996).

All diese Faktoren haben v. a. einen Einfluss auf die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte, die sich zwischen den einzelnen Ernährungstypen signifikant unterscheiden. Und dies hat wiederum einen Einfluss auf die $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte, die für den vorliegenden Datensatz in herbivoren Säugern signifikant niedriger sind als in carnivoren (und omnivoren) Säugern. Nach der Korrektur gegen des „sea spray“-Effekt zeigen sich nicht nur nach wie vor signifikante Unterschiede in den $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werten von herbivoren Säugern zu denen von carnivoren bzw. omnivoren Säugern, sondern auch signifikante Unterschiede zwischen carnivoren und omnivoren Säugern ($p = 0,031$). Aufgrund der eher geringen Stichprobenzahl von lediglich 15 omnivoren Säugern im vorliegenden Teildatensatz muss dies jedoch nochmal für eine größere Anzahl an Omnivoren überprüft werden.

Auf Basis der genannten Ergebnisse sollten herbivore, carnivore und omnivore Säuger bei der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ getrennt voneinander untersucht werden.

Iacumin et al. (1996) kombinierten auch wildlebende (z. B. Kaffernbüffel) mit domestizierten Spezies (z. B. Hausrind). Bryant et al. (1996) untersuchten domestizierte Pferde und Steppenzebras zusammen und auch der Datensatz von Pellegrini et al. (2011) enthält sowohl wildlebende als auch domestizierte Säuger.

Wildlebende und domestizierte Spezies können sich jedoch hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ und der Sauerstoffisotopie des Trinkwassers unterscheiden, wie bspw. an Wildschweinen und Hausschweinen gezeigt werden konnte (Longinelli, 1984; Longinelli & Selmo, 2011). Ursächlich hierfür sind wohl unterschiedliche Wasserquellen, sowie Unterschiede in der Stoffwechselrate oder dem Energiehaushalt, was zu unterschiedlichen Sauerstoff-Fraktionierungsfaktoren führen kann (Longinelli & Selmo, 2011).

Der verwendete Teildatensatz zeigt kein eindeutiges Ergebnis bezüglich der Unterschiede zwischen wildlebenden und domestizierten Säugern hinsichtlich ihrer $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte. Vor der Korrektur findet sich noch ein signifikanter Unterschied zwischen den $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werten von wildlebenden und domestizierten Herbivoren ($p = 0,017$), was durch die Korrektur jedoch relativiert wird ($p = 0,186$). Verantwortlich dafür sind sehr wahrscheinlich die trotz Ausreißerentfernung nach wie vor extremen Schafe Hb 78 und Hb 79 im Datensatz, die besonders stark vom „sea spray“-Effekt beeinflusst sind und daher auch deutlich korrigiert werden (vgl. Tabellen A49 und A50). Wildlebende und domestizierte Säuger sollten sich jedoch hinsichtlich ihrer Nahrungs- und Trinkwasserquellen und damit hinsichtlich ihrer $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte unterscheiden. Domestizierte Säuger wurden auf eingezäunten Weiden gehalten und mit Wasser aus nahe gelegenen Bächen oder Tümpeln getränkt. Wildlebende Säuger waren hingegen deutlich mobiler und konnten eine höhere Variabilität an Nahrungs- und Wasserquellen beanspruchen. Wildlebende und domestizierte Herbivore unterscheiden sich im vorliegenden Datensatz vor der „sea spray“-Korrektur signifikant bezüglich ihrer $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte ($p = 0,001$) und sowohl vor als auch nach der Korrektur bezüglich ihrer $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte ($p = 0,017$ (unkorr.), $p = 0,028$ (korr.)). Diese Unterschiede sind vor der „sea spray“-Korrektur noch in den $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werten sichtbar ($p = 0,017$), werden im korrigierten Zustand aber offenbar maskiert ($p = 0,186$), möglicherweise aufgrund von Spezies-spezifischen Unterschieden. Eine Kombination von wildlebenden und domestizierten Arten ist dennoch nicht ratsam, insbesondere, wenn zusätzlich auch noch unterschiedliche Ernährungstypen mit aufgenommen werden (sh. oben).

Auch gras- und laubfressende Herbivore können einen Einfluss auf die $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte haben. Vor der „sea spray“-Korrektur weisen Grasfresser im Vergleich zu Laubfressern signifikant

höhere $\Delta\delta^{18}\text{O}$ - ($p = 0,042$), $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - ($p = 0,029$) und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte ($p = 0,020$) auf. Diese Ergebnisse sind in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Bocherens et al. (1996) ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$) und Kohn et al. (1996) ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$), sie stehen jedoch im Widerspruch zu Sponheimer & Lee-Thorp (1999) bzw. Cerling et al. (1997) ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$), bei denen die Laubfresser signifikant angereichert waren in ^{18}O im Vergleich zu den grasfressenden Herbivoren. Ortsspezifische Unterschiede könnten diese widersprüchlichen Ergebnisse erklären.

Nach der „sea spray“-Korrektur besteht zwischen Gras- und Laubfressern nur noch ein signifikanter Unterschied bezüglich der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte ($p = 0,020$), nicht jedoch bezüglich der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - ($p = 0,408$) bzw. $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte ($p = 0,122$). Interessanterweise zeigen Grasfresser nach der Korrektur geringfügig (nicht-signifikant) niedrigere $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte (Grasfresser: $3,6 \text{ ‰} \pm 0,4 \text{ ‰}$; Laubfresser: $3,9 \text{ ‰} \pm 0,4 \text{ ‰}$).

Unterschiede zwischen Gras- und Laubfressern lassen sich in einer von C_4 -Gras dominierten Umgebung (vgl. Bocherens et al., 1996; Kohn et al., 1996; Sponheimer & Lee-Thorp, 1999) primär durch Unterschiede zwischen C_3 - und C_4 -Pflanzen erklären. Während Laubfresser C_3 -Pflanzen konsumieren, ernähren sich Grasfresser in solchen Gebieten v. a. von C_4 -Gräsern. C_3 - und C_4 -Pflanzen weisen jedoch einen Unterschied im Bezug auf ihre $\delta^{18}\text{O}$ -Werte auf (Silva et al., 2015; Sternberg & DeNiro, 1983a). Ein solcher Unterschied müsste sich in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten der Herbivoren übertragen. Der relativ große Unterschied zwischen C_3 - und C_4 - $\delta^{18}\text{O}$ -Werten von über 10 ‰ (vgl. Sternberg et al., 1984) sollte zu einer Trennung von Gras- und Laubfressern führen. Dies ist allerdings in einer reinen C_3 -Umgebung so nicht zu erwarten. Tatsächlich verschwindet die Signifikanz zwischen den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten von Laub- und Grasfressern ($p = 0,029$ (unkorr.)) durch die „sea spray“-Korrektur ($p = 0,408$ (korr.)).

Der Unterschied von Gras- und Laubfressern kann jedoch auch durch das Trinkverhalten bzw. die Thermoregulation der einzelnen Individuen erklärt werden. In ariden Klimazonen (vgl. Bocherens et al., 1996; Kohn et al., 1996; Sponheimer & Lee-Thorp, 1999; Sponheimer & Lee-Thorp, 2001) unterscheiden sich obligate Trinker wohl deutlicher von trockenheitstoleranten Tieren als in gemäßigten Klimazonen (vgl. Haithabu, Schleswig). Grasfressende

Tiere sind oft obligate Trinker. Dies kann, insbesondere in ariden Ökosystemen, durch das ausgedörrte Gras während der Dürresaison erklärt werden. Laubfresser hingegen sind üblicherweise weniger von Trinkwasser abhängig, da Laubpflanzen über alle Jahreszeiten hinweg ihr Blattwasser behalten (Cerling et al., 1997; Sponheimer & Lee-Thorp, 1999). Dies ist zwar nicht auf alle Gras- und Laubfresser allgemein anwendbar (vgl. Ambrose, 1991), jedoch sind in ariden Klimazonen größere Unterschiede zwischen diesen beiden Gruppen zu erwarten. Dies wiederum hat einen Einfluss auf die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte der herbivoren Säuger. Tatsächlich findet sich auch ein signifikanter Unterschied in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten der gras- bzw. laubfressenden Herbivoren aus Haithabu und Schleswig ($p = 0,020$ (unkorr./korr.)).

Auch wenn der festgestellte Unterschied zwischen Gras- und Laubfressern relativ gering ist, so kann sich dies dennoch auch auf die $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte auswirken. Iacumin et al. (1996) und Pellegrini et al. (2011) untersuchten allerdings Grasfresser (z. B. Schaf) und Laubfresser (z. B. Alpensteinbock) zusammen. Dies könnte den Zusammenhang zwischen den Sauerstoff-Isotopenwerten aus Karbonat und Phosphat beeinflusst haben. Da jedoch die Stichprobengröße der Laubfresser ($n = 9$) im vorliegenden Teildatensatz sehr gering ist, muss dies mit einer größeren Stichprobe noch genauer untersucht werden.

Auffällig ist nun aber, dass die Grasfresser gegenüber den Laubfressern vor der „sea spray“-Korrektur signifikant höhere $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte aufweisen, wohingegen sie nach der Korrektur tendenziell (nicht-signifikant) niedrigere $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte zeigen. Ursächlich für diese Verschiebung ist eine durchaus stärkere Korrektur der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte der Grasfresser im Vergleich zu den Laubfressern, die in dem höheren Einfluss des „sea spray“-Effektes auf grasfressende Herbivore zurückzuführen ist. Umgekehrt scheinen die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte der Laubfresser des Datensatzes weniger stark vom „sea spray“-Effekt beeinflusst worden zu sein. Eine mögliche Erklärung wäre das unterschiedliche Habitat von Gras- und Laubfressern. Laubfresser (hier: Elch, Reh) halten sich einen Großteil des Tages im Wald auf, wo sie vom „sea spray“-Effekt aufgrund der abschirmenden Bäume vermutlich weniger stark beeinflusst werden als grasfressende Herbivore, wie z. B. Schafe, die überwiegend auf offenen Flächen weiden (vgl. auch Kapitel 6.2.1). Damit führt die Korrektur gegen den

„sea spray“-Effekt im Falle der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte zu einer deutlich stärkeren Korrektur der Isotopenwerte der Grasfresser im Vergleich zu jenen der Laubfresser. Bei nach wie vor signifikant höheren $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten in grasfressenden Herbivoren kommt es zu einer Verringerung in den $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werten, die für Grasfresser stärker ausfällt als für Laubfresser, da sie höhere (unkorrigierte) Isotopenwerte aufweisen.

Unter diesem Gesichtspunkt erscheint der ursprüngliche, signifikante Unterschied bezüglich der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte als ein durch den „sea spray“-Effekt verursachtes Artefakt. Dafür spricht auch die reine C_3 -Umgebung im damaligen Haithabu und Schleswig.

Die beiden laubfressenden Spezies des Teildatensatzes, Elch und Reh, werden überdies dem Wiederkäuer-Typ CS zugewiesen, sodass Unterschiede zwischen Gras- und Laubfressern evtl. durch Unterschiede im Sauerstoffisotopensignal der unterschiedlichen Wiederkäuer-Typen (GR = Gras- und Rauhfutterfresser, CS = Konzentratsselektierer, IM = Intermediärer Typ; vgl. Hofmann, 1989) zu erklären sind.

Es finden sich signifikante Unterschiede in den $\delta^{18}\text{O}$ - und $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werten zwischen den drei Wiederkäuer-Typen. Wiederkäuer des GR-Typs sind signifikant verschieden von denen des CS- bzw. IM-Typs im Hinblick auf $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (GR vs. CS: $p = 3,900\text{E-}04$ (unkorr.), GR vs. IM: $p = 3,856\text{E-}04$ (unkorr.), $p = 0,002$ (korr.)), sowie $\Delta\delta^{18}\text{O}$ (GR vs. CS: $p = 0,002$ (unkorr.), $p = 0,025$ (korr.), GR vs. IM: $p = 0,007$ (unkorr.)) Bezüglich der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte findet sich nur zwischen Individuen des GR- und IM-Typs ein signifikanter Unterschied ($p = 1,224\text{E-}04$ (unkorr./korr.)). Individuen des CS- und des IM-Typs zeigen keine signifikanten Unterschiede bezüglich ihrer Sauerstoffisotopie.

Wie bereits für die Gras- und Laubfresser sind die $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte des GR-Typs vor der „sea spray“-Korrektur signifikant höher als diejenigen des CS-Typs, wohingegen sie nach der Korrektur signifikant niedriger sind. Parallel dazu zeigt sich für die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte keine Signifikanz mehr, während sich in Individuen des GR-Typs vor der Korrektur signifikant höhere $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte finden als in Individuen des CS-Typs.

Es wird zunächst der unkorrigierte Fall genauer betrachtet: Der signifikante Unterschied zwischen Wiederkäuern des GR- und des CS-Typs kann möglicherweise durch unterschiedliche Nahrungskomponenten erklärt werden, insbesondere durch eine Ernährung reich an

Pflanzenfasern im Falle von Gras- und Rauhfutterfressern (GR).

Wiederkäuer des CS-Typs unterscheiden sich von denen des GR-Typs in allen physiologisch essentiellen Teilen des Verdauungssystems (Hofmann, 1991; Hofmann, 1989; Hofmann & Stewart, 1972). Individuen des GR-Typs sind in der Lage pflanzliche Cellulose zu verdauen, während der CS-Typ sich von leichter verdaulicher Nahrung ernährt. Der IM-Typ ist relativ opportunistisch (Hofmann, 1991; Hofmann, 1989; Hofmann & Stewart, 1972). Da die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von z. B. Cellulose und Hemicellulosen gegenüber (Pflanzen-)Wasser angereichert sind (Epstein et al., 1977; Sternberg et al., 2006; Sternberg, 1989; Sternberg & DeNiro, 1983b; Tuthorn et al., 2014; Zech et al., 2014), sollte das Gewebe eines Individuums, das faserreiche Nahrung konsumiert, in ^{18}O angereichert sein verglichen mit einem Individuum, das andere Pflanzenteile frisst. Durch die Verdauung von Cellulose im Pansen wird das angereicherte Sauerstoffsignal z. B. durch Glykolyse in das Körperwasser geleitet (Baldwin & Allison, 1983; Weimer et al., 2009). Der Sauerstoff des Knochenkarbonats stammt, wie bereits erwähnt, aus dem Blut-Bikarbonat und wird also durch den Energiestoffwechsel generiert (Cerling et al., 1997; Gannes et al., 1998; Sullivan & Krueger, 1981). Die Verdauung von Kohlenhydraten hat einen Einfluss auf das Sauerstoffisotopensignal eines Wiederkäuers. Da $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ v. a. durch die Zusammensetzung der Nahrung beeinflusst wird, wohingegen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ eher von dem $\delta^{18}\text{O}$ -Wert des Trinkwassers abhängt (Kirsanow & Tuross, 2011), ist ein größerer Einfluss auf die Sauerstoffisotopenwerten im Karbonat im Vergleich zum Phosphat zu erwarten.

Ein weiterer, physiologischer Unterschied zwischen Individuen des GR- und des CS-Typs besteht darin, dass Wiederkäuer des CS-Typs Speichelproteine bilden können, die mit pflanzlichen Abwehrstoffen, wie z. B. Polyphenolen/Tanninen oder Terpenen, Komplexverbindungen eingehen können. Dadurch wird der Verdauungstrakt vor den teils toxischen Stoffen geschützt. Individuen des GR-Typs können diese Speichelproteine nicht (oder in nur geringem Maße) bilden („Polyphenol-Bremse“), weshalb sie üblicherweise empfindlich auf die toxischen Tannine reagieren und Tannin-reiche Pflanzen nicht konsumieren (können) (Hofmann, 1991). Man unterscheidet hydrolysierbare Tannine (Polyester der Gallussäure) und kondensierte Tannine (Polymere von Flavonoiden). Das Tanninmolekül

weist freie Hydroxylgruppen auf, die angegriffen werden können (McSweeney et al., 2001). Der Sauerstoff in den Hydroxylgruppen der Gallussäure sind laut Werner et al. (2004) um 32,3 ‰ gegenüber Blattwasser angereichert. Zwischen den freien Hydroxylgruppen der Tannine und dem Körperwasser der Wiederkäuer kann ein Isotopenaustausch erfolgen. Dies resultiert in einem erhöhten Sauerstoffisotopensignals des Wiederkäuers. Dasselbe gilt auch für den Abbau von Tanninen im Wiederkäuerpansen. Pansenbakterien (z. B. *Selenomonas ruminantium* und *Streptococcus* spp.) produziere eine Esterase (Tannin-Acylhydrolase), die die Esterverbindungen in den Tanninen zerstören, wodurch Gallussäure entsteht (Nelson et al., 1998; Nelson et al., 1995; Osawa & Walsh, 1993; Skene & Brooker, 1995). Es folgt dann eine Dekarboxylierung der Gallussäure zu Pyrogallol, das in Resorcinol und Phloroglucinol umgewandelt wird. Der Phloroglucinol-Ring wird abschließend aufgebrochen. Es entstehen Acetat und Butyrat. Hieran beteiligte Pansenbakterien sind z. B. *Eubacterium oxidoreducens*, *Streptococcus bovis*, *Synthropococcus sucromutans* und *Coprococcus* sp. (z. B. Krumholz & Bryant, 1986a; Krumholz & Bryant, 1986b; Murdiati et al., 1992). Da die Sauerstoffatome in den Tanninen bzw. deren Metaboliten sogar etwas stärker gegenüber Blattwasser angereichert sind als Cellulose (ca. 32 ‰ vs. ca. 27 ‰; vgl. Epstein et al., 1977; Sternberg et al., 2006; Sternberg, 1989; Sternberg & DeNiro, 1983b; Tuthorn et al., 2014; Werner et al., 2004; Zech et al., 2014) sollte das Tannin-Signal zu ähnlich hohen (wenn nicht sogar höheren) $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten (und folglich $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werten) in den Wiederkäuern des CS-Typs führen wie im Falle Cellulose-verdauender Individuen des GR-Typs. Allerdings ist die Aufnahmemenge an Cellulose im GR-Typ sicherlich deutlich höher als die Aufnahme von Tanninen im CS-Typ, sodass das Tannin-Signal möglicherweise im Vergleich eher abgeschwächt ist.

Nach der „sea spray“-Korrektur finden sich $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte von $-10,46 \text{ ‰} \pm 0,35 \text{ ‰}$ (GR) bzw. $-10,53 \text{ ‰} \pm 0,23 \text{ ‰}$ (CS) und $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte von $3,51 \text{ ‰} \pm 0,33 \text{ ‰}$ (GR) bzw. $3,90 \text{ ‰} \pm 0,39 \text{ ‰}$ (CS). Die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte sind nach der Korrektur (GR: $16,62 \text{ ‰} \pm 0,33 \text{ ‰}$; CS: $16,16 \text{ ‰} \pm 0,26 \text{ ‰}$) auch ähnlicher als vor der Korrektur (GR: $17,40 \text{ ‰} \pm 0,50 \text{ ‰}$; CS: $16,73 \text{ ‰} \pm 0,38 \text{ ‰}$). Ein möglicher, etwa gleich starker Einfluss von Cellulose- (GR), sowie Tannin-Signal (CS) wäre hier denkbar.

Neben der nach wie vor geringeren „sea spray“-Korrektur im Falle der Individuen des CS-Typs (\cong Laubfresser) aufgrund eines vermutlich schwächeren „sea spray“-Einflusses bzw. eines möglichen Baldachin-Effektes (sh. oben), wäre es auch denkbar, dass sich hier der Einfluss faserreicher Nahrung, der wie der „sea spray“-Effekt zu einer Anreicherung in ^{18}O führt, mit dem „sea spray“-Signal vermischt. Eine Trennung dieser beiden Einflüsse ist mit dem momentanen Kenntnisstand nicht möglich. Folglich sind die Individuen des GR-Typs hinsichtlich ihrer $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte eventuell zu stark korrigiert worden. Das könnte so natürlich auch für die Gruppe der Grasfresser insgesamt gelten, jedoch weniger deutlich, da diese Gruppe auch Individuen des IM-Typs mit vergleichsweise niedrigen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten enthält. Die konsequenterweise signifikant höheren (unkorrigierten) bzw. niedrigeren (korrigierten) $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte in Wiederkäuern des GR-Typs im Vergleich zu Individuen des CS-Typs bedürfen einer weiteren Überprüfung. Dies gilt insbesondere hinsichtlich der recht geringen Stichprobenzahl aller Teilgruppen.

Was bleibt, ist die Feststellung, dass physiologische Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Wiederkäuer-Typen demnach die $\delta^{18}\text{O}$ - und damit auch die $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Knochen beeinflussen können.

Die Ernährungs-spezifischen (Herbivore, Carnivore, Omnivore, Grasfresser, Laubfresser, Wiederkäuer-Typen) und Habitats-spezifischen (wildlebend, domestiziert) Unterschiede werden auch auf der Spezies-Ebene sichtbar (Abbildung 53). Auch die z. T. auftretende Verschiebung der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte durch die „sea spray“-Korrektur ist erkennbar. Grasfressende Herbivore (Hase/Kaninchen, Rothirsch, Rind, Pferd) zeigen vor der Korrektur höhere $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte als laubfressende Rehe. Nach der „sea spray“-Korrektur zeigen Hasen/Kaninchen bzw. Rehe etwas höhere $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte als Rothirsche, Pferde und Rinder. Dies könnte mit einem vor dem „sea spray“ besser geschützten Habitat im Falle der Rehe erklärt werden, wodurch sie weniger stark gegen „sea spray“ korrigiert werden als andere Spezies. Hasen und Kaninchen zeigen vor der „sea spray“-Korrektur bereits sehr hohe Werte im Vergleich zu den anderen Herbivoren.

In der Spezies-Auswahl werden alle drei Wiederkäuer-Typen repräsentiert: GR-Typ (Rind), CS-Typ (Reh) und IM-Typ (Rothirsch). Vor und nach der Korrektur findet sich der

Unterschied zwischen Individuen des GR- und des CS- bzw. IM-Typs wieder. Wie schon zuvor zeigen Wiederkäuer des GR-Typs vor der Korrektur höhere $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte und nach der Korrektur niedrigere Werte als Individuen des CS-Typs (vgl. oben).

Ein Unterschied zwischen domestizierten und wildlebenden, herbivoren Arten ist auf Spezies-Ebene, wie auch insgesamt (sh. oben), kaum erkennbar. Dies gilt insbesondere nach der „sea spray“-Korrektur (Abbildung 53(b)). Rotfuchs ($7,0\text{‰} \pm 0,7\text{‰}$) und Hund ($6,1\text{‰} \pm 0,9\text{‰}$) unterscheiden sich vor der „sea spray“-Korrektur noch geringfügig bezüglich ihrer $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte. Nach der Korrektur sind sie jedoch beinahe identisch (Rotfuchse: $4,0\text{‰} \pm 0,4\text{‰}$; Hunde: $4,2\text{‰} \pm 0,5\text{‰}$; Abbildung 53(b)). Es wären allerdings Unterschiede zu erwarten, zumindest aufgrund unterschiedlicher Trinkwasserquellen. Die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte beider Spezies (Rotfuchse: $16,9\text{‰} \pm 0,9\text{‰}$ (unkorr.), $16,3\text{‰} \pm 0,6\text{‰}$ (korr.); Hunde: $16,3\text{‰} \pm 0,6\text{‰}$ (unkorr.), $15,8\text{‰} \pm 0,4\text{‰}$ (korr.)) unterscheiden sich jedoch, wie auch die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte (Rotfuchse: $-20,5\text{‰} \pm 0,8\text{‰}$ (unkorr.), $-10,3\text{‰} \pm 0,6\text{‰}$ (korr.); Hunde: $-19,7\text{‰} \pm 1,2\text{‰}$ (unkorr.), $-10,6\text{‰} \pm 0,2\text{‰}$ (korr.)) nur minimal. Auch zwischen Wildschweinen und Hausschweinen gibt es vor (Wildschweine: $6,8\text{‰} \pm 0,8\text{‰}$; Hausschweine: $6,5\text{‰} \pm 0,6\text{‰}$) und nach der „sea spray“-Korrektur (Wildschweine: $4,3\text{‰} \pm 0,2\text{‰}$; Hausschweine: $4,3\text{‰} \pm 0,6\text{‰}$) kaum Unterschiede bezüglich $\Delta\delta^{18}\text{O}$. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu den Ergebnissen von Longinelli & Selmo (2011), die hinsichtlich der Fraktionierung zwischen Blutwasser und Knochenphosphat Unterschiede zwischen Wild- und Hausschweinen feststellten. Dies könnte jedoch mit der geringen Zahl von Wildschweinen ($n = 6$) bzw. Hausschweinen ($n = 8$) in der vorliegenden Studie zusammenhängen.

Verschiedene Einflussfaktoren (Nahrung, Trinkwasser, Physiologie, Habitat, „sea spray“) erschweren die Detektion Spezies-spezifischer Unterschiede. Jedoch ist zu erwarten, dass sich selbst Individuen zweier Spezies, die im selben Habitat leben, dieselbe Nahrung konsumieren und aus derselben Wasserquelle trinken, aufgrund von physiologischen Unterschieden hinsichtlich ihrer Sauerstoffisotopie unterscheiden. Um eine genauere Aussage darüber treffen zu können, muss jedoch eine größere Anzahl von Individuen je Spezies untersucht werden. Doch bereits die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit deuten an, dass

eine Kombination unterschiedlicher Spezies zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ bzw. der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte mit Vorsicht zu betrachten ist. Dies gilt umso mehr, wenn sich die Spezies zusätzlich hinsichtlich ihrer Ernährung, ihres Habitats oder ihrer grundlegenden Physiologie unterscheiden.

6.3.4 Abweichung aufgrund von Unterschieden im Habitat

Unterscheidet man nur zwischen terrestrischen und marinen Säugern, so liegt der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wert zunächst bei relativ ähnlichen 6,1 ‰ ($\pm 0,8$ ‰, terrestrisch) bzw. 5,9 ‰ ($\pm 1,3$ ‰, marin). Wird allerdings die „sea spray“-Korrektur berücksichtigt, so wird der durchschnittliche $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wert der terrestrischen Säuger auf 3,9 ‰ ($\pm 0,5$ ‰) reduziert und liegt damit deutlich unter dem der marinen Säuger.

Es ist prinzipiell zu erwarten, dass sich marine und terrestrische Säuger hinsichtlich ihrer Sauerstoffisotopenverhältnisse im Karbonat, sowie im Phosphat deutlich unterscheiden. Marine Säuger sollten höhere $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte aufweisen (vgl. Kapitel 5.3.1). Jedoch wird vor der „sea spray“-Korrektur sichtbar, dass insbesondere die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte der terrestrischen Säuger z. T. deutlich erhöht sind gegenüber den weniger stark vom „sea spray“ beeinflussten $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten (vgl. Kapitel 5.3.1). Dadurch ergeben sich erhöhte $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte. Durch die verstärkte Korrektur der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte (62,8 ‰) im Vergleich zu den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten (13,9 ‰; vgl. Kapitel 5.3.1), verschieben sich notwendigerweise auch die $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte (vgl. Kapitel 6.3.6). Vor der „sea spray“-Korrektur weisen terrestrische Säuger z. T. deutlich höhere $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - ($-7,9$ ‰ $\pm 1,0$ ‰) und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte ($22,8$ ‰ $\pm 1,0$ ‰) auf als die marinen Säuger ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$: $-8,9$ ‰ $\pm 1,0$ ‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$: $15,9$ ‰ $\pm 0,9$ ‰). Durch die Korrektur verschieben sich die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte der terrestrischen Säuger auf $-10,6$ ‰ $\pm 0,1$ ‰ und liegen damit unter den entsprechenden Werten der marinen Säuger. Die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte der terrestrischen Säuger sind jedoch auch nach der Korrektur mit $16,2$ ‰ $\pm 0,5$ ‰ noch etwas positiver als diejenigen der marinen Säuger. Während die $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte terrestrischer und mariner Säuger vor der „sea spray“-Korrektur nicht signifikant voneinander verschieden sind ($p = 0,518$), findet sich nach der Korrektur ein signifikanter Unterschied bezüglich der

$\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte ($p = 0,0001$). Sowohl vor als auch nach der „sea spray“-Korrektur zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen terrestrischen und marinen Säugern hinsichtlich ihrer $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte ($p = 0,023$ (unkorr.), $p = 5,091\text{E-}05$). Auffällig ist jedoch, dass sich die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte terrestrischer und mariner Säuger vor der Korrektur signifikant unterscheiden ($p = 0,034$), nicht jedoch nach der Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt ($p = 0,2331$).

Für marine Säuger gilt prinzipiell die Regel „Du bist, worin du schwimmst“ („You are what you swim in“; Hobson, 1999). Marine Säuger nehmen Wasser primär über ihre Nahrung auf (Newsome et al., 2010), die wiederum üblicherweise große Mengen an Wasser enthält (ca. 70 % - 90 % der Körpermasse; Suzuki & Ortiz, 2016). Da die Beute mariner Säuger (z. B. Fische) die Sauerstoffisotopie des Habitats widerspiegelt (vgl. Grupe et al., 2009), sollten auch marine Säuger bezüglich ihrer $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte etwa das Meerwasser abbilden (vgl. Newsome et al., 2010). Durch die Aufnahme von Nahrungswasser bzw. metabolischem Wasser kommt es Newsome et al. (2010) zufolge zu einer lediglich sehr geringen Fraktionierung, sodass das Körperwasser nahe am Meerwasserwert liegt, nur leicht angereichert mit ^{18}O aufgrund des metabolischen Wassers, das durch Oxidation der Nahrung entsteht (Newsome et al., 2010). Der Meerwasser-Wert beträgt etwa 20 ‰ (Longinelli et al., 1976). Für die Ostsee als Brackwassergebiet mit folglich niedrigerer Salinität ist ein (etwas) niedrigeres Sauerstoffisotopensignal zu erwarten. Die $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte der marinen bzw. terrestrischen Säuger sind nach erfolgter „sea spray“-Korrektur deutlich verschieden, was durch unterschiedliche $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - (Nahrung) bzw. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte (Trinkwasser; vgl. Kapitel 6.3.6) erklärbar wäre. Die Ernährungsweise der beiden Gruppen ist deutlich verschieden, was sich in signifikant verschiedenen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten widerspiegelt. Die große Ähnlichkeit korrigierter $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte terrestrischer Säuger und derjenigen mariner Säuger ist zunächst überraschend, da die primären Wasserquellen, die von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ widergespiegelt werden (vgl. Kirsanow & Tuross, 2011), prinzipiell verschieden sind. Wenn man jedoch davon ausgeht, dass marine Säuger gewisse Mengen an Süßwasser aufnehmen, z. B. in Form eines Süßwasserfilms direkt nach einem Niederschlag oder in Form von Schnee bzw. Eis (vgl. Renouf et al., 1990; Suzuki & Ortiz, 2016), und

dass dieser Süßwasseranteil in den untersuchten Individuen höher war als der üblicherweise eher geringe Anteil an zufällig mit der Nahrung aufgenommenem oder auch intentional konsumiertem Salzwasser (vgl. Suzuki & Ortiz, 2016), so wäre eine gewisse Ähnlichkeit bezüglich der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte terrestrischer und mariner Säuger zu erwarten. Da jedoch eine Vielzahl verschiedenster Spezies in die Gruppe der terrestrischen Säuger eingeteilt werden, ist dies nicht sicher nachweisbar. Die fehlende Signifikanz ist möglicherweise auch das Resultat individueller Unterschiede innerhalb der terrestrischen Säuger (sh. Kapitel 6.3.3). Die relativ geringe Stichprobenzahl der marinen Säuger ($n = 6$) erlaubt hier zudem keine abschließende Beurteilung. Eine größere Anzahl mariner Säuger ist notwendig, um die Unterschiede zwischen terrestrischen und marinen Säugern näher zu untersuchen.

Der bereits gezeigte Unterschied zwischen Individuen mit unterschiedlicher Ernährungsweise (herbivor, carnivor, omnivor; Kapitel 6.3.3) sollte bei einem Vergleich von marinen (piscivoren) Säugern mit terrestrischen carnivoren Säugern keine Rolle spielen, bis auf einen gewissen Unterschied durch die fettreichen Fische in der Nahrung der marinen Säuger, die nur einen kleinen Teil der Nahrung eines typischen terrestrischen Carnivoren ausmachen konnten (Fischreste). Verbleibende Unterschiede sind daher in erster Linie durch das unterschiedliche Habitat (terrestrisch vs. marin) zu erklären. Die terrestrischen, carnivoren Säuger zeigen vor der „sea spray“-Korrektur im Vergleich zu den piscivoren marinen Säugern ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} = -8,8 \text{ ‰} \pm 0,9 \text{ ‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}} = 16,0 \text{ ‰} \pm 1,0 \text{ ‰}$) relativ erhöhte $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - ($-7,7 \text{ ‰} \pm 1,1 \text{ ‰}$) und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte ($16,6 \text{ ‰} \pm 0,7 \text{ ‰}$), was auch in höheren $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werten ($6,4 \text{ ‰} \pm 0,9 \text{ ‰}$) als bei den marinen Säugern ($5,8 \text{ ‰} \pm 1,5 \text{ ‰}$) resultiert (Tabelle A103). Die Anreicherung in ^{18}O in den terrestrischen Carnivoren lässt sich wohl durch den „sea spray“-Effekt erklären. Nach der Korrektur der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - ($-10,3 \text{ ‰} \pm 1,0 \text{ ‰}$), sowie der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte ($15,1 \text{ ‰} \pm 0,1 \text{ ‰}$), liegen nicht nur die Isotopenwerte der beiden Sauerstoffisotopensysteme unterhalb der entsprechenden Werte der marinen Säuger, sondern auch die $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte ($5,1 \text{ ‰} \pm 1,0 \text{ ‰}$).

Der durch das marine Habitat verursachte Einfluss auf die Sauerstoffisotopie ist eher gering. Die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte der beiden Gruppen unterscheiden sich (nach der „sea spray“-Korrektur) um ca. 1 ‰, der Unterschied in den $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werten liegt

bei $< 1 \text{ ‰}$. Der geringe Unterschied zwischen dem marinen und terrestrischen System liegt möglicherweise in dem Brackwasser-Habitat der marinen Säuger begründet. Durch die geringere Salinität sind für die marinen Säuger durchaus niedrigere $\delta^{18}\text{O}$ -Werte zu erwarten als dies für marine Säuger (bspw. im Atlantik) der Fall wäre. Ein möglicher Einflussfaktor sind auch die Seehunde, die durch ihren Aufenthalt und das Jagen in Flüssen bzw. Flussmündungen (Reichstein, 1974; Reichstein, 1991) eine Richtung Süßwasser verschobene Isotopensignatur aufweisen können. Tatsächlich ergibt sich ohne die beiden im Teildatensatz enthaltenen Seehunde Hb 23 und Hb 26 ein mariner $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wert von $6,5 \text{ ‰}$ ($\pm 1,6 \text{ ‰}$; $n = 3$). Dieser Wert ist im Mittel um $1,4 \text{ ‰}$ höher als der der terrestrischen Carnivoren. Aufgrund der sehr geringen Stichprobenzahl der marinen Säuger muss dies jedoch mit Vorsicht betrachtet werden. Es bleibt festzuhalten, dass nach der „sea spray“-Korrektur ein zwar relativ geringer, aber doch bemerkbarer Unterschied zwischen terrestrischen und marinen Habitaten hinsichtlich der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte besteht. Damit sollte der Zusammenhang zwischen Sauerstoffisotopen aus dem Karbonat und Phosphat von terrestrischen und marinen Individuen nicht zusammen untersucht werden. Hier sind allerdings aufgrund der geringen Anzahl an marinen Säugern im vorliegenden Teildatensatz weitere Untersuchungen nötig.

6.3.5 Abweichung aufgrund von klimatischen Unterschieden

Neben physiologischen Unterschieden können auch klimatische Unterschiede einen Einfluss auf den Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ haben. Die Mehrheit der in anderen Publikationen untersuchten Spezies, die $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte von etwa 9 ‰ aufweisen, stammt aus einer Vielzahl von Orten, die zumeist außerhalb von Mitteleuropa liegen. Afrikanische Spezies, wie Steppenzebra und Flusspferd (vgl. Bryant et al., 1996; Zazzo et al., 2004a), oder Nashörner aus Thailand (vgl. Martin et al., 2008) leben in einem anderen Ökosystem als Individuen aus Haithabu und Schleswig. Das Vermischen von Individuen aus ganz unterschiedlichen Klimazonen könnte zu einer Variabilität in den $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werten führen. Iacumin et al. (1996) untersuchten zwölf verschiedene Säugerarten aus der ganzen Welt (Alaska, Deutschland, Italien, Kamerun, Elfenbeinküste, Mauretanien, Neuseeland,

Norwegen, Russland). Die Wertespanne in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten lag zwischen 13,2 ‰ und 35,4 ‰ ($\Delta = 22,2$ ‰). Auch die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte streuten über einen großen Wertebereich (4,8 ‰ - 25,4 ‰, $\Delta = 20,6$ ‰). Entsprechend resultieren daraus $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte zwischen 7,5 ‰ und 10,6 ‰ (Iacumin et al., 1996).

Auch saisonale Veränderungen im Bezug auf z. B. Temperatur oder Humidität könnte die Sauerstoffisotopie des Karbonats und Phosphats beeinflussen. Pellegrini et al. (2011) untersuchten sequentielle Zahnschmelzproben von Wildeseln und Rothirschen, die die saisonalen Schwankungen widerspiegeln. Die sich ergebenden $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte zeigten eine starke Variabilität von bis zu 2,1 ‰ in einem einzelnen Individuum. Dies ist wahrscheinlich mit saisonalen Veränderungen in der Temperatur, sowie dem Niederschlag zu erklären. Veränderungen in der Temperatur oder auch der Humidität beeinflussen das Sauerstoffisotopensignal im Knochenkarbonat und -phosphat allerdings nicht gleichermaßen (vgl. Kapitel 6.3.6). Daher sollte auch der Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ in Abhängigkeit vom Klima variieren. In der Untersuchung von Pellegrini et al. (2011) zeigt sich beispielsweise, dass die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte sensibler gegenüber saisonalen Schwankungen sind als die korrespondierenden $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte. Dies äußert sich in einer größeren Wertespanne für die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte in den einzelnen Individuen (vgl. Pellegrini et al., 2011). Ursächlich hierfür ist wahrscheinlich die starke Beeinflussung der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte durch die Sauerstoff-Isotopenzusammensetzung des (meteorischen) Trinkwassers, die wiederum aufgrund von Evaporation und Niederschlag direkt durch saisonale Schwankungen beeinflusst wird.

Folglich resultiert die Analyse von Tieren aus unterschiedlichen Umgebungen mit unterschiedlicher Temperatur und Humidität wahrscheinlich in einer Vermischung verschiedener $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte und ist damit nicht ratsam.

6.3.6 Abweichung aufgrund von Unterschieden zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$

Obwohl die Sauerstoff-Isotopenzusammensetzung von Karbonat und Phosphat jeweils von der Isotopensignatur des Körperwassers abhängt (Bryant et al., 1996; Iacumin et al., 1996;

Longinelli, 1984; Luz & Kolodny, 1985; Luz et al., 1984), sind die primären Quellen doch verschieden. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ hängt, wie bereits mehrfach erwähnt, v. a. mit der Sauerstoff-Isotopenzusammensetzung der aufgenommenen Nahrung zusammen, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ hingegen spiegelt in erster Linie das Sauerstoffisotopensignal des aufgenommenen Trinkwassers wider (Kirsanow & Tuross, 2011).

Durch Oxidation metabolischer Substrate (Kohlenhydrate, Fette, Proteine) entsteht metabolisches Wasser, sowie Kohlendioxid (vgl. Bryant & Froelich, 1995; Green et al., 2018). Das hierbei produzierte Kohlendioxid ist mit ^{18}O angereichert und steht mit dem Körperwasser in einem isotopischen Gleichgewicht (Longinelli & Peretti Padalino, 1980). Unterschiedliche Nahrungsquellen beeinflussen damit die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte auf unterschiedliche Weise.

Auch das Trinkwasser beeinflusst die Sauerstoff-Isotopenzusammensetzung des Körpers deutlich (ca. 56 ‰; Podlesak et al., 2008). Hiervon sind, wie bereits erwähnt, v. a. die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte betroffen. Dies führt daher wahrscheinlich zu verschobenen $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werten, wenn das Isotopensignal des Trinkwassers zwischen verschiedenen Fundorten variiert. Allerdings können auch die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte von Tieren desselben Gebietes um 10 ‰ oder mehr variieren (Sponheimer & Lee-Thorp, 2001). Faktoren, die einen Einfluss auf den $\delta^{18}\text{O}$ -Wert des meteorischen Wassers haben, wie z. B. Temperatur und Humidität, beeinflussen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ stärker als $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$. Damit sind die absoluten Veränderungen in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten bei Veränderungen von Umweltsbedingungen oder Nahrungszusammensetzung nicht identisch. Dies wiederum führt zu einer Variabilität im linearen Modell für den Zusammenhang zwischen den beiden Isotopensystemen, sowie in den $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werten. Im vorliegenden Fall führt eine Erhöhung der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte um 1 ‰ nicht zu einer ebenso starken (oder ähnlich starken) Erhöhung der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte, wie es ein Steigungsparameter von etwa 1 in anderen Studien zeigte (z. B. Bryant et al., 1996; Iacumin et al., 1996; Pellegrini et al., 2011). Der Zusammenhang ist für den vorliegenden Teildatensatz mit einem Steigungsparameter von $0,358 \pm 0,061$ (unkorr.) bzw. $0,557 \pm 0,185$ (korr.) deutlich geringer, streut allerdings auch mehr.

Dies ist in Übereinstimmung mit den unterschiedlichen Sauerstoffquellen für $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ bzw. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (sh. oben). Es ist durchaus denkbar, dass in einem von C_4 -Pflanzen

dominierten Ökosystem, das in erhöhten $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten resultiert, und in einer ariden Klimazone mit folglich tendenziell eher erhöhten $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten ein stärkerer Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ besteht, was sich u. a. auch in einem höheren Steigungsparameter zeigen sollte. Jedoch scheint dies für eine C_3 -Umgebung in einer gemäßigten Klimazone (wie z. B. in Haithabu und Schleswig) so nicht zuzutreffen. Außerdem sind $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ offenbar auch in unterschiedlichem Ausmaß vom „sea spray“-Effekt betroffen (vgl. Kapitel 5.3.1). Während der approximierte „sea spray“-Effekt im Karbonat-Sauerstoff etwa 63 % beträgt, liegt der Effekt im Phosphat-Sauerstoff bei vergleichsweise geringen 14 %. Da Sauerstoff aus dem Karbonat und Phosphat aus unterschiedlichen Quellen stammt (sh. oben), ist dieser Unterschied im „sea spray“-Effekt auch nicht verwunderlich (sh. auch Kapitel 6.2). Dies impliziert allerdings auch eine Verschiebung in den Sauerstoffwerten, die im Karbonat und Phosphat nicht gleichmäßig erfolgt, was konsequenterweise die $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte beeinflusst. Je nach Ausmaß des „sea spray“-Effektes in den beiden Isotopensystemen ist mit einem unterschiedlichen Einfluss auf $\Delta\delta^{18}\text{O}$ zu rechnen. Dies führt dazu, dass kein konstanter $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Wert zu erwarten ist.

6.4 Anwendbarkeit der entwickelten Methoden auf andere Datensätze

6.4.1 Anwendbarkeit der GMM-Clusteranalyse auf andere Datensätze

In Kapitel 5.1.2 wird die Clusteranalyse mittels GMM an dem Fisch-Teildatensatz aus Haitahu und Schleswig eingeführt. Daher wird nun zunächst ein anderer Fisch-Teildatensatz zur Illustration der Anwendbarkeit der GMM-Clusteranalyse gewählt. Orton et al. (2011) untersuchten $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ - und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte von Fischen ($n = 74$; Datierung: 8. - 16. Jahrhundert) verschiedener Fundplätze an der Ostsee, darunter auch Individuen aus Haitahu. Eine Gruppe archäologischer Fische, die aufgrund der Tatsache, dass das Cranium der Individuen jeweils noch vorhanden war (im Gegensatz zu den häufig geköpften Fischen für die Produktion von Stockfisch), als am jeweiligen Auffindeort lokal betrachtet werden, wird als Kontrollgruppe definiert (Barrett et al., 2011). Mit Hilfe dieser Kontrollgruppe werden die übrigen Fische als „lokal“, „importiert“ oder „transbaltisch“ eingeordnet (vgl. Tabelle A108; Orton et al., 2011). Diese Zuordnung benötigt allerdings eine morphologische Kontrollgruppe, die nicht immer zur Verfügung steht. Zudem ist eine Einteilung als lokal allein aufgrund des Auffindens eines Craniums nicht immer zutreffend. Gemäß Heinrich (1987) wird im Nahhandel (bis 50 km) das Kopfskelett meist nicht entfernt. Die GMM-Clusteranalyse kann hingegen ohne Kontrollgruppe (unüberwacht) auf die Daten angewendet werden.

Ohne Vorgaben werden bei der GMM-Clusteranalyse der Fischdaten von Orton et al. (2011) drei Cluster gefunden (Abbildung 58 und Tabelle A109). Von den 74 Individuen werden zwölf in das erste Cluster eingeordnet, 46 in das zweite und 16 in das dritte (vgl. Tabelle A109). Orton et al. (2011) teilten die Fische mit Hilfe ihrer Kontrollgruppen ebenfalls in drei Gruppen ein: lokal, importiert und transbaltisch.

Tatsächlich finden sich ohne Vorgaben genau diese drei Cluster auch im GMM. Demnach können Fische des ersten Clusters als lokal angesehen werden. Fische des zweiten Clusters sind wohl importiert und Individuen aus Cluster 3 stammen aus verschiedenen Teilen der Ostsee (transbaltisch) (Abbildung 58, Tabelle A109). 43 Individuen (58,1 %) werden

durch das GMM genauso eingeteilt wie durch Orton et al. (2011). Jedoch gibt es auch Abweichungen in der Clusterzuordnung. Manche laut Orton et al. (2011) importierte Fische ($n = 8$) sind gemäß GMM lokal. Ein Individuum (1159) liegt mit einer Zuordnungswahrscheinlichkeit von 50,1 % in Cluster 1 (lokal) und 49,8 % in Cluster 2 (importiert) allerdings genau zwischen den beiden Gruppen (Tabelle A110). Außerdem werden zwölf von Orton et al. (2011) als lokal eingeordnete Individuen durch das GMM als transbaltisch eingestuft. Ein Individuum (483) ist hingegen nach GMM lokal, bei Orton et al. (2011) jedoch transbaltisch (vgl. Tabelle A109). Interessant sind auch die drei von Orton et al. (2011) als unbestimmt eingestuften Fische 330, 471 und 1149. Diese werden durch das GMM mit hoher Zuordnungswahrscheinlichkeit (81,5 % - 99,9 %) als importiert (330, 471) bzw. transbaltisch (1149) eingeordnet (Tabelle A110).

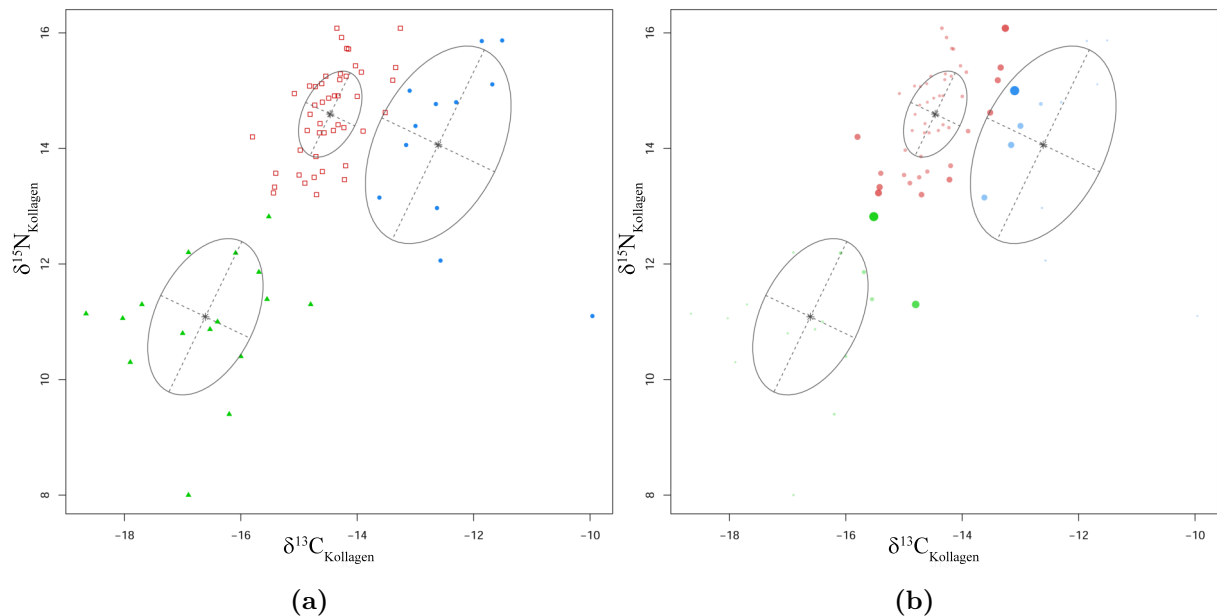


Abbildung 58: Bivariater Plot der resultierenden drei (a) GMM-Cluster des „VEE“-Modells (Scrucca et al., 2016), sowie der (b) Zurdnungswahrscheinlichkeiten für die drei Cluster für den Fisch-Datensatz von Orton et al. (2011). Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck). Große Kreise > 95 % Unsicherheits-Quantil, kleinere Kreise: 75 % - 95 % Unsicherheits-Quantil, Punkte: < 75 % Unsicherheits-Quantil.

Im Hinblick darauf, dass Orton et al. (2011) (unter Ausschluss der Kontrollgruppe für Neufundland; vgl. Barrett et al., 2011) fünf Kontrollgruppen verwendeten (östliche Ostsee,

Kattegat/westliche Ostsee, südliche Nordsee, Nordost-Atlantik, nördliches Norwegen; vgl. Abbildung 60(a)) wird eine GMM-Clusteranalyse mit der Vorgabe von fünf Clustern durchgeführt. Es ergeben sich die in Abbildung 59 und Tabelle A109 dargestellten Cluster. Deutlich von den anderen Clustern abgegrenzt sind die Fische des fünften Clusters ($n = 15$), die wohl die Gruppe der „östlichen Ostsee“ repräsentieren. Fische des vierten Clusters ($n = 13$) sind vermutlich in die Gruppe der „südlichen Nordsee“ einzuordnen. Die Gruppe des „nördlichen Norwegens“ findet sich in Cluster 2 ($n = 18$) wieder. Die zwei Fische des ersten Clusters stammen vermutlich aus dem Kattegat bzw der westlichen Ostsee (vgl. Tabelle A109). Ein weiterer möglicher Kandidat für dieses Cluster wäre Fisch 197, der zwar mit einer Wahrscheinlichkeit von 50,7 % in das vierte Cluster eingeordnet wird, aber mit 49,2 % Zuordnungswahrscheinlichkeit auch in Cluster 1 gehören könnte (Tabelle A111). Die dritte Gruppe ($n = 26$) schließlich liegt dort, wo die Kontrollgruppe „nord-westlicher Atlantik“ (Neufundland) eingeordnet wird (Tabelle A109; Orton et al., 2011). Die Kontrollgruppe des „nord-östlichen Atlantik“ ist durch das GMM nicht detektierbar. Laut GMM stammen offenbar keine Fische aus diesem Bereich oder sie können nicht als eigenständige Gruppe identifiziert werden. Auch Orton et al. (2011) konnten diese Gruppe nicht in ihren Daten identifizieren.

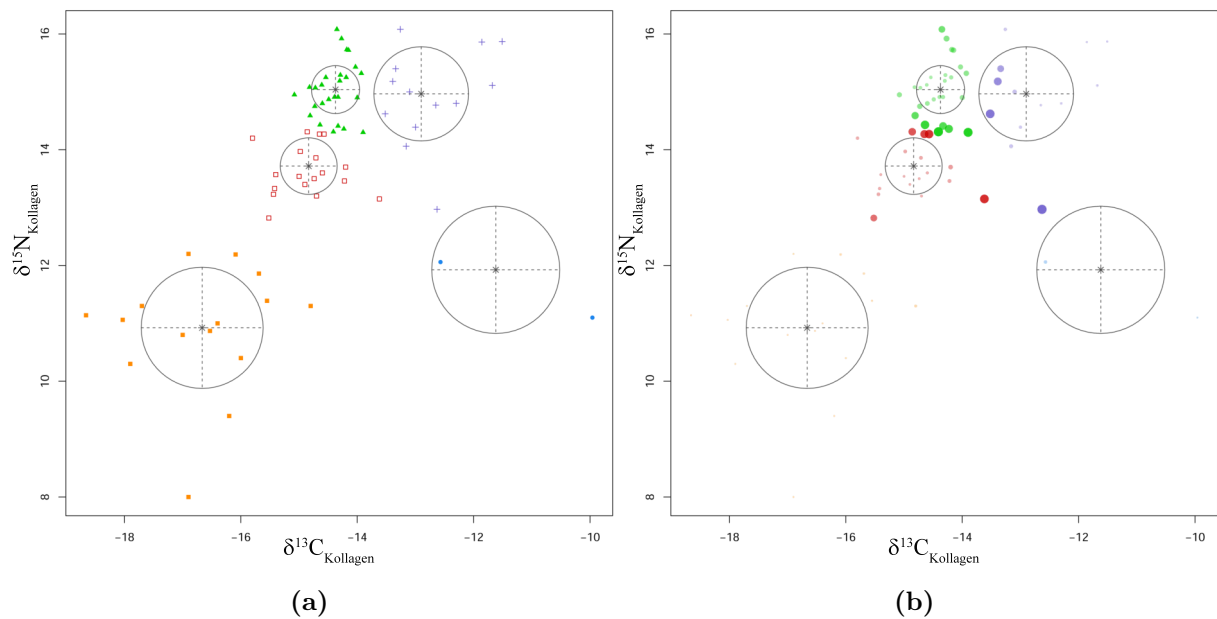


Abbildung 59: Bivariater Plot der resultierenden, optimalen fünf (a) GMM-Cluster des „VII“-Modells (Scrucca et al., 2016), sowie der (b) Zurordnungswahrscheinlichkeiten für die fünf Cluster für den Fisch-Datensatz von Orton et al. (2011). Cluster 1: blau (Punkt, Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck), Cluster 4: violett (Plus), Cluster 5: orange (gefülltest Quadrat). Große Kreise > 95 % Unsicherheits-Quantil. kleinere Kreise: 75 % - 95 % Unsicherheits-Quantil, Punkte: < 75 % Unsicherheits-Quantil.

Um zu überprüfen, ob die Gruppe des „nord-östlichen Atlantik“ überhaupt mittels GMM erkannt werden kann, werden die Kontrolldaten unter Ausschluss von Neufundland ($n = 285$; Datierung 9. - 14. Jahrhundert; vgl. Barrett et al., 2011) und mit Vorgabe von fünf Clustern untersucht (Abbildung 60, Tabelle A113).

Tatsächlich können die fünf Kontrollgruppen (Abbildung 60(a)) im GMM wiedergefunden werden (Abbildung 60(b)): Cluster 1 repräsentiert hierbei die Gruppe der „östlichen Ostsee“. Das zweite Cluster ist der „südlichen Nordsee“ zuzuordnen. Fische aus dem „Kattegat“ sind in Cluster 3 eingeordnet. Das vierte Cluster kann als die Gruppe aus dem Bereich des „nördlichen Norwegens“ bezeichnet werden und zuletzt findet sich auch die Gruppe des „nord-östlichen Atlantik“ (Cluster 5) wieder (Abbildung 60, Tabellen A112 und A113). Somit ist also eine Zuordnung in diese Gruppe möglich, wenn entsprechend Individuen aus dieser Region im Datensatz enthalten sind. Insgesamt kann hieraus geschlossen werden, dass die GMM-Clusteranalyse von Isotopendaten eine nützliche Ergänzung zu morphologischen

Daten darstellt. Durch das GMM können außerdem entsprechende (morphologische) Kontrollgruppen repräsentiert und ggf. ersetzt werden, sollten diese nicht verfügbar sein.

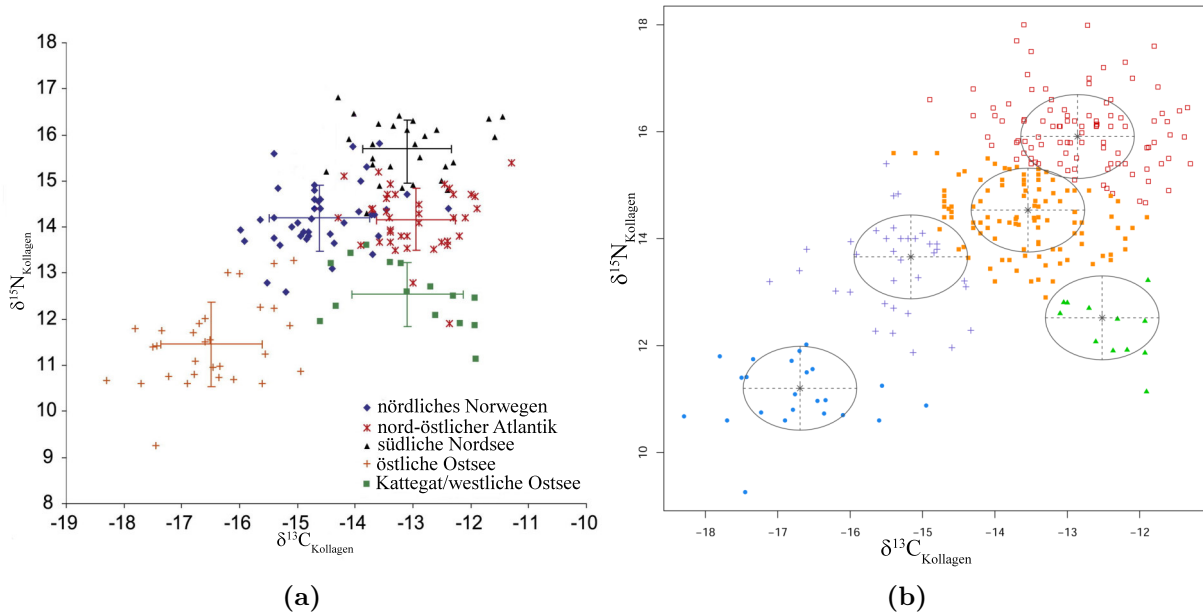


Abbildung 60: Gegenüberstellung der (a) fünf Kontrollgruppen (verändert nach Barrett et al. (2011)) und des (b) Ergebnisses der GMM-Clusteranalyse für den Fisch-Datensatz aus Barrett et al. (2011). Geclustert werden hierbei die Fische der Kontrollgruppen, sowie Individuen unbekannter Herkunft. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck), Cluster 4: violett (Plus), Cluster 5: orange (gefülltes Quadrat). Diese Farbkodierung gilt nur für (b).

Die GMM-Clusteranalyse kann auch auf Isotopendaten von Menschen anderer Fundorte angewendet werden. Als Beispiel soll hier der drei-dimensionale Datensatz ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$; vgl. Tabelle A114) der Menschen ($n = 30$; Datierung: 3500 - 1400 v. Chr.) aus Resmo in Schweden (Linderholm et al., 2014) verwendet werden. Die Bestattungen lassen sich in drei Phasen einteilen. Daher wird eine GMM-Clusteranalyse mit drei Clustern durchgeführt, um zu überprüfen, ob sich die Individuen der drei Phasen in ihrer Isotopie unterscheiden. Da zudem von einigen Individuen mehrere Zähne bzw. Knochen gemessen wurden (vgl. Tabelle A114), können Veränderungen bezüglich der Isotopie auch Hinweise auf mögliche Migrationsereignisse geben.

Die Individuen des ersten Clusters weisen relativ hohe $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ - und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte auf, während die $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte eher im mittleren Bereich liegen. Menschen, die in das

zweite Cluster eingeteilt werden, zeigen eine Anreicherung mit ^{34}S . Die $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ - und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte sind relativ variabel. Das dritte Cluster schließlich enthält Individuen, die in allen drei Isotopensystemen angereichert sind (Abbildung 61, Tabellen A115 und A116).

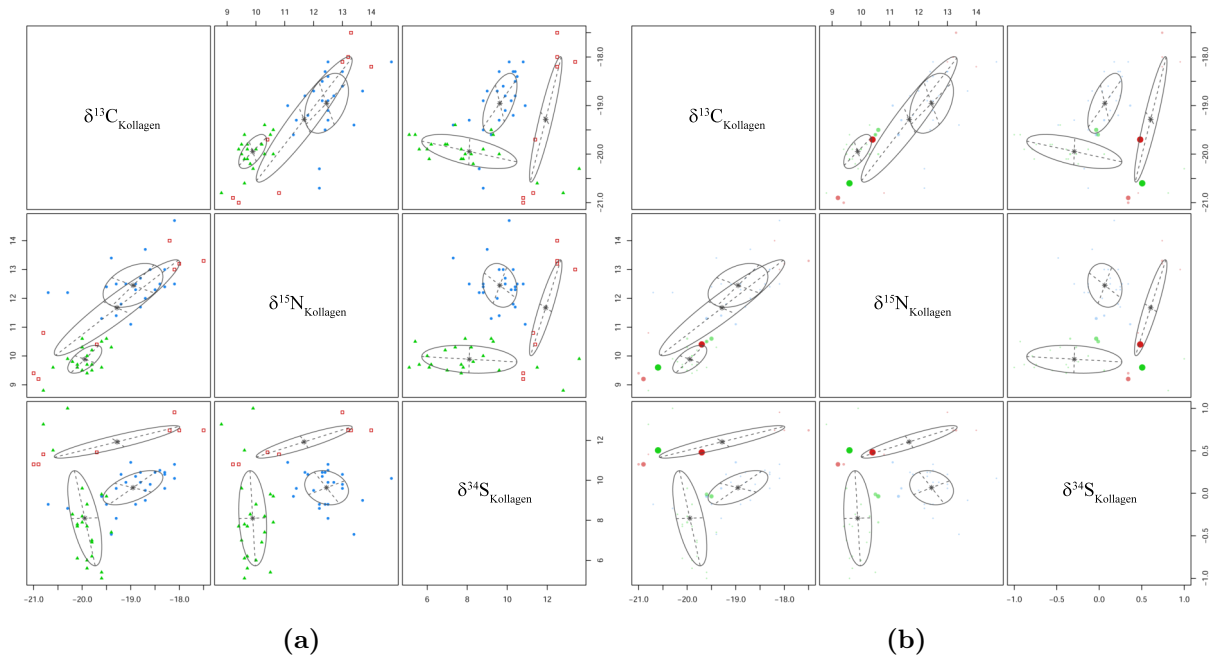


Abbildung 61: Paarweiser, bivariater Plot der resultierenden drei GMM-Cluster des „EVV“-Modells (Scrucca et al., 2016) für den drei-dimensionalen Datensatz von Linderholm et al. (2014). Geclustert wurden hierbei nur Menschen aus Resmo (Schweden). Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck).

Tatsächlich scheinen die drei Phasen zumindest teilweise durch die Clusteranalyse detektiert zu werden (Abbildung 61, Tabellen A115 und A117). Ein Vergleich der Einteilung in die drei Belegungsphasen mit der Clustereinteilung zeigt, dass sich Individuen der ersten Phase ausschließlich in Cluster 1 wiederfinden. Menschen der zweiten Phase werden ebenfalls in das erste bzw. in wenigen Fällen auch in das zweite Cluster eingeordnet. Die dritte Phase schließlich wird durch das dritte Cluster repräsentiert (Tabellen A115 und A117).

Auf Individuenebene (vgl. Tabelle A117) werden 16 Individuen in das erste Cluster eingeordnet, fünf in das zweite und acht in das dritte Cluster. Die Mehrheit der Individuen wurde mehrfach gemessen. Eine unterschiedliche Einteilung der Proben desselben Individuums spricht für eine mögliche Veränderung in der Ernährungsweise. Bei Individuum 21 kommt es zu einer Einordnung in zwei unterschiedliche Gruppen je nach untersuchtem

Skelettelement. Individuum 21 wird dem ersten Cluster (RES 052 und RES111), sowie dem zweiten Cluster (RES 112) zugewiesen.

Individuen der dritten Phase können mit Ausnahme von drei Individuen (22, 24, 30) im dritten Cluster wiedergefunden werden (Tabelle A117). Individuen der ersten und zweiten Phase sind sowohl dem ersten, als auch dem zweiten Cluster zuzuordnen. Individuen des zweiten Clusters sind mit Blick auf Abbildung 61 als Ausreißer zu bezeichnen, mit vergleichsweise extremen $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ - und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten. Demnach ist Cluster 2 wohl weniger zur Einteilung der Belegungsphasen zu verwenden, sondern eher als eine Gruppe isotopisch auffälliger Individuen zu verstehen. Dies könnte auf eine andere Ernährungsweise und eine damit verbundene andere Herkunft hindeuten. Auch das bereits oben genannte Individuum 21 fällt mit Probe RES 112 in dieses zweite Cluster.

Linderholm et al. (2014) ermittelten potenziell nicht-lokale Individuen auf Basis eines mit Hilfe der $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte lokaler, terrestrischer Tiere modellierten lokalen Bereiches ($\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} = 6,3 \text{ ‰} - 13,7 \text{ ‰}$). Individuen, die aus diesem Bereich herausfallen, werden als primär nicht-lokal betrachtet (vgl. Tabelle A114). Eine solche Identifizierung ist im drei-dimensionalen Fall (mit GMM-Analyse) nicht möglich, da hier jeweils alle drei Isotopensysteme betrachtet werden. Als insgesamt auffällig sind gemäß GMM, wie bereits gesagt, die Individuen des zweiten Clusters anzusehen. Alle diese Individuen werden jedoch gemäß der Definition nach Linderholm et al. (2014) als lokal betrachtet. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Tierdaten aus Linderholm et al. (2014) einen „sea spray“-Einfluss in den $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten vermuten lassen, auch wenn dieser - gemäß der in der vorliegenden Definition der Überlappung terrestrischer, herbivorer und mariner Säuger - nicht nachweisbar ist. Ein Schneehase weist einen $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Wert von $13,6 \text{ ‰}$ auf und zeigt damit denselben Wert wie eine Ringelrobbe. Eine Überlappung ist damit nicht vorhanden, jedoch besteht eine starke Tendenz zu einem „sea spray“-Einfluss. Somit ist der modellierte terrestrische, lokale Bereich wohl auch in Richtung zu hoher Werte verschoben. Dies könnte die Abweichung in der Detektion nicht-lokaler Individuen zwischen der Definition nach Linderholm et al. (2014) und der GMM-Clusteranalyse erklären.

Es können folglich zwar die Individuen nicht eindeutig gemäß ihrer Phasen unterschieden

werden, jedoch ist es möglich, potenziell nicht-lokale Individuen zu identifizieren. Es wäre auch denkbar, dass die gemeinsame Analyse von adulten und nicht-adulten Individuen (vgl. Tabelle A114) hier problematisch ist. Eine Trennung ist hier aufgrund der ohnehin relativ geringen Stichprobe nicht möglich. Für eine genauere Aussage der Clusterergebnisse wäre ohnehin eine größere Stichprobe notwendig.

Nichtsdestotrotz scheint es aber möglich zu sein (in gewissen Grenzen) mittels GMM-Clusteranalyse sinnvolle und interessante Ergebnisse aus einem Isotopendatensatz von Tieren und auch Menschen im Speziellen zu generieren.

6.4.2 Anwendbarkeit des Verfahrens zur Approximation und Korrektur des „sea spray“-Effektes auf andere Datensätze

Obwohl es einige Untersuchungen an stabilen Isotopen von Fundorten in der Ostseeregion gibt - darunter auch Orte, die zeitgleich mit Haithabu bzw. Schleswig existierten, wie etwa Birka - ist eine Untersuchung auf „sea spray“ nur an einer kleinen Zahl von Datensätzen möglich, da hierfür die Untersuchung von marinen Säugern und terrestrischen Herbivoren notwendig ist (vgl. Kapitel 5.3.1). Dies war nur in 13 Vergleichspublikationen gegeben (Tabelle 24). Aufgrund der geringen Zahl an möglichen Vergleichsdatsätze werden für die Überprüfung bzw. Approximation auch domestizierte Herbivore zugelassen.

Tabelle 24: Vergleichsorte für Haithabu und Schleswig, bei denen eine Untersuchung auf „sea spray“-Effekt möglich war. Eine Grundvoraussetzung ist hierbei das Vorhandensein von mindestens einem marinen Säuger und einem terrestrischen, herbivoren Säuger im Datensatz. Grau markiert sind Datensätze, bei denen eine Approximation nur mit domestizierten Herbivoren möglich war anstelle der eigentlich vorgesehenen wilden Herbivoren. Wo die Stichprobengröße (n) sich zwischen den untersuchten Isotopen unterscheidet, wird die Stichprobengröße getrennt nach Isotopensystem angegeben. Isotopensysteme, bei denen ein „sea spray“-Signal sichtbar war, sind fett gedruckt.

Fundort(e)	Zeitstellung	untersuchte Isotopensysteme	n	Quelle
Birka	8. - 10. Jhd. (Wikingerzeit)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	7	Linderholm et al., 2008b
Björned	8. - 11. Jhd. (Wikingerzeit)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	5	Linderholm et al., 2008a
Björnsholm	5100 - 2800 v. Chr. (spätes Mesolithikum - frühes Neolithikum)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	2/13	Craig et al., 2006
Borgholm, Köpingsvik, Resmo	3500 - 1000 v. Chr. (Neolithikum - Bronzezeit)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	9/13	Fornander et al., 2015
Köpingsvik, Resmo, Torsborg	3500 - 1000 v. Chr. (Neolithikum - Bronzezeit)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	33/34	Linderholm et al., 2014
Korsnäs	4. - 3. Jtd. v. Chr. (Neolithikum)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	19/44	Fornander et al., 2008
Norsminde	5100 - 2800 v. Chr. (spätes Mesolithikum - frühes Neolithikum)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	13/19	Craig et al., 2006
Oulu, Tornio	15. - 16. Jhd. (Mittelalter)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	21	Lahtinen & Salmi, 2018
Ridanäs	9. - 12. Jhd. (Wikingerzeit, Frühes Christentum)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	9	Kosiba et al., 2007
Rössberga	5500 - 2200 v. Chr. (Neolithikum)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	6	Linderholm et al., 2008b
Stavanger	9. - 17. Jhd. (Wikingerzeit - Postreformationszeit)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	6/11	van der Sluis et al., 2016
Västerbjers	4. - 3. Jtd. v. Chr. (Neolithikum)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	65	Eriksson, 2004
Zvejnieki	8150 - 4190 (spätes Mesolithikum - mittleres Neolithikum)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	44	Eriksson & Zagorska, 2003

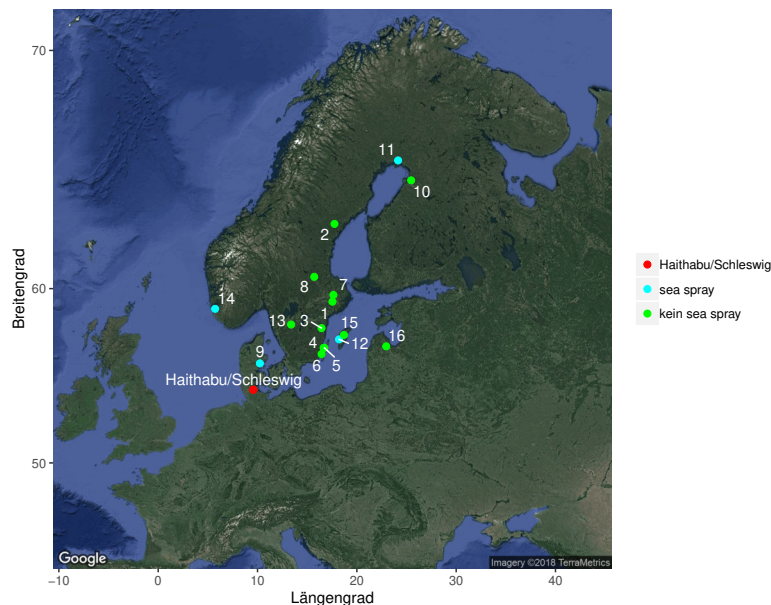


Abbildung 62: Vergleichsorte für Haithabu und Schleswig mit farblicher Kennzeichnung der Orte, für die ein „sea spray“-Effekt approximiert werden konnte (sh. Text): 1 = Birka, 2 = Björned, 3 = Björnsholm, 4 = Borgholm, 5 = Köpingsvik, 6 = Resmo, 7 = Torsborg, 8 = Korsnäs, 9 = Norsminde, 10 = Oulu, 11 = Tornio, 12 = Ridanäs, 13 = Rössberga, 14 = Stavanger, 15 = Västerbjers, 16 = Zvejnieki. Die Karte wurde mit Hilfe der R-Pakete „ggmap“ (Kahle & Wickham, 2013), „ggplot2“ (Wickham, 2009) und „ggrepel“ (Slowikowski, 2018) erstellt.

In drei Vergleichsorten (Ridanäs, Stavanger, Tornio) findet sich ein „sea spray“-Einfluss in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Werten (Abbildung 63). Der approximierte Effekt beträgt 6,3 % in Stavanger (Tabelle A119), 14,9 % in Ridanäs (Tabelle A120) und 21,1 % in Tornio (Tabelle A118).

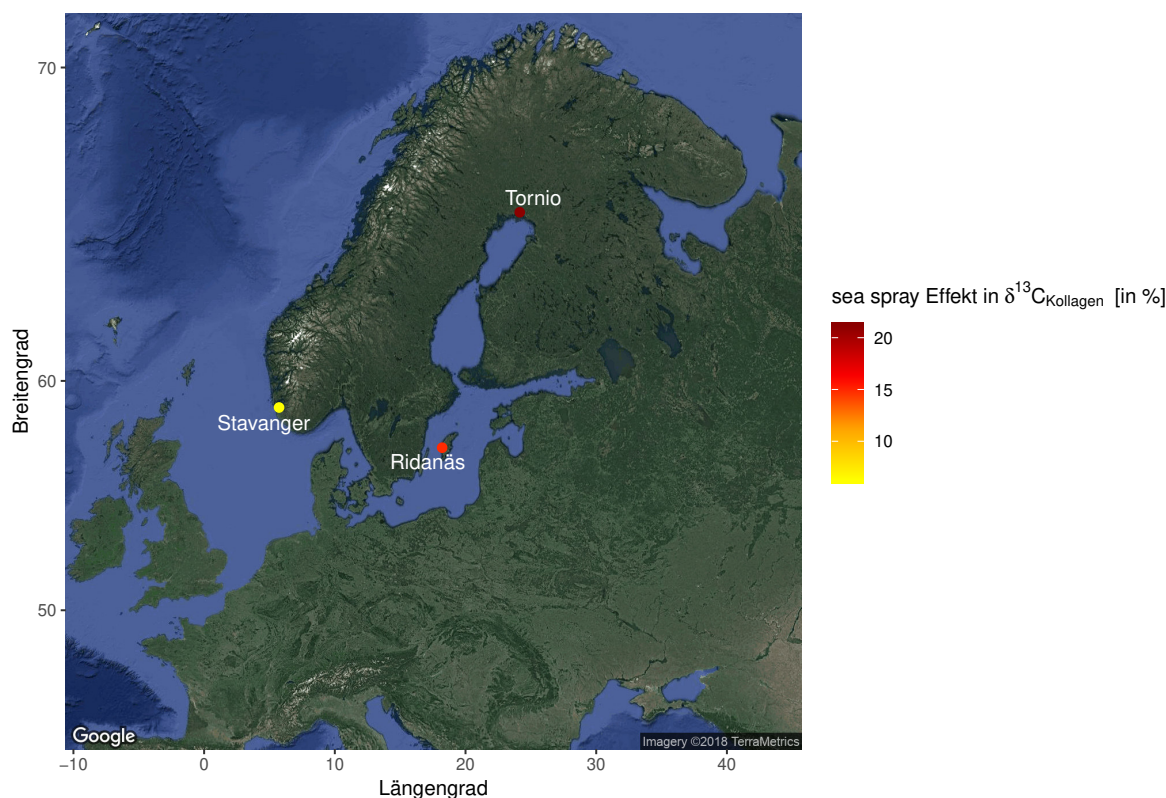


Abbildung 63: Vergleichsorte für Haithabu und Schleswig mit „sea spray“-Signal in $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$. Der approximierte, minimale „sea spray“-Effekt liegt zwischen 6,3 % und 21,1 %. Die Karte wurde mit Hilfe der R-Pakete „ggmap“ (Kahle & Wickham, 2013), „ggplot2“ (Wickham, 2009) und „ggrepel“ (Slowikowski, 2018) erstellt.

Das Auftreten eines „sea spray“-Signals in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Werten in manchen Vergleichsdatensätzen (Tornio, Stavanger, Ridanäs; vgl. Tabelle 24) könnte die Vermutung bestätigen, dass der Effekt auch in Haithabu und Schleswig in diesem Isotopensystem vorhanden ist, wenngleich nicht detektierbar. Eventuell ist der Effekt in Haithabu und Schleswig vergleichsweise gering. In Abbildung 63 ist scheinbar ein Trend zu erkennen, dass ein verstärkter Effekt im Nordosten der Ostsee auftritt (21,1 %), während der Effekt in Stavanger (Nordsee) nur noch 6,3 % beträgt. Das lässt einen relativ schwachen „sea spray“-Einfluss für Haithabu und Schleswig vermuten. Dieser Trend, der allerdings nur durch drei Fundorte

aufgestellt und deshalb kaum aussagekräftig ist, ist überraschend. Wie in Abbildung 3 erkennbar ist, nimmt die Salinität des Oberflächenwassers mit der Entfernung von der Nordsee schnell stark ab, mit Werten > 30 PSU in der Nordsee und < 5 PSU in den nördlichen Bereichen der Ostsee. Somit wäre zu erwarten, dass der „sea spray“-Effekt in der nördlichen Ostsee (deutlich) schwächer ist als in der Nähe der Nordsee bzw. an der Nordseeküste. Eine Verschiebung der Salinitäten im Vergleich zur Wikingerzeit oder dem Mittelalter könnte hierfür ursächlich sein (vgl. Emeis et al., 2003). Andererseits könnte der angedeutete Trend aufgrund der sehr geringen Zahl an Orten mit einem detektierten „sea spray“-Effekt im $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ irreführend sein.

Es scheint relativ wahrscheinlich, dass die vergleichsweise geringen „sea spray“-Einflüsse in Stavanger (6,3 %) und Ridanäs (14,9 %) eher dadurch verursacht wurden, dass der marine Säuger, mit dem die Approximation durchgeführt werden konnte, zur Gattung der Echten Hundsrobben (*Phoca*) zählt, was, da die Largha-Robbe (*Phoca largha*) in der Ostseeregion nicht heimisch ist, vermuten lässt, dass es sich um einen Seehund (*Phoca vitulina*) handeln müsste. Diese wiederum schwimmen oft in Flüsse hinein, wo sie auch jagen (Reichstein, 1991; Reichstein, 1974). Das kann ihren $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Wert in Richtung von Süßwasser verschieben und die Approximation verfälschen. Außerdem ist eine Approximation für Stavanger und Ridanäs jeweils nur mit einem Rind möglich, da an beiden Fundorten keine wildlebenden Herbivoren untersucht wurden.

So kann für diese beiden Orte nur bedingt von einem „sea spray“-Effekt ausgegangen werden. Am dritten Fundort, Tornio, an dem ein „sea spray“-Signal von ca. 21,1 % in $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ festgestellt wurde, wurde der marine Säuger lediglich in die Familie der Hundsrobben (*Phocidae*) eingeordnet, was u. a. Kegelrobbe (*Halichoerus grypus*), Sattelrobbe (*Pagophilus groenlandicus*) oder Ringelrobbe (*Pusa hispida*) einschließt, aber auch den Seehund. Eine Überschätzung des Effektes durch die untere marine Grenze (-23,0 ‰) kann nicht ausgeschlossen werden. Dieser Wert wäre allerdings tatsächlich auch negativer als der des herbivoren Säugers aus Haithabu/Schleswig mit der größten Anreicherung in ^{13}C , nämlich Auerochse Hb 47, -20,5 ‰ (Tabelle A46). Sollte es einen vergleichbar niedrigen, marinen Grenzwert auch für Haithabu/Schleswig geben („missing data“), wäre dies ein

Hinweis auf einen „sea spray“-Effekt in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Werten der terrestrischen Tiere aus Haithabu und Schleswig in Höhe von etwa 12 %. Dies würde dem oben erwähnten Trend entsprechen.

Ein „sea spray“-Einfluss auf die $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Werte terrestrischer Individuen könnte durch den Konsum von Protein, das von Pflanzen aus Kohlenstoffquellen marinen Ursprungs ($\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^-$, CO_2 ; vgl. Abbildung 54 und Kapitel 6.2.1) synthetisiert wird und so in die Nahrungskette gelangt, erklärt werden. Auch der Eintrag organischen Kohlenstoffs, der über den „sea spray“ an Land transportiert wird, wäre denkbar. In den „sea spray“-Aerosolen finden sich kurz- (C_{5-10}) bzw. langkettige (C_{12-18}) Fettsäuren und freie Zucker (Mono-, Disaccharide). So gelangen beispielsweise Nonansäure, Hexadekansäure oder auch Glucose, Galactose und Saccharose marinen Ursprungs an Land (Bates et al., 2012; Cochran et al., 2016; Jayarathne et al., 2016; Keene et al., 2007). Die mit ^{13}C angereicherten Kohlenhydrate werden evtl. mit der Nahrung (als Auflagerungen auf Pflanzenblättern) von terrestrischen Säugern aufgenommen. Alternativ wäre auch ein Verzehr mariner Algen bzw. Seegras denkbar.

So lange aber sichere Belege für den „sea spray“-Effekt in $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ fehlen, kann nur bedingt davon ausgegangen werden, dass der Effekt auch in diesem Isotopensystem auftritt. Sollte sich jedoch zeigen, dass der Effekt sich auch im Kohlenstoff des Knochenkollagens manifestiert, so ergibt sich für die Berechnung von Mischungsmodellen in Küstengebieten, ähnlich wie aufgrund des limnischen Einflusses auf $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ (sh. Kapitel 6.2.1), ein nicht zu vernachlässigendes Problem: Der marine Nahrungsanteil von Menschen (und auch Tieren) in Küstennähe würde tendenziell überschätzt werden.

Neben Haithabu und Schleswig kann ein „sea spray“-Effekt in $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten auch für zwei weitere Orte gezeigt werden: Stavanger (Norwegen, Nordsee) und Norsminde (Dänemark) (Abbildung 64). Der approximierte „sea spray“-Effekt liegt für dieses Isotopensystem bei 10,1 % in Stavanger (Tabelle A122) und 27,7 % in Norsminde (Tabelle A121). Haithabu und Schleswig liegen mit einem „sea spray“-Effekt von 16,5 % (vgl. Kapitel 5.3.1) zwischen den beiden Vergleichsorten. In Norsminde, wo eine Kegelrobbe und ein Rothirsch zur Approximation des Effektes herangezogen werden (Tabelle A121), könnte das gegenüber

Haithabu und Schleswig erhöhte „sea spray“-Signal mit der erhöhten Salinität am Fundort Norsminde erklärt werden (Abbildung 3). Der relativ niedrige Wert, der für Stavanger an der Nordsee berechnet wurde, ist, wie schon für $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ (sh. oben), eventuell damit zu erklären, dass eine Echte Hundsrobbe (vermutlich Seehund) und ein Rind für die Berechnung gewählt werden mussten (Tabelle A122).

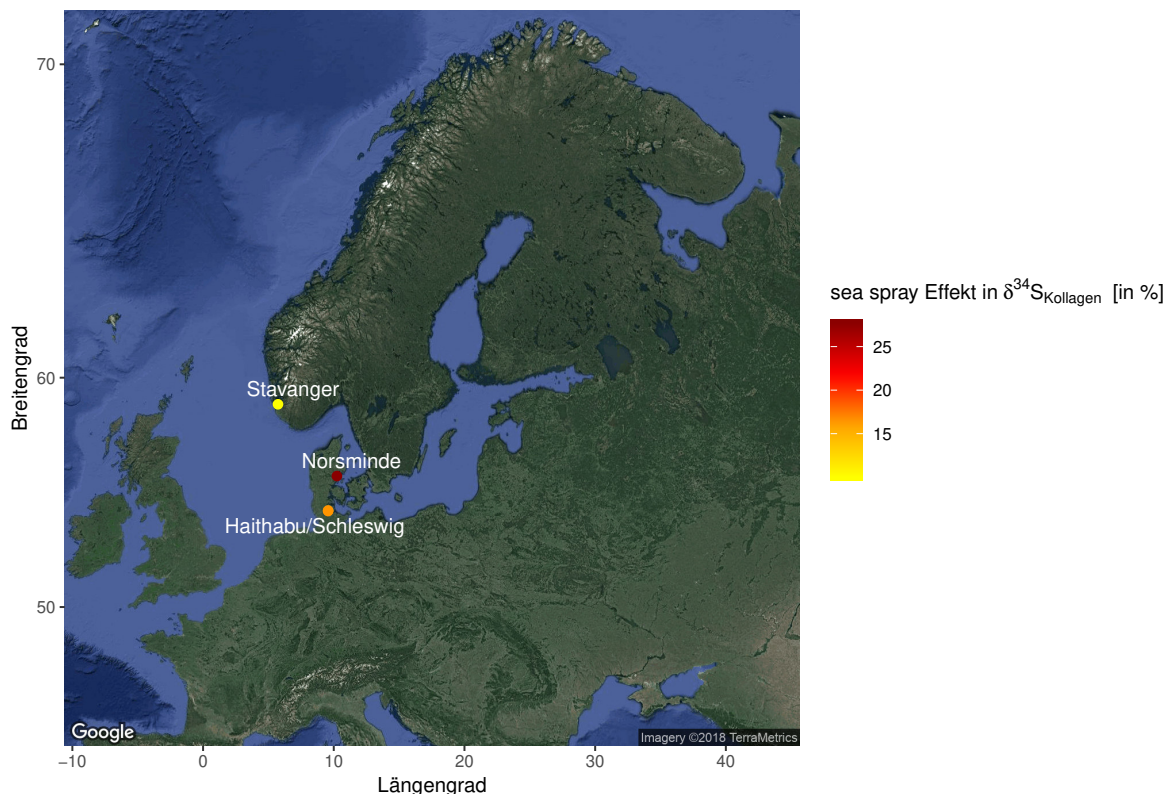


Abbildung 64: Vergleichsorte für Haithabu und Schleswig mit „sea spray“-Signal in $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$. Der approximierte, minimale „sea spray“-Effekt liegt zwischen 10,1 % und 27,7 %. Die Karte wurde mit Hilfe der R-Pakete „ggmap“ (Kahle & Wickham, 2013), „ggplot2“ (Wickham, 2009) und „ggrepel“ (Slowikowski, 2018) erstellt.

Es konnte kein Vergleichsort zur Überprüfung des „sea spray“-Effektes in $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ oder $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ gefunden werden, der die Voraussetzungen (Isotopenwerte von marinem Säuger und terrestrischem herbivoren Säuger) erfüllte. Somit kann nicht überprüft werden, ob der „sea spray“-Effekt auch andernorts im Karbonat und/oder Phosphat auftritt.

Insgesamt kann im Hinblick auf die Ergebnisse der Vergleichsdatsätze festgehalten werden, dass für die Approximation des „sea spray“-Effektes der Ausschluss domestizierter,

herbivorer Säuger, sowie der Ausschluss von Seehunden, wie er für die vorliegende Arbeit durchgeführt wurde, durchaus sinnvoll erscheint. Domestizierte Herbivore werden von ihrem Halter gefüttert, haben eine eingeschränkte Bewegungsfreiheit und könnten sich demnach besonders nah oder besonders weit entfernt von der Küste aufgehalten haben. Auch Import kann hier nicht ausgeschlossen werden. Seehunde wiederum können ein Süßwassersignal aufweisen, da sie sich häufig in Flüssen aufhalten und dort jagen (Reichstein, 1974; Reichstein, 1991). Dies schränkt die Zahl möglicher Vergleichsdatsätze zwar ein, untermauert aber die Aussagekraft eines detektierten „sea spray“-Signals.

Somit kann andererseits aber wohl von einem „sea spray“-Effekt von 27,7 % im Schwefel für die Individuen aus Norsminde und einem wahrscheinlichen „sea spray“-Signal von 21,1 % in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Werten der Individuen aus Tornio ausgegangen werden. Der gegenüber Haithabu und Schleswig (17 %; sh. Kapitel 5.3.1) erhöhte Effekt in den $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten ist wohl ein direktes Resultat aus einer höheren Salinität des Meeres an der Küste von Norsminde verglichen mit der in Haithabu und Schleswig. Für einen Einfluss des „sea spray“ auf die $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Werte kann, wie bereits erwähnt, in Haithabu und Schleswig kein Anzeichen gefunden werden, was das Vorhandensein des Effektes allerdings nicht ausschließt.

6.4.3 Anwendbarkeit des Verfahrens zur Approximation und Korrektur des limnischen Einflusses auf andere Datensätze

Acht Vergleichsdatsätze (sh. Tabelle 24) erlauben die Überprüfung hinsichtlich eines limnischen Einflusses auf $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, was das Vorhandensein von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, sowie $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten für herbivore Säuger voraussetzt.

Im Datensatz aus Resmo (Linderholm et al., 2014) zeigt sich für wildlebende Herbivore des Datensatzes (Elch, Reh, Schneehase) kein erkennbarer limnischer Einfluss, jedoch für das domestizierte Individuum RES 127, ein Schaf oder eine Ziege. Hier liegt der approximativ bestimmte limnische Einfluss bei etwa 36 % (Tabelle A123). Allerdings sind Approximationen mittels domestizierter Individuen, wie bereits erwähnt (vgl. Kapitel 6.4.2), eher kritisch zu betrachten. In diesem Fall wäre auch ein Düngereffekt oder spezielles Futter

als Erklärung für die erhöhten $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte denkbar.

Für das Rind F194 ($\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} = 4,4 \text{ ‰}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} = -3,2 \text{ ‰}$) und das Schaf F154 ($\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} = 7,8 \text{ ‰}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} = -1,1 \text{ ‰}$) aus Björned (Linderholm et al., 2008b) findet sich ebenfalls ein höherer $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Wert im Vergleich zum $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Wert (Tabelle A124). Allerdings sind auch hier nur domestizierte Säuger betroffen (Rind F194, Schaf F154) und die negativen $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte erlauben keine Approximation der $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte, da zwar terrestrische $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte negativ sein können (vgl. z. B. Nehlich et al., 2010; Nriagu & Coker, 1978), nicht aber die zugehörigen $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte. Hier besteht daher eine Grenze der Approximationsmethode für den limnischen Einfluss.

Weitere Vergleichsdensätze sind nötig, um die Approximation des limnischen Einflusses besser testen zu können. Der nur bedingt aussagekräftige Fall aus Resmo mit der Berechnung mittels domestizierter Herbivorer gibt jedoch zumindest einen Hinweis darauf, dass der limnische Einfluss andernorts möglicherweise, wovon auszugehen ist (vgl. Kapitel 6.2), in unterschiedlichem Ausmaß auftritt, wie es auch für den „sea spray“-Effekt der Fall ist (vgl. Kapitel 6.4.2).

7 Conclusio

Im Rahmen der vorliegenden Dissertation konnte gezeigt werden, dass die Anwendung KDD-basierter Methoden neue Interpretationen von Isotopendaten liefern kann. Die klassische Auswertung von Isotopendaten (ohne Zuhilfenahme KDD-basierter Verfahren) ist in ihrer Aussagekraft begrenzt. KDD-basierte Methoden erlauben insbesondere auch neue Erkenntnisse über den für den vorliegenden Datensatz, aber auch für andere Fundorte in Küstennähe, relevanten „sea spray“-Effekt.

Im Laufe der Auswertungen zeigt sich, dass insbesondere GMM-Clusteranalysen für multi-dimensionale Isotopendaten geeignet sind. Dies ist in Übereinstimmung mit den Ergebnissen für einen anderen Isotopendatensatz aus der Alpenregion (vgl. z. B. Grupe et al., 2018; Mauder et al., 2017; Mauder, 2017; Mauder et al., 2016a; Mauder et al., 2016b; Mauder et al., 2016c; Mauder et al., 2015). Für die Daten aus Haithabu und Schleswig ergeben sich Cluster mit potenziell nicht-lokalen Individuen oder auch Cluster mit Individuen, deren Isotopensignatur durch den „sea spray“-Effekt und/oder den limnischen Einfluss verschoben wurde. Das Korrekturverfahren gegen den „sea spray“-Effekt und auch gegen den limnischen Einfluss wird durch die Clusteranalyse gestützt. Im Datensatz von Haithabu und Schleswig kann der „sea spray“-Einfluss nicht nur in den $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten, sondern auch in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -, sowie $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten terrestrischer Tiere nachgewiesen werden. Hierbei tritt der „sea spray“-Effekt je nach Isotopensystem in unterschiedlicher Stärke auf und beträgt (approximativ) zwischen etwa 14 % und 63 %. Über die Nahrungskette manifestiert sich der „sea spray“-Effekt auch in den Menschen, die an der Küste leben bzw. ihre Nahrung von einer Küstenregion beziehen. Somit muss sowohl die Isotopensignatur terrestrischer Tiere, als auch Menschen gegen den „sea spray“-Effekt korrigiert werden. Die biochemischen Mechanismen, die zum Einbau des „sea spray“-Signals führen, sind bislang kaum untersucht. Somit sind weitere Untersuchungen nötig, um die zugrundeliegenden Prozesse zu verstehen.

Auch wenn eine multivariate Analyse stets zu bevorzugen ist, so kann beispielsweise archäologisches Material den Ausschluss von einem oder auch mehreren Isotopensystemen

erforderlich machen. Manche Isotopensysteme haben je nach Datensatz einen höheren Informationsgehalt als andere. Welche das sind, kann durch „Feature Ranking“ untersucht werden. Entropie-basiertes „Feature Ranking“ scheint hierfür sehr gut geeignet zu sein.

Die Daten-getriebene Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Karbonat- und Phosphatsauerstoff konnte zeigen, dass es keinen allgemein gültigen Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ gibt und somit bei den untersuchten Proben auch kein fester Wert von 9 ‰ (Iacumin et al., 1996) für $\Delta\delta^{18}\text{O}$ angewendet werden kann. Eine Berechnung der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte aus den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten mit Hilfe von $\Delta\delta^{18}\text{O} = 9 \text{ ‰}$ würde im vorliegenden Datensatz zu deutlich verfälschten $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten führen. Dies ist insbesondere aufgrund von Spezies-spezifischen Unterschieden in der Ernährung, der Physiologie oder auch dem Habitat (einschließlich „sea spray“-Einfluss), sowie dem grundlegenden Unterschied zwischen den Sauerstoffisotopen aus Karbonat und Phosphat erklärbar.

Eine umfassendere Anwendung der im Rahmen dieser Arbeit für Isotopensysteme etablierten Methoden steht noch aus. Notwendig hierfür sind geeignete (multi-dimensionale) Datensätze ausreichend großer Stichprobenzahl für die Clusteranalysen, sowie Isotopendaten von marinen und wildlebenden, herbivoren Säugern für die „sea spray“-Approximation. Für $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ war ein Vergleich mit einem anderen Datensatz nicht möglich - es fand sich bislang kein geeigneter Datensatz in der Ostseeregion. Der Fokus der vorliegenden Arbeit lag auf der Ostseeküste. Jedoch könnte für eine Verifizierung oder auch einen Vergleich der Stärke des „sea spray“-Effektes auch ein Datensatz an einer anderen Meeresküste herangezogen werden.

Die vorliegende Dissertation zeigt, dass sich aus einer Zusammenarbeit von Anthropologie und Informatik neue Wege eröffnen, (multi-dimensionale) Daten (insbesondere Isotopendaten) auszuwerten. Es wäre daher wünschenswert, wenn zukünftig vermehrt Kooperationen zwischen diesen beiden Fachbereichen eingegangen werden, was aufgrund immer schneller akkumulierender Datenmengen auch zunehmend notwendig wird.

8 Literatur

- Aggarwal, C. C. (2014). „An Introduction to Cluster Analysis“. In: *Data Clustering: Algorithms and Applications*. Hrsg. von C. C. Aggarwal, C. K. Reddy. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC. Kap. 1, S. 1–27.
- Aggarwal, C. C. (2015). *Data Mining: The Textbook*. Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer Publishing Company, Incorporated.
- Alexander, B., Park, R. J., Jacob, D. J., Li, Q. B., Yantosca, R. M., Savarino, J., Lee, C. C. W., Thiemens, M. H. (2005). „Sulfate formation in sea-salt aerosols: Constraints from oxygen isotopes“. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 110 (D10307).
- Ambrose, S. H. (1991). „Effects of diet, climate and physiology on nitrogen isotope abundances in terrestrial foodwebs“. *Journal of Archaeological Science* 18 (3), S. 293–317.
- Ambrose, S. H., Norr, L. (1993). „Experimental Evidence for the Relationship of the Carbon Isotope Ratios of Whole Diet and Dietary Protein to Those of Bone Collagen and Carbonate“. In: *Prehistoric Human Bone - Archaeology at the Molecular Level*. Hrsg. von J. B. Lambert, G. Grupe. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, S. 1–37.
- Ambrose, S. H., Butler, B. M., Hanson, D. B., Hunter-Anderson, R. L., Krueger, H. W. (1997). „Stable isotopic analysis of human diet in the Marianas Archipelago, Western Pacific“. *American Journal of Physical Anthropology* 104 (3), S. 343–361.
- Andersson, P., Löfvendahl, R., Åberg GöranÅberg, G. (1990). „Major element chemistry, $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in a snow profile across central Scandinavia“. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics* 24 (10), S. 2601–2608.
- Andersson, P. S., Wasserburg, G. J., Ingri, J. (1992). „The sources and transport of Sr and Nd isotopes in the Baltic Sea“. *Earth and Planetary Science Letters* 113 (4), S. 459–472.
- Badger, M. R., Price, G. D. (1994). „The Role of Carbonic Anhydrase in Photosynthesis“. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 45 (1), S. 369–392.

- Balasse, M., Mainland, I., Richards, M. P. (2009). „Stable isotope evidence for seasonal consumption of marine seaweed by modern and archaeological sheep in the Orkney archipelago (Scotland)“. *Environmental Archaeology* 14, S. 1–14.
- Baldwin, R. L., Allison, M. J. (1983). „Rumen metabolism“. *Journal of Animal Science* 57, S. 461–477.
- Banfield, J. D., Raftery, A. E. (1993). „Model-Based Gaussian and Non-Gaussian Clustering“. *Biometrics* 49 (3), S. 803–821.
- Barrett, J. H., Orton, D., Johnstone, C., Harland, J., Van Neer, W., Ervynck, A., Roberts, C., Locker, A., Amundsen, C., Enghoff, I. B., Hamilton-Dyer, S., Heinrich, D., Hufthammer, A. K., Jones, A. K. G., Jonsson, L., Makowiecki, D., Pope, P., O’Connell, T. C., Roo, T. de, Richards, M. (2011). „Interpreting the expansion of sea fishing in medieval Europe using stable isotope analysis of archaeological cod bones“. *Journal of Archaeological Science* 38 (7), S. 1516–1524.
- Bates, T. S., Quinn, P. K., Frossard, A. A., Russell, L. M., Hakala, J., Petäjä, T., Kulmala, M., Covert, D. S., Cappa, C. D., Li, S. M., Hayden, K. L., Nuaaman, I., McLaren, R., Massoli, P., Canagaratna, M. R., Onasch, T. B., Sueper, D., Worsnop, D. R., Keene, W. C. (2012). „Measurements of ocean derived aerosol off the coast of California“. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 117 (D00V15).
- Becker, C., Grupe, G. (2011). „Teamplayer oder Gegenspieler? Der zweifache Nutzen von Archäozoologie und Isotopenanalyse - Haithabu und Schleswig neu bewertet“. *Beiträge zur Archäozoologie und Prähistorischen Anthropologie* 8, S. 9–27.
- Becker, C., Grupe, G. (2012). „Archaeometry meets archaeozoology: Viking Haithabu and medieval Schleswig reconsidered“. *Archaeological and Anthropological Sciences* 4 (4), S. 241–262.
- Bedri, A. A., Wallace, A., Rhoads, W. A. (1960). „Assimilation of bicarbonate by roots of different plant species“. *Soil Science* 89 (5), S. 257–263.
- Ben-Hur, A., Ong, C. S., Sonnenburg, S., Schölkopf, B., Rätsch, G. (2008). „Support Vector Machines and Kernels for Computational Biology“. *PLOS Computational Biology* 4 (10), e1000173.

- Bentley, R. A. (2006). „Strontium Isotopes from the Earth to the Archaeological Skeleton: A Review“. *Journal of Archaeological Method and Theory* 13 (3), S. 135–187.
- Björck, S. (1995). „A Review of the History of the Baltic Sea, 13.0-8.0 ka BP“. *Quaternary International* 27, S. 19–40.
- Blake, R. E., O’Neil, J. R., Garcia, G. A. (1997). „Oxygen isotope systematics of biologically mediated reactions of phosphate: I. Microbial degradation of organophosphorus compounds“. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61 (20), S. 4411–4422.
- Bocherens, H., Koch, P. L., Mariotti, A., Geraads, D., Jaeger, J.-J. (1996). „Isotopic biogeochemistry (13C, 18O) of mammalian enamel from African Pleistocene hominid sites“. *PALAIOS* 11 (4), S. 306–318.
- Boecklen, W. J., Yarnes, C. T., Cook, B. A., James, A. C. (2011). „On the Use of Stable Isotopes in Trophic Ecology“. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 42 (1), S. 411–440.
- Bogaard, A., Heaton, T. H. E., Poulton, P., Merbach, I. (2007). „The impact of manuring on nitrogen isotope ratios in cereals: archaeological implications for reconstruction of diet and crop management practices“. *Journal of Archaeological Science* 34 (3), S. 335–343.
- Bonsall, J., Cook, G., Lennon, R., Harkness, D., Scott, M., Bartosiewicz, L., McSweeney, K. (2000). „Stable Isotopes, radiocarbon and the Mesolithic–Neolithic transition in the Iron Gates“. *Documenta Praehistorica* 27, S. 119–132.
- Bosch, S. (2017). *sdmpredictors: Species Distribution Modelling Predictor Datasets*. URL: <http://www.samuelbosch.com/p/sdmpredictors.html>.
- Brink, S. (2008). „Who were the Vikings?“ In: *The Viking World*. Hrsg. von S. Brink, N. Price. London, New York: Routledge, S. 4–7.
- Bryant, J. D., Froelich, P. N. (1995). „A model of oxygen isotope fractionation in body water of large mammals“. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59 (21), S. 4523–4537.
- Bryant, J. D., Luz, B., Froelich, P. N. (1994). „Oxygen isotopic composition of fossil horse tooth phosphate as a record of continental paleoclimate“. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 107 (3), S. 303–316.

- Bryant, J. D., Koch, P. L., Froelich, P. N., Showers, W. J., Genna, B. J. (1996). „Oxygen isotope partitioning between phosphate and carbonate in mammalian apatite“. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60 (24), S. 5145–5148.
- Burton, J. H., Hahn, R. (2016). „Assessing the “Local” $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Ratio for Humans“. In: *Isotopic Landscapes in Bioarchaeology*. Hrsg. von G. Grupe, G. C. McGlynn. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 113–121.
- Burton, J. H., Price, T. D. (2013). „Seeking the Local $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Ratio To Determine Geographic Origins of Humans“. In: *Archaeological Chemistry VIII*. Bd. 1147. ACS Symposium Series. American Chemical Society. Kap. 18, S. 309–320.
- Camin, F., Perini, M., Colombari, G., Bontempo, L., Versini, G. (2008). „Influence of dietary composition on the carbon, nitrogen, oxygen and hydrogen stable isotope ratios of milk“. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 22 (11), S. 1690–1696.
- Cantalapiedra-Hijar, G., Ortigues-Marty, I., Sepchat, B., Agabriel, J., Huneau, J. F., Fouillet, H. (2015). „Diet-animal fractionation of nitrogen stable isotopes reflects the efficiency of nitrogen assimilation in ruminants“. *British Journal of Nutrition* 113 (7), S. 1158–1169.
- Cantalapiedra-Hijar, G., Dewhurst, R. J., Cheng, L., Cabrita, A. R. J., Fonseca, A. J. M., Noziere, P., Makowski, D., Fouillet, H., Ortigues-Marty, I. (2018). „Nitrogen isotopic fractionation as a biomarker for nitrogen use efficiency in ruminants: a meta-analysis“. *Animal* 12 (9), S. 1827–1837.
- Cerling, T. E., Harris, J. M., Ambrose, S. H., Leakey, M. G., Solounias, N. (1997). „Dietary and environmental reconstruction with stable isotope analyses of herbivore tooth enamel from the Miocene locality of Fort Ternan, Kenya“. *Journal of Human Evolution* 33 (6), S. 635–650.
- Cerling, T. E., Harris, J. M., Passey, B. H. (2003). „Diets of East African Bovidae Based on Stable Isotope Analysis“. *Journal of Mammalogy* 84 (2), S. 456–470.
- Clementz, M. T., Fox-Dobbs, K., Wheatley, P. V., Koch, P. L., Doak, D. F. (2009). „Revisiting old bones: coupled carbon isotope analysis of bioapatite and collagen as an ecological and palaeoecological tool“. *Geological Journal* 44 (5), S. 605–620.

- Clementz, M. T., Koch, P. L. (2001). „Differentiating Aquatic Mammal Habitat and Foraging Ecology with Stable Isotopes in Tooth Enamel“. *Oecologia* 129 (3), S. 461–472.
- Clementz, M. T., Goswami, A., Gingerich, P. D., Koch, P. L. (2006). „Isotopic Records from Early Whales and Sea Cows: Contrasting Patterns of Ecological Transition“. *Journal of Vertebrate Paleontology* 26 (2), S. 355–370.
- Cochran, R. E., Jayarathne, T., Stone, E. A., Grassian, V. H. (2016). „Selectivity Across the Interface: A Test of Surface Activity in the Composition of Organic-Enriched Aerosols from Bubble Bursting“. *The Journal of Physical Chemistry Letters* 7 (9), S. 1692–1696.
- Coltrain, J. B., Hayes, M. G., O'Rourke, D. H. (2004). „Sealing, whaling and caribou: the skeletal isotope chemistry of Eastern Arctic foragers“. *Journal of Archaeological Science* 31 (1), S. 39–57.
- Coplen, T. B. (1988). „Normalization of oxygen and hydrogen isotope data“. *Chemical Geology (Isotope Geoscience section)* 72 (4), S. 293–297.
- Coplen, T. B. (2011). „Guidelines and recommended terms for expression of stable-isotope ratio and gas-ratio measurement results“. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 25 (17), S. 2538–2560.
- Craig, H. (1961). „Isotopic Variations in Meteoric Waters“. *Science* 133 (3465), S. 1702–1703.
- Craig, O. E., Ross, R., Andersen, S. H., Milner, N., Bailey, G. N. (2006). „Focus: sulphur isotope variation in archaeological marine fauna from northern Europe“. *Journal of Archaeological Science* 33 (11), S. 1642–1646.
- D'Angela, D., Longinelli, A. (1990). „Oxygen isotopes in living mammal's bone phosphate: Further results“. *Chemical Geology (Isotope Geoscience section)* 86 (1), S. 75–82.
- Dash, M., Choi, K., Scheuermann, P., Liu, H. (2002). *Feature Selection for Clustering - A Filter Solution*. IEEE Computer Society.
- Dash, M., Liu, H. (2000). *Feature Selection for Clustering*. Springer-Verlag.
- Deng, H., Han, J. (2014). „Probabilistic Models for Clustering“. In: *Data Clustering: Algorithms and Applications*. Hrsg. von C. C. Aggarwal, C. K. Reddy. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC. Kap. 3, S. 61–86.

- DeNiro, M. J., Epstein, S. (1976). „You are what you eat (plus a few ‰): the carbon isotope cycle in food chains“. *Geological Society of America Abstracts with Programs* 6, S. 834–835.
- DeNiro, M. J. (1985). „Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction“. *Nature* 317 (6040), S. 806–809.
- Desgraupes, B. (2018). *clusterCrit: Clustering Indices*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=clusterCrit>.
- Doppler, S., Vohberger, M., Grupe, G., Peters, J., Carnap-Bornheim, C. von (2009). „Siedlungskontinuität, Wirtschaftswandel und Paläoökologie: Vorläufige Ergebnisse von Isotopenanalysen an Tierknochenfunden aus dem wikingerzeitlichen Haithabu und dem mittelalterlichen Schleswig“. *Beiträge zur Archäozoologie und Prähistorischen Anthropologie* 7, S. 151–164.
- Doppler, S., Vohberger, M., Von Carnap-Bornheim, C., Peters, J., Grupe, G. (2010). „Biodiversity of archaeological fauna in the estuarine palaeoecosystem of the Schlei fjord, Northern Germany: Isotopic evidence“. *Documenta Archaeobiologiae* 8, S. 21–70.
- Duce, R. A. (1983). „Biogeochemical cycles and the air/sea exchange of aerosols“. In: *SCOPE 21 - The Major Biogeochemical Cycles and Their Interactions*. Hrsg. von B. Bolin, R. B. Cook. Chichester: John Wiley & Sons. Kap. 16, S. 427–456.
- Egozcue, J. J., Pawlowsky-Glahn, V., Mateu-Figueras, G., Barceló-Vidal, C. (2003). „Isometric Logratio Transformations for Compositional Data Analysis“. *Mathematical Geology* 35 (3), S. 279–300.
- Ehleringer, J. R., Osmond, C. B. (1989). „Stable isotopes“. In: *Plant physiological ecology field methods and instrumentation*. Hrsg. von R. W. Pearcy, J. R. Ehleringer, H. A. Mooney, P. W. Rundel. London: Chapman & Hall. Kap. 13, S. 281–300.
- Elliott, J. C. (2002). „Calcium Phosphate Biominerals“. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 48 (1), S. 427–453.
- Emeis, K.-C., Struck, U., Blanz, T., Kohly, A., Voß, M. (2003). „Salinity changes in the central Baltic Sea (NW Europe) over the last 10000 years“. *The Holocene* 13 (3), S. 411–421.

- Epstein, S., Thompson, P., Yapp, C. J. (1977). „Oxygen and Hydrogen Isotopic Ratios in Plant Cellulose“. *Science* 198 (4323), S. 1209–1215.
- Erhardt, E. B., Wolf, B. O., Ben-David, M., Bedrick, E. J. (2014). „Stable Isotope Sourcing using Sampling“. *Open Journal of Ecology* 4 (6), S. 289–298.
- Erhardt, E. B. (2014). *SISUS: Stable Isotope Sourcing using Sampling*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=sisus>.
- Eriksson, G. (2004). „Part-time farmers or hard-core sealers? Västerbjers studied by means of stable isotope analysis“. *Journal of Anthropological Archaeology* 23 (2), S. 135–162.
- Eriksson, G., Zagorska, I. (2003). „Do dogs eat like humans? Marine stable isotope signals in dog teeth from inland Zvejnieki“. In: *Mesolithic on the Move: Papers Presented at the Sixth International Conference on the Mesolithic in Europe, Stockholm 2000*. Hrsg. von L. Larsson, K. Kindgren, D. Knutsson, A. Åkerlund. Oxford: Oxbow Books, S. 160–168.
- Faure, G., Mensing, T. M. (2005). *Isotope Principle and Applications*. 3. Aufl. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., Smyth, P. (1996). „From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases“. *AI Magazine* 17, S. 37–54.
- Ferguson, J., Hopkins, J. (2016). *IsotopeR: Stable isotope analysis*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=IsotopeR>.
- Filzmoser, P., Gschwandtner, M. (2017). *mvoutlier: Multivariate outlier detection based on robust methods*. URL: <http://CRAN.R-project.org/package=mvoutlier>.
- Filzmoser, P., Maronna, R., Werner, M. (2008). „Outlier identification in high dimensions“. *Computational Statistics & Data Analysis* 52 (3), S. 1694–1711.
- Filzmoser, P., Hron, K., Reimann, C. (2009). „Univariate statistical analysis of environmental (compositional) data: Problems and possibilities“. *Science of The Total Environment* 407 (23), S. 6100–6108.
- Flockhart, D. T., Kyser, T. K., Chipley, D., Miller, N. G., Norris, D. R. (2015). „Experimental evidence shows no fractionation of strontium isotopes ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) among soil, plants, and herbivores: implications for tracking wildlife and forensic science“. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 51 (3), S. 372–81.

- Fornander, E., Eriksson, G., Lidén, K. (2008). „Wild at heart: Approaching Pitted Ware identity, economy and cosmology through stable isotopes in skeletal material from the Neolithic site Korsnäs in Eastern Central Sweden“. *Journal of Anthropological Archaeology* 27 (3), S. 281–297.
- Fornander, E., Lidén, K., Eriksson, G., Andersson, P. (2015). „Identifying mobility in populations with mixed marine/terrestrial diets : strontium isotope analysis of skeletal material from a passage grave in Resmo, Öland, Sweden“. In: *Forging identities : the mobility of culture in bronze age Europe. Report from a Marie Curie project 2009-2012 with concluding conference at Aarhus University, Moesgaard 2012*. Hrsg. von P. Suchowska-Ducke, S. Scott Reiter, H. Vandkilde. Oxford: British Archaeological Reports, S. 183–192.
- Fraley, C., Raftery, A. E. (1998). „How Many Clusters? Which Clustering Method? Answers Via Model-Based Cluster Analysis“. *The Computer Journal* 41 (8), S. 578–588.
- Fraley, C., Raftery, A. E. (2002). „Model-Based Clustering, Discriminant Analysis, and Density Estimation“. *Journal of the American Statistical Association* 97 (458), S. 611–631.
- Fraley, C., Raftery, A. E. (2007). „Model-based Methods of Classification: Using the mclust Software in Chemometrics“. *Journal of Statistical Software* 18 (6), S. 1–13.
- Fraley, C., Raftery, A., Murphy, T. B., Scrucca, L. (2012). „mclust Version 4 for R: Normal Mixture Modeling for Model-Based Clustering, Classification, and Density Estimation“. *Technical Report* 597, S. 1–57.
- Francis, T. B., Schindler, D. E., Holtgrieve, G. W., Larson, E. R., Scheuerell, M. D., Semmens, B. X., Ward, E. J. (2011). „Habitat structure determines resource use by zooplankton in temperate lakes“. *Ecology Letters* 14 (4), S. 364–372.
- Fronza, G., Fuganti, C., Schmidt, H.-L., Werner, R. A. (2002). „The $\delta^{18}\text{O}$ -value of the p-OH group of L-tyrosine permits the assignment of its origin to plant or animal sources“. *European Food Research and Technology* 215 (1), S. 55–58.
- Fry, B., Sherr, E. B. (1984). „ $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems“. *Contributions in marine science* 27, S. 13–47.

- Fukuda, K. (2005). *cddlib Reference Manual*. URL: <ftp://ftp.math.ethz.ch/users/fukudak/cdd/cddlibman/cddlibman.html>.
- Fukuda, K., Prodon, A. (1996). „Double description method revisited“. In: *8th Franco-Japanese and 4th Franco-Chinese Conference Brest, France, July 3–5, 1995*. Hrsg. von M. Deza, R. Euler, I. Manoussakis. Combinatorics and Computer Science. Deza, Michel, Euler, Reinhardt & Manoussakis, Ioannis. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 91–111.
- Gade, K. E., Hrsg. (2009). *Poetry from the kings' sagas 2: Part 2*. Turnhout: Brepols Publishers.
- Gannes, L. Z., Rio, C. Martinez del, Koch, P. (1998). „Natural abundance variations in stable isotopes and their potential uses in animal physiological ecology“. *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology* 119 (3), S. 725–737.
- Garvie-Lok, S. J., Varney, T. L., Katzenberg, M. A. (2004). „Preparation of bone carbonate for stable isotope analysis: the effects of treatment time and acid concentration“. *Journal of Archaeological Science* 31 (6), S. 763–776.
- Gelse, K., Poschl, E., Aigner, T. (2003). „Collagens - structure, function, and biosynthesis“. *Advanced Drug Delivery Reviews* 55 (12), S. 1531–1546.
- Gillmaier, N., Kronseder, C., Grupe, G., von Carnap-Bornheim, C., Söllner, F., Schweissing, M. (2009). „The Strontium Isotope Project of the International Sachsensymposium“. *Beiträge zur Archäozoologie und Prähistorischen Anthropologie* 7, S. 133–141.
- Göhring, A., Vohberger, M., Nehlich, O., Grupe, G. (2015). „Approximation of the sea spray effect and limnic influence on $\delta^{34}\text{S}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of archaeological human and terrestrial and freshwater animal skeletal finds“. In: *Documenta Archaeobiologiae*. Hrsg. von G. Grupe, G. McGlynn, J. Peters. Bd. 12. Rahden/Westf.: Marie Leidorf GmbH, S. 169–188.
- Göhring, A., Mauder, M., Kröger, P., Grupe, G. (2016). „Using Gaussian Mixture Model clustering for multi-isotope analysis of archaeological fish bones for palaeobiodiversity studies“. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 30 (11), S. 1349–1360.

- Göhring, A., Mauder, M., Vohberger, M., Nehlich, O., von Carnap-Bornheim, C., Hilberg, V., Kröger, P., Grupe, G. (2018). „Palaeobiodiversity research based on stable isotopes: Correction of the sea spray effect on bone carbonate $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ by Gaussian Mixture Model clustering“. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 290, S. 673–686.
- Göhring, A., von Carnap-Bornheim, C., Hilberg, V., Mayr, C., Grupe, G. (2019a). „Diet and species-specific oxygen isotope relationship and isotope spacing between structural carbonate and phosphate in archaeological mammalian bones“. *Archaeological and Anthropological Sciences* 11, S. 2467–2487.
- Göhring, A., Mauder, M., Kröger, P., Mayr, C., von Carnap-Bornheim, C., Hilberg, V., Grupe, G. (2019b). „Evidence for sea spray effect on oxygen stable isotopes in bone phosphate - approximation and correction using Gaussian Mixture Model clustering“. *Science of the Total Environment* 673, S. 668–684.
- Göhring, A., Mauder, M., Kröger, P., Grupe, G. (eingereicht). „Which isotopes should we choose?: Entropy-based feature selection enables ranking of stable isotopes“.
- Gordon, I. J., Prins, H. H. T. (2008). „Grazers and Browsers in a Changing World: Conclusions“. In: *The Ecology of Browsing and Grazing*. Hrsg. von I. J. Gordon, H. H. T. Prins. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 309–321.
- Gratton, C., Donaldson, J., Zanden, M. J. (2008). „Ecosystem Linkages Between Lakes and the Surrounding Terrestrial Landscape in Northeast Iceland“. *Ecosystems* 11 (5), S. 764–774.
- Green, D. R., Olack, G., Colman, A. S. (2018). „Determinants of blood water $\delta^{18}\text{O}$ variation in a population of experimental sheep: Implications for paleoclimate reconstruction“. *Chemical Geology* 485, S. 32–43.
- Grupe, G. (2014). „Application of isotopic mixing models for palaeodietary and paleoecological studies“. *Anthropol Anzeiger* 71 (1-2), S. 21–39.
- Grupe, G., Heinrich, D., Peters, J. (2009). „A brackish water aquatic foodweb: trophic levels and salinity gradients in the Schlei fjord, Northern Germany, in Viking and medieval times“. *Journal of Archaeological Science* 36 (10), S. 2125–2144.

- Grupe, G., Doppler, S., Vohberger, M., Peters, J. (2010). „Fishing with the Vikings: Vertebrate food webs and isotopic mixing models in a brackish water ecosystem at Viking Haithabu and medieval Schleswig“. *Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie* 16 (1-2), S. 23–34.
- Grupe, G., von Carnap-Bornheim, C., Söllner, F. (2011). „Stable strontium isotope mapping for provenance studies in archaeology – different material, different signals?“ *Bulletin de la Société Suisse d'Anthropologie* 17, S. 67–76.
- Grupe, G., von Carnap-Bornheim, C., Becker, C. (2013). „Rise and Fall of a Medieval Trade Centre: Economic Change from Viking Haithabu to Medieval Schleswig Revealed by Stable Isotope Analysis“. *European Journal of Archaeology* 16 (1), S. 137–166.
- Grupe, G., Klaut, D., Mauder, M., Kröger, P., Lang, A., Mayr, C., Söllner, F. (2018). „Multi-isotope provenancing of archaeological skeletons including cremations in a reference area of the European Alps“. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 32 (19), S. 1711–1727.
- Grupe, G., Rott, A., Claus, v., Söllner, F. (unpubliziert). „Isotope Studies at Viking Haithabu and Environs“. *Unpubliziertes Manuskript*.
- Hagl, P., Becker, C., Grupe, G. (2013). „Establishment of dairying economy in the Bavarian Neolithic revealed by isotopic foodwebs“. In: *Documenta Archaeobiologiae*. Hrsg. von G. Grupe, G. McGlynn, J. Peters. Bd. 11. Rahden/Westf.: Marie Leidorf GmbH, S. 79–93.
- Halkidi, M., Batistakis, Y., Vazirgiannis, M. (2001). „On Clustering Validation Techniques“. *Journal of Intelligent Information Systems* 17 (2), S. 107–145.
- Harbeck, M., Grupe, G. (2009). „Experimental chemical degradation compared to natural diagenetic alteration of collagen: implications for collagen quality indicators for stable isotope analysis“. *Archaeological and Anthropological Sciences* 1, S. 43–57.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Møller, I. S., White, P. (2012). „Functions of Macronutrients“. In: *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3. Aufl. San Diego: Academic Press. Kap. 6, S. 135–189.

- Heinrich, D. (1987). „Untersuchungen an mittelalterlichen Fischresten aus Schleswig. Ausgrabung Schild 1971-1975“. In: *Ausgrabungen in Schleswig: Berichte und Studien 6*. Hrsg. von V. Vogel. Neumünster: Karl Wachholtz.
- Heinrich, D. (1991). *Untersuchungen an Skelettresten wildlebender Säugetiere aus dem mittelalterlichen Schleswig*. Hrsg. von V. Vogel. Ausgrabungen in Schleswig: Berichte und Studien 9. Neumünster: Karl Wachholtz Verlag.
- Hijmans, R. J. (2017). *raster: Geographic Data Analysis and Modeling*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=raster>.
- Hilberg, V. (2008). „Hedeby: an outline of its research history“. In: *The Viking World*. Hrsg. von S. Brink. London, New York: Routledge. Kap. 8, S. 101–111.
- Hilberg, V. (2016). „Hedeby’s Demise in the Late Viking Age and the Shift to Schleswig“. In: *New Aspects on Viking-age Urbanism c. AD 750-1100. Theses and Papers in Archaeology B:12*. Hrsg. von L. Holmquist, S. Kalmring, C. Hedenstierna-Jonson. Stockholm: Archaeological Research Laboratory, Stockholm University, S. 63–80.
- Hillson, S., Antoine, D. (2003). „Ancient bones and teeth on the microstructural level“. In: *Documenta Archaeobiologiae*. Hrsg. von G. Grupe, J. Peters. Bd. 1. Rahden: Marie Leidorf GmbH, S. 141–158.
- Hobson, K. A. (1999). „Tracing Origins and Migration of Wildlife Using Stable Isotopes: A Review“. *Oecologia* 120 (3), S. 314–326.
- Hobson, K. A., Drever, M. C., Kaiser, G. W. (1999). „Norway Rats as Predators of Burrow-Nesting Seabirds: Insights from Stable Isotope Analyses“. *The Journal of Wildlife Management* 63 (1), S. 14–25.
- Hoffmann, E. (1984). „Beiträge zur Geschichte der Beziehungen zwischen dem deutschen und dem dänischen Reich für die Zeit von 934 bis 1035“. In: *850 Jahre St.-Petri-Dom zu Schleswig 1134-1984*. Hrsg. von W. Radtke Christian Körber. Schleswig: Schleswiger Druck- und Verlagshaus, S. 105–132.
- Hoffmann, R. C. (2005). „A brief history of aquatic resource use in medieval Europe“. *Helgoland Marine Research* 59 (1), S. 22–30.

- Hofmann, R. R. (1989). „Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system“. *Oecologia* 78 (4), S. 443–457.
- Hofmann, R. R., Stewart, D. R. M. (1972). „Grazer or Browser: A Classification Based on the Stomach-Structure and Feeding Habits of East African Ruminants“. *Mammalia* 36 (1), S. 226–240.
- Hofmann, R. R. (1991). „Die Wiederkäuer. Ökophysiologisch hochdifferenziert, biologisch erfolgreich—in ihrer Vielfalt gefährdet. Eine vergleichend-anatomische Betrachtung der Evolution des Wiederkäuer-Verdauungsapparates“. *Biologie in unserer Zeit* 21 (2), S. 73–80.
- Hopkins, J. B. I., Ferguson, J. M. (2012). „Estimating the diets of animals using stable isotopes and a comprehensive Bayesian mixing model“. *PLoS One* 7 (1), e28478.
- Howland, M. R., Corr, L. T., Young, S. M. M., Jones, V., Jim, S., van Der Merwe, N. J., Mitchell, A. D., Evershed, R. P. (2003). „Expression of the dietary isotope signal in the compound-specific $\delta^{13}\text{C}$ values of pig bone lipids and amino acids“. *International Journal of Osteoarchaeology* 13 (1-2), S. 54–65.
- Hubert, L., Arabie, P. (1985). „Comparing partitions“. *Journal of Classification* 2 (1), S. 193–218.
- Hüster, H. (1990). *Untersuchungen an Skelettresten von Rindern, Schafen, Ziegen und Schweinen aus dem mittelalterlichen Schleswig. Ausgrabung Schild 1971-1975*. Hrsg. von V. Vogel. Ausgrabungen in Schleswig: Berichte und Studien 8. Neumünster: Karl Wachholtz Verlag.
- Iacumin, P., Bocherens, H., Mariotti, A., Longinelli, A. (1996). „Oxygen isotope analyses of co-existing carbonate and phosphate in biogenic apatite: a way to monitor diagenetic alteration of bone phosphate?“ *Earth and Planetary Science Letters* 142 (1–2), S. 1–6.
- Jackson, A. L., Inger, R., Parnell, A. C., Bearhop, S. (2011). „Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER - Stable Isotope Bayesian Ellipses in R“. *Journal of Animal Ecology* 80 (3), S. 595–602.

- Jahnke, C. (2006). „... und er verwandelte die blühende Handelsstadt in ein unbedeutendes Dorf."Die Rolle Schleswigs im internationalen Handel des 13. Jahrhunderts“. In: *Von Menschen, Ländern, Meeren. Festschrift für Thomas Riis zum 65. Geburtstag*. Bonn: Stollfuß Verlag Bonn GmbH & Co. KG, S. 251–268.
- Jankuhn, H. (1986). *Haithabu. Ein Handelsplatz der Wikingerzeit*. Neumünster: Karl Wachholtz Verlag.
- Jayarathne, T., Sultana, C. M., Lee, C., Malfatti, F., Cox, J. L., Pendergraft, M. A., Moore, K. A., Azam, F., Tivanski, A. V., Cappa, C. D., Bertram, T. H., Grassian, V. H., Prather, K. A., Stone, E. A. (2016). „Enrichment of Saccharides and Divalent Cations in Sea Spray Aerosol During Two Phytoplankton Blooms“. *Environ Sci Technol* 50 (21), S. 11511–11520.
- Jim, S., Ambrose, S. H., Evershed, R. P. (2004). „Stable carbon isotopic evidence for differences in the dietary origin of bone cholesterol, collagen and apatite: implications for their use in palaeodietary reconstruction“. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 68 (1), S. 61–72.
- Johansen, O. S., Gulliksen, S., Nydal, R. (1986). „ $\delta^{13}\text{C}$ and diet: analysis of Norwegian human skeletons“. *Radiocarbon* 28 (2A), S. 754–761.
- Jolliffe, I. T. (2002). *Principal Component Analysis*. 2. Aufl. New York: Springer.
- Kahle, D., Wickham, H. (2013). „ggmap: Spatial Visualization with ggplot2“. *The R Journal* 5 (1), S. 144–161.
- Karatzoglou, A., Feinerer, I. (2010). „Kernel-based machine learning for fast text mining in R“. *Computational Statistics & Data Analysis* 54 (2), S. 290–297.
- Karatzoglou, A., Smola, A., Hornik, K., Zeileis, A. (2004). „kernlab - An S4 Package for Kernel Methods in R“. *Journal of Statistical Software* 11 (9), S. 1–20.
- Karatzoglou, A., Meyer, D., Hornik, K. (2006). „Support Vector Machines in R“. *Journal of Statistical Software* 15 (9), S. 1–28.
- Keene, W. C., Maring, H., Maben, J. R., Kieber, D. J., Pszenny, A. A. P., Dahl, E. E., Izaguirre, M. A., Davis, A. J., Long, M. S., Zhou, X., Smoydzin, L., Sander, R. (2007).

- „Chemical and physical characteristics of nascent aerosols produced by bursting bubbles at a model air-sea interface“. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 112 (D21202).
- Kim, S. (2015). „ppcor: An R Package for a Fast Calculation to Semi-partial Correlation Coefficients“. *Communications for statistical applications and methods* 22 (6), S. 665–674.
- Kirsanow, K., Tuross, N. (2011). „Oxygen and hydrogen isotopes in rodent tissues: Impact of diet, water and ontogeny“. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 310 (1–2), S. 9–16.
- Knobbe, N., Vogl, J., Pritzkow, W., Panne, U., Fry, H., Lochotzke, H. M., Preiss-Weigert, A. (2006). „C and N stable isotope variation in urine and milk of cattle depending on the diet“. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 386 (1), S. 104–108.
- Knott, L., Bailey, A. J. (1998). „Collagen cross-links in mineralizing tissues: A review of their chemistry, function, and clinical relevance“. *Bone* 22 (3), S. 181–187.
- Koch, P. L., Fogel, M. L., Tuross, N. (1994). „Tracing the diets of fossil animals using stable isotopes“. In: *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. Hrsg. von K. Lajtha, R. H. Michener. Oxford: Blackwell Scientific Publications. Kap. 4, S. 63–92.
- Koch, P. L. (2007). „Isotopic Study of the Biology of Modern and Fossil Vertebrates“. In: *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. Hrsg. von R. Michener, K. Lajtha. Blackwell Publishing Ltd, S. 99–154.
- Kocsis, L., Vennemann, T. W., Fontignie, D. (2007). „Migration of sharks into freshwater systems during the Miocene and implications for Alpine paleoelevation“. *Geology* 35 (5), S. 451–454.
- Kohavi, R. (1995). „A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection“. *Proceedings of the 14th international joint conference on Artificial intelligence* 2, S. 1137–1143.
- Kohn, M. J. (1996). „Predicting animal $\delta^{18}\text{O}$: Accounting for diet and physiological adaptation“. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60 (23), S. 4811–4829.
- Kohn, M. J., Cerling, T. E. (2002). „Stable Isotope Compositions of Biological Apatite“. In: *Phosphates: Geochemical, Geobiological, and Materials Importance, reviews in*

- Mineralogy and Geochemistry*. Hrsg. von M. J. Kohn, J. Rakovan, J. M. Hughes. Bd. 48. Washington: The Mineralogical Society of America, S. 455–480.
- Kohn, M. J., Schoeninger, M. J., Valley, J. W. (1996). „Herbivore tooth oxygen isotope compositions: Effects of diet and physiology“. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60 (20), S. 3889–3896.
- Kornexl, B. E., Werner, T., Roßmann, A., Schmidt, H.-L. (1997). „Measurement of stable isotope abundances in milk and milk ingredients — a possible tool for origin assignment and quality control“. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A* 205 (1), S. 19–24.
- Kosiba, S. B., Tykot, R. H., Carlsson, D. (2007). „Stable isotopes as indicators of change in the food procurement and food preference of Viking Age and Early Christian populations on Gotland (Sweden)“. *Journal of Anthropological Archaeology* 26 (3), S. 394–411.
- Krivachy, N., Rossmann, A., Schmidt, H.-L. (2015). „Potentials and caveats with oxygen and sulfur stable isotope analyses in authenticity and origin checks of food and food commodities“. *Food Control* 48, S. 143–150.
- Kroopnick, P., Craig, H. (1972). „Atmospheric Oxygen: Isotopic Composition and Solubility Fractionation“. *Science* 175 (4017), S. 54–55.
- Krouse, H. R. (1980). „Sulphur isotopes in our environment“. In: *The Terrestrial Environment*, A. Hrsg. von P. Fontes, J. C. Fritz. Amsterdam, Oxford, New York: Elsevier Scientific Publishing Company. Kap. 11, S. 435–471.
- Krueger, H. W., Sullivan, C. H. (1984). „Models for Carbon Isotope Fractionation Between Diet and Bone“. In: *Stable Isotopes in Nutrition. ACS Symposium Series 258*. Hrsg. von J. R. Turnlund, P. E. Johnson. Washington D.C.: American Chemical Society. Kap. 14, S. 205–222.
- Krumholz, L. R., Bryant, M. P. (1986a). „Syntrophococcus sucromutans sp. nov. gen. nov. uses carbohydrates as electron donors and formate, methoxymonobenzenoids or Methanobrevibacter as electron acceptor systems“. *Archives of Microbiology* 143 (4), S. 313–318.

- Krumholz, L. R., Bryant, M. P. (1986b). „Eubacterium oxidoreducens sp. nov. requiring H₂ or formate to degrade gallate, pyrogallol, phloroglucinol and quercetin“. *Archives of Microbiology* 144 (1), S. 8–14.
- Kumar, A., Joshi, V. M., Mishra, M. K., Karpe, R., Rout, S., Narayanan, U., Tripathi, R. M., Singh, J., Kumar, S., Hegde, A. G., Kushwaha, H. S. (2012). „Distribution, enrichment and principal component analysis for possible sources of naturally occurring and anthropogenic radionuclides in the agricultural soil of Punjab state, India“. *Radiation Protection Dosimetry* 150 (1), S. 71–81.
- Lahtinen, M., Salmi, A.-K. (2018). „Mixed Livelihood Society in Iin Hamina – a Case Study of Medieval Diet in the Northern Ostrobothnia, Finland“. *Environmental Archaeology*, S. 1–14.
- Laur, W. (1953). „Sliesthorp, Schleswig, Hedeby und Haddeby: Die Namen von Schleswig-Haithabu und ihre Nachfahren“. In: *Namn Och Bygd: Tidskrift För Nordisk Ortsnamnsforskning*. Hrsg. von J. Sahlgren. Uppsala: Lundequistska Bokhandeln, S. 67–83.
- Laur, W. (1967). *Historisches Ortsnamenlexikon von Schleswig-Holstein*. Gottorfer Schriften. Schleswig: Arbeitsgemeinschaft für Landes- und Volkstumsforschung Schleswig.
- Lécuyer, C., Grandjean, P., Emig, C. C. (1996). „Determination of oxygen isotope fractionation between water and phosphate from living lingulids: potential application to palaeoenvironmental studies“. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 126 (1), S. 101–108.
- Lee-Thorp, J. A. (2000). „Preservation of Biogenic Carbon Isotopic Signals in Plio-Pleistocene Bone and Tooth Mineral“. In: *Biogeochemical Approaches to Paleodietary Analysis*. Hrsg. von S. H. Ambrose, M. A. Katzenberg. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers. Kap. 5, S. 89–115.
- Lee-Thorp, J. A., Sealy, J. C., van der Merwe, N. J. (1989). „Stable carbon isotope ratio differences between bone collagen and bone apatite, and their relationship to diet“. *Journal of Archaeological Science* 16 (6), S. 585–599.

- LeGeros, R. Z., Trautz, O. R., Klein, E., LeGeros, J. P. (1969). „Two types of carbonate substitution in the apatite structure“. *Experientia* 25 (1), S. 5–7.
- Lengfelder, F., Grupe, G., Stallauer, A., Huth, R., Söllner, F. (2019). „Modelling strontium isotopes in past biospheres – Assessment of bioavailable $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios in local archaeological vertebrates based on environmental signatures“. *Science of The Total Environment* 648, S. 236–252.
- Leustek, T., Martin, M. N., Bick, J. A., Davies, J. P. (2000). „Pathways and Regulation of Sulfur Metabolism Revealed through Molecular and Genetic Studies“. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 51, S. 141–165.
- Leustek, T., Saito, K. (1999). „Sulfate Transport and Assimilation in Plants“. *Plant Physiology* 120 (3), S. 637–644.
- Lewandowska, A. U., Falkowska, L. M. (2013). „Sea salt in aerosols over the southern Baltic. Part 1. The generation and transportation of marine particles“. *Oceanologia* 55 (2), S. 279–298.
- Linderholm, A., Andersson, K., Grundberg, L., Hårding, B., Lidén, K., Mört, C.-M. (2008a). „An early Christian cemetery at Björned in northern Sweden : stable isotope analyses of skeletal material“. *Fornvännen* 103, S. 176–189.
- Linderholm, A., Jonson, C. H., Svensk, O., Lidén, K. (2008b). „Diet and status in Birka: stable isotopes and grave goods compared“. *Antiquity* 82 (316), S. 446–461.
- Linderholm, A., Fornander, E., Eriksson, G., Mört, C.-M., Lidén, K. (2014). „Increasing Mobility at the Neolithic/Bronze Age Transition - sulphur isotope evidence from Öland, Sweden“. *Internet Archaeology* 37.
- Liu, Y., Li, Z., Xiong, H., Gao, X., Wu, J. (2010). „Understanding of Internal Clustering Validation Measures“. In: *2010 IEEE International Conference on Data Mining*, S. 911–916.
- Logan, F. D. (1991). *The Vikings in History*. London, New York: Routledge.
- Longinelli, A., Nuti, S. (1968). „Oxygen-isotope ratios in phosphate from fossil marine organisms“. *Science* 160 (3830), S. 879–882.

- Longinelli, A., Nuti, S. (1973). „Oxygen isotope measurements of phosphate from fish teeth and bones“. *Earth and Planetary Science Letters* 20 (3), S. 337–340.
- Longinelli, A., Bartelloni, M., Cortecci, G. (1976). „The isotopic cycle of oceanic phosphate, I“. *Earth and Planetary Science Letters* 32 (2), S. 389–392.
- Longinelli, A. (1984). „Oxygen isotopes in mammal bone phosphate: A new tool for paleohydrological and paleoclimatological research?“ *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48 (2), S. 385–390.
- Longinelli, A. (1995). „Stable isotope ratios in phosphate from mammal bone and tooth as climatic indicators“. In: *Problems of Stable Isotopes in Tree-rings, Lake Sediments and Peat-bogs as Climatic Evidence for the Holocene*. Hrsg. von B. Frenzel. Strasbourg: European Science Foundation, S. 57–70.
- Longinelli, A., Peretti Padalino, A. (1980). „Oxygen isotopic composition of water from mammal blood: first results“. *European Journal of Mass Spectrometry* 1, S. 135–139.
- Longinelli, A., Selmo, E. (2011). „ $\delta^{18}\text{O}$ values of *Sus scrofa* blood water and bone phosphate; a marked discrepancy between domestic and wild specimens“. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 25 (24), S. 3732–3734.
- Luz, B., Kolodny, Y. (1985). „Oxygen isotope variations in phosphate of biogenic apatites, IV. Mammal teeth and bones“. *Earth and Planetary Science Letters* 75 (1), S. 29–36.
- Luz, B., Kolodny, Y., Horowitz, M. (1984). „Fractionation of oxygen isotopes between mammalian bone-phosphate and environmental drinking water“. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48 (8), S. 1689–1693.
- Luz, B., Cormie, A. B., Schwarcz, H. P. (1990). „Oxygen isotope variations in phosphate of deer bones“. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 54 (6), S. 1723–1728.
- Manolagas, S. C. (2000). „Birth and death of bone cells: basic regulatory mechanisms and implications for the pathogenesis and treatment of osteoporosis“. *Endocrine Reviews* 21 (2), S. 115–137.
- Martin, C., Bentaleb, I., Kaandorp, R., Iacumin, P., Chatri, K. (2008). „Intra-tooth study of modern rhinoceros enamel $\delta^{18}\text{O}$: Is the difference between phosphate and carbonate $\delta^{18}\text{O}$

- a sound diagenetic test?“ *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 266 (3–4), S. 183–189.
- Martin, R. B., Burr, D. B., Sharkey, N. A., Fyhrie, D. P. (2015). „Skeletal Biology“. In: *Skeletal Tissue Mechanics*. Hrsg. von R. B. Martin, D. B. Burr, N. A. Sharkey, D. P. Fyhrie. 2. Aufl. Springer. Kap. 2, S. 35–93.
- Mauder, M., Ntoutsis, E., Kröger, P., Mayr, C., Toncala, A., Hölzl, S., Grupe, G. (2019). „Significance and Limitations of Stable Oxygen Isotope Ratios in the Apatite Phosphate of Archaeological Vertebrate Finds for Provenance Analysis in an Alpine Reference Region“. *Archaeometry* 61 (1), S. 194–210.
- Mauder, M. (2017). „Analyzing complex data using domain constraints“. Dissertation. München: Ludwig-Maximilians-Universität.
- Mauder, M., Ntoutsis, E., Kröger, P., Grupe, G. (2015). „Data mining for isotopic mapping of bioarchaeological finds in a central european alpine passage“. In: *SSDBM’15 Proceedings of the 27th International Conference on Scientific and Statistical Database Management*. ACM, S. 1–6.
- Mauder, M., Ntoutsis, E., Kröger, P., Mayr, C., Grupe, G., Toncala, A., Hölzl, S. (2016a). „Applying Data Mining Methods for the Analysis of Stable Isotope Data in Bioarchaeology“. In: *12th IEEE International Conference on e-Science, e-Science 2016*. IEEE, S. 233–242.
- Mauder, M., Bobkova, Y., Ntoutsis, E. (2016b). „GMMbuilder – User-Driven Discovery of Clustering Structure for Bioarchaeology“. In: *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases: European Conference, ECML PKDD 2016, Riva del Garda, Italy, September 19–23, 2016, Proceedings, Part III*. Hrsg. von B. Berendt, B. Bringmann, É. Fromont, G. Garriga, P. Miettinen, N. Tatti, V. Tresp. Cham: Springer International Publishing, S. 8–11.
- Mauder, M., Ntoutsis, E., Kröger, P., Kriegel, H.-P. (2016c). „Towards Predicting Places of Origin from Isotopic Fingerprints: A Case Study on the Mobility of People in the Central European Alps“. In: *Isotopic Landscapes in Bioarchaeology*. Hrsg. von G. Grupe, G. C. McGlynn. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 221–233.

- Mauder, M., Ntoutsis, E., Kröger, P., Kriegel, H.-P. (2017). „The Isotopic Fingerprint: New Methods of Data Mining and Similarity Search“. In: *Across the Alps in Prehistory: Isotopic Mapping of the Brenner Passage by Bioarchaeology*. Hrsg. von G. Grupe, A. Grigat, G. C. McGlynn. Cham: Springer, S. 105–126.
- Mayr, C., Grupe, G., Toncala, A., Lihl, C. M. (2016). „Linking Oxygen Isotopes of Animal-Bone Phosphate with Altimetry: Results from Archaeological Finds from a Transect in the Alps“. In: *Isotopic Landscapes in Bioarchaeology*. Hrsg. von G. Grupe, G. C. McGlynn. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 157–172.
- McCutchan, J. H., Lewis, W. M., Kendall, C., McGrath, C. C. (2003). „Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur“. *Oikos* 102 (2), S. 378–390.
- McLaughlin, K., Paytan, A., Kendall, C., Silva, S. (2006a). „Oxygen isotopes of phosphatic compounds - Application for marine particulate matter, sediments and soils“. *Marine Chemistry* 98 (2–4), S. 148–155.
- McLaughlin, K., Cade-Menun, B. J., Paytan, A. (2006b). „The oxygen isotopic composition of phosphate in Elkhorn Slough, California: A tracer for phosphate sources“. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 70 (3), S. 499–506.
- McSweeney, C. S., Palmer, B., McNeill, D. M., Krause, D. O. (2001). „Microbial interactions with tannins: nutritional consequences for ruminants“. *Animal Feed Science and Technology* 91 (1), S. 83–93.
- Meeden, G., Lazar, R., Geyer, C. J. (2017). *polyapost: Simulating from the Polya Posterior*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=polyapost>.
- Mekota, A.-M., Grupe, G., Ufer, S., Cuntz, U. (2006). „Serial analysis of stable nitrogen and carbon isotopes in hair: monitoring starvation and recovery phases of patients suffering from anorexia nervosa“. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 20 (10), S. 1604–1610.
- Melzer, E., O’Leary, M. H. (1987). „Anapleurotic CO₂ Fixation by Phosphoenolpyruvate Carboxylase in C₃ Plants“. *Plant Physiology* 84 (1), S. 58–60.
- Merwe, N. J. van der, Medina, E. (1991). „The canopy effect, carbon isotope ratios and foodwebs in amazonia“. *Journal of Archaeological Science* 18 (3), S. 249–259.

- Meyer, J. H., Weir, W. C. (1954). „The Tolerance of Sheep to High Intakes of Sodium Chloride“. *Journal of Animal Science* 13 (2), S. 443–449.
- Minagawa, M., Wada, E. (1984). „Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age“. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48 (5), S. 1135–1140.
- Miyake, Y., Wada, E. (1967). „The Abundance Ratio of $\delta^{15}\text{N}/\delta^{14}\text{N}$ in Marine Environments“. *Records of Oceanographic Works in Japan* 9 (1), S. 37–53.
- Mizota, C., Sasaki, A. (1996). „Sulfur isotope composition of soils and fertilizers: Differences between Northern and Southern hemispheres“. *Geoderma* 71 (1–2), S. 77–93.
- Montgomery, J., Evans, J., Cooper, R. (2007). „Resolving archaeological populations with Sr-isotope mixing models“. *Applied geochemistry*. 22 (7), S. 1502–1514.
- Montgomery, J., Grimes, V., Buckberry, J., Evans, J. A., Richards, M. P., Barrett, J. H. (2014). „Finding Vikings with Isotope Analysis: The View from Wet and Windy Islands“. *Journal of the North Atlantic*, S. 54–70.
- Mook, W. G. (1971). „Paleotemperatures and chlorinities from stable carbon and oxygen isotopes in shell carbonate“. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 9 (4), S. 245–263.
- Mook, W. G. (2000). *Environmental isotopes in the hydrological cycle: Principles and application*. Bd. 1. Introduction: Theory, Methods, Review. Paris, Vienna: International Atomic Energy Agency, United Nations Educational, Scientific & Cultural Organization.
- Moore, J. W., Semmens, B. X. (2008). „Incorporating uncertainty and prior information into stable isotope mixing models“. *Ecology Letters* 11 (5), S. 470–480.
- Müller, U. (2016). „Haithabu - Schleswig“. In: *Lübecker Kolloquium zur Archäologie im Hanseraum X: Vorbesiedlung, Gründung und Entwicklung*. Hrsg. von M. Gläser, M. Schneider. Lübeck, S. 339–357.
- Müller, U., Rösch, F., Schimmer, M. (2014). „Von Haithabu nach Schleswig: Aktuelle Forschungen zur Gründung einer Metropole zwischen Wikinger- und Hansezeit“. *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit* 27, S. 25–36.

- Murdiati, T., McSweeney, C., Lowry, J. (1992). „Metabolism in sheep of gallic acid, tannic acid and hydrolysable tannin from *Terminalia oblongata*“. *Australian Journal of Agricultural Research* 43 (6), S. 1307–1319.
- Nehlich, O. (2015). „The application of sulphur isotope analyses in archaeological research: A review“. *Earth-Science Reviews* 142 (0), S. 1–17.
- Nehlich, O., Richards, M. (2009). „Establishing collagen quality criteria for sulphur isotope analysis of archaeological bone collagen“. *Archaeological and Anthropological Sciences* 1 (1), S. 59–75.
- Nehlich, O., Borić, D., Stefanović, S., Richards, M. P. (2010). „Sulphur isotope evidence for freshwater fish consumption: a case study from the Danube Gorges, SE Europe“. *Journal of Archaeological Science* 37 (5), S. 1131–1139.
- Nelson, K. E., Pell, A. N., Schofield, P., Zinder, S. (1995). „Isolation and characterization of an anaerobic ruminal bacterium capable of degrading hydrolyzable tannins“. *Applied and environmental microbiology* 61 (9), S. 3293–3298.
- Nelson, K. E., Thonney, M. L., Woolston, T. K., Zinder, S. H., Pell, A. N. (1998). „Phenotypic and phylogenetic characterization of ruminal tannin-tolerant bacteria“. *Applied and Environmental Microbiology* 64 (10), S. 3824–3830.
- Newman, L., Krouse, H. R., Grinenko, V. A. (1991). „Sulphur Isotope Variations in the Atmosphere“. In: *Stable isotopes : natural and anthropogenic sulphur in the environment*. Hrsg. von H. R. Krouse, V. A. Grinenko. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons. Kap. 5, S. 133–176.
- Newsome, S. D., Phillips, D. L., Culleton, B. J., Guilderson, T. P., Koch, P. L. (2004). „Dietary reconstruction of an early to middle Holocene human population from the central California coast: insights from advanced stable isotope mixing models“. *Journal of Archaeological Science* 31, S. 1101–1115.
- Newsome, S. D., Martinez del Rio, C., Bearhop, S., Phillips, D. L. (2007). „A niche for isotopic ecology“. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5 (8), S. 429–436.

- Newsome, S. D., Clementz, M. T., Koch, P. L. (2010). „Using stable isotope biogeochemistry to study marine mammal ecology“. *Marine Mammal Science* 26 (3), S. 509–572.
- Nielsen, H. (1974). „Isotopic composition of the major contributors to atmospheric sulfur“. *Tellus* 26 (1-2), S. 213–221.
- Nriagu, J. O., Coker, R. D. (1978). „Isotopic composition of sulfur in precipitation within the Great Lakes Basin“. *Tellus* 30 (4), S. 365–375.
- O’Leary, M. H. (1988). „Carbon isotopes in photosynthesis“. *BioScience* 38 (5), S. 328–336.
- Orton, D. C., Makowiecki, D., de Roo, T., Johnstone, C., Harland, J., Jonsson, L., Heinrich, D., Enghoff, I. B., Lõugas, L., van Neer, W., Ervynck, A., Hufthammer, A. K., Amundsen, C., Jones, A. K. G., Locker, A., Hamilton-Dyer, S., Pope, P., MacKenzie, B. R., Richards, M., O’Connell, T. C., Barrett, J. H. (2011). „Stable Isotope Evidence for Late Medieval (14th–15th C) Origins of the Eastern Baltic Cod (*Gadus morhua*) Fishery“. *PLoS ONE* 6 (11), e27568.
- Osawa, R., Walsh, T. P. (1993). „Visual reading method for detection of bacterial tannase“. *Applied and Environmental Microbiology* 59 (4), S. 1251–1252.
- Overstreet, R., Ruben, S., Broyer, T. C. (1940). „The Absorption of Bicarbonate Ion by Barley Plants as Indicated by Studies with Radioactive Carbon“. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 26 (12), S. 688–695.
- Parnell, A. C., Inger, R., Bearhop, S., Jackson, A. L. (2010). „Source partitioning using stable isotopes: Coping with too much variation“. *PLoS ONE* 5 (3), e9672.
- Parnell, A. (2016). *simmr: A Stable Isotope Mixing Model*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=simmr>.
- Parnell, A., Jackson, A. (2013). *siar: Stable Isotope Analysis in R*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=siar>.
- Parnell, A. C., Phillips, D. L., Bearhop, S., Semmens, B. X., Ward, E. J., Moore, J. W., Jackson, A. L., Grey, J., Kelly, D. J., Inger, R. (2013). „Bayesian stable isotope mixing models“. *Environmetrics* 24 (6), S. 387–399.

- Peirce, A. (1957). „Studies on salt tolerance of sheep. I. The tolerance of sheep for sodium chloride in the drinking water“. *Australian Journal of Agricultural Research* 8 (6), S. 711–722.
- Pellegrini, M., Snoeck, C. (2016). „Comparing bioapatite carbonate pre-treatments for isotopic measurements: Part 2 — Impact on carbon and oxygen isotope compositions“. *Chemical Geology* 420, S. 88–96.
- Pellegrini, M., Lee-Thorp, J. A., Donahue, R. E. (2011). „Exploring the variation of the $\delta^{18}\text{O}_\text{p}$ and $\delta^{18}\text{O}_\text{c}$ relationship in enamel increments“. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 310 (1–2), S. 71–83.
- Pertz, G. H., Hrsg. (1895). *Annales regni Francorum: inde ab a. 741. usque ad a. 829. qui dicuntur annales Laurissenses maiores et Einhardi*. Scriptores rerum Germanicarum in usum scholarum ex monumentis Germaniae historicis separatim editi. Hannover: Hahn.
- Pestle, W. J., Torres-Rouff, C., Gallardo, F., Ballester, B., Clarot, A. (2015). „Mobility and Exchange among Marine Hunter-Gatherer and Agropastoralist Communities in the Formative Period Atacama Desert“. *Current Anthropology* 56 (1), S. 121–133.
- Phillips, D. L., Gregg, J. W. (2001). „Uncertainty in source partitioning using stable isotopes“. *Oecologia* 127 (2), S. 171–179.
- Phillips, D. L., Gregg, J. W. (2003). „Source partitioning using stable isotopes: coping with too many sources“. *Oecologia* 136 (2), S. 261–269.
- Phillips, D. L., Koch, P. L. (2002). „Incorporating concentration dependence in stable isotope mixing models“. *Oecologia* 130 (1), S. 114–125.
- Piazzola, J., Tedeschi, G., Demoisson, A. (2015). „A Model for the Transport of Sea-Spray Aerosols in the Coastal Zone“. *Boundary-Layer Meteorology* 155 (2), S. 329–350.
- Pietsch, S. J., Tütken, T. (2016). „Oxygen isotope composition of North American bobcat (*Lynx rufus*) and puma (*Puma concolor*) bone phosphate: implications for provenance and climate reconstruction“. *Isotopes Environ Health Stud* 52 (1–2), S. 164–84.
- Pietsch, S. J., Hobson, K. A., Wassenaar, L. I., Tütken, T. (2011). „Tracking Cats: Problems with Placing Feline Carnivores on $\delta^{18}\text{O}$, δD Isoscapes“. *PLoS ONE* 6 (9), e24601.

- Pin, C., Joannon, S., Bosq, C., Le Fèvre, B., Gauthier, P.-J. (2003). „Precise determination of Rb, Sr, Ba, and Pb in geological materials by isotope dilution and ICP-quadrupole mass spectrometry following selective separation of the analytes“. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 18 (2), S. 135–141.
- Podlesak, D. W., Torregrossa, A.-M., Ehleringer, J. R., Dearing, M. D., Passey, B. H., Cerling, T. E. (2008). „Turnover of oxygen and hydrogen isotopes in the body water, CO₂, hair, and enamel of a small mammal“. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72 (1), S. 19–35.
- Post, D. M. (2002). „Using Stable Isotopes to Estimate Trophic Position: Models, Methods, and Assumptions“. *Ecology* 83 (3), S. 703–718.
- Poyart, C. F., Bursaux, E., Freminet, A. (1975). „The bone CO₂ compartment: evidence for a bicarbonate pool“. *Respiration Physiology* 25 (1), S. 89–99.
- Prankerd, T. A. J., Altman, K. I. (1954). „A study of the metabolism of phosphorus in mammalian red cells“. *Biochemical Journal* 58 (4), S. 622–633.
- Price, T. D., Burton, J. H., Bentley, R. A. (2002). „The Characterization of Biologically Available Strontium Isotope Ratios for the Study of Prehistoric Migration“. *Archaeometry* 44 (1), S. 117–135.
- Price, T. (2015). *Ancient Scandinavia: An Archaeological History from the First Humans to the Vikings*. New York: Oxford University Press.
- Price, T. D., Naum, M., Bennike, P., Lynnerup, N., Frei, K. M., Wagnkilde, H., Pind, T., Nielsen, F. O. (2012). „Isotopic investigation of human provenience at the eleventh century cemetery of Ndr. Grødbygård, Bornholm, Denmark“. *Danish Journal of Archaeology* 1 (2), S. 93–112.
- R Developmental Core Team (2018). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Radtke, C. (2009). „Haithabu: Perspektiven einer Stadtentwicklung in drei Stationen – 800, 900, 1000“. *Zeitschrift für Archäologie des Mittelalters* 37, S. 135–162.
- Ramos, R., González-Solís, J., Croxall, J. P., Oro, D., Ruiz, X. (2009). „Understanding Oceanic Migrations with Intrinsic Biogeochemical Markers“. *PLOS ONE* 4 (7), e6236.

- Ravanel, S., Gakière, B., Job, D., Douce, R. (1998). „The specific features of methionine biosynthesis and metabolism in plants“. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 95 (13), S. 7805–7812.
- Reddy, C. K., Vinzamuri, B. (2014). „A Survey of Partitional and Hierarchical Clustering Algorithms“. In: *Data Clustering: Algorithms and Applications*. Hrsg. von C. C. Aggarwal, C. K. Reddy. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC. Kap. 4, S. 87–110.
- Reichstein, H. (1974). „Ergebnisse und Probleme von Untersuchungen an Wildtieren aus Haithabu (Ausgrabung 1963-1964)“. In: *Berichte über die Ausgrabungen in Haithabu: Bericht 7*. Hrsg. von K. Schietzel. Neumünster: Karl Wachholtz Verlag, S. 103–144.
- Reichstein, H. (1991). *Die wildlebenden Säugetiere von Haithabu (Ausgrabungen 1966-1969 und 1979-1980)*. Hrsg. von K. Schietzel. Berichte über die Ausgrabungen in Haithabu: Bericht 30. Neumünster: Karl Wachholtz Verlag.
- Rendón, E., Abundez, I., Arizmendi, A., Quiroz, E. M. (2011). *A comparison of internal and external cluster validation indexes*. World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS).
- Renouf, D., Noseworthy, E., Scott, M. C. (1990). „Daily fresh water consumption by captive harp seals (*Phoca groenlandica*)“. *Marine Mammal Science* 6 (3), S. 253–257.
- Requate, H. (1956). „Die Jagdtiere in den Nahrungsresten einiger frühgeschichtlicher Siedlungen in Schleswig-Holstein: Ein Beitrag zur Faunengeschichte des Landes“. *Schriften des Naturwissenschaftlichen Vereins für Schleswig-Holstein* 28 (1), S. 21–41.
- Reynolds, A. P., Richards, G., Iglesia, B. de la, Rayward-Smith, V. J. (2006). „Clustering Rules: A Comparison of Partitioning and Hierarchical Clustering Algorithms“. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms* 5 (4), S. 475–504.
- Richards, M. P., Hedges, R. E. M. (1999). „Stable Isotope Evidence for Similarities in the Types of Marine Foods Used by Late Mesolithic Humans at Sites Along the Atlantic Coast of Europe“. *Journal of Archaeological Science* 26 (6), S. 717–722.
- Richards, M. P., Fuller, B. T., Molleson, T. I. (2006). „Stable isotope palaeodietary study of humans and fauna from the multi-period (Iron Age, Viking and Late Medieval) site of Newark Bay, Orkney“. *Journal of Archaeological Science* 33 (1), S. 122–131.

- Rink, W. J., Schwarcz, H. P. (1995). „Tests for Diagenesis in Tooth Enamel: ESR Dating Signals and Carbonate Contents“. *Journal of Archaeological Science* 22 (2), S. 251–255.
- Roßmann, A., Schmidt, H.-L., Hermann, A., Ristow, R. (1998). „Multielement stable isotope ratio analysis of glycerol to determine its origin in wine“. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -forschung A* 207 (3), S. 237–243.
- Rossmann, A. (2001). „Determination of Stable Isotope Ratios in Food Analysis“. *Food Reviews International* 17 (3), S. 347–381.
- Rott, A. (2011). „Migration und Ökologie in einem mittelalterlichen Fernhandelszentrum untersucht anhand stabiler Isotope (Sr, O): Aufstieg und Niedergang des mittelalterlichen Schleswig“. Diplomarbeit. München: Ludwig-Maximilians-Universität.
- Sayle, K. L., Hamilton, W. D., Cook, G. T., Ascough, P. L., Gestsdóttir, H., McGovern, T. H. (2016). „Deciphering diet and monitoring movement: Multiple stable isotope analysis of the viking age settlement at Hofstaðir, Lake Mývatn, Iceland“. *American Journal of Physical Anthropology* 160 (1), S. 126–136.
- Schachtman, D. P., Reid, R. J., Ayling, S. (1998). „Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell“. *Plant Physiology* 116 (2), S. 447–453.
- Schäfer, W. (1988). „Pflanzenwachstum durch CO₂/HCO₃-Eintrag über die Wurzel“. *Journal of Agronomy and Crop Science* 160 (4), S. 228–234.
- Schietzel, K. (2014). *Spurensuche Haithabu: Archäologische Spurensuche in der frühmittelalterlichen Ansiedlung Haithabu. Dokumentation und Chronik 1963–2013*. Neumünster/Hamburg: Wachholtz Verlag.
- Schlesinger, W. (1972). „Unkonventionelle Gedanken zur Geschichte von Schleswig/Haithabu“. In: *Aus Reichsgeschichte und Nordischer Geschichte*. Hrsg. von H. Fuhrmann, H. E. Meyer, K. Wreidt. Kieler Historische Studien. Stuttgart: Klett, S. 70–91.
- Schmahl, W. W., Kocsis, B., Toncala, A., Grupe, G. (2016). „Mineralogic Characterisation of Archaeological Bone“. In: *Isotopic Landscapes in Bioarchaeology*. Hrsg. von G. Grupe, G. C. McGlynn. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 91–110.
- Schmahl, W. W., Kocsis, B., Toncala, A., Wycisk, D., Grupe, G. (2017). „The Crystalline State of Archaeological Bone Material“. In: *Across the Alps in Prehistory: Isotopic*

- Mapping of the Brenner Passage by Bioarchaeology*. Hrsg. von G. Grupe, A. Grigat, G. C. McGlynn. Cham: Springer, S. 75–104.
- Schmidt, H. L. (1999). „Isotope Discriminations Upon Biosynthesis in Natural Systems: General Causes and Individual Factors of the Different Bioelements“. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 35 (1-2), S. 11–18.
- Schmidt, H. L. (2003). „Fundamentals and systematics of the non-statistical distributions of isotopes in natural compounds“. *Naturwissenschaften* 90 (12), S. 537–52.
- Schmidt, H. L., Werner, R. A., Rossmann, A. (2001). „ ^{18}O Pattern and biosynthesis of natural plant products“. *Phytochemistry* 58, S. 9–32.
- Schmidt, H. L., Robins, R. J., Werner, R. A. (2015). „Multi-factorial in vivo stable isotope fractionation: causes, correlations, consequences and applications“. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 51 (1), S. 155–199.
- Schoeninger, M. J., DeNiro, M. J. (1984). „Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial mammals“. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48, S. 625–639.
- Schoeninger, M. J., DeNiro, M. J., Tauber, H. (1983). „Stable nitrogen isotope ratios of bone collagen reflect marine and terrestrial components of prehistoric human diet“. *Science* 220 (4604), S. 1381–1383.
- Schölkopf, B., Smola, A. J. (2002). *Learning with Kernels: Support Vector Machines, Regularization, Optimization, and Beyond*. Cambridge & London: MIT Press.
- Schölkopf, B., Smola, A., Müller, K.-R. (1997). „Kernel principal component analysis“. In: Hrsg. von W. Gerstner, A. Germond, M. Hasler, J.-D. Nicoud. *Artificial Neural Networks — ICANN’97*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 583–588.
- Schwarcz, H. P. (2000). „Some Biochemical Aspects of Carbon Isotopic Paleodiet Studies“. In: *Biogeochemical Approaches to Paleodietary Analysis*. Hrsg. von S. H. Ambrose, M. A. Katzenberg. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers. Kap. 10, S. 189–209.
- Schwind, F. (1984). „Fern- und Nahhandel der Wikingerzeit nach historischen Quellen mit besonderer Berücksichtigung der Situation von Haithabu“. In: *Archäologische und naturwissenschaftliche Untersuchungen an ländlichen und frühstädtischen Siedlungen*

- im deutschen Küstengebiet vom 5. Jahrhundert v. Chr. bis zum 11. Jahrhundert n. Chr. Band 2: Handelsplätze des frühen und hohen Mittelalters.* Hrsg. von H. Jankuhn, K. Schietzel, H. Reichstein. Weinheim: Acta humaniora, S. 292–304.
- Scrucca, L. (2010). „Dimension reduction for model-based clustering“. *Statistics and Computing* 20 (4), S. 471–484.
- Scrucca, L., Fop, M., Murphy, T. B., Raftery, A. E. (2016). „mclust 5: Clustering, Classification and Density Estimation Using Gaussian Finite Mixture Models“. *The R journal* 8 (1), S. 289–317.
- Sebald, S. (in Vorbereitung). „Applikation konzentrationsbasierter Mischungsmodelle auf Stabilisotopen-Daten aus archäologischen Skelettfunden zur Rekonstruktion früher Wirtschaftsökonomie“. Dissertation. München: Ludwig-Maximilians-Universität.
- Semmens, B. X., Ward, E. J., Moore, J. W., Darimont, C. T. (2009). „Quantifying Inter- and Intra-Population Niche Variability Using Hierarchical Bayesian Stable Isotope Mixing Models“. *PLoS ONE* 4 (7), e6187.
- Serra, F., Guillou, C. G., Reniero, F., Ballarin, L., Cantagallo, M. I., Wieser, M., Iyer, S. S., Heberger, K., Vanhaecke, F. (2005). „Determination of the geographical origin of green coffee by principal component analysis of carbon, nitrogen and boron stable isotope ratios“. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 19 (15), S. 2111–2115.
- Shahack-Gross, R., Tchernov, E., Luz, B. (1999). „Oxygen isotopic composition of mammalian skeletal phosphate from the Natufian Period, Hayonim Cave, Israel: Diagenesis and paleoclimate“. *Geoarchaeology* 14 (1), S. 1–13.
- Shannon, C. E. (1948). „A Mathematical Theory of Communication“. *Bell System Technical Journal* 27 (3), S. 379–423.
- Sharp, Z. D., Atudorei, V., Furrer, H. (2000). „The effect of diagenesis on oxygen isotope ratios of biogenic phosphates“. *American Journal of Science* 300 (3), S. 222–237.
- Shimada, T. (2006). „Salivary proteins as a defense against dietary tannins“. *Journal of Chemical Ecology* 32 (6), S. 1149–63.

- Silva, L. C. R., Pedroso, G., Doane, T. A., Mukome, F. N. D., Horwath, W. R. (2015). „Beyond the cellulose: Oxygen isotope composition of plant lipids as a proxy for terrestrial water balance“. *Geochemical Perspectives Letters* 1 (0), S. 33–42.
- Skene, I. K., Brooker, J. D. (1995). „Characterization of tannin acylhydrolase activity in the ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium*“. *Anaerobe* 1 (6), S. 321–327.
- Skre, D. (2008). „The development of urbanism in Scandinavia“. In: *The Viking World*. Hrsg. von S. Brink, N. Price. London, New York: Routledge. Kap. 8, S. 83–93.
- Slowikowski, K. (2018). *ggrepel: Automatically Position Non-Overlapping Text Labels with 'ggplot2'*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=ggrepel>.
- Smith, J. A., Mazumder, D., Suthers, I. M., Taylor, M. D. (2013). „To fit or not to fit: evaluating stable isotope mixing models using simulated mixing polygons“. *Methods in Ecology and Evolution* 4 (7), S. 612–618.
- Smith, R. L. (1984). „Efficient Monte Carlo Procedures for Generating Points Uniformly Distributed Over Bounded Regions“. *Operations Research* 32 (6), S. 1296–1308.
- Snoeck, C. (2014). „Impact of strontium sea spray effect on the isotopic ratio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) of plants in coastal Ireland“. *Quaternary Newsletter* 134, S. 37–39.
- Snoeck, C., Pellegrini, M. (2015). „Comparing bioapatite carbonate pre-treatments for isotopic measurements: Part 1—Impact on structure and chemical composition“. *Chemical Geology* 417, S. 394–403.
- Söllner, F., Toncala, A., Hölzl, S., Grupe, G. (2016). „Determination of Geo-dependent Bioavailable $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Isotopic Ratios for Archaeological Sites from the Inn Valley (Austria): A Model Calculation“. In: *Isotopic Landscapes in Bioarchaeology*. Hrsg. von G. Grupe, G. C. McGlynn. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 123–140.
- Sponheimer, M., Lee-Thorp, J. (2001). „The oxygen isotope composition of mammalian enamel carbonate from Morea Estate, South Africa“. *Oecologia* 126 (2), S. 153–157.
- Sponheimer, M., Lee-Thorp, J. A. (1999). „Oxygen isotopes in enamel carbonate and their ecological significance“. *Journal of Archaeological Science* 26 (6), S. 723–728.

- Steele, K. W., Daniel, R. M. (1978). „Fractionation of nitrogen isotopes by animals: a further complication to the use of variations in the natural abundance of ^{15}N for tracer studies“. *The Journal of Agricultural Science* 90 (01), S. 7–9.
- Sternberg, L. d.S. L. (1989). „Oxygen and Hydrogen Isotope Ratios in Plant Cellulose: Mechanisms and Applications“. In: *Stable Isotopes in Ecological Research*. Hrsg. von P. W. Rundel, J. R. Ehleringer, K. A. Nagy. Bd. 68. Ecological Studies. New York: Springer. Kap. 9, S. 124–141.
- Sternberg, L. d.S. L., DeNiro, M. J., Johnson, H. B. (1984). „Isotope ratios of cellulose from plants having different photosynthetic pathways“. *Plant Physiol* 74 (3), S. 557–61.
- Sternberg, L. d.S. L., Pinzon, M. C., Anderson, W. T., Jahren, A. H. (2006). „Variation in oxygen isotope fractionation during cellulose synthesis: intramolecular and biosynthetic effects“. *Plant, Cell & Environment* 29 (10), S. 1881–1889.
- Sternberg, L. d.S. L., DeNiro, M. J. (1983a). „Isotopic Composition of Cellulose from C_3 , C_4 and CAM Plants Growing near One Another“. *Science* 220 (4600), S. 947–949.
- Sternberg, L. d.S. L., DeNiro, M. J. D. (1983b). „Biogeochemical implications of the isotopic equilibrium fractionation factor between the oxygen atoms of acetone and water“. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 47 (12), S. 2271–2274.
- Stock, B. C., Jackson, A. L., Ward, E. J., Parnell, A. C., Phillips, D. L., Semmens, B. X. (2018). „Analyzing mixing systems using a new generation of Bayesian tracer mixing models“. *PeerJ* 6, e5096.
- Stock, B. C., Semmens, B. X. (2016). „Unifying error structures in commonly used biotracer mixing models“. *Ecology* 97 (10), S. 2562–2569.
- Sullivan, C. H., Krueger, H. W. (1981). „Carbon isotope analysis of separate chemical phases in modern and fossil bone“. *Nature* 292 (5821), S. 333–335.
- Sutoh, M., Obara, Y., Yoneyama, T. (1993). „The effects of feeding regimen and dietary sucrose supplementation on natural abundance of ^{15}N in some components of ruminal fluid and plasma of sheep“. *Journal of Animal Science* 71 (1), S. 226–231.

- Suzuki, M., Ortiz, R. M. (2016). „Water balance“. In: *Marine Mammal Physiology: Requisites for Ocean Living*. Hrsg. von M. A. Castellini, J.-A. Mellish. CRC Press. Kap. 7, S. 139–168.
- Tanz, N., Schmidt, H.-L. (2010). „ $\delta^{34}\text{S}$ -Value Measurements in Food Origin Assignments and Sulfur Isotope Fractionations in Plants and Animals“. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58 (5), S. 3139–3146.
- Tcherkez, G., Tea, I. (2013). „ $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ isotope fractionation in plant sulphur metabolism“. *New Phytologist* 200 (1), S. 44–53.
- Thode, H. G. (1991). „Sulphur Isotopes in Nature and the Environment: An Overview“. In: *Stable isotopes : natural and anthropogenic sulphur in the environment*. Hrsg. von H. R. Krouse, V. A. Grinenko. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons. Kap. 1, S. 1–26.
- Thode, H. G., Monster, J., Dunford, H. B. (1961). „Sulphur isotope geochemistry“. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 25 (3), S. 159–174.
- Tieszen, L. L., Fagre, T. (1993). „Effect of Diet Quality and Composition on the Isotopic Composition of Respiratory CO_2 , Bone Collagen, Bioapatite, and Soft Tissues“. In: *Prehistoric Human Bone - Archaeology at the Molecular Level*. Hrsg. von J. B. Lambert, G. Grupe. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, S. 121–155.
- Tiwari, A., Kumar, P., Singh, S., Ansari, S. A. (2005). „Carbonic anhydrase in relation to higher plants“. *Photosynthetica* 43 (1), S. 1–11.
- Toncala, A. (2012). „Stabile Strontium-Isotope in wikingerzeitlichen Haithabu: Approximation an bioverfügbare Signaturen“. Diplomarbeit. München: Ludwig-Maximilians-Universität.
- Tsagris, M. T., Preston, S., Wood, A. T. A. (2011). „A data-based power transformation for compositional data“. *ArXiv e-prints*, S. 11061451.
- Tukey, J. (1977). *Exploratory Data Analysis*. Boston: Addison-Wesley Publishing Company.
- Tuthorn, M., Zech, M., Ruppenthal, M., Oelmann, Y., Kahmen, A., del Valle, H. F., Wilcke, W., Glaser, B. (2014). „Oxygen isotope ratios ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) of hemicellulose-derived

- sugar biomarkers in plants, soils and sediments as paleoclimate proxy II: Insight from a climate transect study“. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 126, S. 624–634.
- Tyberghein, L., Verbruggen, H., Pauly, K., Troupin, C., Mineur, F., De Clerck, O. (2012). „Bio-ORACLE: a global environmental dataset for marine species distribution modelling“. *Global Ecology and Biogeography* 21 (2), S. 272–281.
- Ulbricht, I. (1978). *Die Geweihverarbeitung in Haithabu*. Die Ausgrabungen in Haithabu: Siebenter Band. Neumünster: Karl Wachholtz Verlag.
- Vajapeyam, S. (2014). „Understanding Shannon’s Entropy metric for Information“. *Computing Research Repository* abs/1405.2061.
- van der Sluis, L. G., Hollund, H. I., Kars, H., Sandvik, P. U., Denham, S. D. (2016). „A palaeodietary investigation of a multi-period churchyard in Stavanger, Norway, using stable isotope analysis (C, N, H, S) on bone collagen“. *Journal of Archaeological Science: Reports* 9, S. 120–133.
- van Klinken, G. J., Hedges, R. E. M. (1995). „Experiments on Collagen-Humic Interactions: Speed of Humic Uptake, and Effects of Diverse Chemical Treatments“. *Journal of Archaeological Science* 22 (2), S. 263–270.
- van Klinken, G. J., Richards, M. P., Hedges, R. E. M. (2000). „An Overview of Causes for Stable Isotopic Variations in Past European Human Populations: Environmental, Ecophysiological, and Cultural Effects“. In: *Biogeochemical Approaches to Paleodietary Analysis*. Hrsg. von S. H. Ambrose, M. A. Katzenberg. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers. Kap. 3, S. 39–63.
- Vogel, J. C. (1978). „Isotopic Assessment of the Dietary Habits of Ungulates“. *South African Journal of Science* 74, S. 298–301.
- von Carnap-Bornheim, C., Hilberg, V. (2007). „Recent archaeological research in Haithabu“. In: *Post-Roman Towns, Trade and Settlement in Europe and Byzantium. Volume 1: The Heirs of the Roman West*. Hrsg. von J. Henning. Berlin, New York: Walter de Gruyter, S. 199–218.
- von Steinsdorff, K., Grupe, G. (2006). „Reconstruction of an aquatic food web: Viking Haithabu vs. Medieval Schleswig“. *Anthropologischer Anzeiger* 64 (3), S. 283–295.

- Wakshal, E., Nielsen, H. (1982). „Variations of $\delta^{34}\text{S}$ (SO_4), $\delta^{18}\text{O}$ (H_2O) and Cl/SO_4 ratio in rainwater over northern Israel, from the Mediterranean Coast to Jordan Rift Valley and Golan Heights“. *Earth and Planetary Science Letters* 61 (2), S. 272–282.
- Ward, E. J., Semmens, B. X., Schindler, D. E. (2010). „Including Source Uncertainty and Prior Information in the Analysis of Stable Isotope Mixing Models“. *Environmental Science & Technology* 44 (12), S. 4645–4650.
- Wattiaux, M. A., Reed, J. D. (1995). „Fractionation of nitrogen isotopes by mixed ruminal bacteria“. *J Anim Sci* 73 (1), S. 257–266.
- Weimer, P. J., Russell, J. B., Muck, R. E. (2009). „Lessons from the cow: What the ruminant animal can teach us about consolidated bioprocessing of cellulosic biomass“. *Bioresource Technology* 100 (21), S. 5323–5331.
- Werner, R. A., Rossmann, A., Schwarz, C., Bacher, A., Schmidt, H. L., Eisenreich, W. (2004). „Biosynthesis of gallic acid in *Rhus typhina*: discrimination between alternative pathways from natural oxygen isotope abundance“. *Phytochemistry* 65 (20), S. 2809–2813.
- Whipkey, C. E., Capo, R. C., Chadwick, O. A., Stewart, B. W. (2000). „The importance of sea spray to the cation budget of a coastal Hawaiian soil: a strontium isotope approach“. *Chemical Geology* 168 (1–2), S. 37–48.
- White, C., Longstaffe, F. J., Law, K. R. (2004). „Exploring the effects of environment, physiology and diet on oxygen isotope ratios in ancient Nubian bones and teeth“. *Journal of Archaeological Science* 31 (2), S. 233–250.
- Wickham, H. (2009). *ggplot2: elegant graphics for data analysis*. New York: Springer.
- Wright, J., Colling, A. (1995). *Seawater: its Composition, Properties and Behaviour*. Hrsg. von M. A. Suckow, S. H. Weisbroth, C. L. Franklin. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Wright, L. E., Schwarcz, H. P. (1998). „Stable carbon and oxygen isotopes in human tooth enamel: identifying breastfeeding and weaning in prehistory“. *American Journal of Physical Anthropology* 106 (1), S. 1–18.

- Wright, L. E., Schwarcz, H. P. (1999). „Correspondence Between Stable Carbon, Oxygen and Nitrogen Isotopes in Human Tooth Enamel and Dentine: Infant Diets at Kaminaljuyú“. *Journal of Archaeological Science* 26 (9), S. 1159–1170.
- Xiong, H., Li, Z. (2014). „Clustering Validation Measures“. In: *Data Clustering: Algorithms and Applications*. Hrsg. von C. C. Aggarwal, C. K. Reddy. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC. Kap. 23, S. 571–605.
- Zamanian, K., Pustovoytov, K., Kuzyakov, Y. (2017). „Carbon Sources in Fruit Carbonate of *Buglossoides arvensis* and Consequences for ^{14}C Dating“. *Radiocarbon* 59 (1), S. 141–150.
- Zazzo, A., Monahan, F. J., Moloney, A. P., Green, S., Schmidt, O. (2011). „Sulphur isotopes in animal hair track distance to sea“. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 25 (17), S. 2371–2378.
- Zazzo, A., Lécuyer, C., Sheppard, S. M. F., Grandjean, P., Mariotti, A. (2004a). „Diagenesis and the reconstruction of paleoenvironments: A method to restore original $\delta^{18}\text{O}$ values of carbonate and phosphate from fossil tooth enamel“. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 68 (10), S. 2245–2258.
- Zazzo, A., Lécuyer, C., Mariotti, A. (2004b). „Experimentally-controlled carbon and oxygen isotope exchange between bioapatites and water under inorganic and microbially-mediated conditions“. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 68 (1), S. 1–12.
- Zech, M., Mayr, C., Tuthorn, M., Leiber-Sauheitl, K., Glaser, B. (2014). „Oxygen isotope ratios ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) of hemicellulose-derived sugar biomarkers in plants, soils and sediments as paleoclimate proxy I: Insight from a climate chamber experiment“. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 126, S. 614–623.

9 Danksagung

Mein besonderer Dank geht an Frau Prof. Dr. Gisela Grupe für die Bereitstellung des Promotionsthemas und die stetige Unterstützung bei der Durchführung des Dissertationsvorhabens. Durch sie habe ich bereits im dritten Bachelorsemester festgestellt, dass Anthropologie das ist, was ich machen möchte. Danach hat mich die Anthropologie nicht mehr los gelassen.

Weiter möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Peer Kröger bedanken für die Übernahme der Zweitkorrektur und als Mitglied meines „TAC“-Komitees, sowie für die Betreuung während meiner Doktorarbeit.

Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr. Dirk Metzler für die Bereitschaft, meine Doktorarbeit zu korrigieren, sowie die Betreuung meiner Doktorarbeit als Mitglied des „TAC“-Komitees. Ein herzlicher Dank geht an Herrn Dr. Markus Mauder für die vielen Stunden interessanter und hilfreicher Gespräche über „Data Mining“. Durch ihn habe ich gelernt, die Daten aus Blick eines „Data Scientist“ zu betrachten.

Mein Dank gilt außerdem der gesamten Arbeitsgruppe für Anthropologie der LMU, allen voran Frau M. Sc. Larissa Otto und Frau M. Sc. Sidney Sebald, für die schöne Zeit während der ganzen Promotionsphase.

Weiter danke ich meinen Koautoren Herrn Prof. Dr. Claus von Carnap-Bornheim, Herrn Dr. Volker Hilberg, Herrn PD Dr. Christoph Mayr und Herrn Dr. Olaf Nehlich für die nützlichen Anmerkungen zu meinen Manuskripten.

Nicht zuletzt möchte ich meiner Familie für die Unterstützung zu allen Zeitpunkten meines Studiums und meiner Promotion danken.

10 Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere hiermit an Eides statt, dass die vorgelegte Dissertation von mir selbständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt ist.

Ich erkläre hiermit, dass die Dissertation weder ganz noch in wesentlichen Teilen einer anderen Prüfungskommission vorgelegt worden ist und dass ich weder anderweitig eine Dissertation erfolglos eingereicht noch mich einer Doktorprüfung ohne Erfolg unterzogen habe.

Andrea Göhring

München, den 19.02.2019

A Appendix

A.1 Abbildungen

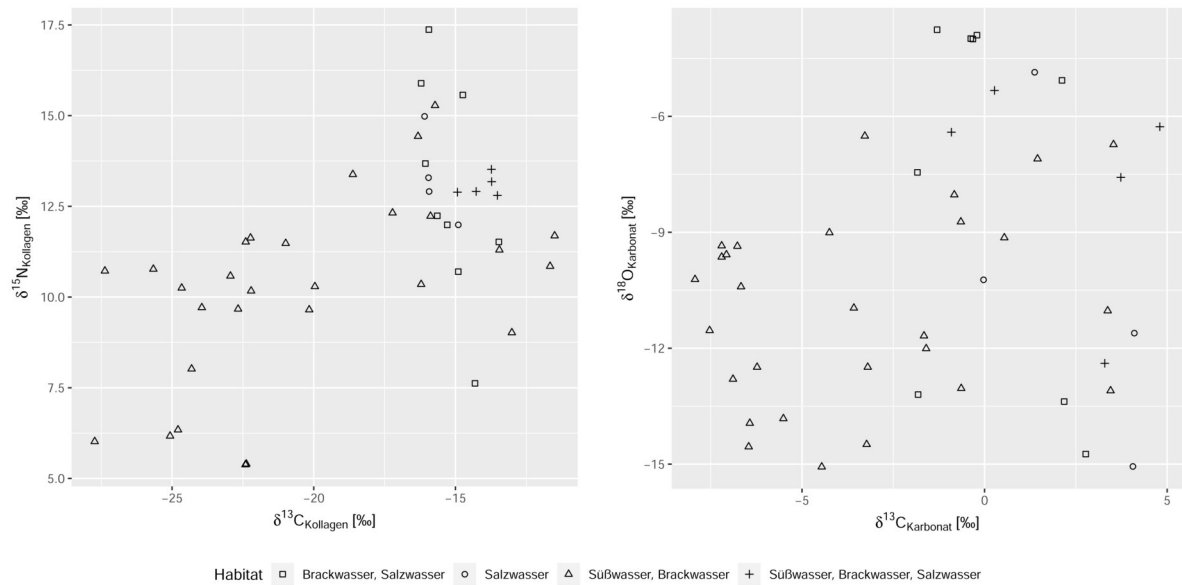


Abbildung A1: Bivariater Plot der Isotopenwerte der Fische aus Haithabu und Schleswig im Hinblick auf das jeweils mögliche (erwartete) Habitat.

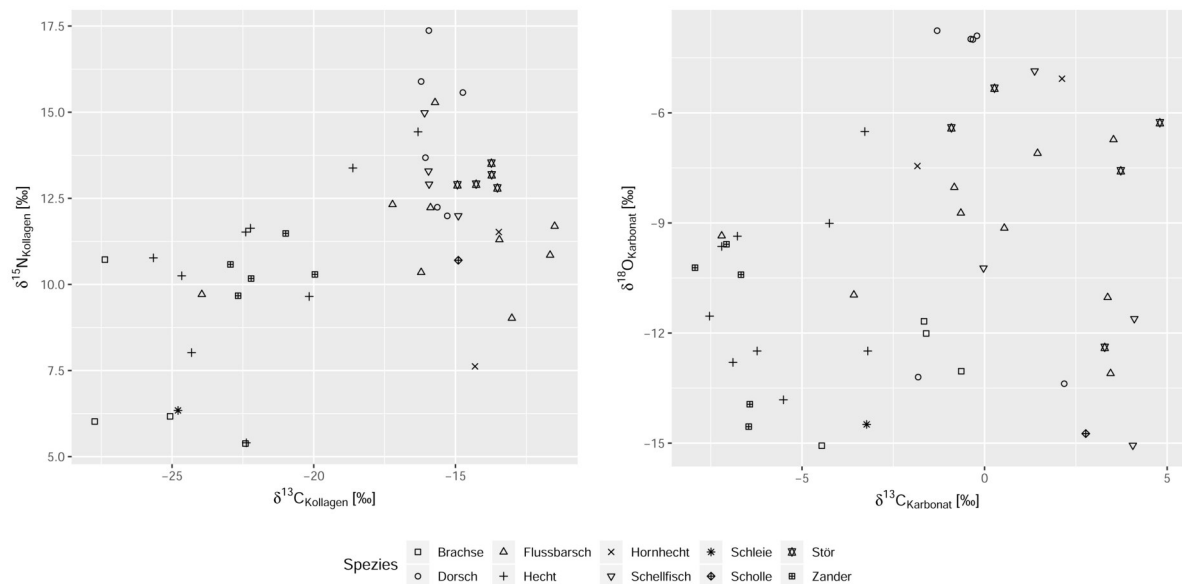


Abbildung A2: Bivariater Plot der Isotopenwerte der Fische aus Haithabu und Schleswig im Hinblick auf die untersuchten Spezies.

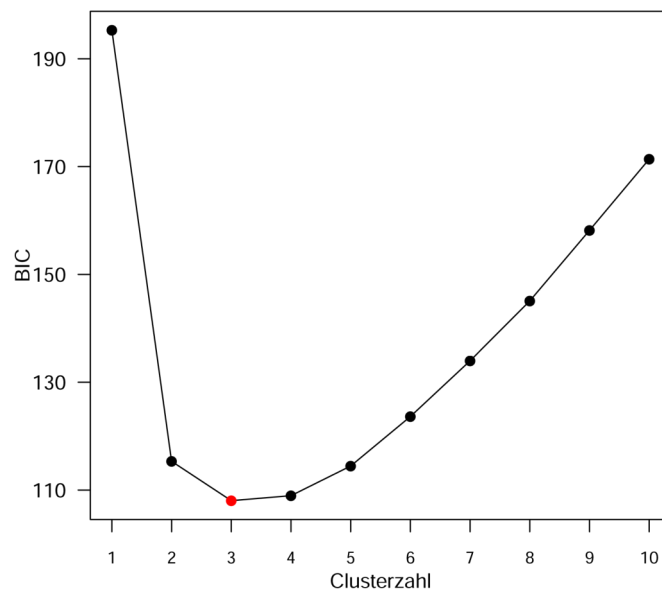


Abbildung A3: Übersicht über die bei variierender Clusterzahl bestimmten BIC-Werte für den Teildatensatz der Fische aus Haithabu und Schleswig (vgl. Kapitel 4.2.3.1). Der minimale BIC wird mit einer Clusterzahl von $k = 3$ erreicht (rot markiert).

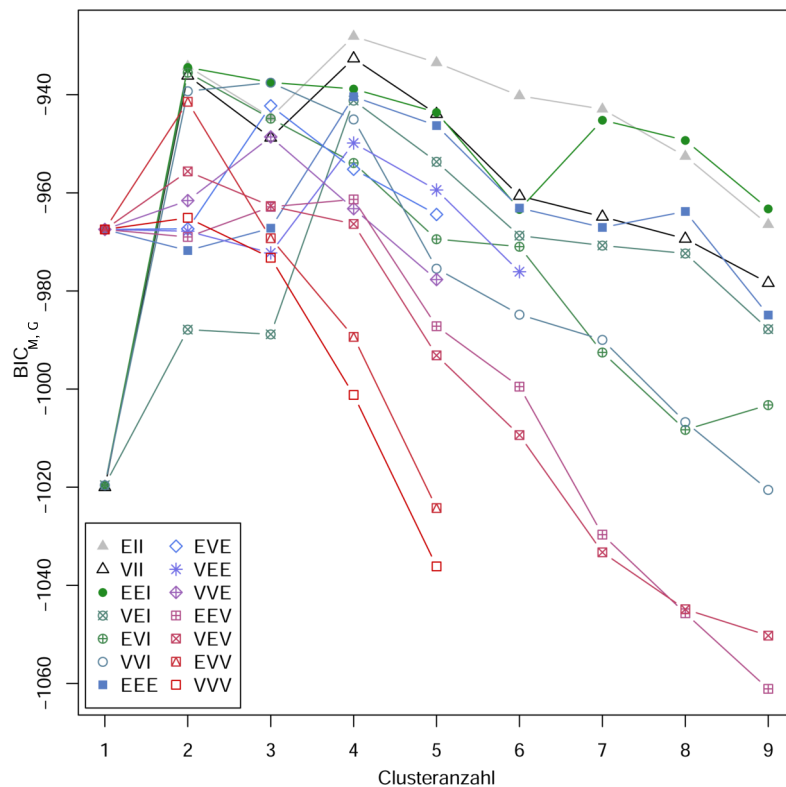


Abbildung A4: Übersicht über die durch Wahl der unterschiedlichen „mclust“-Modelle (vgl. Tabelle A8) bei variierender Clusterzahl bestimmten $BIC_{M,G}$ -Werte für den Teildatensatz der Fische aus Haithabu und Schleswig. Gemäß der Definition von Fraley & Raftery (1998) sind hierbei Modelle mit maximalem $BIC_{M,G}$ optimal (vgl. Kapitel 4.2.3.2).

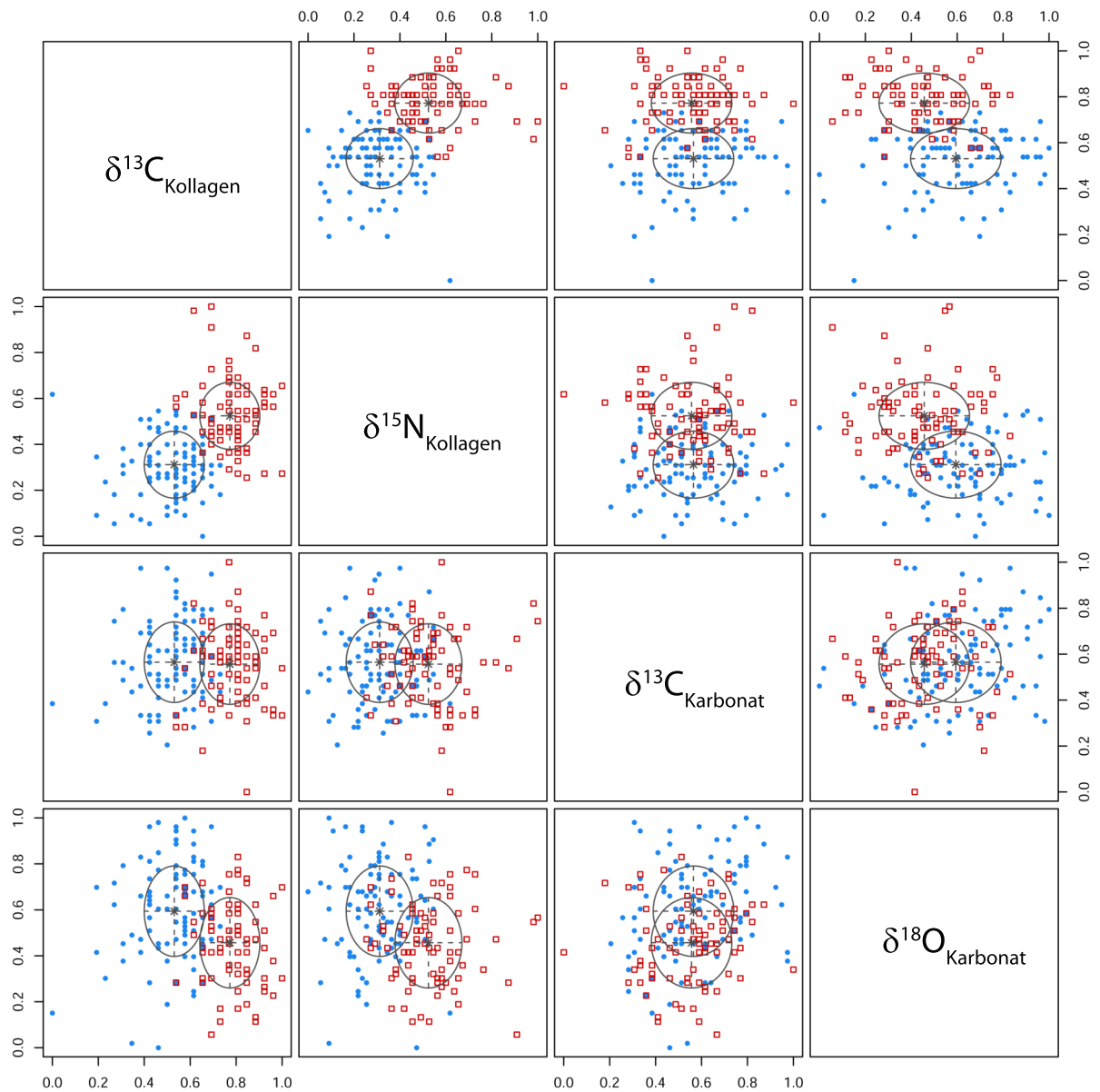


Abbildung A5: Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster der Kontrollgruppe („1234“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$) mit Vorgabe des „EEI“-Modells mit zwei Clustern (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten vier-dimensionalen Datensatzes I. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

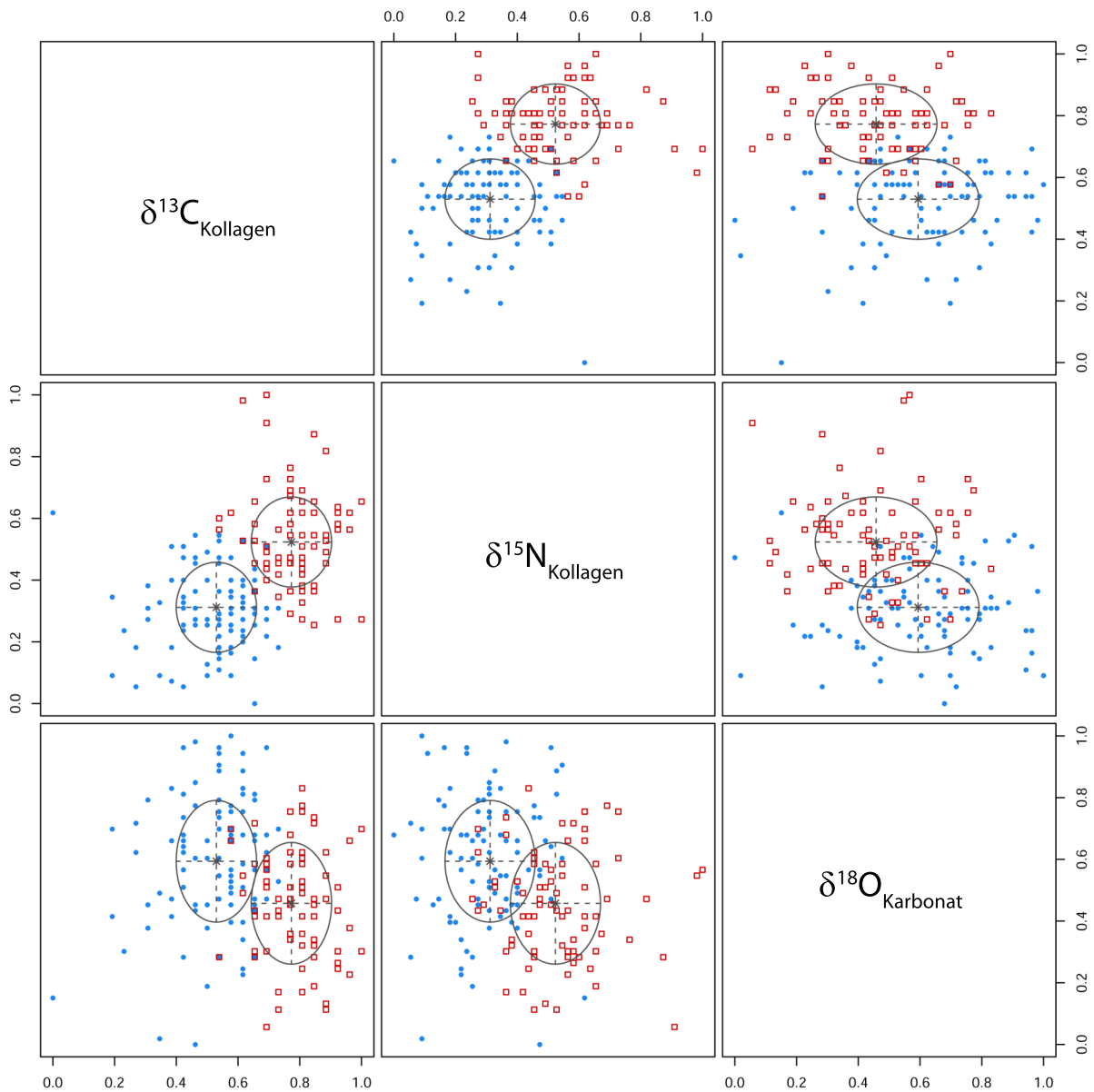


Abbildung A6: Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster nach Entfernen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ („124“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$) mit Vorgabe des „EEI“-Modells mit zwei Clustern (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes I. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

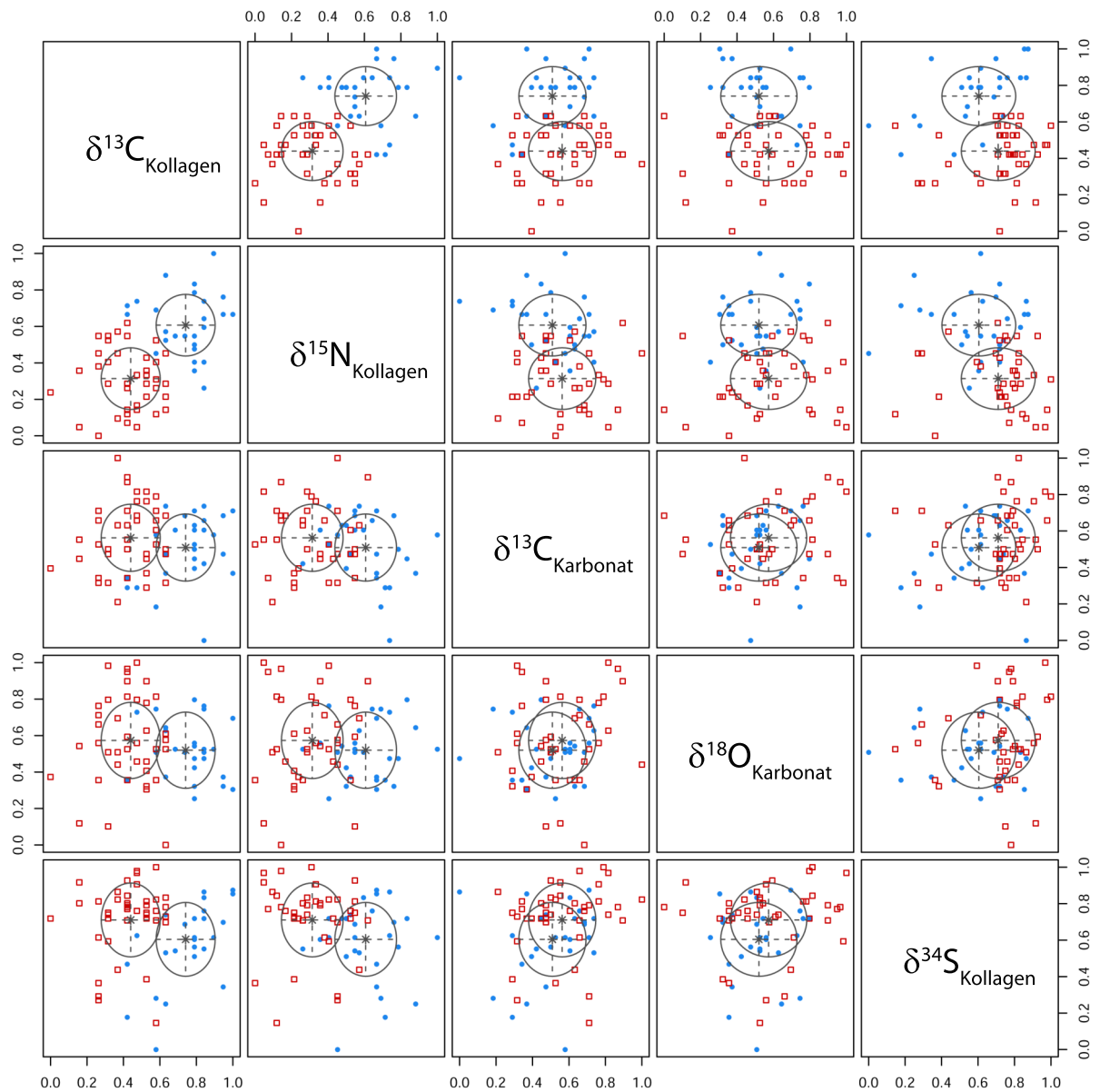


Abbildung A7: Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster der Kontrollgruppe („12345“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$) mit Vorgabe des „EEI“-Modells mit zwei Clustern (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten fünf-dimensionalen Datensatzes II. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

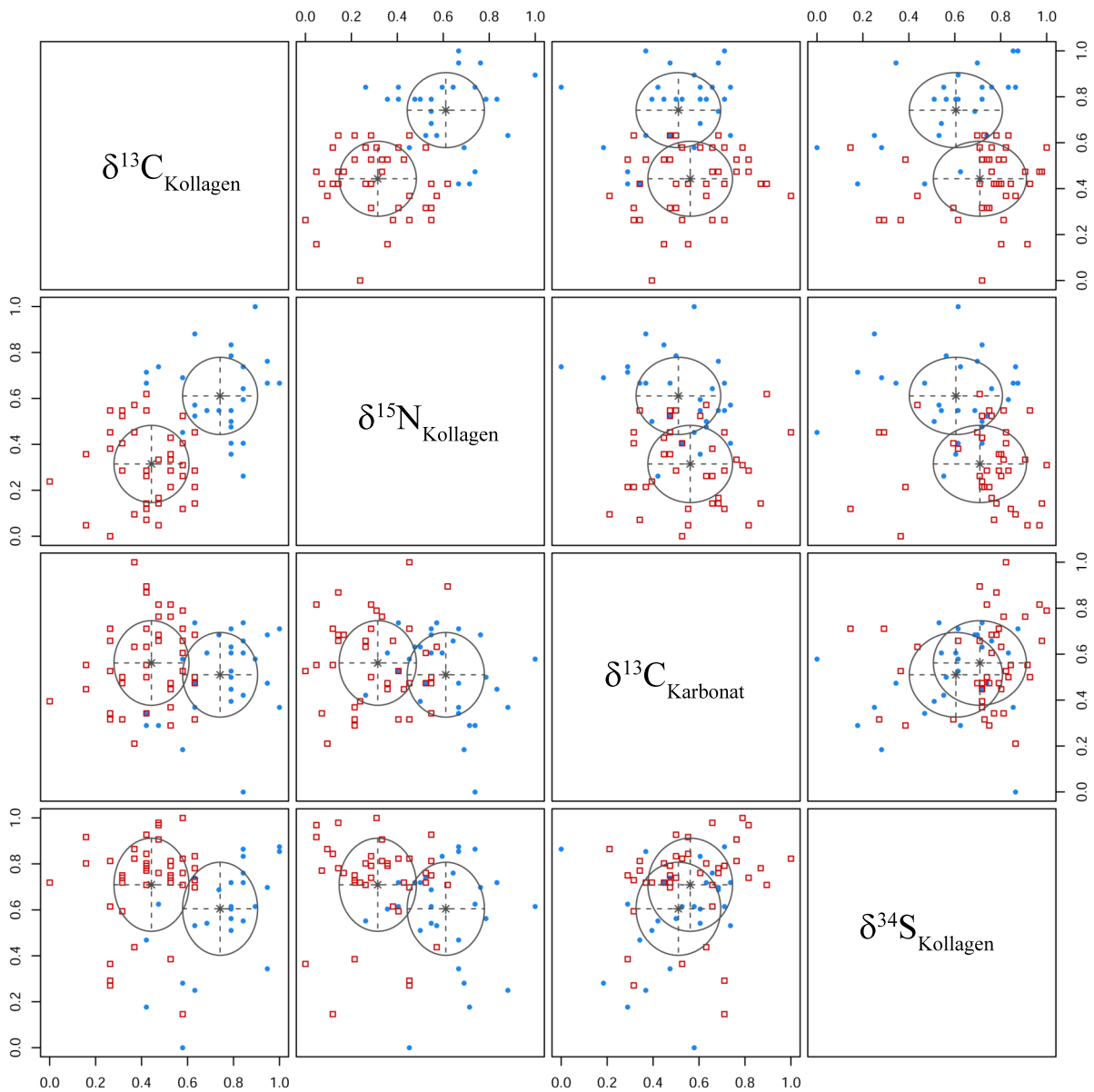


Abbildung A8: Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster nach Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ („1235“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$) mit Vorgabe des „EEI“-Modells mit zwei Clustern (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes II. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

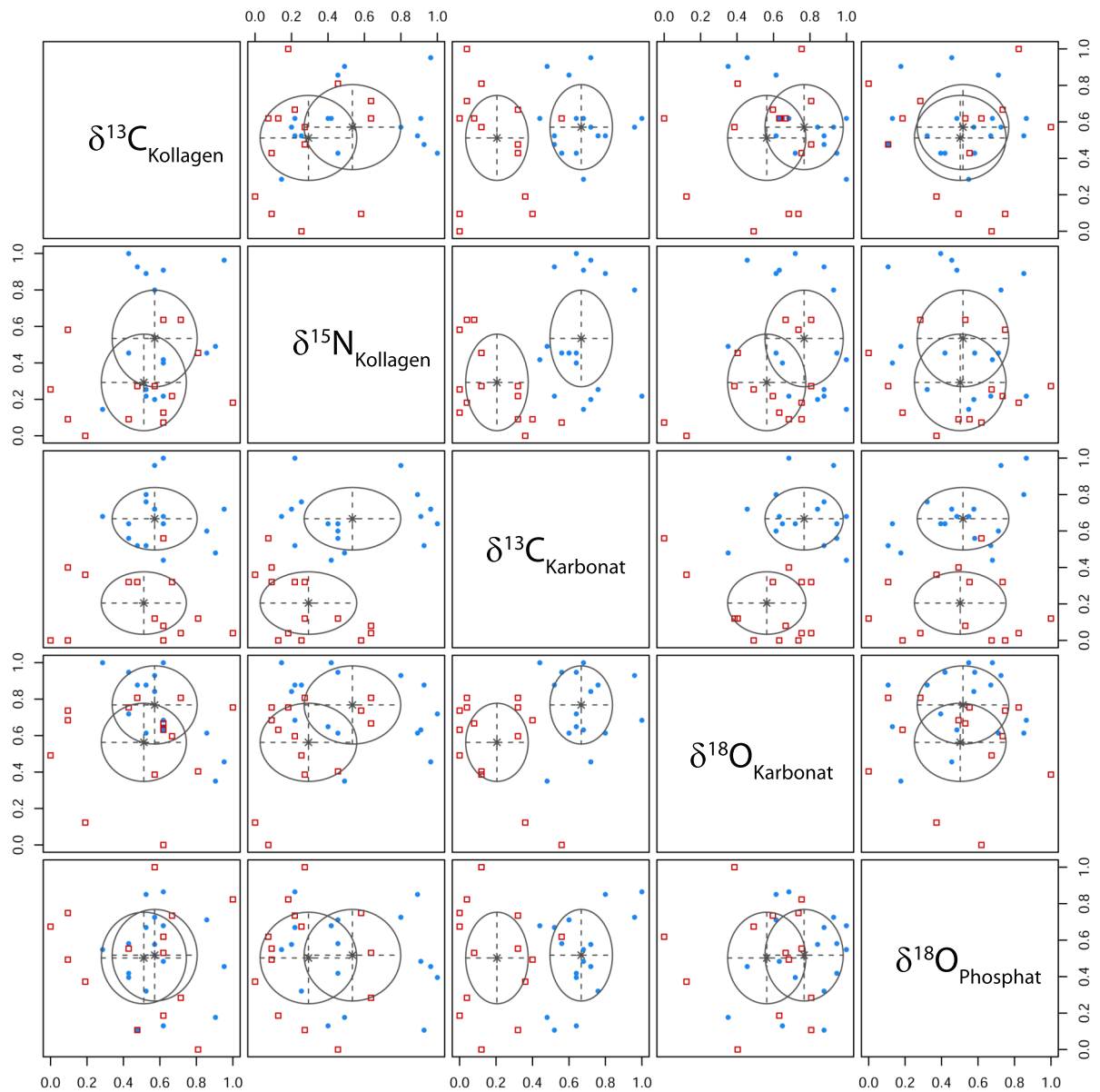


Abbildung A9: Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster der Kontrollgruppe („12346“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$) mit Vorgabe des „EEI“-Modells mit zwei Clustern (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten fünf-dimensionalen Datensatzes III. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

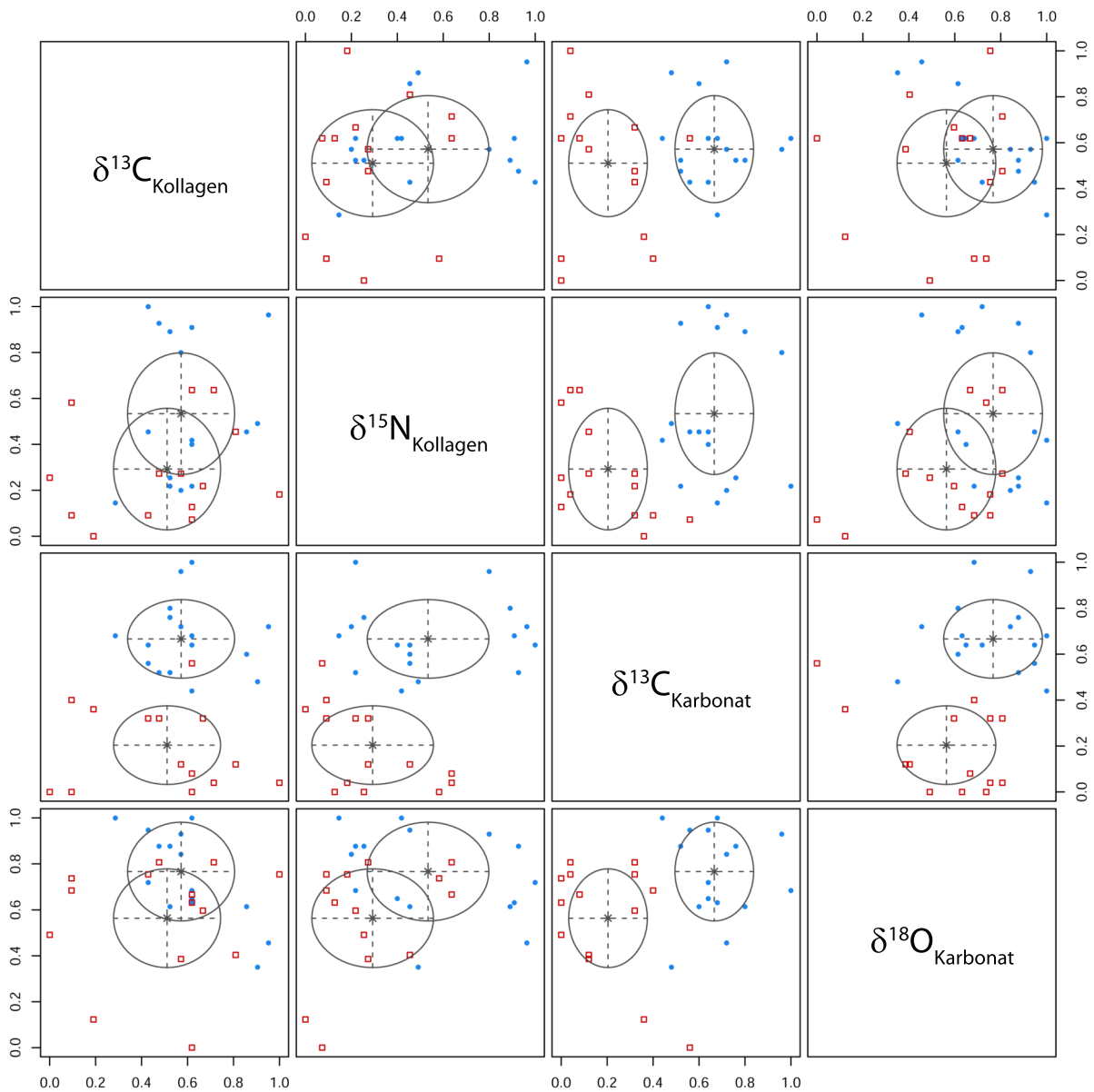


Abbildung A10: Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster nach Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ („1234“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$) mit Vorgabe des „EEI“-Modells mit zwei Clustern (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes III. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

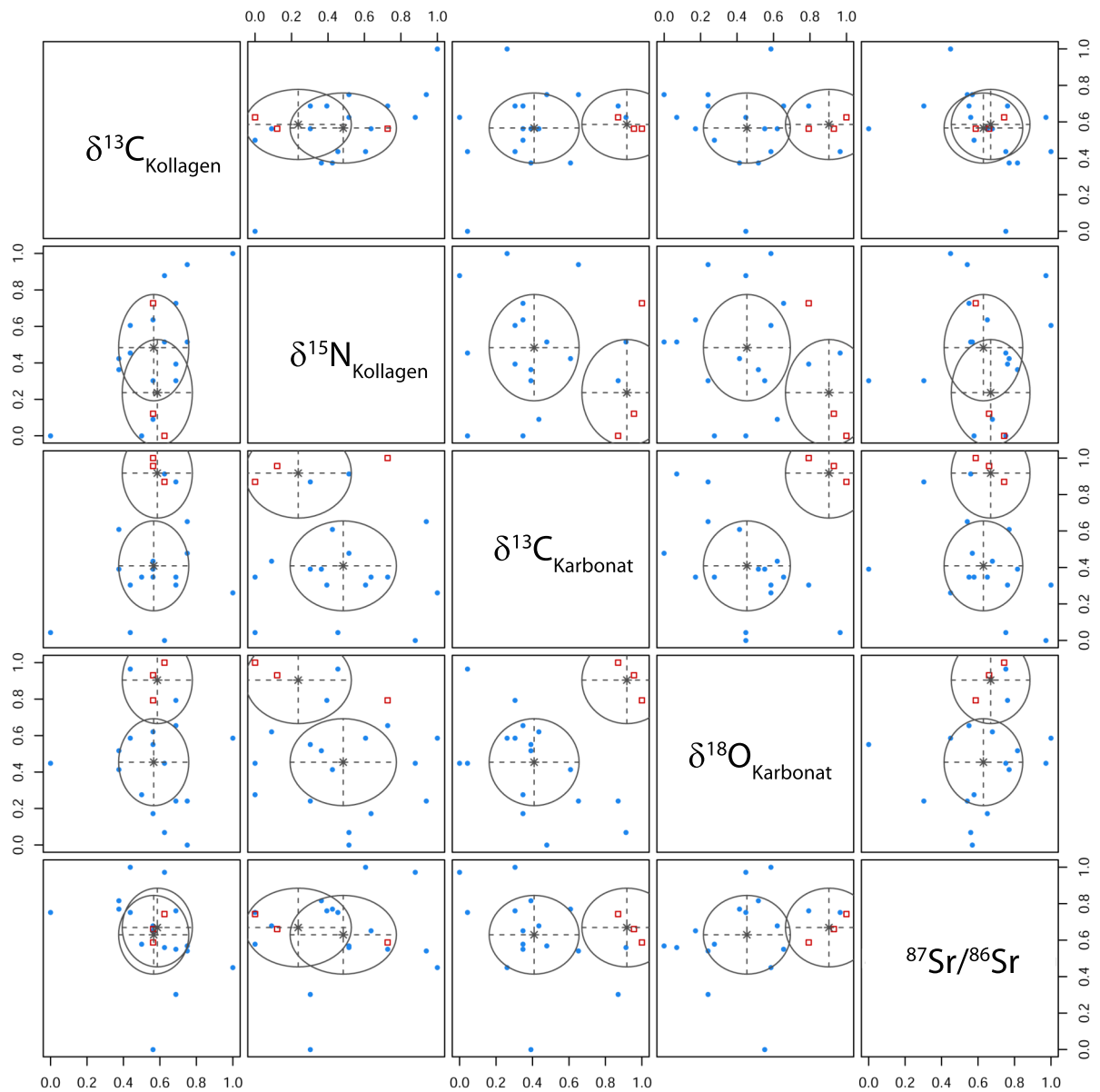


Abbildung A11: Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster der Kontrollgruppe („12347“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) mit Vorgabe des „EEI“-Modells mit zwei Clustern (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten fünf-dimensionalen Datensatzes IV. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

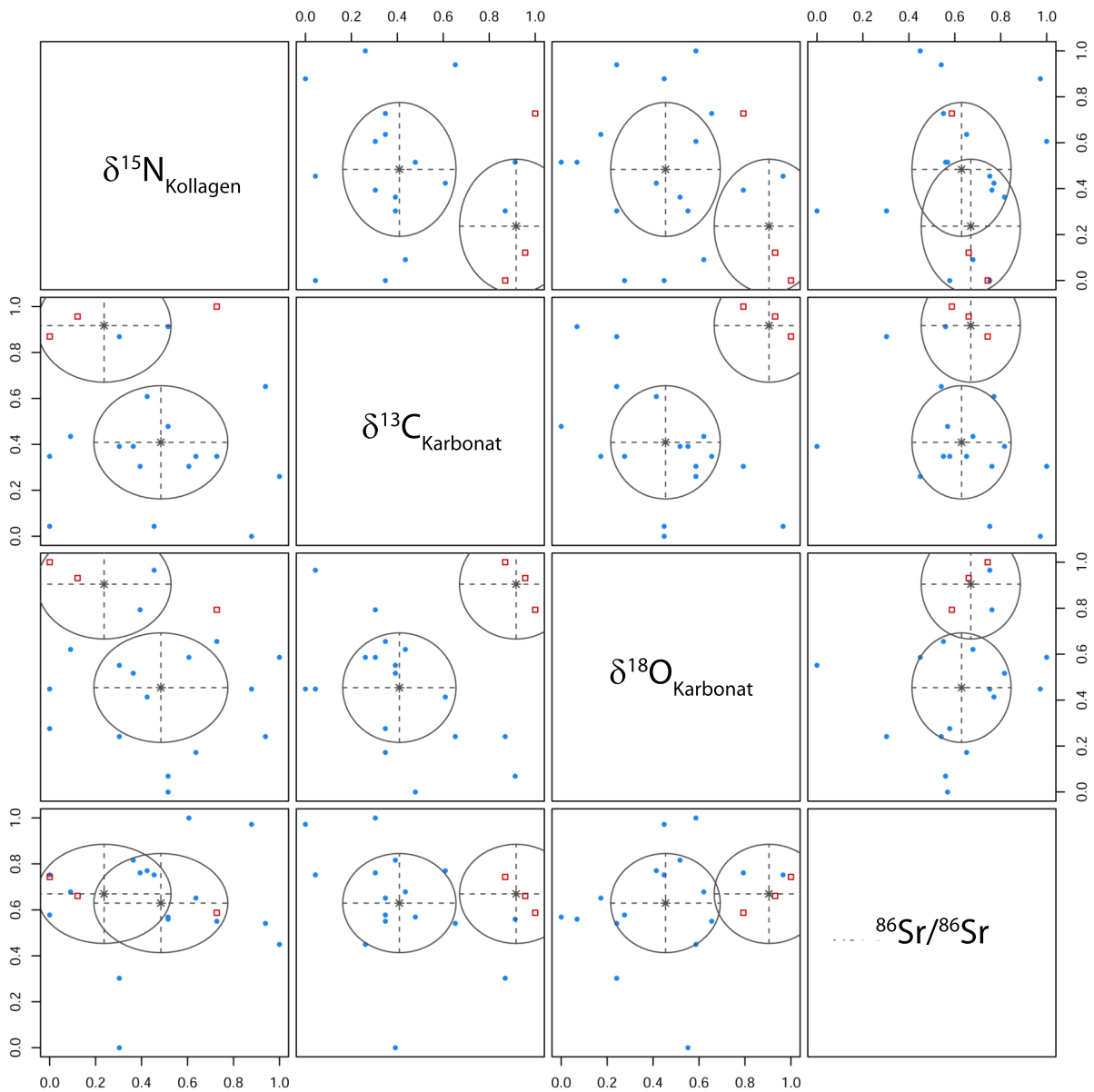


Abbildung A12: Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster nach Entfernen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ („2347“: $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) mit Vorgabe des „EEI“-Modells mit zwei Clustern (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes IV. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

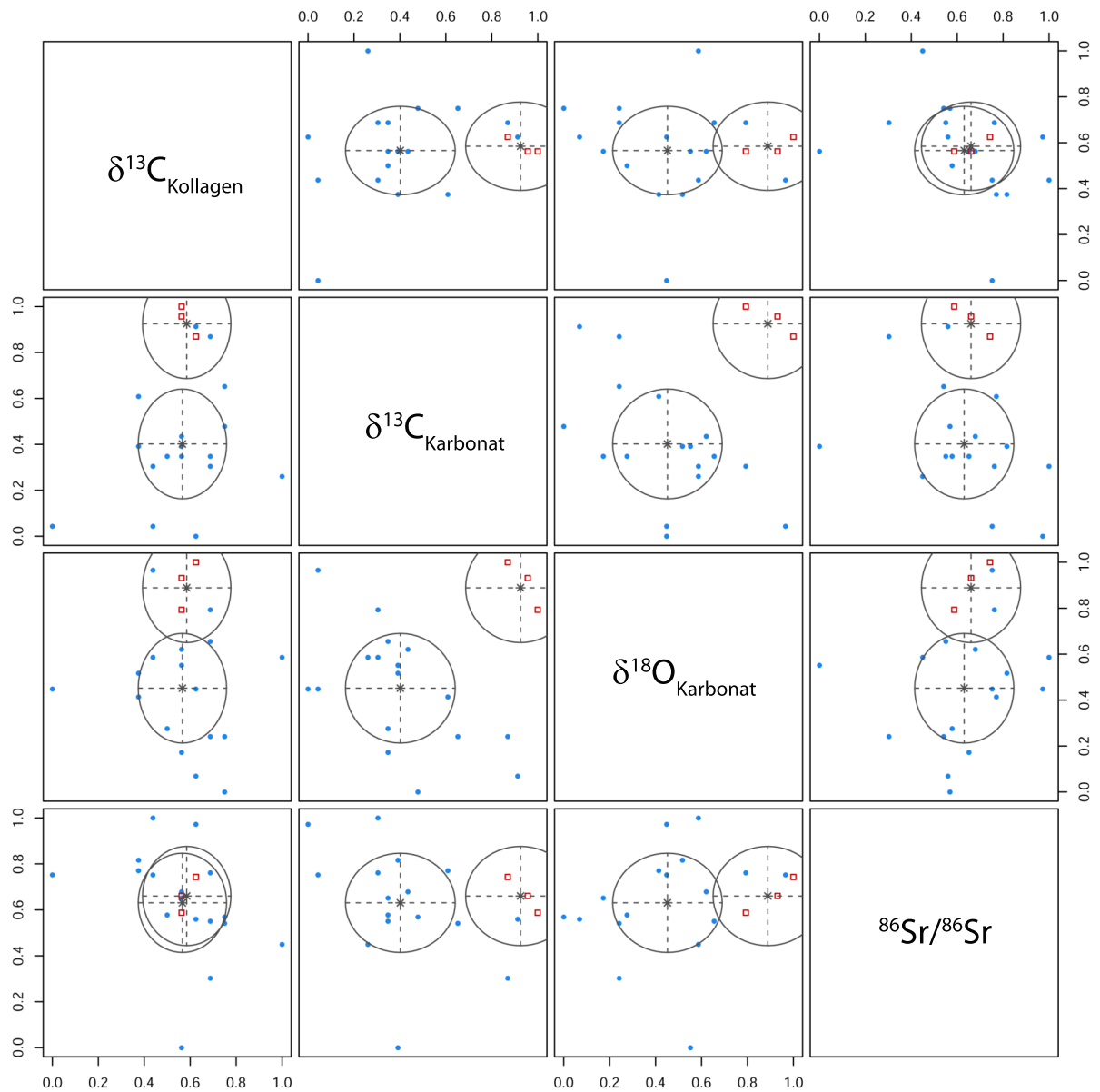


Abbildung A13: Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster nach Entfernen von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ („1347“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) mit Vorgabe des „EEI“-Modells mit zwei Clustern (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes IV. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

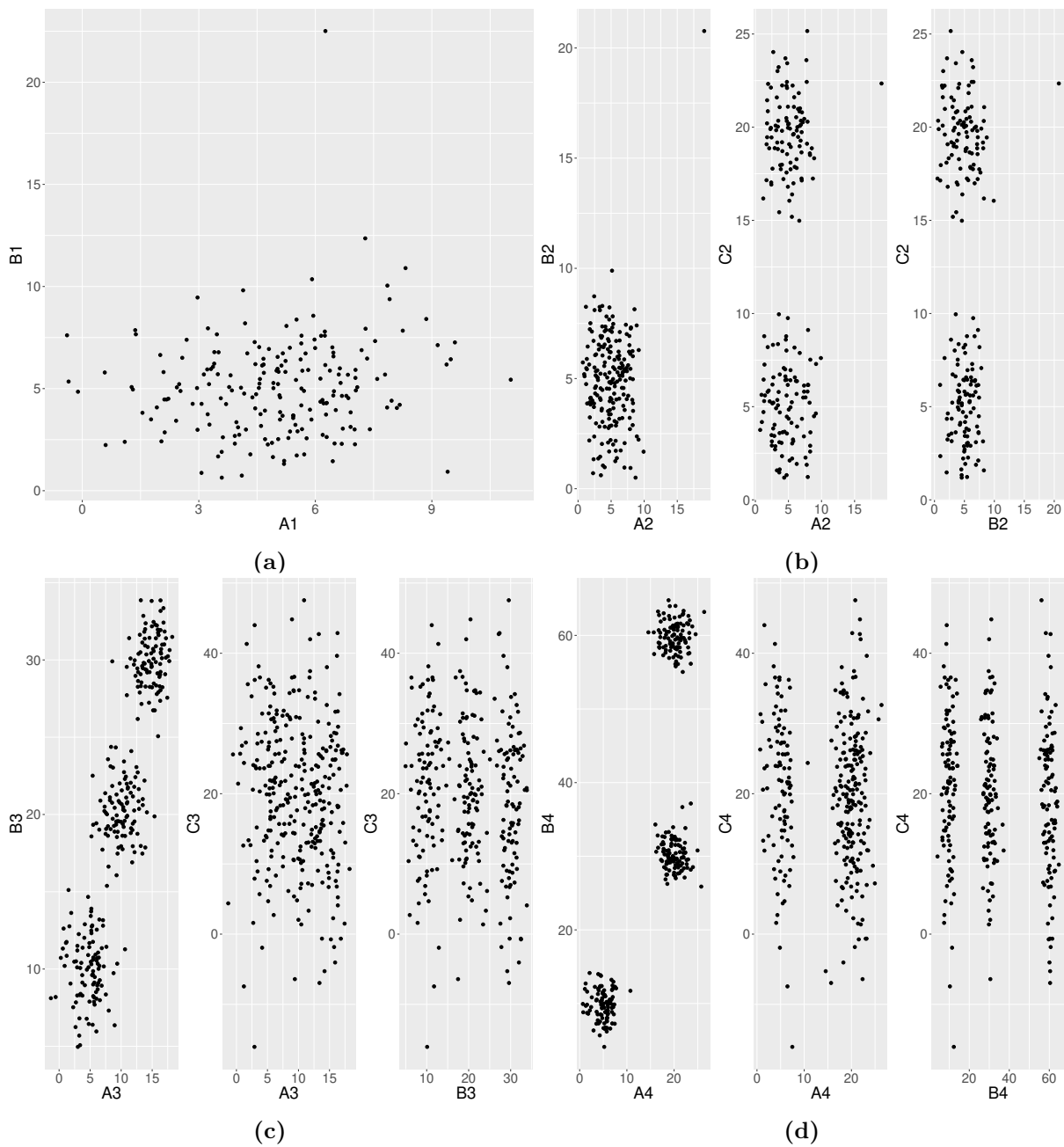


Abbildung A14: Streudiagramme der verwendeten Testdatensätze (a) T1, (b) T2, (c) T3 und (d) T4 (vgl. Tabelle A20).

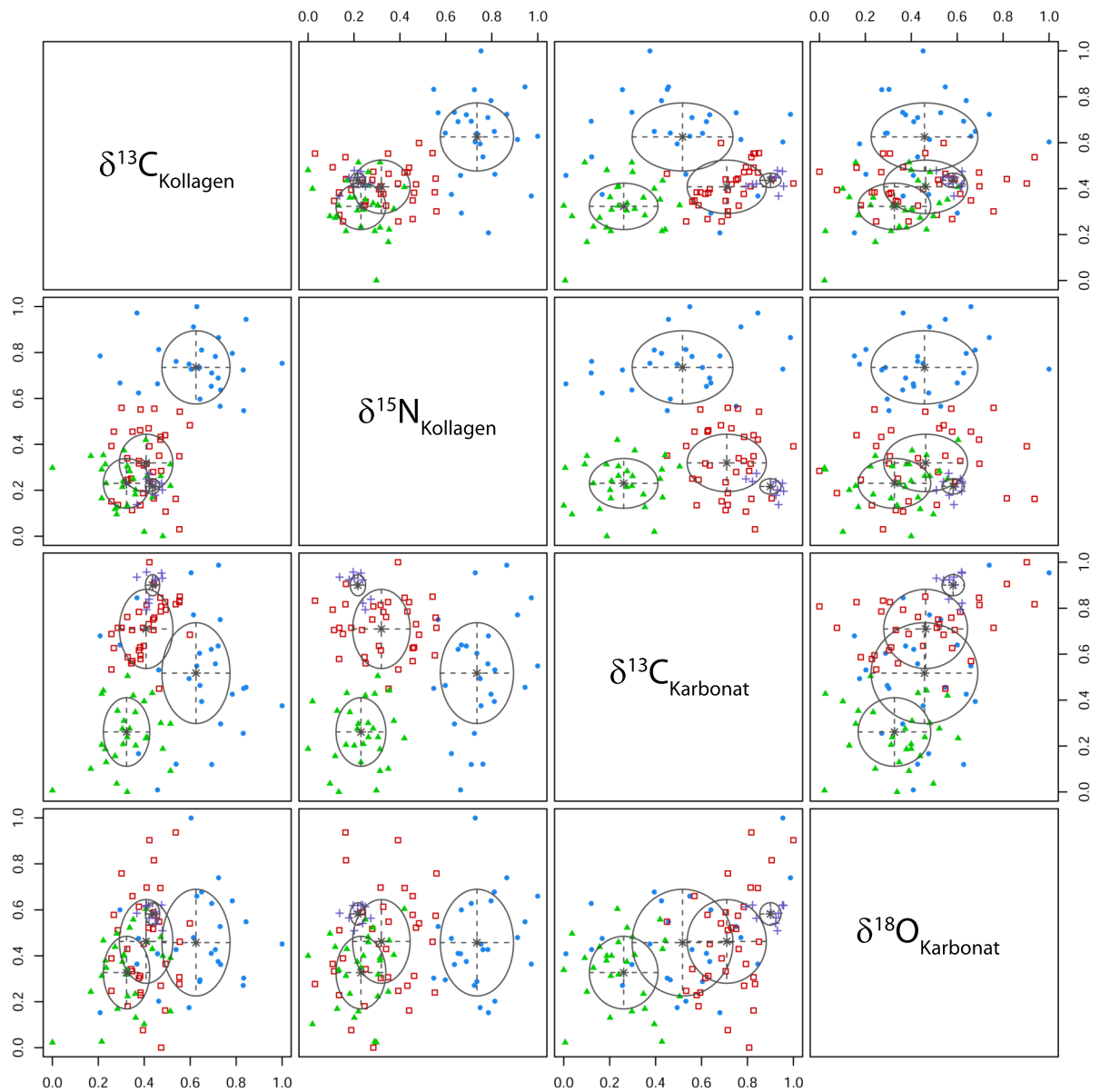


Abbildung A15: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten vier-dimensionalen Datensatzes I („1234“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$). Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck), Cluster 4: violett (Plus).

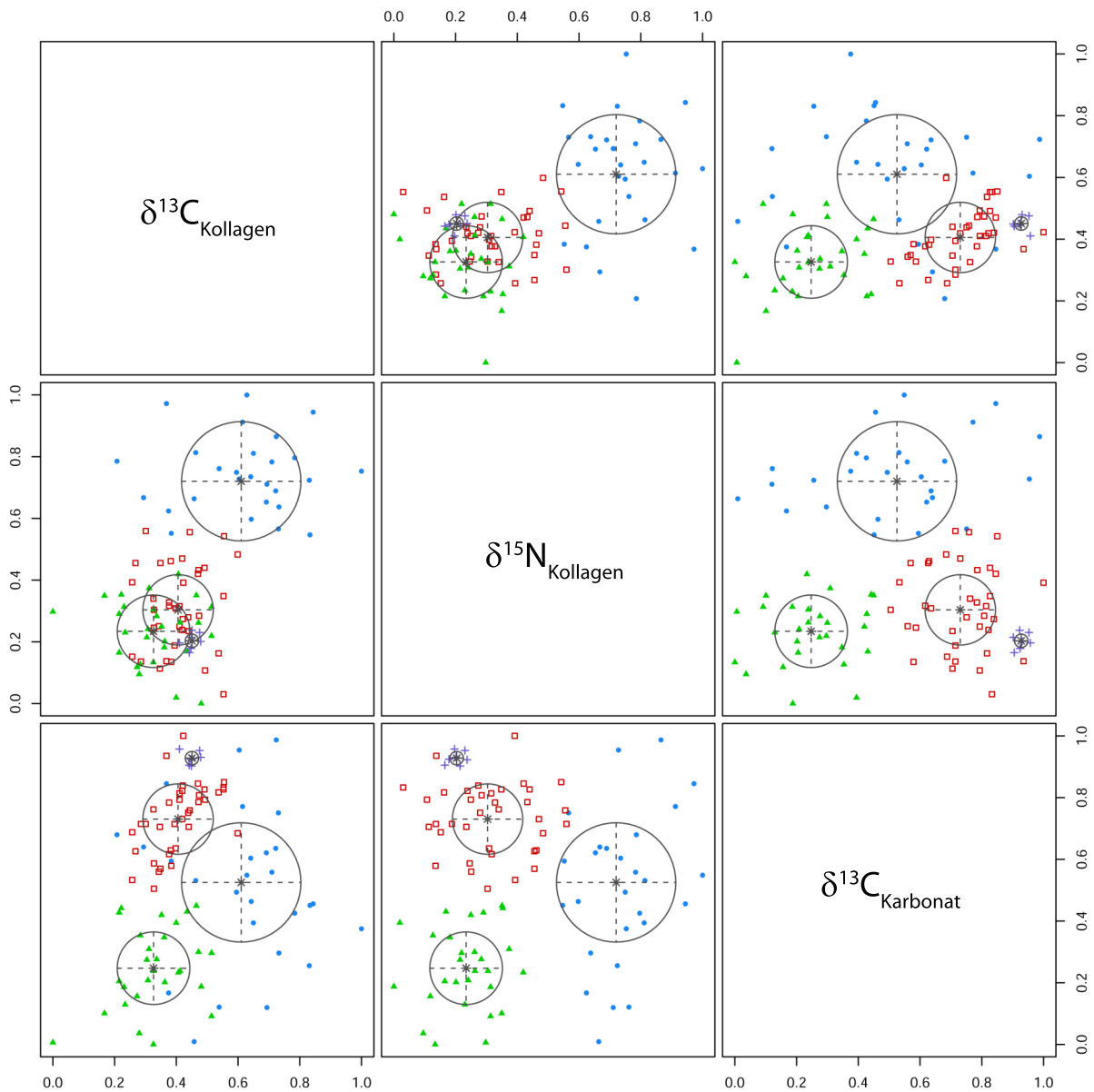


Abbildung A16: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes I nach Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ („123“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$). Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck), Cluster 4: violett (Plus).

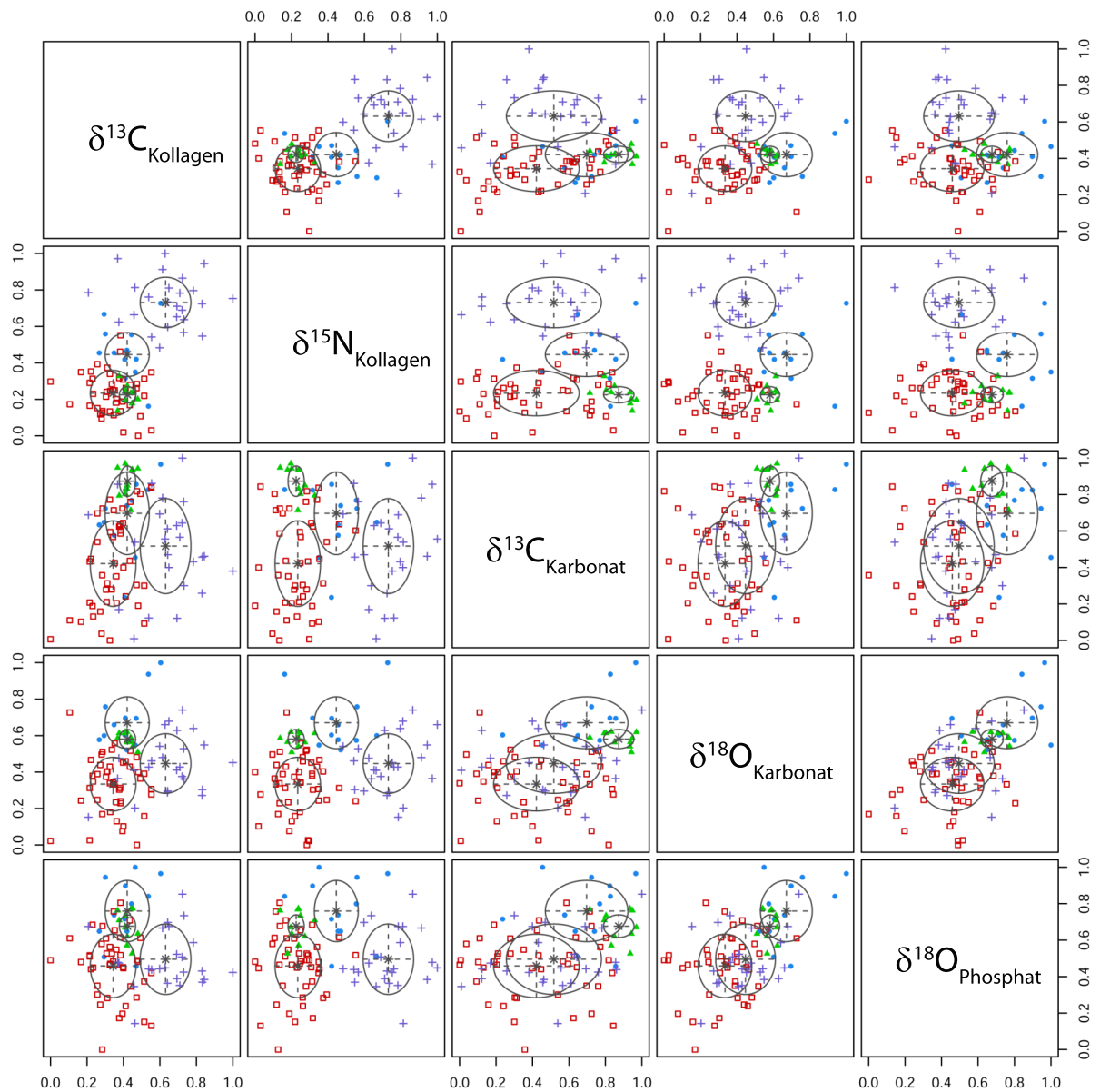


Abbildung A17: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten fünf-dimensionalen Datensatzes III („12346“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$). Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck), Cluster 4: violett (Plus).

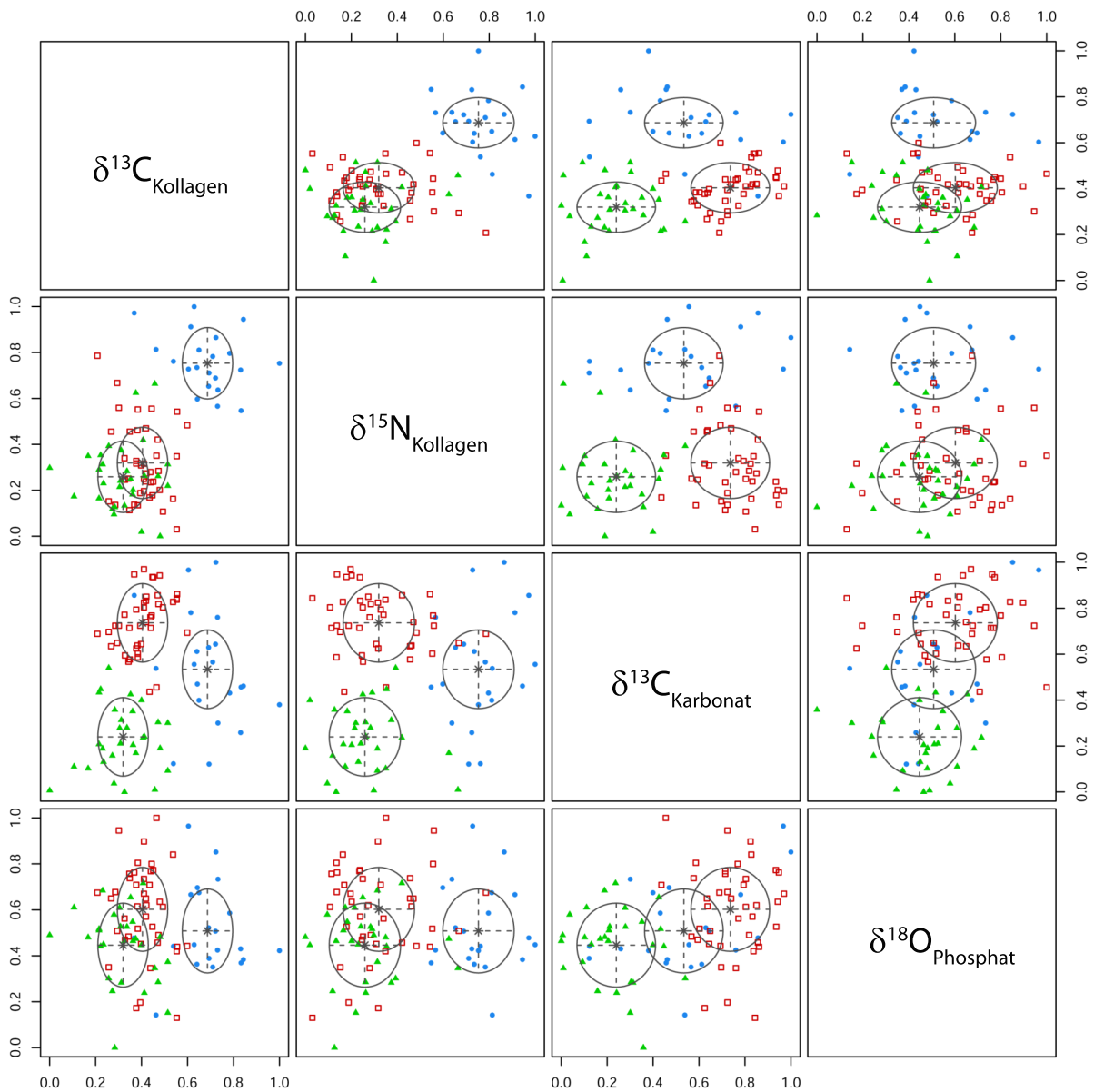


Abbildung A18: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes III nach Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ („1236“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$). Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck).

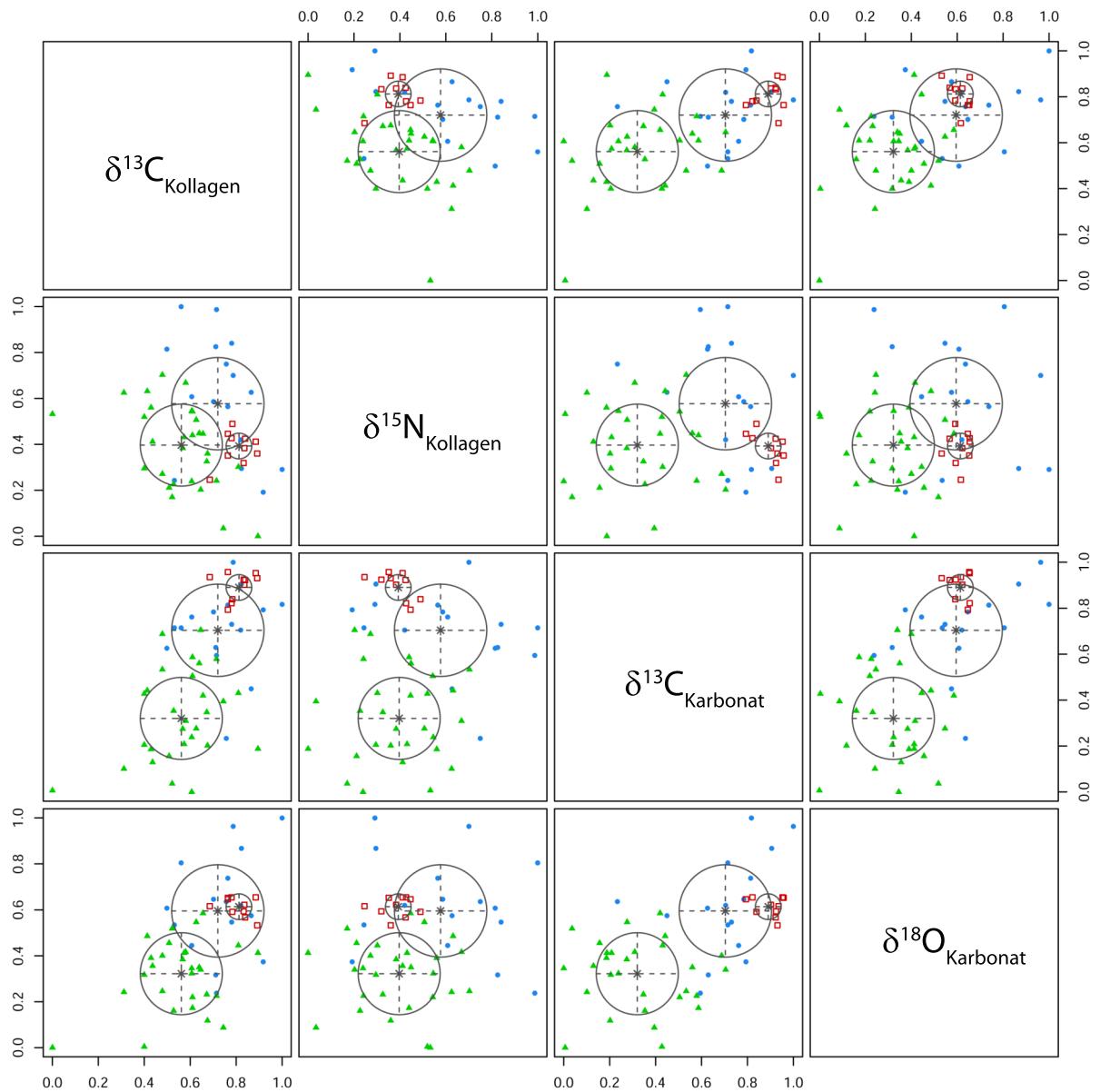


Abbildung A19: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen, herbivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten vier-dimensionalen Datensatzes I („1234“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$). Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck).

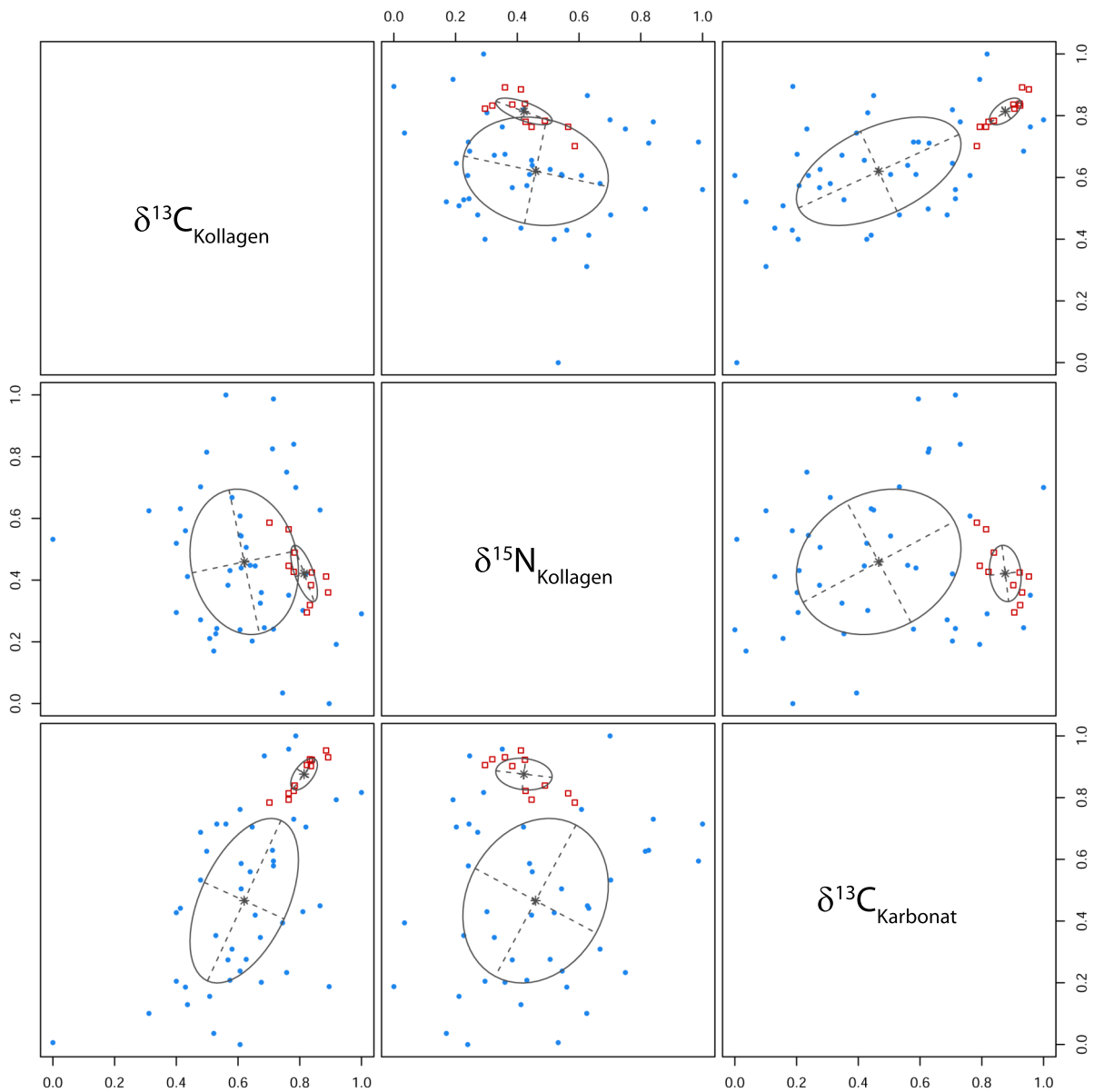


Abbildung A20: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen, herbivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes I nach Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ („123“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$). Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

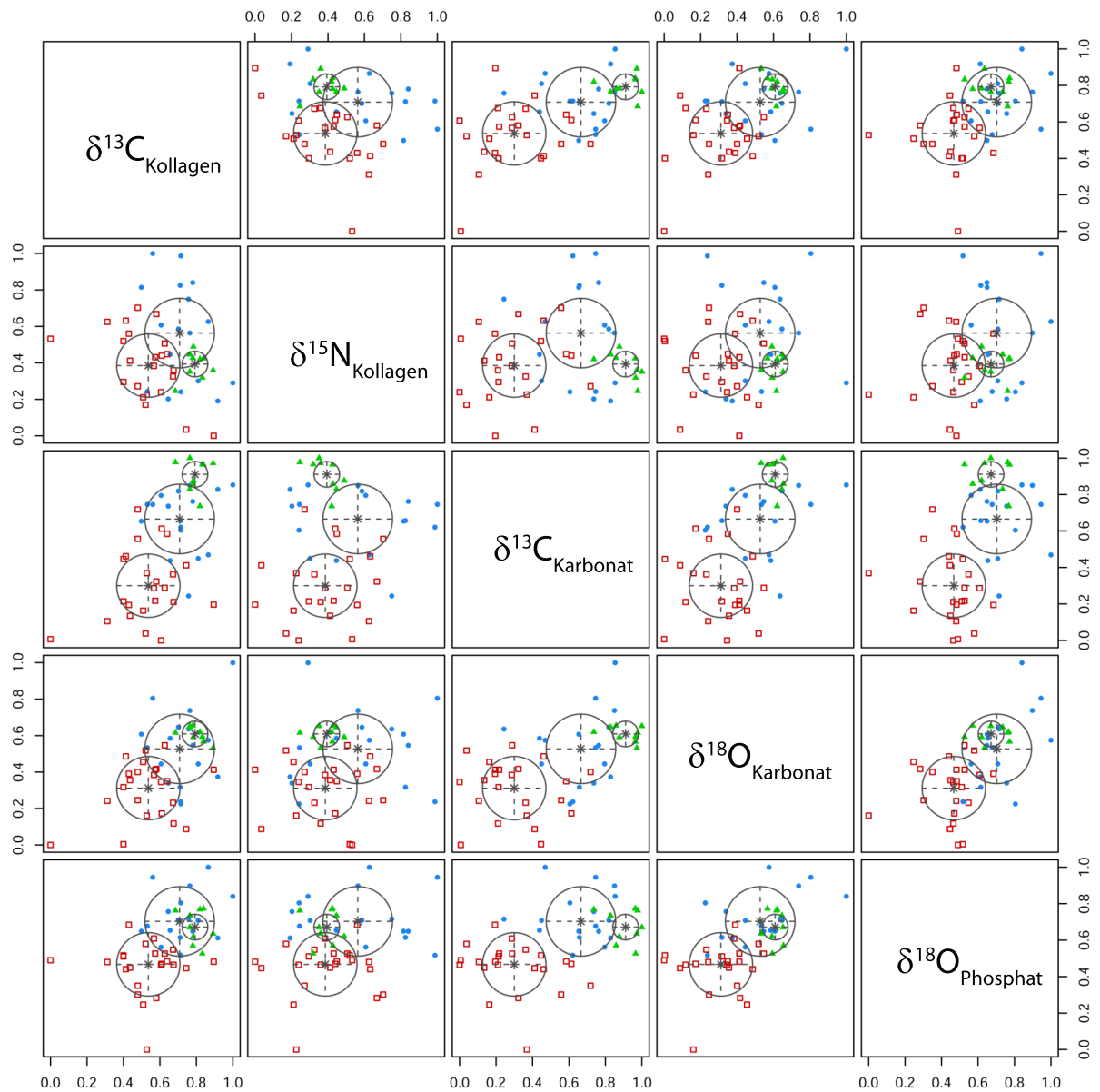


Abbildung A21: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen, herbivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten fünf-dimensionalen Datensatzes III („12346“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$). Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck).

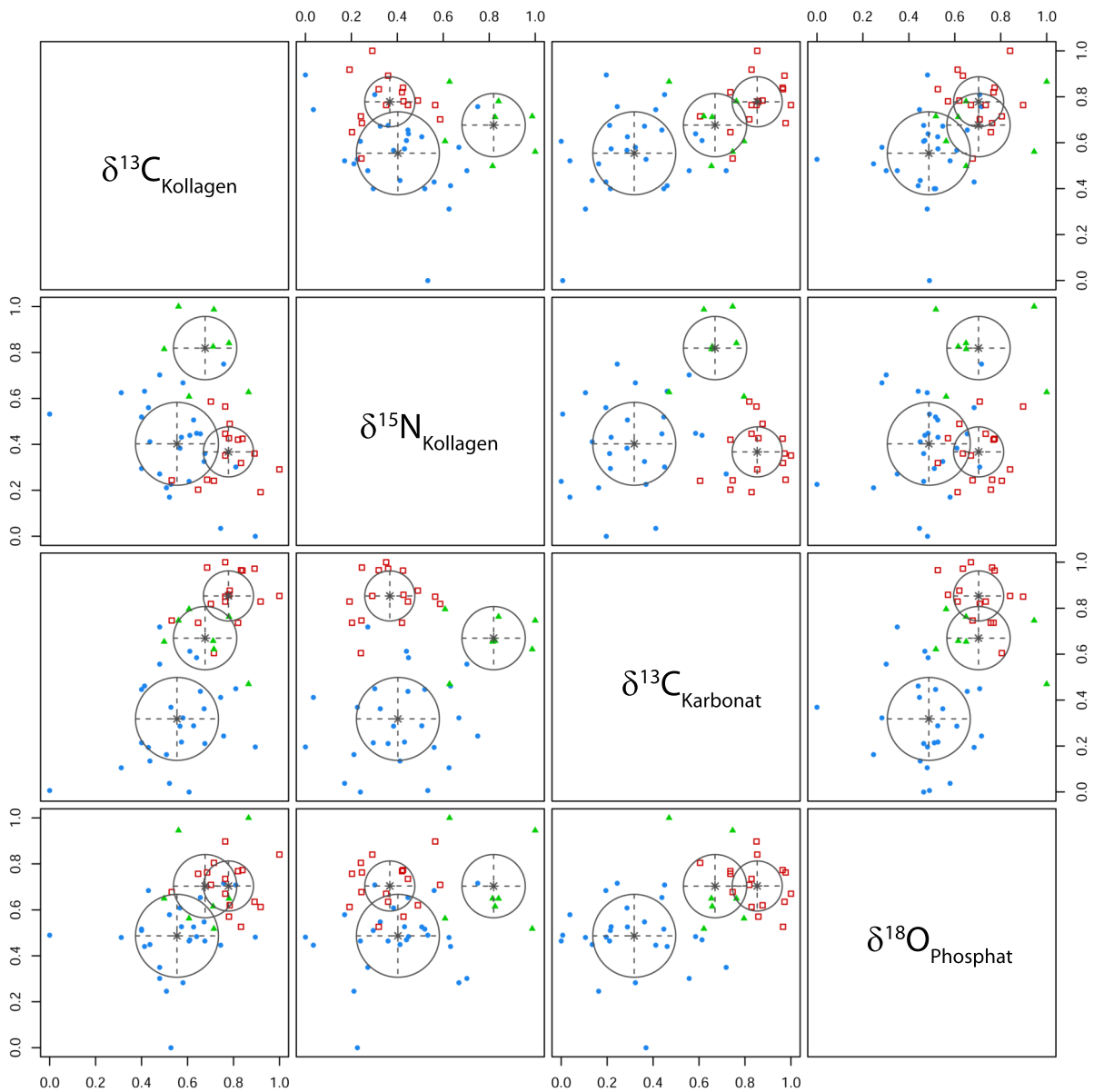


Abbildung A22: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen, herbivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes III nach Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ („1236“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$). Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck).

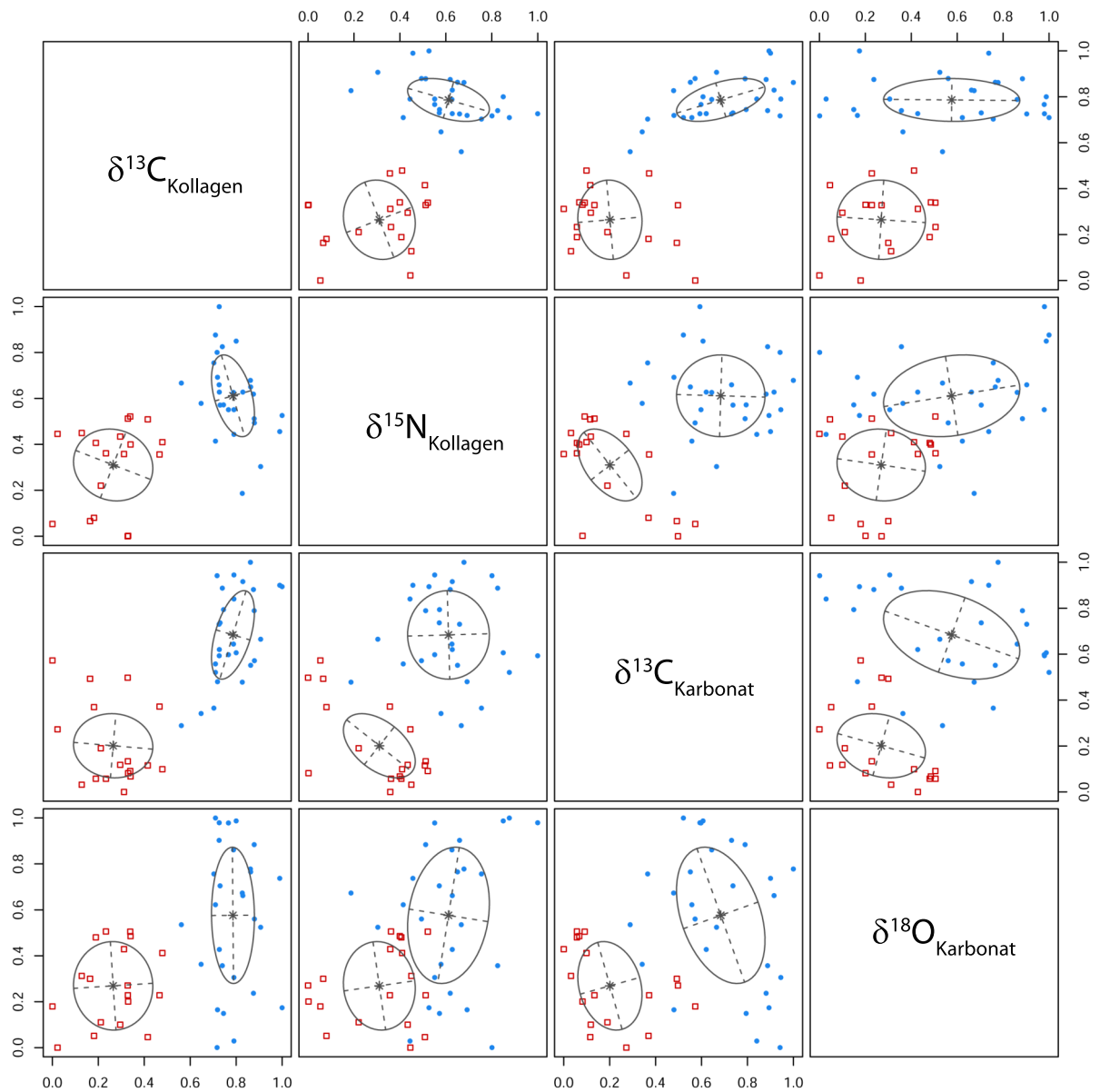


Abbildung A23: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster (Scrucca et al., 2016) für die Fische aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten vier-dimensionalen Datensatzes I („1234“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$). Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

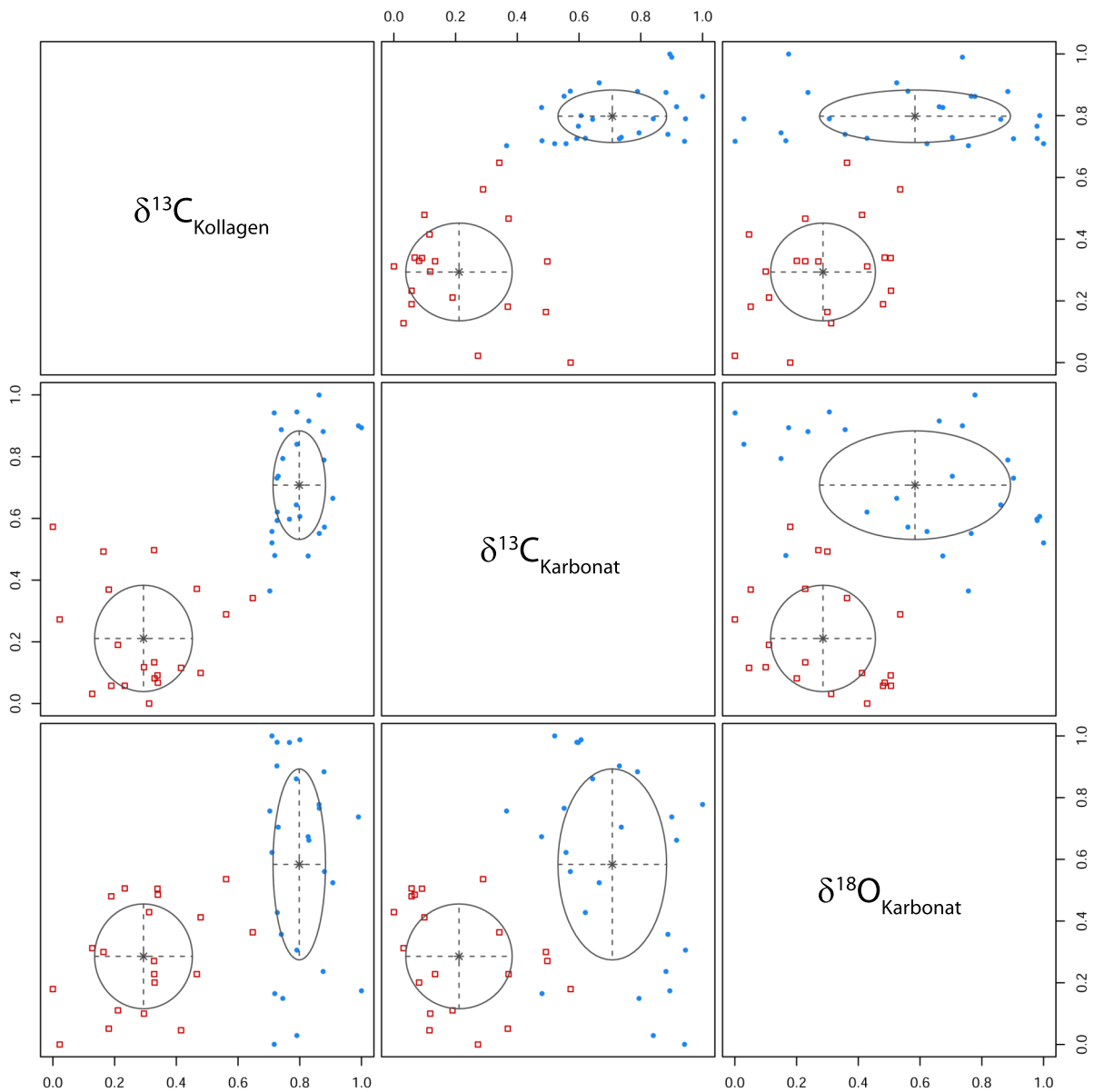


Abbildung A24: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster (Scrucca et al., 2016) für die Fische aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes I nach Entfernen von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ („134“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$). Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

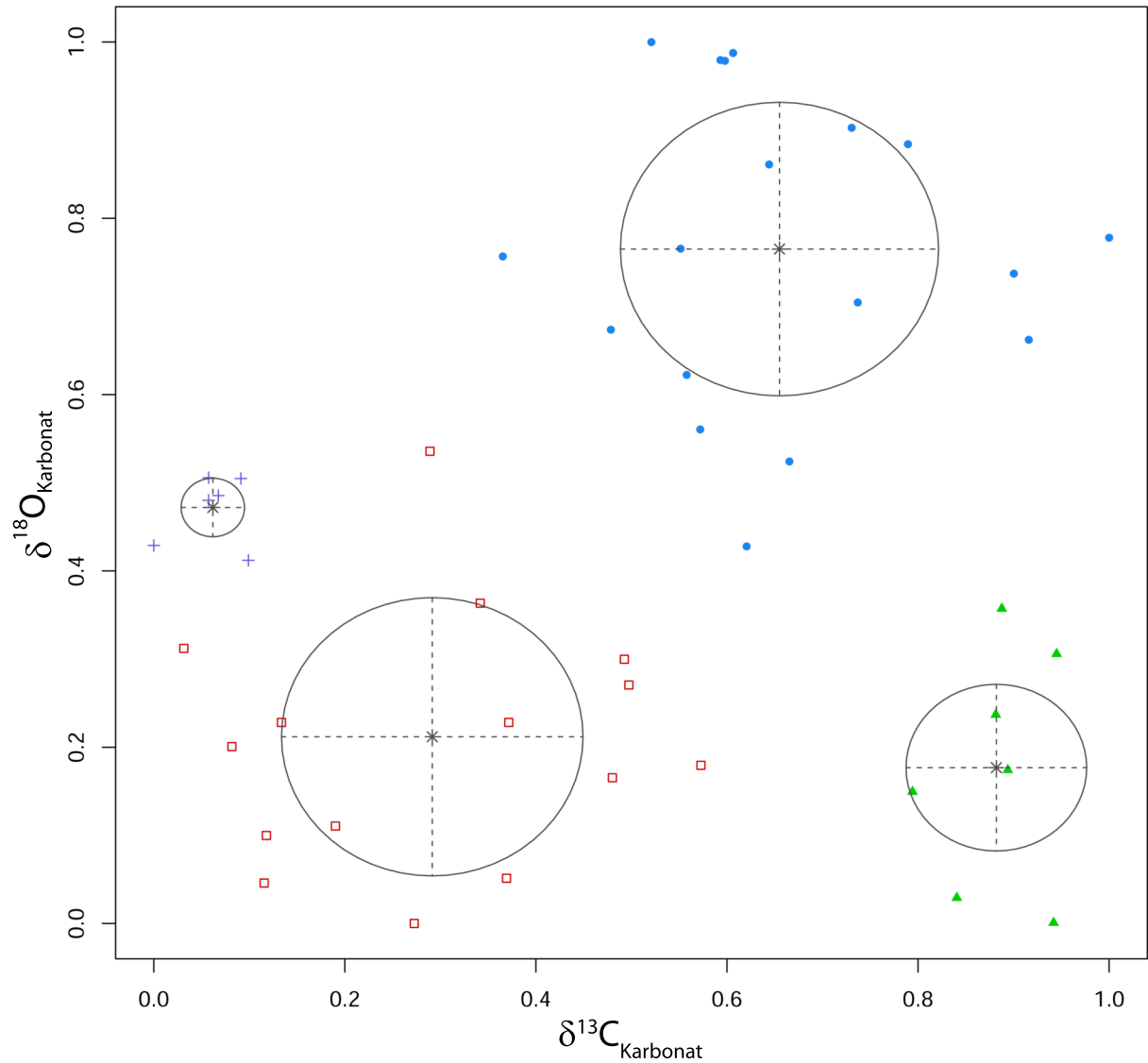


Abbildung A25: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster (Scrucca et al., 2016) für die Fische aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes I nach Entfernen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ („34“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$). Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck), Cluster 4: violett (Plus).

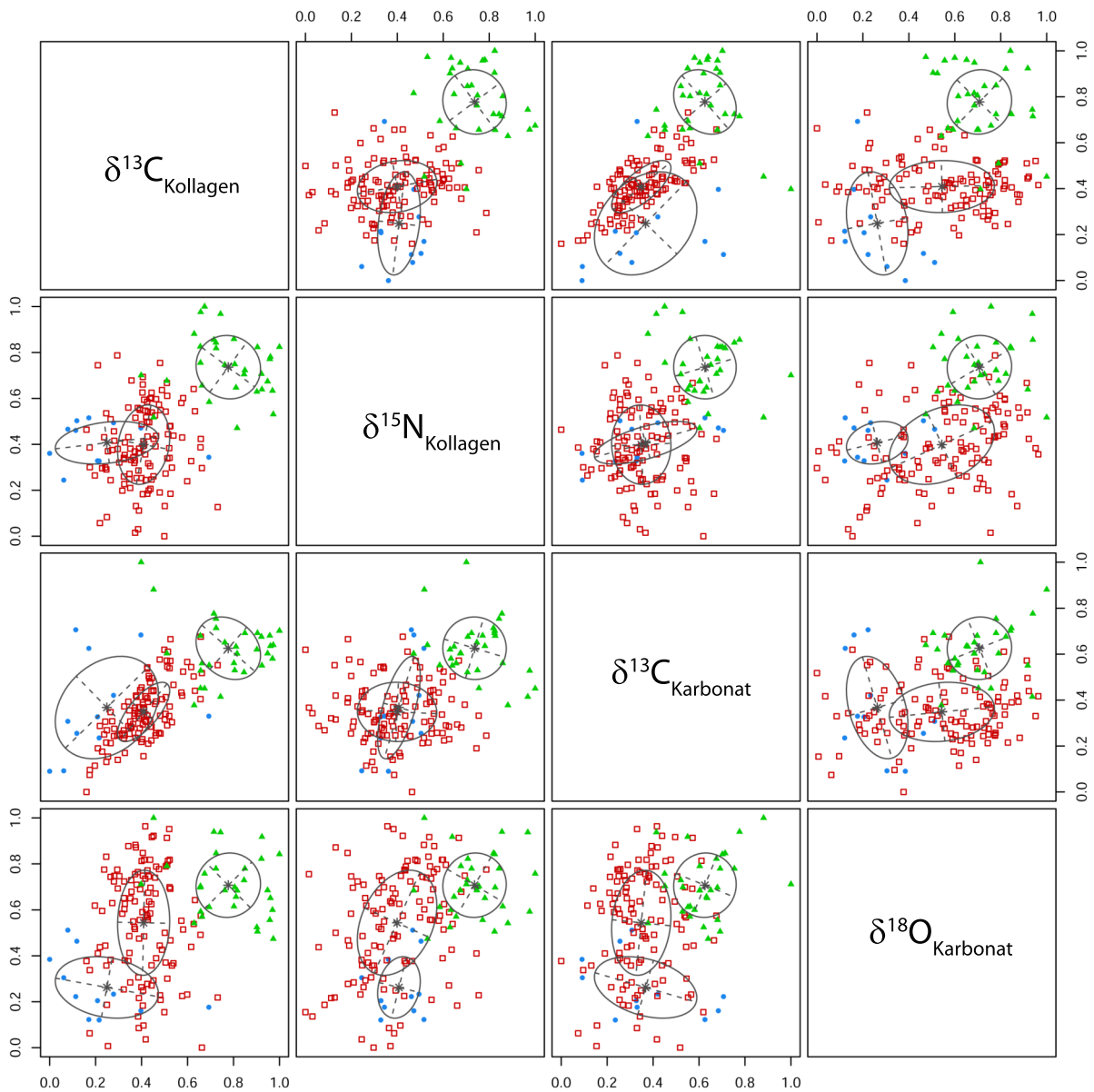


Abbildung A26: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster (Scrucca et al., 2016) für die Vögel aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten vier-dimensionalen Datensatzes I („1234“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$). Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck).

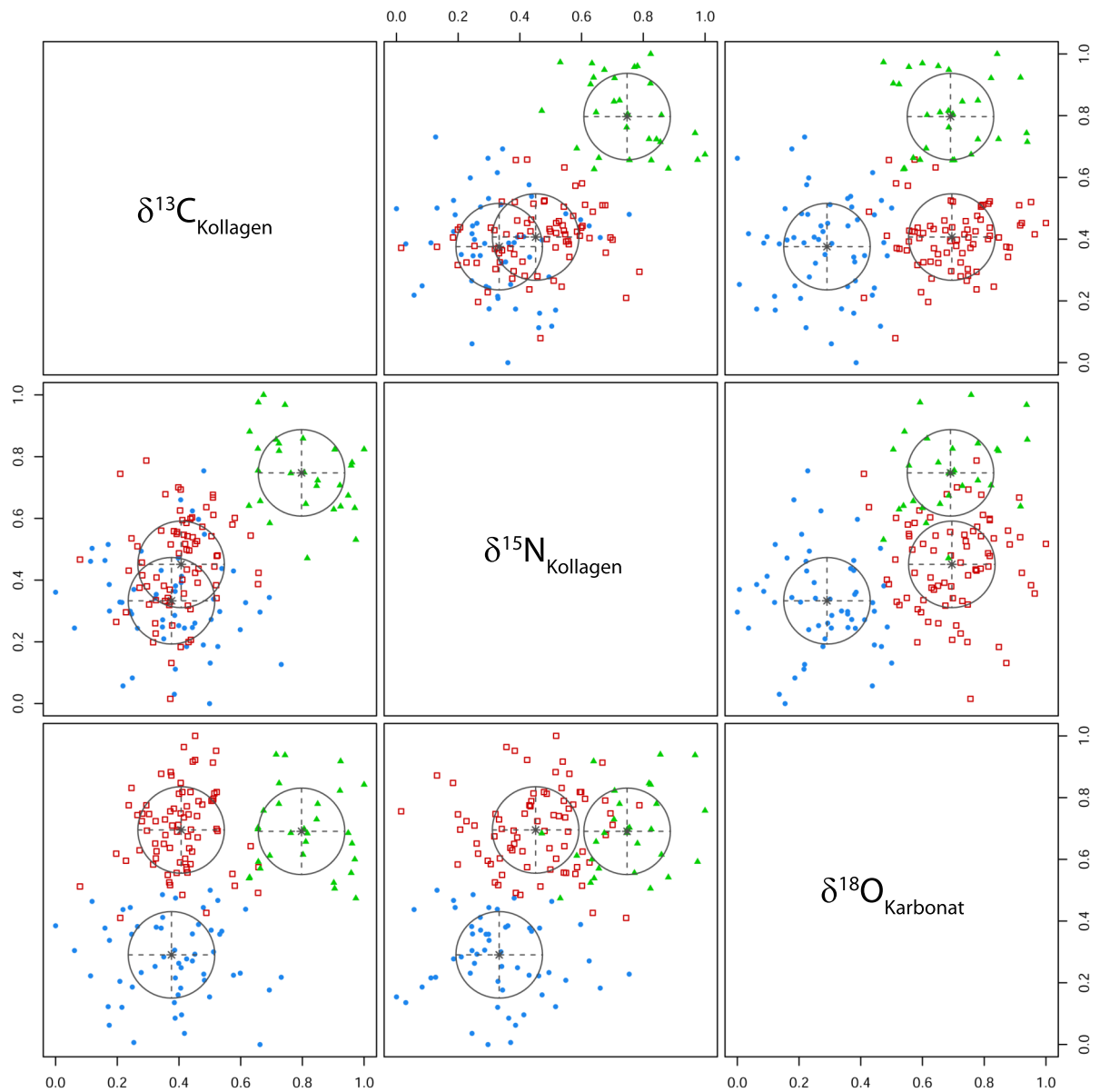


Abbildung A27: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster (Scrucca et al., 2016) für die Vögel aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes I nach Entfernen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ („124“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$). Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck).

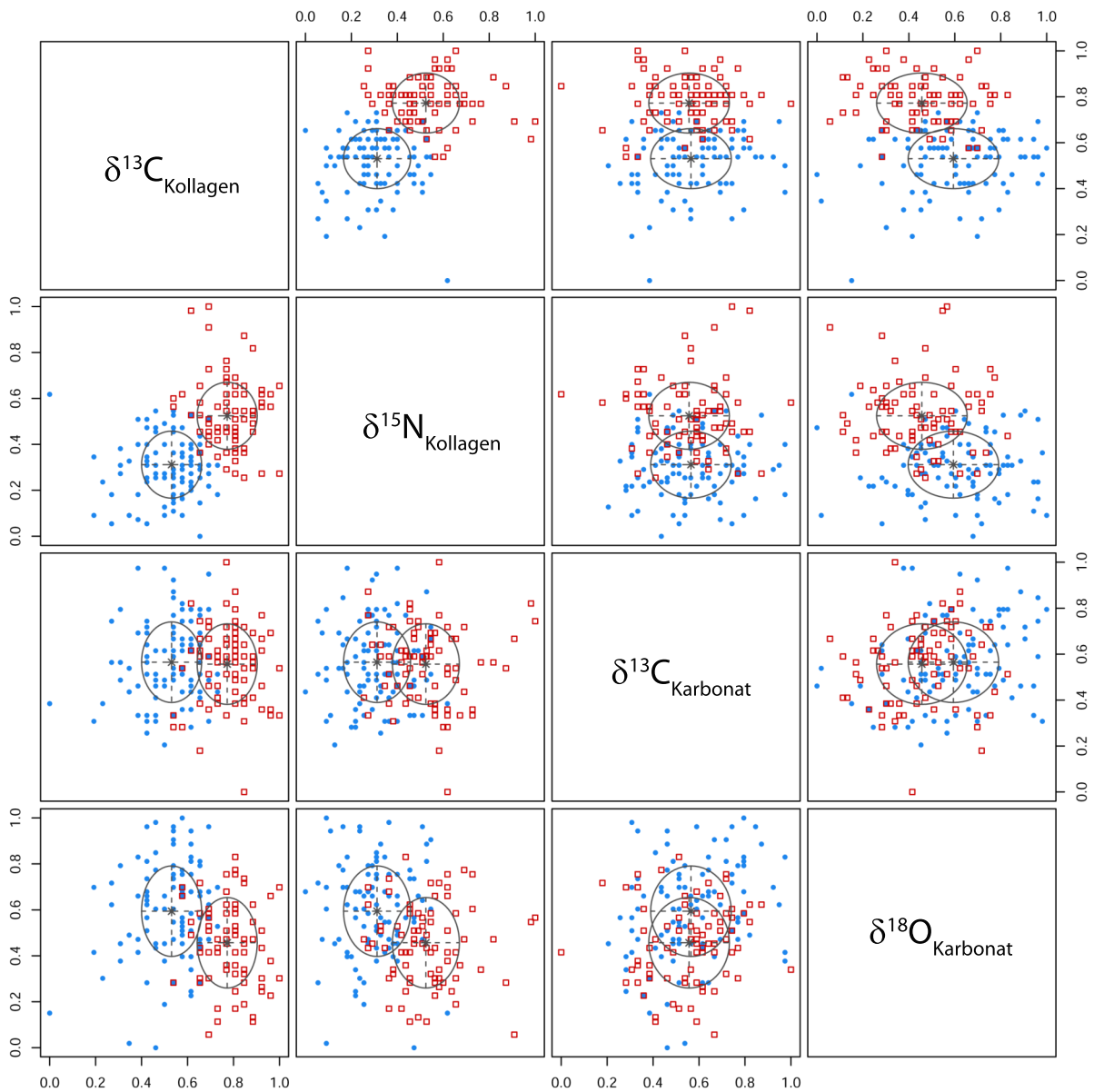


Abbildung A28: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten vier-dimensionalen Datensatzes I („1234“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$). Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

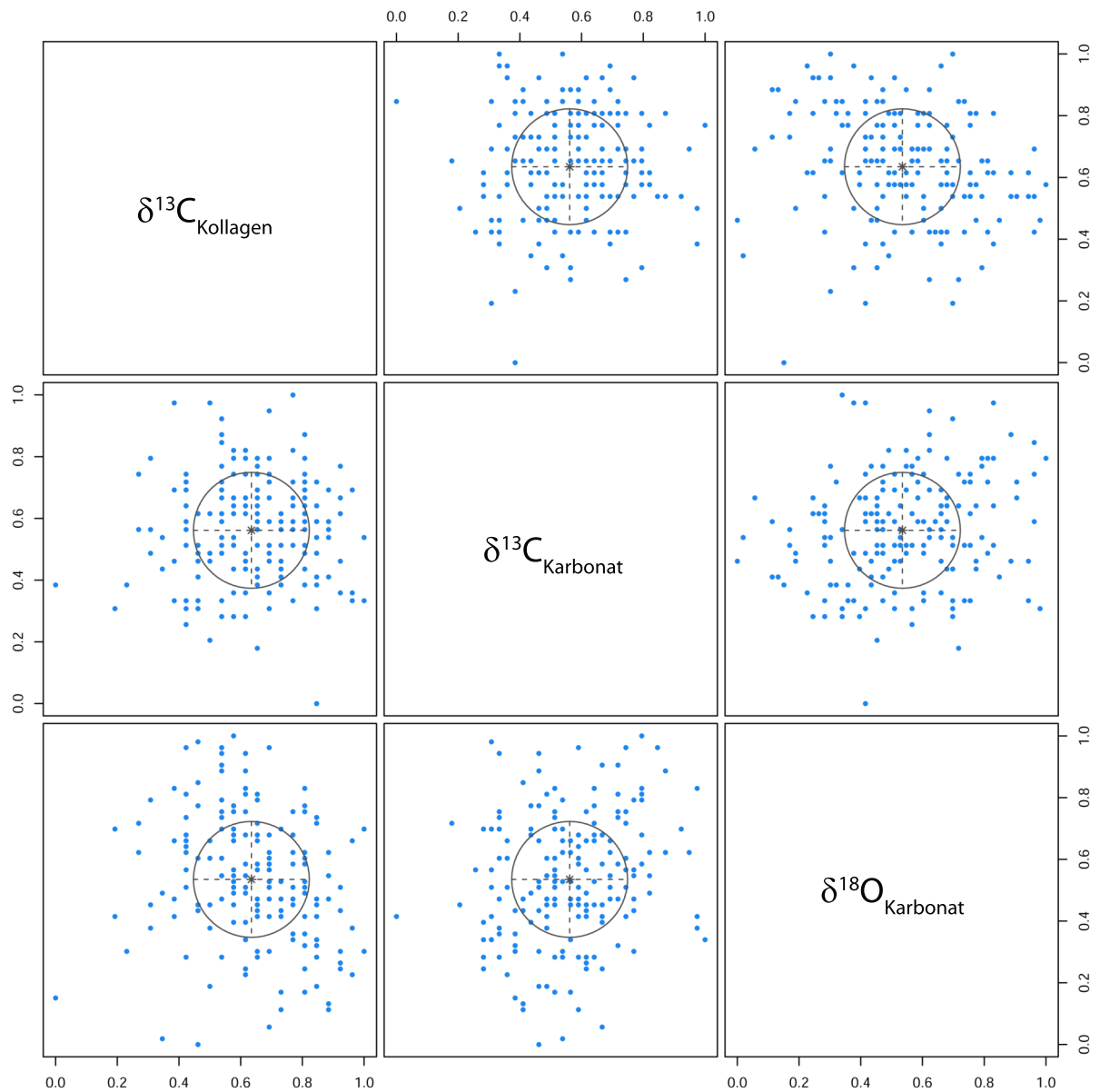


Abbildung A29: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes I nach Entfernen von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ („134“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$). Cluster 1: blau (Punkt).

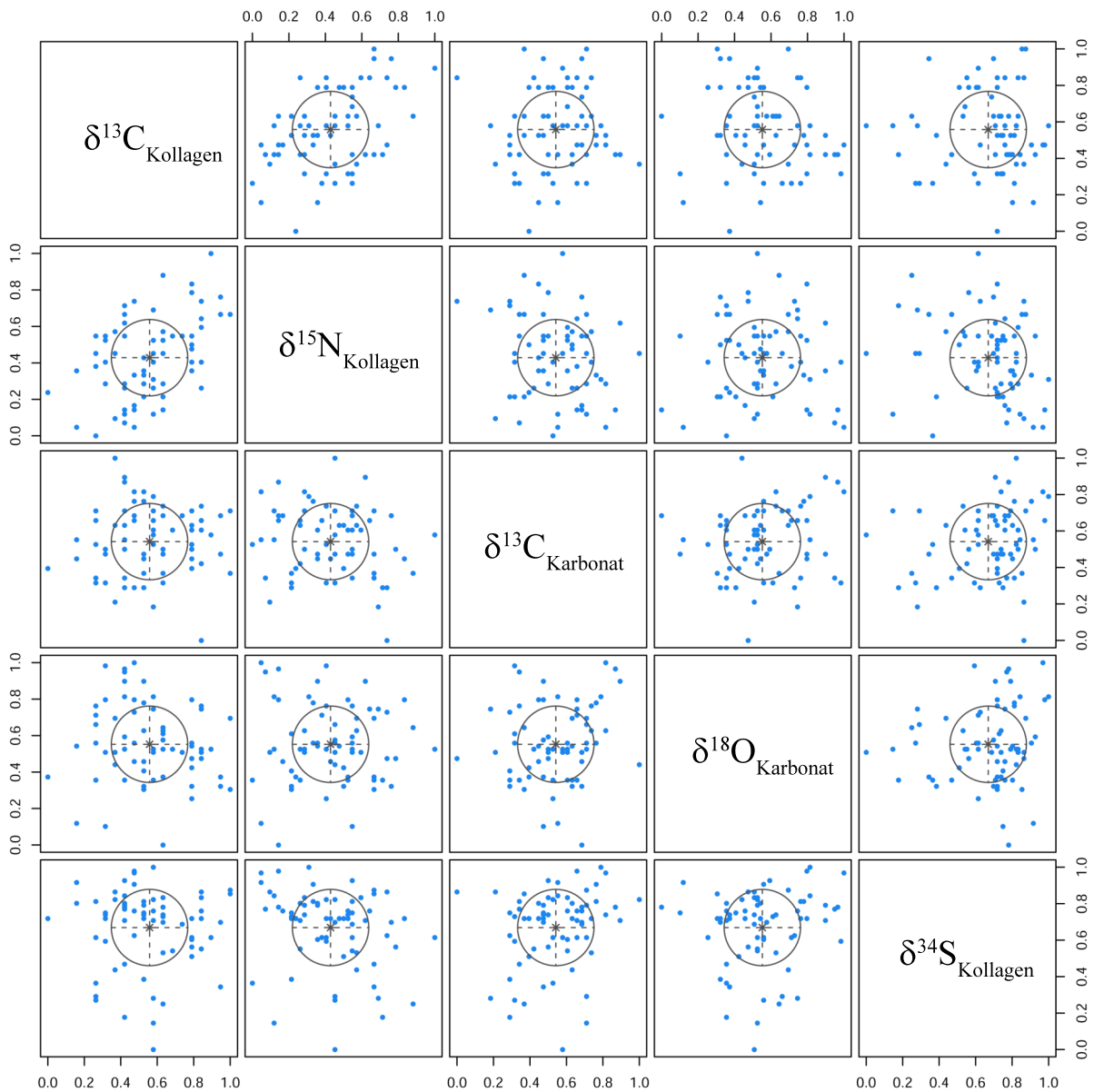


Abbildung A30: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten fünf-dimensionalen Datensatzes II („12345“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$). Cluster 1: blau (Punkt).

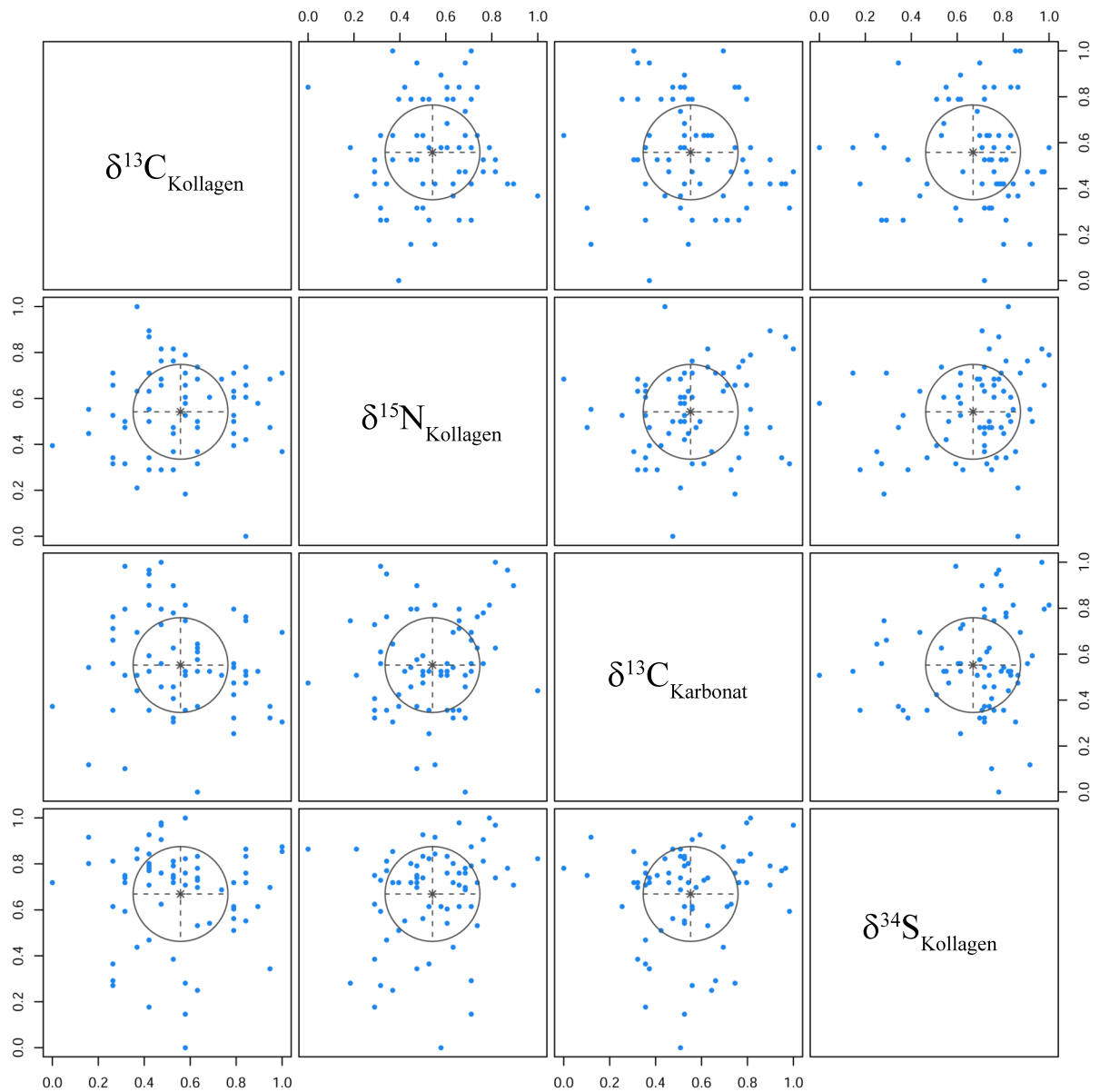


Abbildung A31: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten fünf-dimensionalen Datensatzes II nach Entfernen von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ („1345“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$). Cluster 1: blau (Punkt).

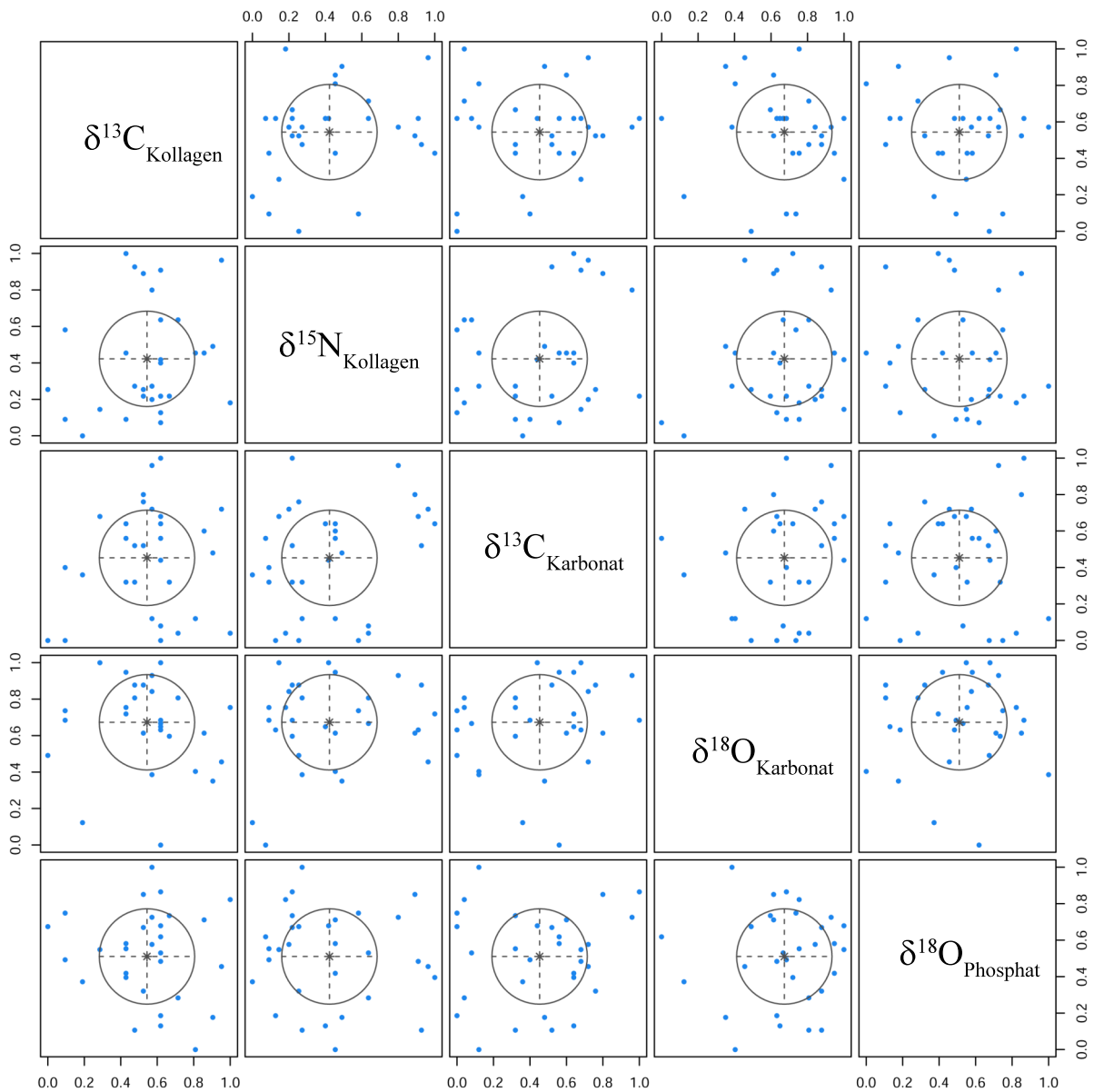


Abbildung A32: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten fünf-dimensionalen Datensatzes III („12346“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$). Cluster 1: blau (Punkt).

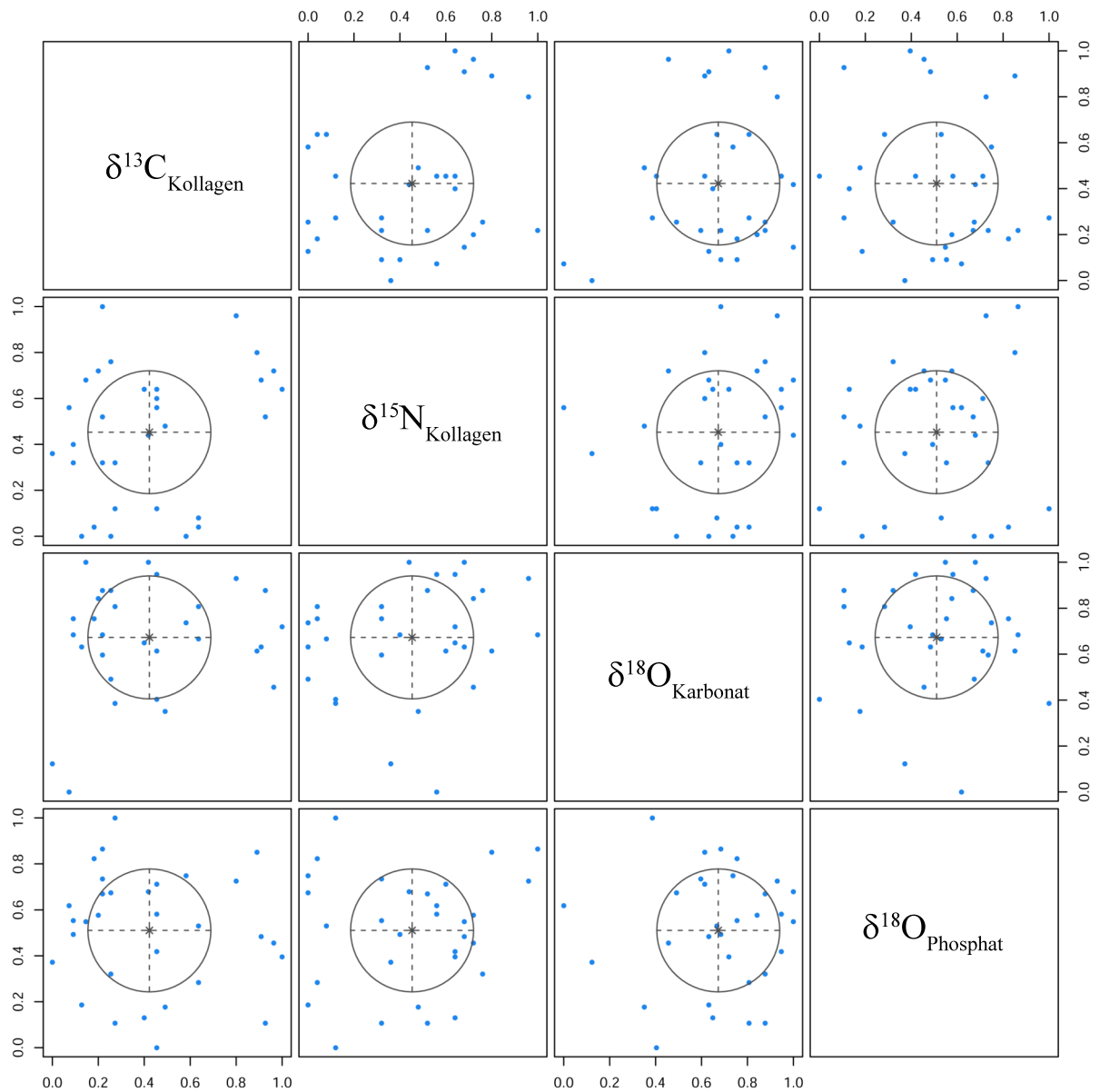


Abbildung A33: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten fünf-dimensionalen Datensatzes III nach Entfernen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ („2346“: $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$). Cluster 1: blau (Punkt).

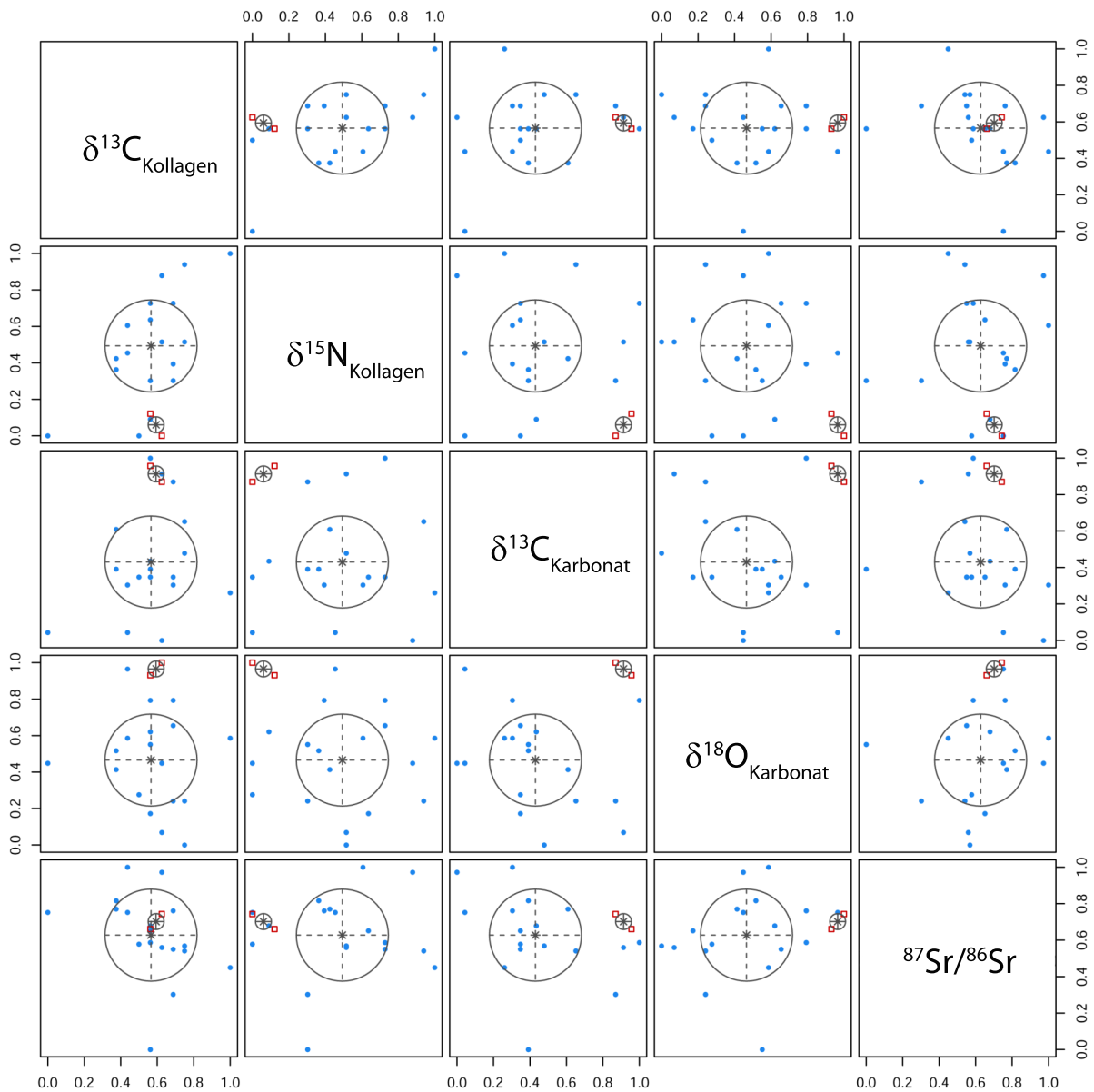


Abbildung A34: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten fünf-dimensionalen Datensatzes IV („12347“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$). Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

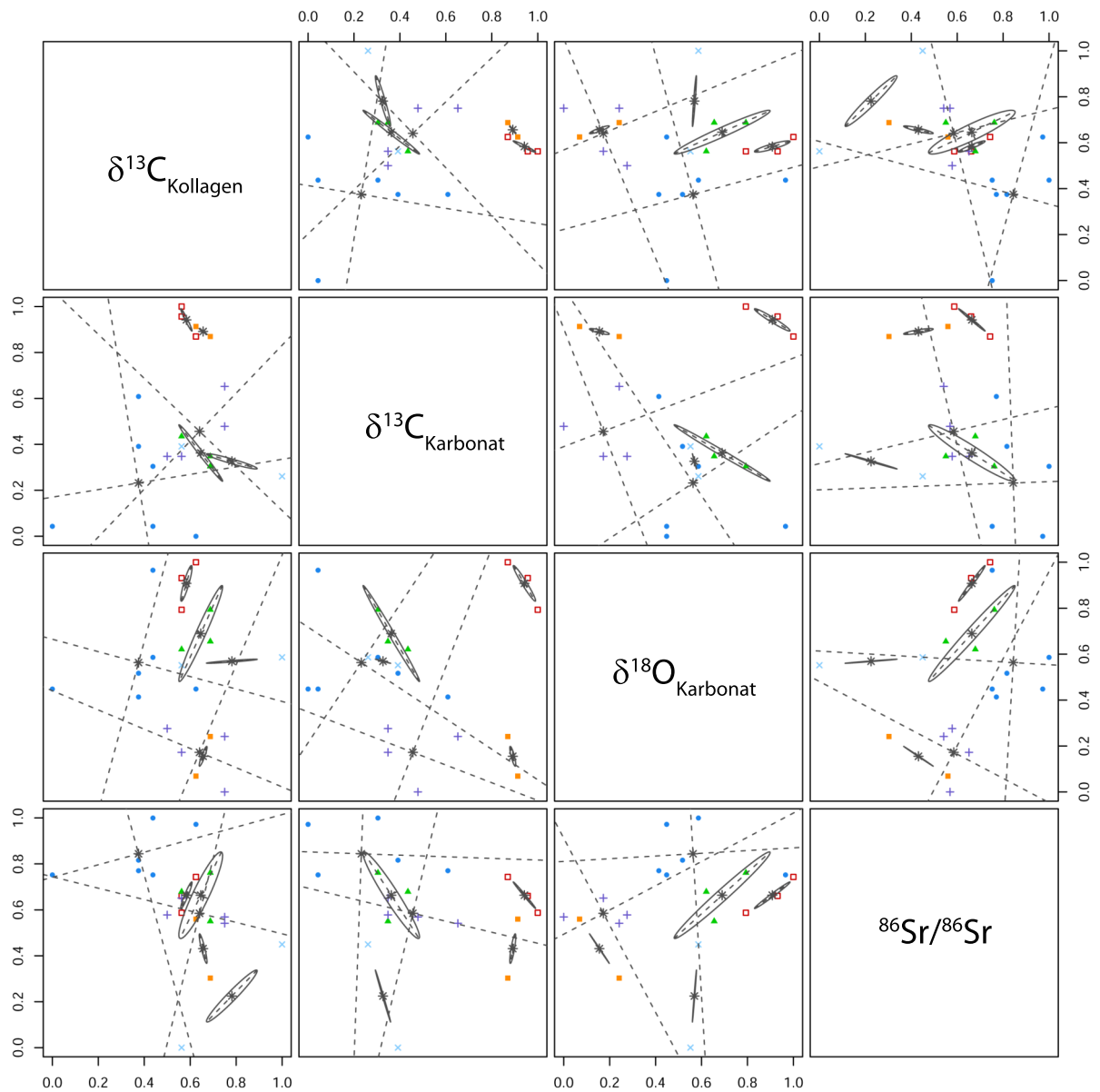


Abbildung A35: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten fünf-dimensionalen Datensatzes IV nach Entfernen von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ („1347“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$). Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck), Cluster 4: violett (Plus), Cluster 5: orange (gefülltes Quadrat), Cluster 6: türkis (Kreuz).

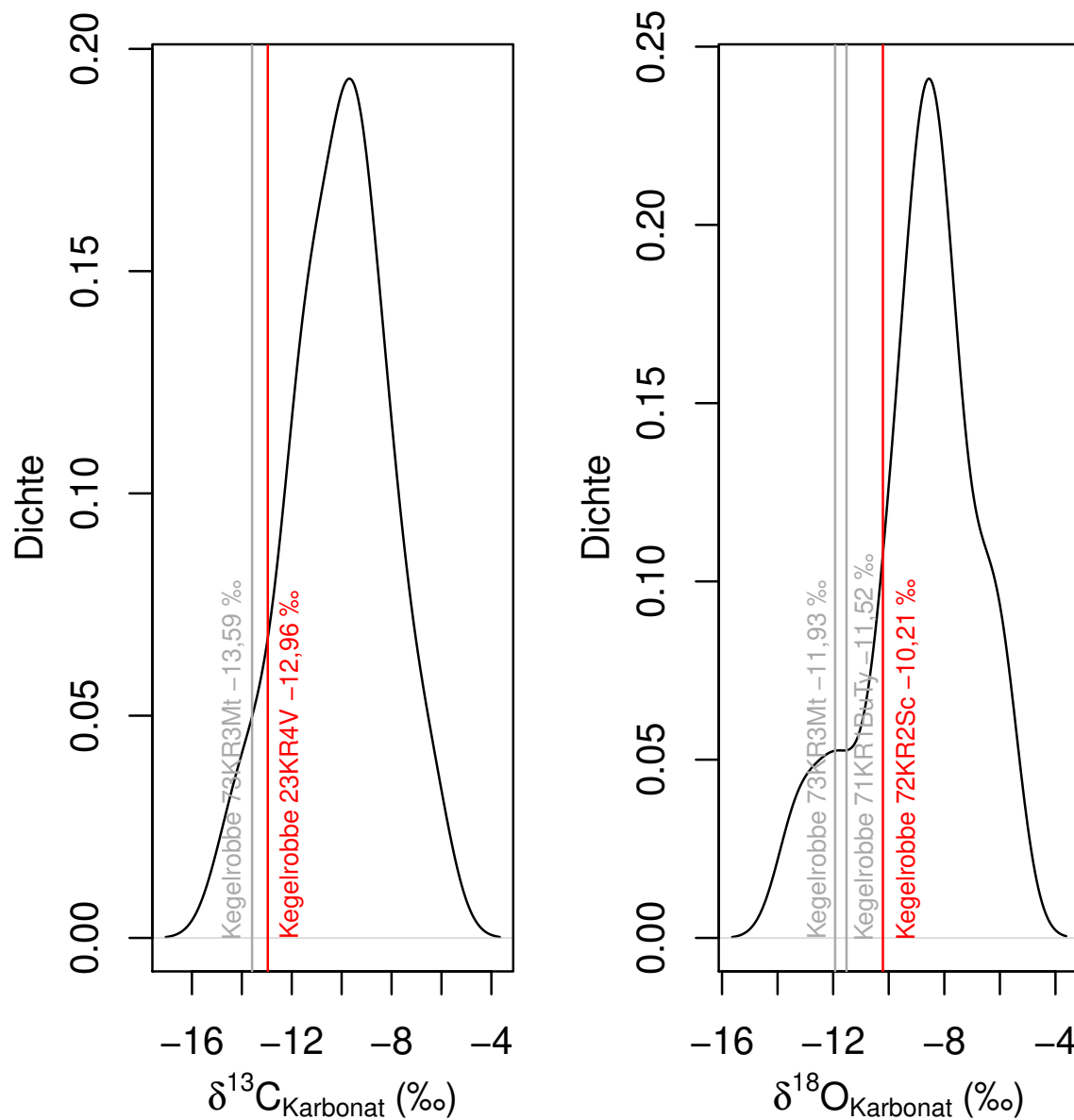


Abbildung A36: Dichtekurven bezüglich der $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ - bzw. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte aller marinen Säuger ($n = 27$) aus Haithabu und Schleswig zur Ermittlung der unteren marinen Grenze. Das jeweils als untere marine Grenze gewählte Individuum ist als rote Linie dargestellt. Lokale marine Säuger mit prinzipiell noch niedrigeren Isotopenwerten sind als graue Linie(n) dargestellt, werden aber als untere marine Grenze ausgeschlossen (sh. Text).

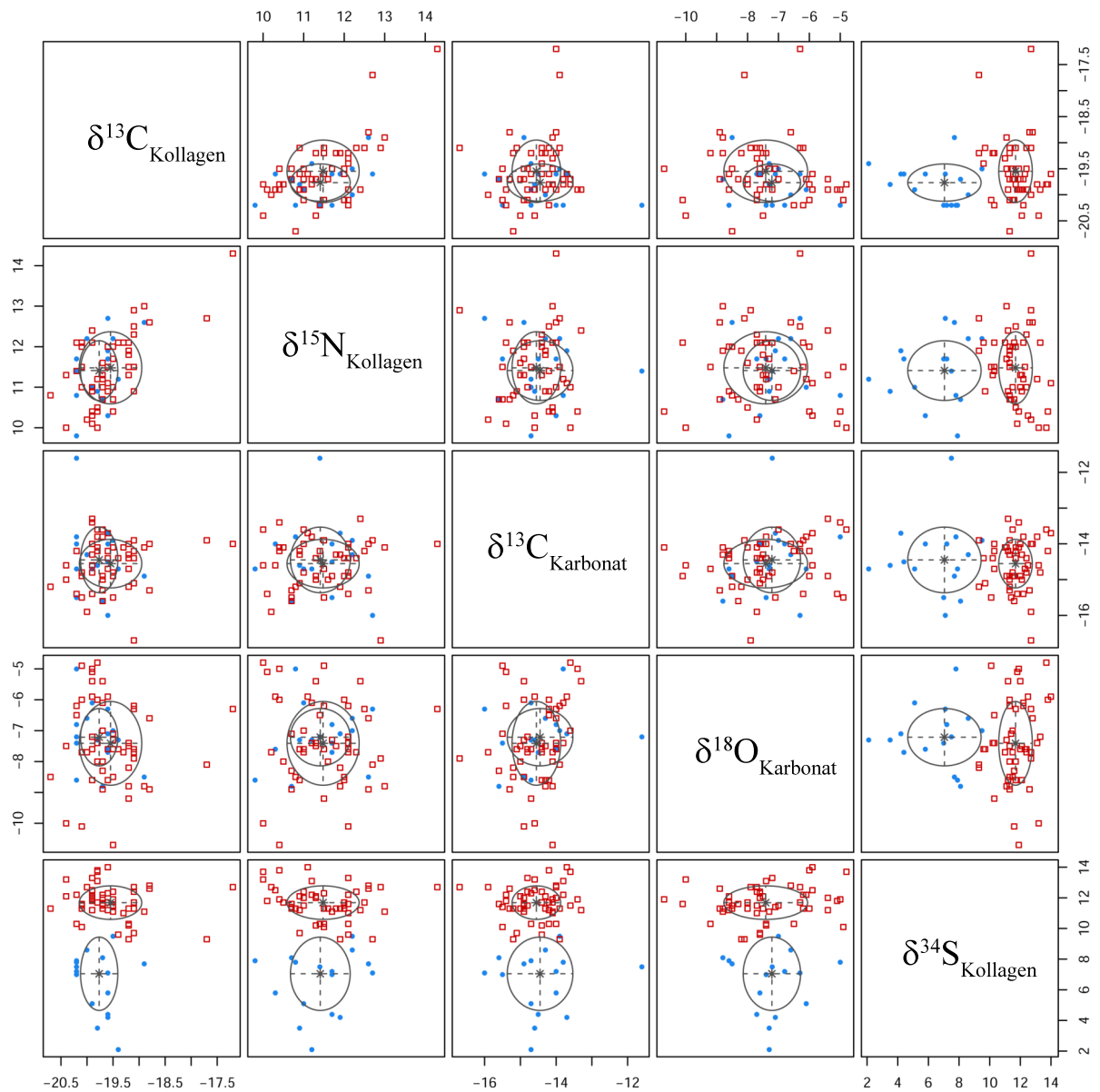


Abbildung A37: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster („EVI“; Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des fünf-dimensionalen Datensatzes II. Geclustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell I eine Lösung ergeben. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

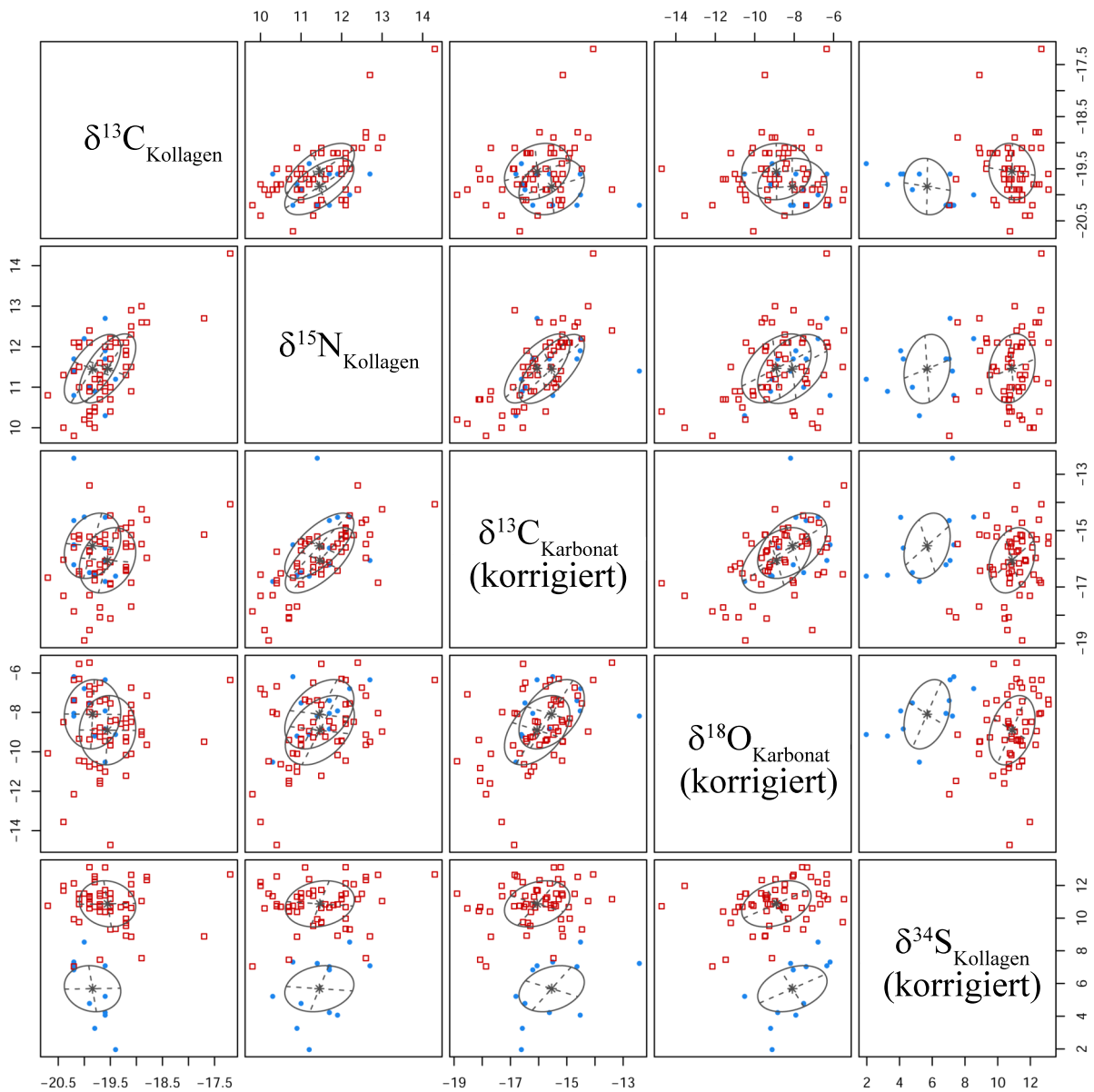


Abbildung A38: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster („EEE“; Scruc-
ca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und
Schleswig im Falle des fünf-dimensionalen Datensatzes II nach „sea
spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -
Werten. Die Korrektur erfolgte auf Basis der mit „SISUS“ berechneten,
terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein) Nahrungsanteile (Modell I).
Geklustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell I eine
Lösung ergeben. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

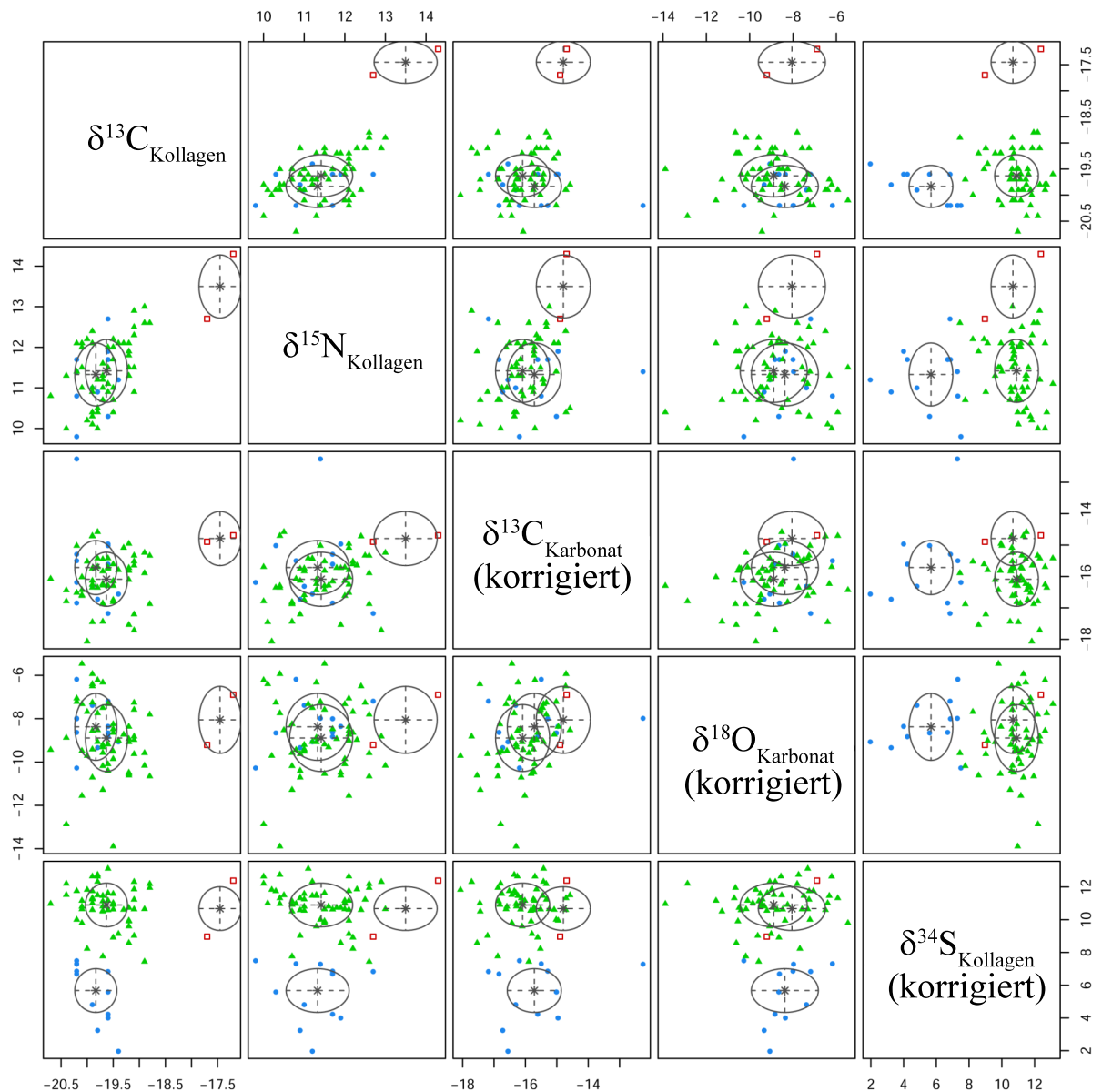


Abbildung A39: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster („EEI“; Scruc-
ca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und
Schleswig im Falle des fünf-dimensionalen Datensatzes II nach „sea
spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -
Werten. Die Korrektur erfolgte auf Basis der mit „simmr“ berechneten,
terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein) Nahrungsanteile (Modell I).
Geclustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell I eine
Lösung ergeben. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat),
Cluster 3: grün (Dreieck).

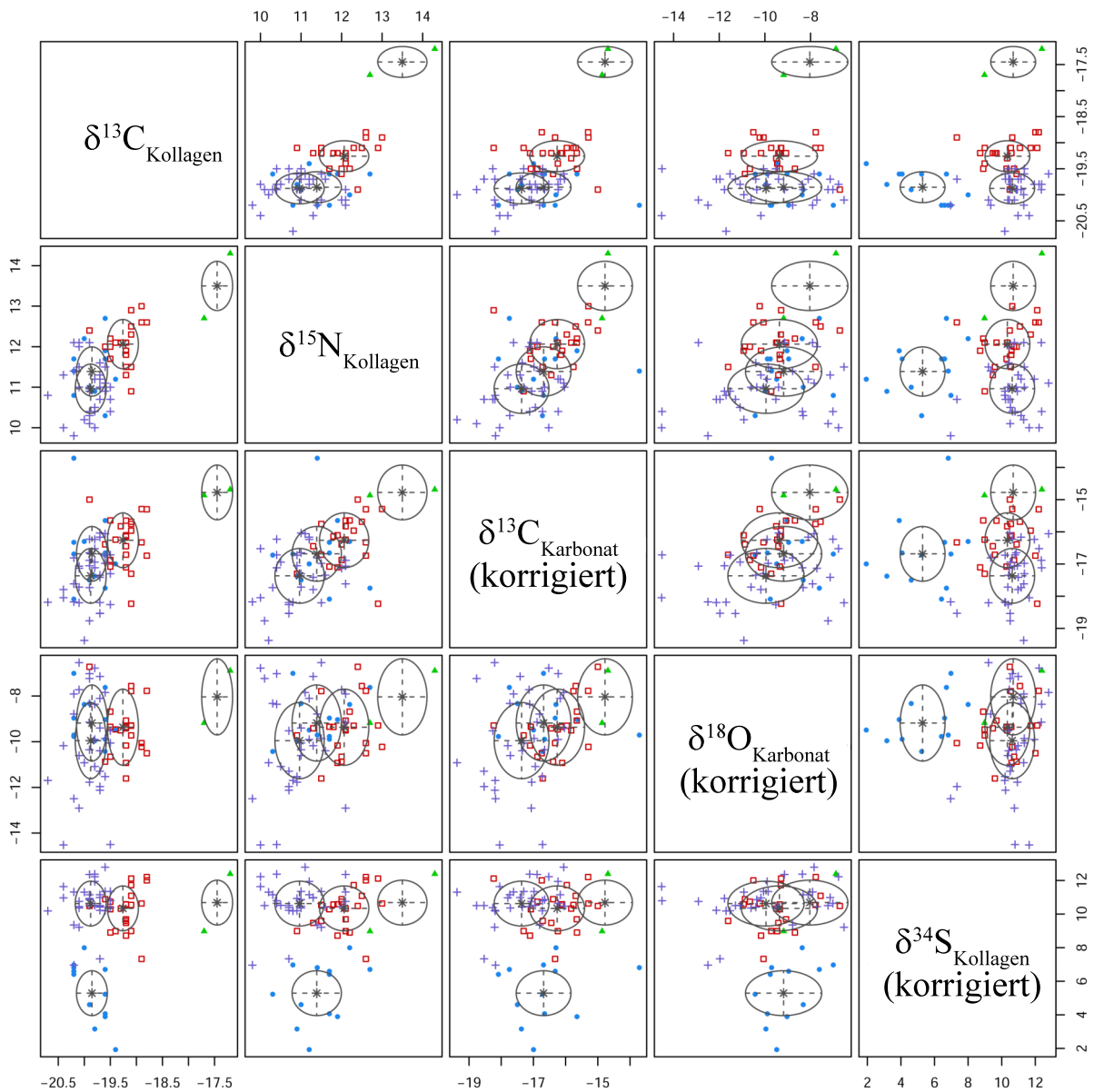


Abbildung A40: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster („EEI“; Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des fünf-dimensionalen Datensatzes II nach „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten. Die Korrektur erfolgte auf Basis der mit „MixSIAR“ berechneten, terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein) Nahrungsanteile (Modell I). Geclustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell I eine Lösung ergeben. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat), Cluster 3: grün (Dreieck), Cluster 4: violett (Plus).

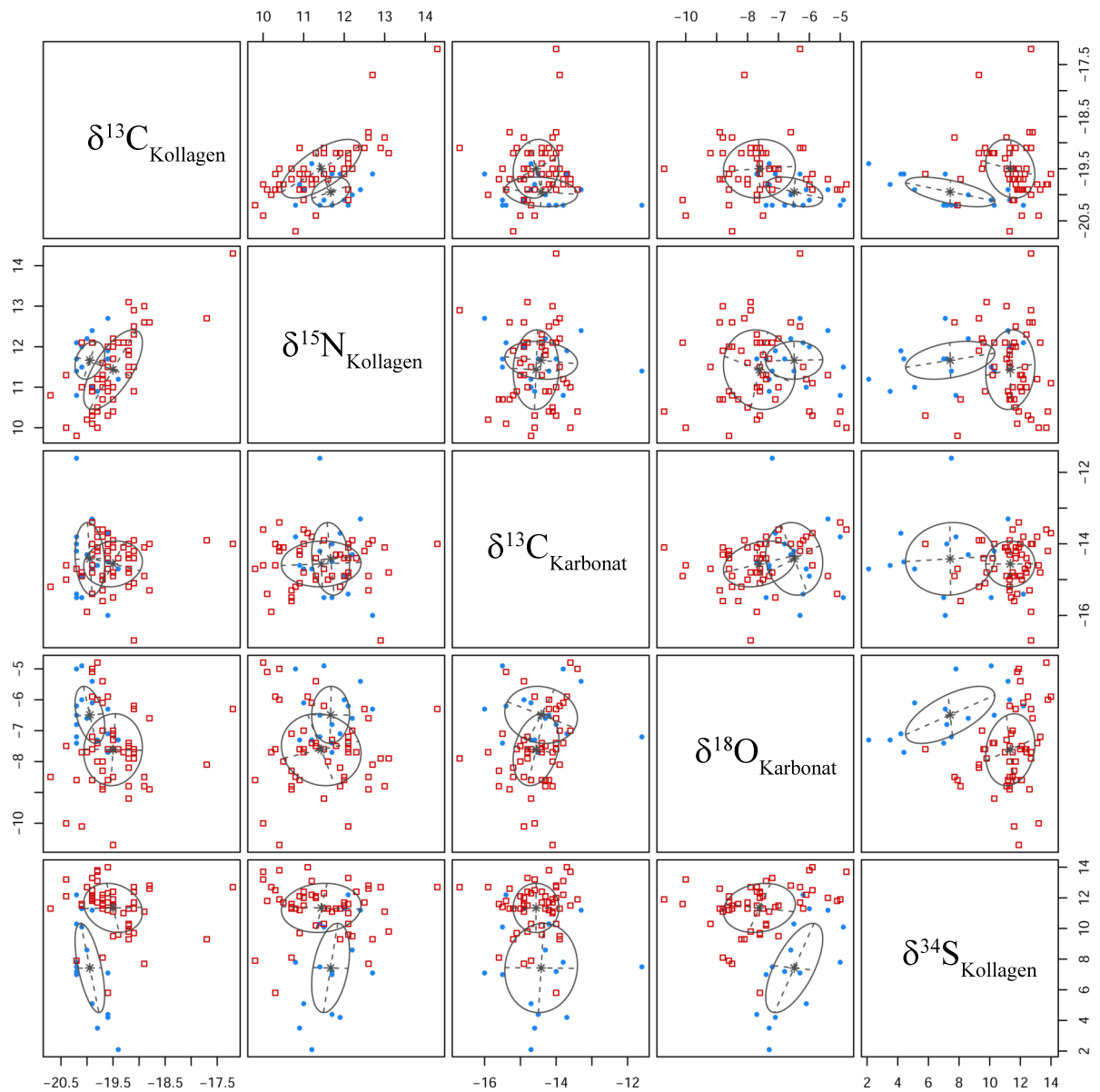


Abbildung A41: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster („VVE“; Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des fünf-dimensionalen Datensatzes II. Geclustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell II eine Lösung ergeben. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

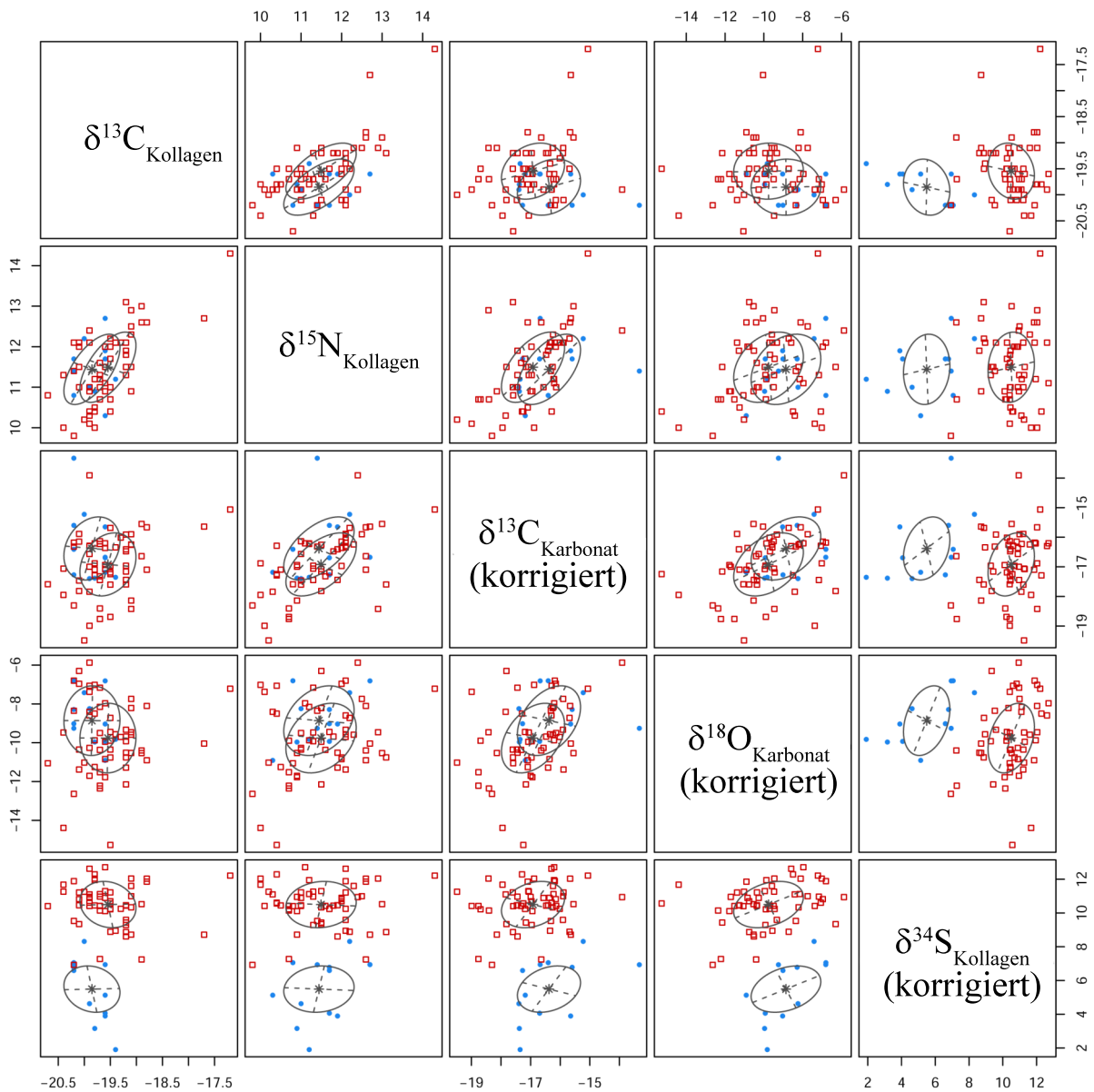


Abbildung A42: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster („EEE“; Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des fünf-dimensionalen Datensatzes II nach „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten. Die Korrektur erfolgte auf Basis der mit „SISUS“ berechneten, terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein und Pflanzen (berechnet aus domestizierten Herbivoren)) Nahrungsanteile (Modell II). Geclustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell II eine Lösung ergeben. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

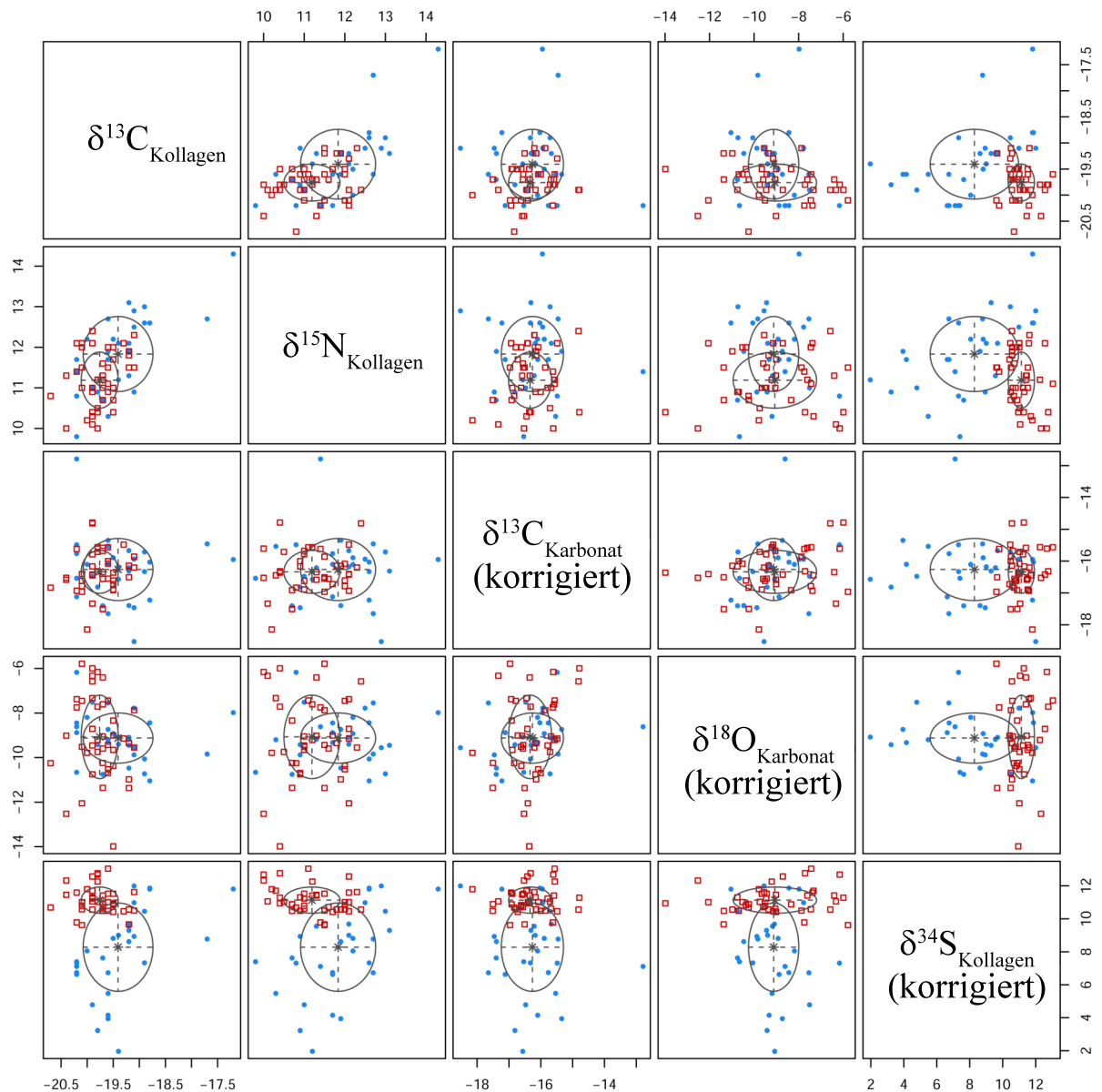


Abbildung A43: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster („VVI“; Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des fünf-dimensionalen Datensatzes II nach „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten. Die Korrektur erfolgte auf Basis der mit „simmr“ berechneten, terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein und Pflanzen (berechnet aus domestizierten Herbivoren)) Nahrungsanteile (Modell II). Geclustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell II eine Lösung ergeben. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

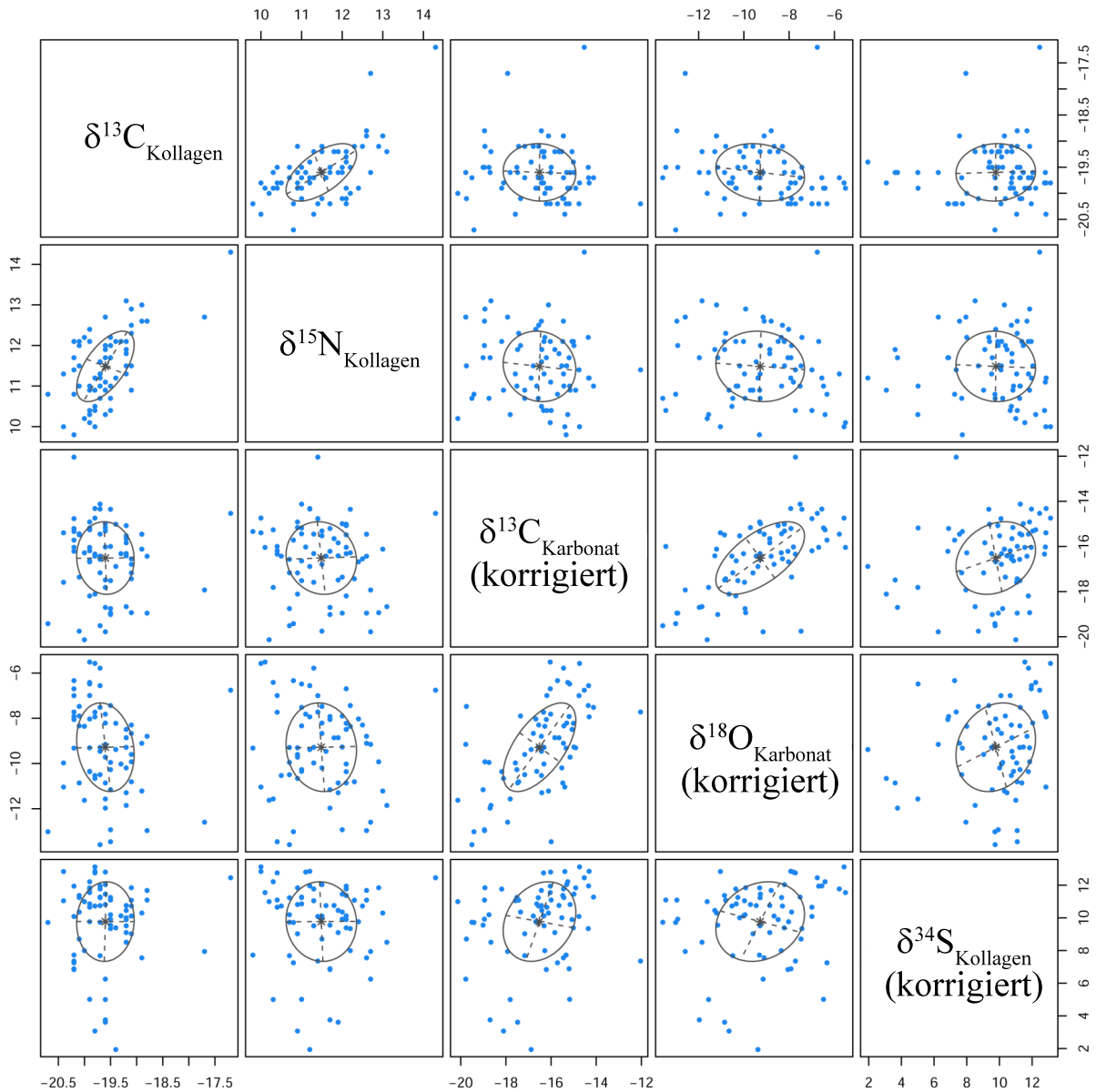


Abbildung A44: Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster („XXX“; Scruc-
ca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und
Schleswig im Falle des fünf-dimensionalen Datensatzes II nach „sea
spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -
Werten. Die Korrektur erfolgte auf Basis der mit „MixSIAR“ berechne-
ten, terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein und Pflanzen (berechnet aus
domestizierten Herbivoren)) Nahrungsanteile (Modell II). Geclustert
werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell II eine Lösung
ergeben. Cluster 1: blau (Punkt).

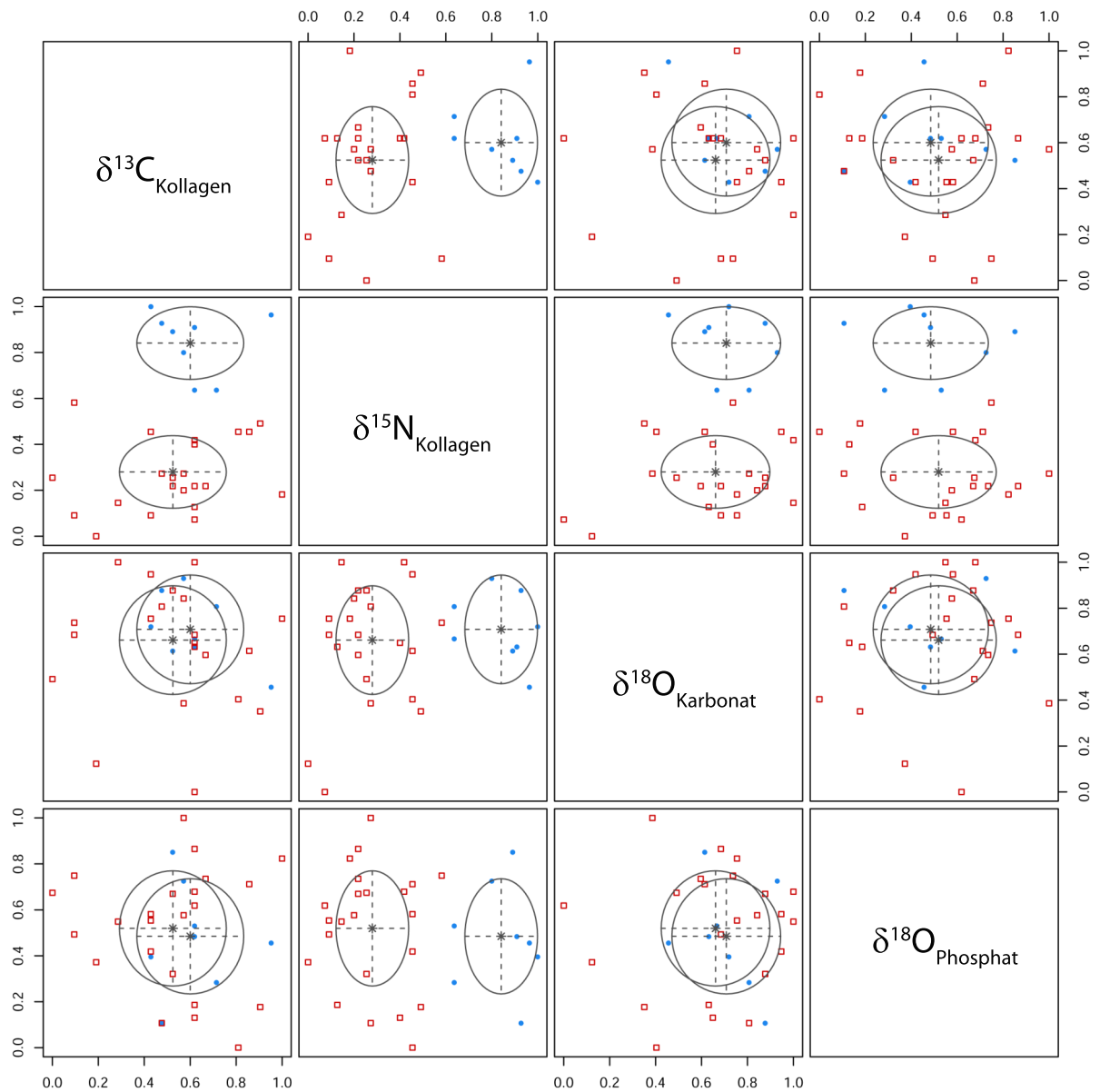


Abbildung A45: Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster nach Entfernen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ („1246“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$) mit Vorgabe des „EEI“-Modells mit zwei Clustern (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes III. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

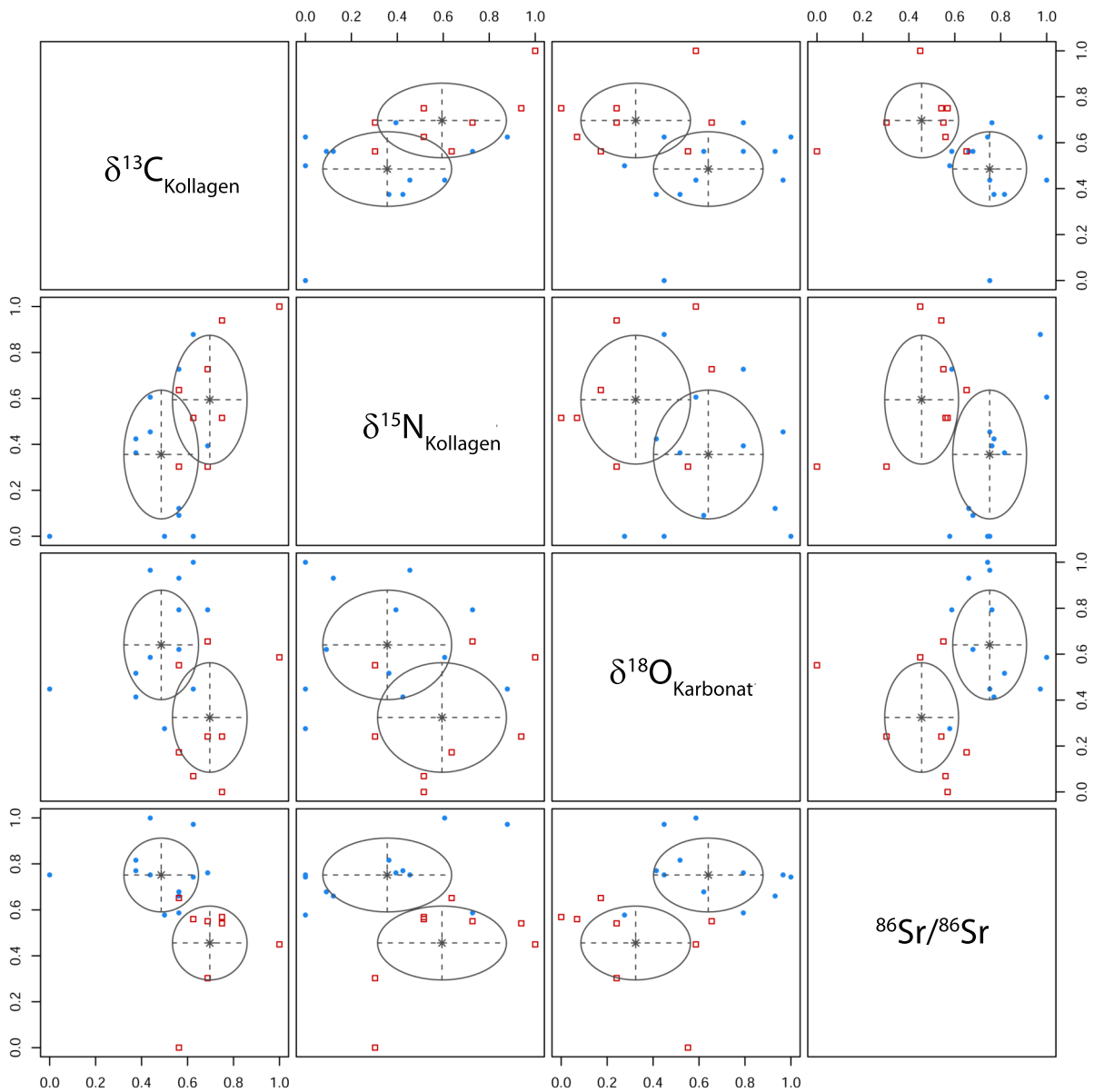


Abbildung A46: Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster nach Entfernen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ („1247“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) mit Vorgabe des „EEI“-Modells mit zwei Clustern (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes IV. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

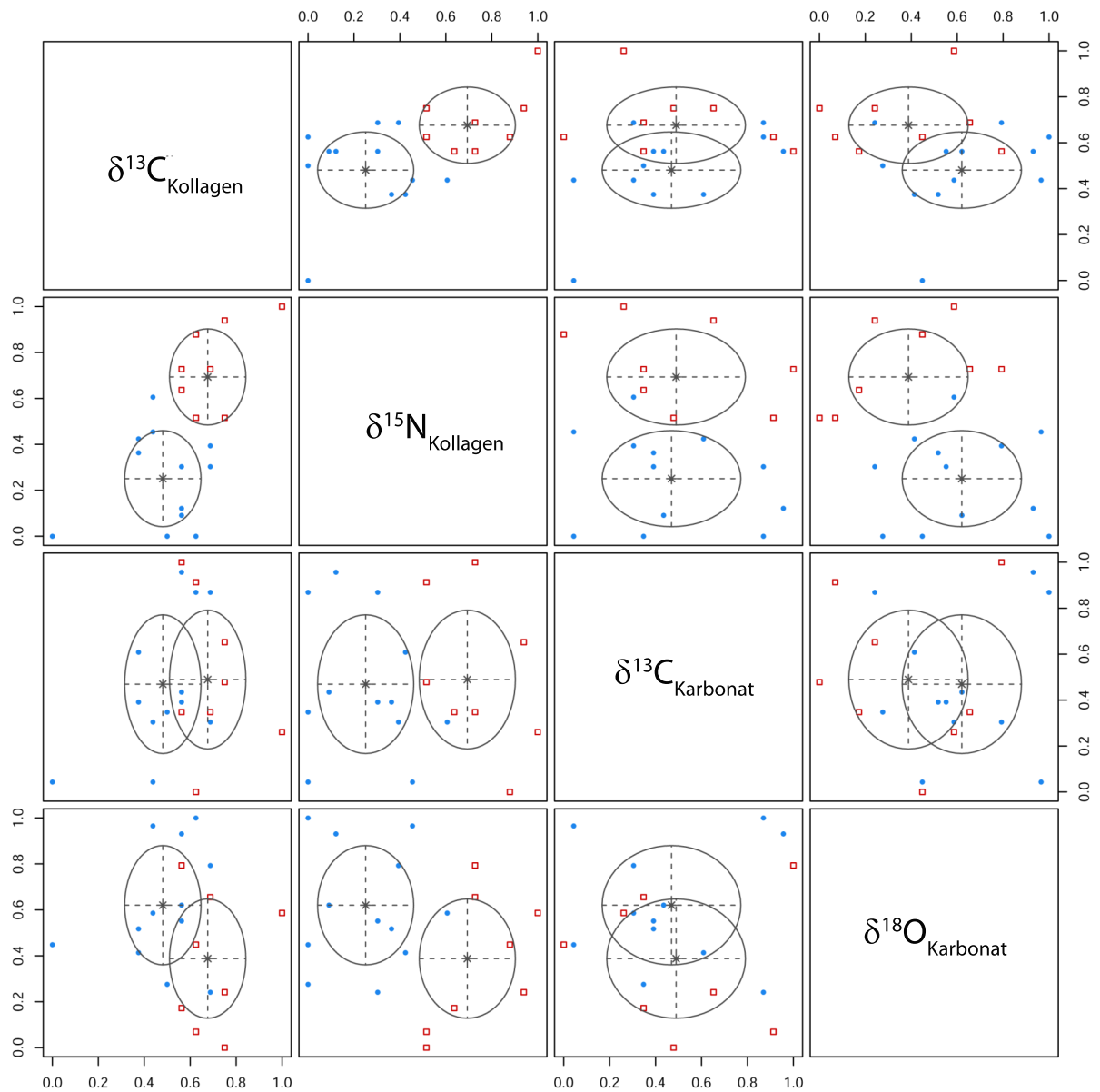


Abbildung A47: Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster nach Entfernen von $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ („1234“: $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$) mit Vorgabe des „EEI“-Modells mit zwei Clustern (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes IV. Cluster 1: blau (Punkt), Cluster 2: rot (Quadrat).

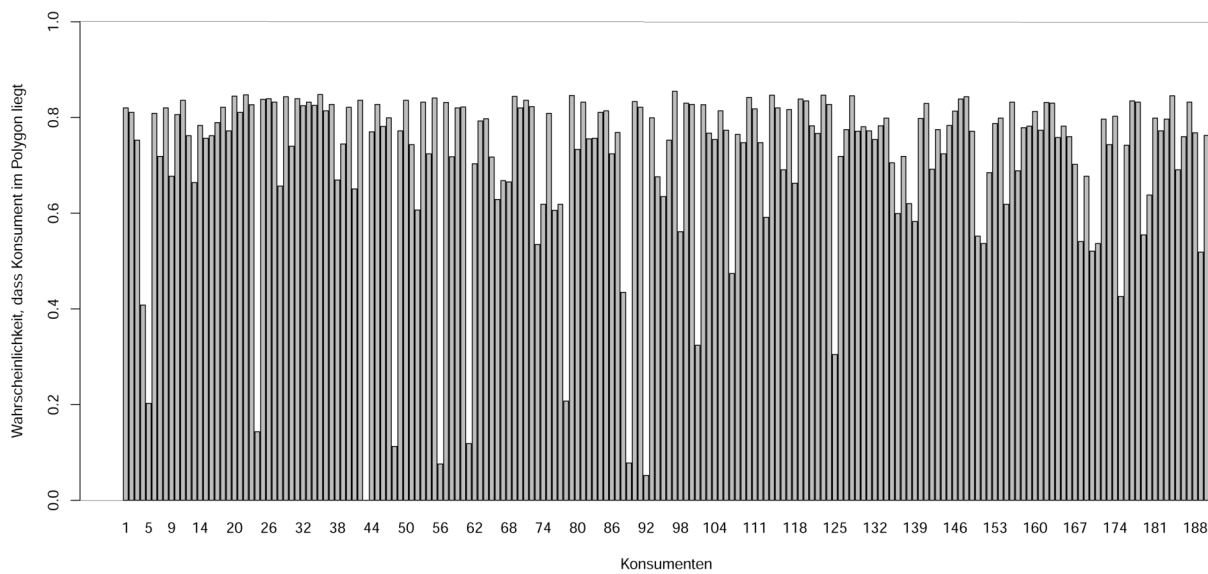


Abbildung A48: Mit Hilfe der Simulation von Smith et al. (2013) berechnete Wahrscheinlichkeit, mit der die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle von Modell I (Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger) innerhalb des für das Modell simulierten Mischungspolygons liegen (vgl. Tabelle A107).

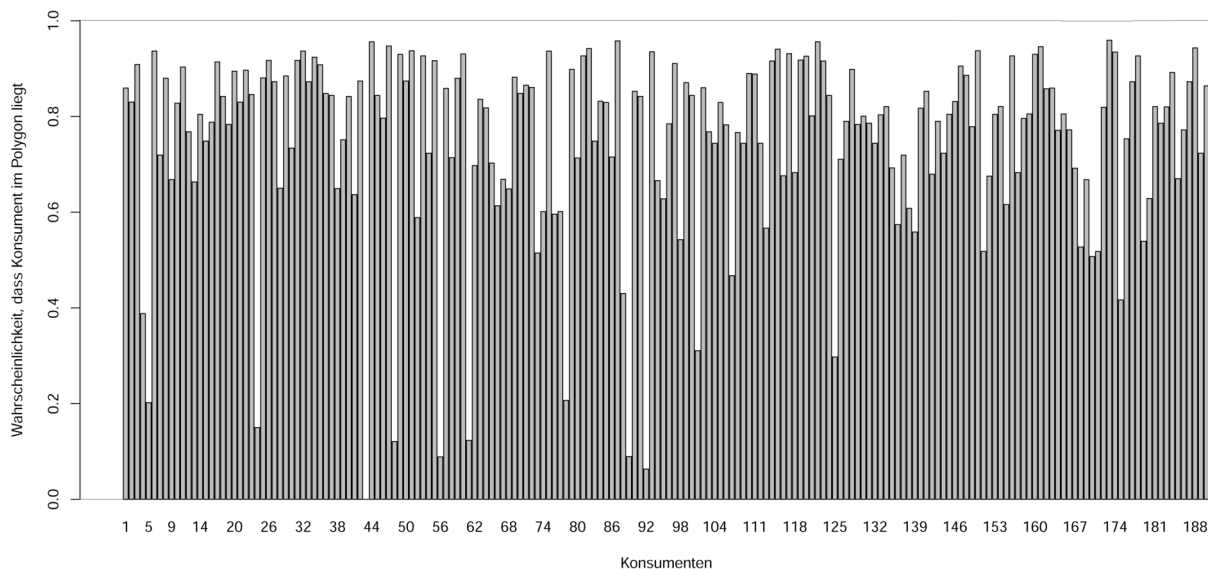


Abbildung A49: Mit Hilfe der Simulation von Smith et al. (2013) berechnete Wahrscheinlichkeit, mit der die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle von Modell II (Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger, Pflanzen (berechnet aus domestizierten Herbivoren)) innerhalb des für das Modell simulierten Mischungspolygons liegen (vgl. Tabelle A107).

A.2 Tabellen

Tabelle A1: Übersicht über den Teildatensatz der Fische aus Haithabu und Schleswig (Datensatz I).

Spezies	Probennr.	Habitat	Ernährung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]
Brachse	35 B2Op	Süß-, Brackwasser	omnivor	Schleswig	-27,73	6,02	-0,64	-13,04
Brachse	36 B3Pop	Süß-, Brackwasser	omnivor	Schleswig	-25,07	6,17	-1,66	-11,68
Brachse	37 B4Pop	Süß-, Brackwasser	omnivor	Schleswig	-22,41	5,38	-1,60	-12,01
Brachse	38 B5C	Süß-, Brackwasser	omnivor	Schleswig	-27,37	10,72	-4,46	-15,07
Dorsch	1 D1V	Brackwasser, Salzwasser	omnivor	Haithabu	-16,06	13,68	-1,82	-13,20
Dorsch	3 D3V	Brackwasser, Salzwasser	omnivor	Haithabu	-16,21	15,89	-1,30	-3,76
Dorsch	4 D4V	Brackwasser, Salzwasser	omnivor	Haithabu	-14,74	15,57	-0,21	-3,90
Dorsch	5 D5V	Brackwasser, Salzwasser	omnivor	Haithabu	-15,29	11,99	-0,32	-4,00
Dorsch	40 D2V	Brackwasser, Salzwasser	omnivor	Schleswig	-15,64	12,24	2,18	-13,38
Dorsch	42 D4V	Brackwasser, Salzwasser	omnivor	Schleswig	-15,94	17,37	-0,38	-3,99
Flussbarsch	6 FB1C	Süß-, Brackwasser	carnivor	Haithabu	-15,88	12,23	1,45	-7,10
Flussbarsch	7 FB2C	Süß-, Brackwasser	carnivor	Haithabu	-11,66	10,85	3,53	-6,73
Flussbarsch	8 FB3C	Süß-, Brackwasser	carnivor	Haithabu	-15,72	15,28	3,37	-11,03
Flussbarsch	9 FB4C	Süß-, Brackwasser	carnivor	Haithabu	-11,50	11,69	3,45	-13,10
Flussbarsch	44 FB1C	Süß-, Brackwasser	carnivor	Schleswig	-17,22	12,32	-3,58	-10,96
Flussbarsch	45 FB2C	Süß-, Brackwasser	carnivor	Schleswig	-13,01	9,02	0,54	-9,14
Flussbarsch	46 FB3Op	Süß-, Brackwasser	carnivor	Schleswig	-16,21	10,35	-0,83	-8,03
Flussbarsch	47 FB4Pop	Süß-, Brackwasser	carnivor	Schleswig	-23,95	9,71	-7,20	-9,35
Flussbarsch	48 FB5Pop	Süß-, Brackwasser	carnivor	Schleswig	-13,45	11,30	-0,65	-8,73
Hecht	10 H1C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Haithabu	-18,62	13,38	-4,25	-9,01
Hecht	11 H2C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Haithabu	-25,66	10,77	-7,53	-11,54
Hecht	12 H3C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Haithabu	-24,66	10,25	-7,20	-9,64
Hecht	13 H4C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Haithabu	-22,23	11,63	-6,77	-9,36
Hecht	14 H5C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Haithabu	-16,32	14,43	-3,28	-6,51
Hecht	49 H1C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Schleswig	-22,40	11,52	-6,23	-12,49

Fortsetzung von Tabelle A1

Spezies	Probennr.	Habitat	Ernährung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]
Hecht	51 H3C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Schleswig	-22,38	5,40	-6,89	-12,80
Hecht	52 H4C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Schleswig	-20,16	9,65	-3,20	-12,49
Hecht	53 H5De	Süß-, Brackwasser	piscivor	Schleswig	-24,31	8,02	-5,51	-13,82
Hornhecht	54 HH1De	Brackwasser, Salzwasser	piscivor	Schleswig	-13,47	11,52	2,12	-5,07
Hornhecht	58 HH5De	Brackwasser, Salzwasser	piscivor	Schleswig	-14,31	7,62	-1,84	-7,45
Schellfisch	59 SF1C	Salzwasser	carnivor	Schleswig	-15,95	13,29	1,37	-4,86
Schellfisch	60 SF2C	Salzwasser	carnivor	Schleswig	-15,93	12,91	-0,03	-10,23
Schellfisch	61 SF3C	Salzwasser	carnivor	Schleswig	-14,90	11,99	4,10	-11,61
Schellfisch	63 SF5C	Salzwasser	carnivor	Schleswig	-16,09	14,98	4,06	-15,06
Schleie	64 SLOp	Süß-, Brackwasser	omnivor	Schleswig	-24,79	6,34	-3,23	-14,49
Scholle	65 SOC	Brackwasser, Salzwasser	carnivor	Schleswig	-14,90	10,70	2,77	-14,74
Stör	66 ST1Rü	Süß-, Brack-, Salzwasser	carnivor	Schleswig	-13,52	12,80	3,29	-12,39
Stör	67 ST2Rü	Süß-, Brack-, Salzwasser	carnivor	Schleswig	-14,27	12,91	3,73	-7,58
Stör	68 ST3Rü	Süß-, Brack-, Salzwasser	carnivor	Schleswig	-13,73	13,52	4,80	-6,27
Stör	69 ST4Rü	Süß-, Brack-, Salzwasser	carnivor	Schleswig	-14,93	12,89	0,27	-5,33
Stör	67 ST5Rü	Süß-, Brack-, Salzwasser	carnivor	Schleswig	-13,72	13,18	-0,91	-6,41
Zander	15 Z1C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Haithabu	-22,67	9,67	-7,93	-10,22
Zander	16 Z2C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Haithabu	-19,96	10,29	-6,67	-10,41
Zander	17 Z3C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Haithabu	-20,99	11,48	-6,46	-14,55
Zander	18 Z4C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Haithabu	-22,94	10,58	-6,43	-13,94
Zander	19 Z5C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Haithabu	-22,21	10,17	-7,07	-9,58

Tabelle A2: Übersicht über den Teildatensatz der terrestrischen, herbivoren und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig (Datensatz I - III).

Spezies	Probennr.	Habitat	Nahrung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰]	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ [‰]
Auerchse	Hb 47	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-20,51	10,48	-10,94	-7,60	9,94	17,25
Auerchse	Hb 48	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,82	4,03	-12,16	-8,95		17,78
Damhirsch	S 6	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,82	9,43	-11,52	-9,36		17,28
Eichhörnchen	Hb 7	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,27	2,91	-14,64	-8,03		16,54
Elch	Hb 46	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,50	4,86	-11,36	-7,01		17,64
Feldhase	Hb 1	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,54	6,17	-12,45	-8,85		15,84
Feldhase	Hb 2	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,20	3,80	-10,80	-8,22	9,97	17,04
Feldhase	Hb 3	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,67	4,54	-9,76	-6,85	15,05	17,26
Feldhase	Hb 5	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,15	4,02	-15,83	-8,36		16,47
Feldhase	S 24	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,38	4,04	-11,30	-7,43	14,65	17,29
Feldhase	S 25	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,78	5,32	-13,12	-10,04		16,67
Feldhase	S 26	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,39	3,96	-13,59	-9,27		14,68
Feldhase	S 27	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,45	3,89	-14,84	-7,82		15,63
Feldhase	S 28	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-23,40	4,35	-15,14	-6,27	14,77	17,03
Fischotter	Hb 19	terrestrisch, Süßwasser	piscivor	Haithabu	-19,17	11,21	-14,81	-9,46		15,60
Fischotter	Hb 20	terrestrisch, Süßwasser	piscivor	Haithabu	-19,88	13,81	-16,27	-9,91	12,94	14,92
Fischotter	32 FOIHepi	terrestrisch, Süßwasser	piscivor	Haithabu	-14,15	13,14	-6,75	-6,99		
Fischotter	33 FO2H	terrestrisch, Süßwasser	piscivor	Haithabu	-20,63	13,54	-15,43	-7,96		
Kaninchen	S 29	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,33	8,45	-11,77	-6,95		16,64
Kaninchen	S 30	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,91	10,98	-10,47	-8,22		16,52
Kegehobbe	S 17	Brack-, Salzwasser	piscivor	Schleswig	-14,51	12,93	-9,76	-8,86	12,56	16,87
Kegehobbe	20 KR1Ph	Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-15,09	15,06	-11,57	-7,80		
Kegehobbe	21 KR2T	Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-16,24	12,80	-11,98	-7,97		
Kegehobbe	22 KR3S	Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-16,31	13,06	-9,95	-7,67		
Kegehobbe	23 KR4V	Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-16,22	12,88	-12,96	-8,45		
Kegehobbe	24 KR5Mt	Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-15,06	13,48	-9,37	-8,52		
Kegehobbe	71 KR1BuTy	Brack-, Salzwasser	piscivor	Schleswig	-15,61	12,87	-9,16	-11,52		
Kegehobbe	72 KR2Sc	Brack-, Salzwasser	piscivor	Schleswig	-15,41	12,89	-12,03	-10,21		
Kegehobbe	73 KR3Mt	Brack-, Salzwasser	piscivor	Schleswig	-17,22	15,33	-13,59	-11,93		
Kegehobbe	74 KR4Fi	Brack-, Salzwasser	piscivor	Schleswig	-15,37	12,42	-11,60	-9,93		

Fortsetzung von Tabelle A2

Spezies	Probenr.	Habitat	Nahrung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}} [\text{‰}]$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$
Kegelrobbe	75 KR5Mt	Brack-, Salzwasser	piscivor	Schleswig	-14,61	13,45	-10,61	-8,15		
Pferd	Hb 83	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,15	5,73	-11,00	-7,87		16,85
Pferd	Hb 84	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,54	4,17	-11,47	-8,09		16,03
Pferd	Hb 85	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,83	6,74	-11,84	-8,50		17,05
Pferd	Hb 86	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,86	5,63	-10,86	-6,88		17,41
Pferd	Hb 87	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,14	4,95	-12,11	-9,21		16,49
Pferd	Hb 88	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,25	4,91	-14,51	-8,03		16,71
Pferd	Hb 89	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,00	4,98	-13,17	-7,18		17,20
Pferd	Hb 90	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,69	6,39	-14,35	-6,93		17,44
Pferd	Hb 91	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,36	5,82	-12,98	-7,23		18,53
Pferd	Hb 92	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,23	6,01	-13,87	-8,01	12,97	15,77
Pottwal	Hb 50	Salzwasser	molluscivor	Haithabu	-19,34	8,33	-14,48	-5,75		19,59
Reh	Hb 40	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-24,00	5,38	-15,79	-10,06	12,33	16,57
Reh	Hb 41	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,95	4,42	-13,63	-8,92	13,95	16,79
Reh	Hb 42	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,67	4,82	-15,01	-8,31		16,41
Reh	Hb 43	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,41	3,70	-15,60	-7,51		16,91
Reh	S 8	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,94	4,58	-14,55	-9,48		16,47
Reh	S 9	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,73	3,07	-13,33	-9,63		16,40
Reh	S 10	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,14	5,43	-12,63	-8,98		
Reh	S 11	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-20,07	8,33	-11,89	-7,97	10,77	16,69
Reh	S 12	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,78	4,28	-14,53	-8,50		16,65
Rind	Hb 53	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,46	4,39	-9,97	-7,14		16,71
Rind	Hb 54	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,62	4,89	-10,62	-6,84		16,88
Rind	Hb 55	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,48	6,69	-11,86	-7,07		17,18
Rind	Hb 56	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,61	5,18	-10,51	-7,15		17,07
Rind	Hb 57	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,67	5,53	-10,67	-6,43	14,11	18,14
Rind	Hb 58	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,44	4,88	-9,98	-7,27		17,66
Rind	Hb 59	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,67	4,98	-10,80	-6,88		17,51
Rind	Hb 60	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,91	4,05	-9,90	-7,03		17,62

Fortsetzung von Tabelle A2

Spezies	Probennr.	Habitat	Nahrung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}} [\text{‰}]$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$
Rind	Hb 61	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,28	4,58	-9,93	-7,44		17,13
Rind	Hb 62	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,62	6,81	-11,20	-7,37		17,18
Ringelrobbe	Hb 28	Salzwasser	piscivor	Haithabu	-12,54	15,24	-8,13	-8,88		15,30
Rothirsch	Hb 35	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,03	3,85	-11,36	-8,39		17,60
Rothirsch	Hb 36	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,09	5,26	-14,08	-7,37		16,71
Rothirsch	Hb 38	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,74	5,84	-13,03	-7,67		16,38
Rothirsch	Hb 39	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,05	4,99	-12,28	-8,34		16,54
Rothirsch	S 1	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,53	4,31	-13,10	-7,87		17,41
Rothirsch	S 2	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,27	4,69	-14,09	-8,17		17,03
Rothirsch	S 3	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-23,05	5,81	-15,19	-8,87	12,54	16,53
Rothirsch	S 4	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,15	5,44	-14,32	-8,47	13,12	
Rothirsch	S 5	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,69	5,51	-14,65	-8,14	13,73	17,32
Sattelrobbe	Hb 30	Salzwasser	piscivor	Haithabu	-15,98	11,21	-9,35	-7,54	21,15	15,04
Sattelrobbe	KHb 25	Salzwasser	piscivor	Haithabu	-16,67	12,46	-11,13	-7,99	16,22	
Sattelrobbe	26 SR2Fi	Salzwasser	piscivor	Haithabu	-16,65	12,23	-8,40	-12,81		
Schaf	Hb 73	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,45	4,69	-10,11	-7,00		19,73
Schaf	Hb 74	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,82	7,49	-12,06	-8,89	13,76	16,68
Schaf	Hb 75	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,30	4,82	-9,79	-6,84		
Schaf	Hb 76	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,49	4,28	-10,09	-5,79		19,72
Schaf	Hb 77	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,60	6,16	-9,49	-5,32		19,64
Schaf	Hb 78	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,29	7,55	-11,30	-6,10		18,32
Schaf	Hb 79	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-20,95	4,26	-10,65	-5,14	12,20	17,92
Seehund	Hb 23	Süß-, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-20,70	8,63	-11,22	-8,73		17,21
Seehund	Hb 24	Süß-, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-13,71	13,08	-7,67	-8,91		
Seehund	Hb 25	Süß-, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-16,96	12,00	-10,80	-9,12	15,13	15,58
Seehund	Hb 26	Süß-, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-15,98	13,18	-6,23	-10,18		
Seehund	Hb 27	Süß-, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-13,41	16,96	-9,71	-8,97		15,25
Seehund	KHb 30	Süß-, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-17,01	11,99	-9,49	-9,62	15,49	
Seehund	KHb 31	Süß-, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-13,50	14,52	-9,57	-13,51	14,81	
Seehund	27 SH1Ph	Süß-, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-14,78	14,20	-10,40	-6,63		

Fortsetzung von Tabelle A2

Spezies	Probennr.	Habitat	Nahrung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}} \text{ [‰]}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} \text{ [‰]}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}} \text{ [‰]}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} \text{ [‰]}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}} \text{ [‰]}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} \text{ [‰]}$
Seehund	28 SH2R	Süß-, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-14,94	15,29	-6,77	-6,50		
Seehund	29 SH3V	Süß-, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-15,00	11,96	-7,98	-5,74		
Walross	KS 76	Salzwasser	molluscivor	Schleswig	-14,00	12,32	-8,70	-6,33	14,36	

Tabelle A3: Übersicht über den Teildatensatz der terrestrischen und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig (Datensatz I - III).

Spezies	Probennr.	Habitat	Nahrung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰]	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ [‰]
Auerochse	Hb 47	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-20,51	10,48	-10,94	-7,60	17,25	
Auerochse	Hb 48	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,82	4,03	-12,16	-8,95	17,78	
Baumnarder	Hb 21	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,84	8,20	-13,95	-8,23	17,51	
Baumnarder	Hb 22	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,90	8,63	-11,80	-8,16	16,63	
Braunbär	Hb 17	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,08	5,51	-15,25	-8,08	16,12	
Damhirsch	S 6	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,82	9,43	-11,52	-9,36	17,28	
Eichhörnchen	Hb 7	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,27	2,91	-14,64	-8,03	16,54	
Elch	Hb 46	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,50	4,86	-11,36	-7,01	17,64	
Feldhase	Hb 1	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,54	6,17	-12,45	-8,85	15,84	
Feldhase	Hb 2	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,20	3,80	-10,80	-8,22	17,04	12,33
Feldhase	Hb 3	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,67	4,54	-9,76	-6,85	17,26	13,95
Feldhase	Hb 5	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,15	4,02	-15,83	-8,36	16,47	
Feldhase	S 24	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,38	4,04	-11,30	-7,43	17,29	10,77
Feldhase	S 25	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,78	5,32	-13,12	-10,04	16,67	
Feldhase	S 26	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,39	3,96	-13,59	-9,27	14,68	
Feldhase	S 27	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,45	3,89	-14,84	-7,82	15,63	
Feldhase	S 28	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-23,40	4,35	-15,14	-6,27	17,03	9,97
Fischotter	Hb 19	terrestrisch, Süßwasser	piscivor	Haithabu	-19,17	11,21	-14,81	-9,46	15,60	
Fischotter	Hb 20	terrestrisch, Süßwasser	piscivor	Haithabu	-19,88	13,81	-16,27	-9,91	14,92	15,05
Hauskatze	Hb 103	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-18,24	11,01	-12,15	-7,90	16,87	
Hauskatze	Hb 104	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,14	10,19	-14,88	-10,64	16,97	
Hauskatze	Hb 105	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,55	9,52	-13,13	-6,74	16,94	
Hauskatze	Hb 106	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-20,06	8,81	-15,07	-6,80	16,18	
Hauskatze	Hb 107	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-20,35	7,87	-12,89	-8,59	17,37	14,65
Hauschwein	Hb 63	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-20,85	7,41	-10,44	-7,70	16,37	
Hauschwein	Hb 65	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,51	5,23	-11,07	-7,40	16,01	
Hauschwein	Hb 66	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,21	6,56	-10,59	-9,31	13,83	14,77
Hauschwein	Hb 67	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,86	5,54	-11,92	-8,55	15,34	
Hauschwein	Hb 68	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,74	5,47	-11,80	-7,75	16,42	
Hauschwein	Hb 69	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,48	7,52	-11,02	-7,09	17,76	12,94

Fortsetzung von Tabelle A3

Spezies	Probenr.	Habitat	Nahrung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}} [\text{‰}]$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$
Hausschwein	Hb 70	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,31	5,27	-10,71	-10,18	16,57	
Hausschwein	Hb 71	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,76	4,47	-11,30	-9,77	15,44	
Hausschwein	Hb 72	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-20,86	3,16	-10,55	-8,69	15,18	
Hund	Hb 93	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-22,02	6,69	-12,22	-6,63	17,52	
Hund	Hb 94	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-20,60	6,92	-11,49	-7,27	16,39	
Hund	Hb 95	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,24	10,18	-13,02	-9,90	15,78	12,31
Hund	Hb 96	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-18,53	9,84	-10,09	-9,05	15,99	
Hund	Hb 97	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,97	9,41	-12,29	-7,88	16,03	
Hund	Hb 98	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-21,37	9,66	-12,46	-9,09	15,23	
Hund	Hb 99	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-18,76	9,35	-10,58	-8,93	16,91	16,23
Hund	Hb 100	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,21	10,75	-12,94	-7,23	16,16	
Hund	Hb 101	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,28	8,92	-14,21	-8,72	16,34	
Hund	Hb 102	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-18,32	9,16	-13,45	-7,75	16,31	
Kaninchen	S 29	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,33	8,45	-11,77	-6,95	16,64	
Kaninchen	S 30	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,91	10,98	-10,47	-8,22	16,52	
Kegelrobbe	S 17	Brack-, Salzwasser	piscivor	Schleswig	-14,51	12,93	-9,76	-8,86	16,87	11,77
Pferd	Hb 83	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,15	5,73	-11,00	-7,87	16,85	
Pferd	Hb 84	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,54	4,17	-11,47	-8,09	16,03	
Pferd	Hb 85	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,83	6,74	-11,84	-8,50	17,05	
Pferd	Hb 86	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,86	5,63	-10,86	-6,88	17,41	
Pferd	Hb 87	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,14	4,95	-12,11	-9,21	16,49	
Pferd	Hb 88	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,25	4,91	-14,51	-8,03	16,71	
Pferd	Hb 89	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,00	4,98	-13,17	-7,18	17,20	
Pferd	Hb 90	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,69	6,39	-14,35	-6,93	17,44	
Pferd	Hb 91	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,36	5,82	-12,98	-7,23	18,53	
Pferd	Hb 92	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,23	6,01	-13,87	-8,01	15,77	13,91
Potwal	Hb 50	Salzwasser	molluscivor	Haithabu	-19,34	8,33	-14,48	-5,75	19,59	
Reh	Hb 40	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-24,00	5,38	-15,79	-10,06	16,57	13,01
Reh	Hb 41	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,95	4,42	-13,63	-8,92	16,79	12,56

Fortsetzung von Tabelle A3

Spezies	Probennr.	Habitat	Nahrung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰]	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ [‰]
Reh	Hb 42	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,67	4,82	-15,01	-8,31	16,41	
Reh	Hb 43	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,41	3,70	-15,60	-7,51	16,91	
Reh	S 8	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,94	4,58	-14,55	-9,48	16,47	
Reh	S 9	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,73	3,07	-13,33	-9,63	16,40	
Reh	S 11	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-20,07	8,33	-11,89	-7,97	16,69	12,97
Reh	S 12	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,78	4,28	-14,53	-8,50	16,65	
Rind	Hb 53	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,46	4,39	-9,97	-7,14	16,71	
Rind	Hb 54	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,62	4,89	-10,62	-6,84	16,88	
Rind	Hb 55	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,48	6,69	-11,86	-7,07	17,18	
Rind	Hb 56	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,61	5,18	-10,51	-7,15	17,07	
Rind	Hb 57	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,67	5,53	-10,67	-6,43	18,14	14,11
Rind	Hb 58	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,44	4,88	-9,98	-7,27	17,66	
Rind	Hb 59	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,67	4,98	-10,80	-6,88	17,51	
Rind	Hb 60	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,91	4,05	-9,90	-7,03	17,62	
Rind	Hb 61	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,28	4,58	-9,93	-7,44	17,13	
Rind	Hb 62	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,62	6,81	-11,20	-7,37	17,18	
Ringelrobbe	Hb 28	Salzwasser	piscivor	Haithabu	-12,54	15,24	-8,13	-8,88	15,30	
Rotfuchs	Hb 12	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-20,59	10,24	-15,02	-6,42	16,21	
Rotfuchs	Hb 13	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,27	7,45	-12,97	-8,55	16,10	
Rotfuchs	Hb 14	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-21,87	8,09	-14,77	-7,62	16,51	
Rotfuchs	Hb 15	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-20,94	9,23	-15,06	-7,88	16,38	
Rotfuchs	S 18	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-19,89	10,09	-9,57	-6,20	17,96	
Rotfuchs	S 19	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-20,31	9,64	-13,33	-6,53	17,28	
Rotfuchs	S 21	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-20,57	8,95	-9,78	-4,80	18,40	13,16
Rotfuchs	S 22	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-20,43	11,21	-12,35	-6,63	16,41	8,15
Rothirsch	Hb 35	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,03	3,85	-11,36	-8,39	17,60	
Rothirsch	Hb 36	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,09	5,26	-14,08	-7,37	16,71	
Rothirsch	Hb 38	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,74	5,84	-13,03	-7,67	16,38	

Fortsetzung von Tabelle A3

Spezies	Probennr.	Habitat	Nahrung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}} [\text{‰}]$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$
Rothirsch	Hb 39	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,05	4,99	-12,28	-8,34	16,54	
Rothirsch	S 1	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,53	4,31	-13,10	-7,87	17,41	
Rothirsch	S 2	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,27	4,69	-14,09	-8,17	17,03	
Rothirsch	S 3	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-23,05	5,81	-15,19	-8,87	16,53	12,54
Rothirsch	S 4	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,15	5,44	-14,32	-8,47		13,12
Rothirsch	S 5	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,69	5,51	-14,65	-8,14	17,32	13,73
Satteltrotte	Hb 30	Salzwasser	piscivor	Haithabu	-15,98	11,21	-9,35	-7,54	15,04	21,15
Satteltrotte	KHb 25	Salzwasser	piscivor	Haithabu	-16,67	12,46	-11,13	-7,99		16,22
Schaf	Hb 73	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,45	4,69	-10,11	-7,00	19,73	
Schaf	Hb 74	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,82	7,49	-12,06	-8,89	16,68	13,76
Schaf	Hb 76	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,49	4,28	-10,09	-5,79	19,72	
Schaf	Hb 77	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,60	6,16	-9,49	-5,32	19,64	
Schaf	Hb 78	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,29	7,55	-11,30	-6,10	18,32	
Schaf	Hb 79	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-20,95	4,26	-10,65	-5,14	17,92	12,20
Seehund	Hb 23	Süß-, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-20,70	8,63	-11,22	-8,73	17,21	
Seehund	Hb 25	Süß-, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-16,96	12,00	-10,80	-9,12		15,13
Seehund	Hb 26	Süß-, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-15,98	13,18	-6,23	-10,18	15,58	
Seehund	Hb 27	Süß-, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-13,41	16,96	-9,71	-8,97	15,25	
Seehund	KHb 30	Süß-, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-17,01	11,99	-9,49	-9,62		15,49
Seehund	KHb 31	Süß-, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-13,50	14,52	-9,57	-13,51		14,81
Walross	KS 76	Salzwasser	molluscivor	Schleswig	-14,00	12,32	-8,70	-6,33		14,36
Wildschwein	Hb 31	terrestrisch	omnivivor	Haithabu	-21,33	6,40	-10,47	-6,44	16,44	
Wildschwein	Hb 32	terrestrisch	omnivivor	Haithabu	-20,86	5,80	-10,59	-8,53	16,30	10,67
Wildschwein	Hb 33	terrestrisch	omnivivor	Haithabu	-21,32	5,08	-13,93	-7,59	15,78	
Wildschwein	S 13	terrestrisch	omnivivor	Schleswig	-21,08	4,73	-13,95	-9,33	15,27	
Wildschwein	S 14	terrestrisch	omnivivor	Schleswig	-21,40	8,42	-15,77	-7,98	16,01	
Wildschwein	S 15	terrestrisch	omnivivor	Schleswig	-20,62	9,13	-12,70	-9,24		12,16
Wildschwein	S 16	terrestrisch	omnivivor	Schleswig	-21,66	5,09	-14,32	-7,71	15,60	15,03
Wolf	Hb 10	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,85	7,61	-11,07	-7,34	16,32	
Wolf	Hb 11	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-20,36	9,01	-12,00	-8,63	16,08	

Tabelle A4: Übersicht über den Teildatensatz der terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig (Datensatz I und III).

Spezies	Probennr.	Habitat	Nahrung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰]
Auerchse	Hb 47	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-20,51	10,48	-10,94	-7,60	17,25
Auerchse	Hb 48	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,82	4,03	-12,16	-8,95	17,78
Baummarder	Hb 21	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,84	8,20	-13,95	-8,23	17,51
Baummarder	Hb 22	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,90	8,63	-11,80	-8,16	16,63
Braunbär	Hb 17	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,08	5,51	-15,25	-8,08	16,12
Damhirsch	S 6	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,82	9,43	-11,52	-9,36	17,28
Eichhörnchen	Hb 7	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,27	2,91	-14,64	-8,03	16,54
Elch	Hb 46	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,50	4,86	-11,36	-7,01	17,64
Feldhase	Hb 1	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,54	6,17	-12,45	-8,85	15,84
Feldhase	Hb 2	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,20	3,80	-10,80	-8,22	17,04
Feldhase	Hb 3	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,67	4,54	-9,76	-6,85	17,26
Feldhase	Hb 5	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,15	4,02	-15,83	-8,36	16,47
Feldhase	S 24	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,38	4,04	-11,30	-7,43	17,29
Feldhase	S 25	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,78	5,32	-13,12	-10,04	16,67
Feldhase	S 26	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,39	3,96	-13,59	-9,27	14,68
Feldhase	S 27	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,45	3,89	-14,84	-7,82	15,63
Feldhase	S 28	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-23,40	4,35	-15,14	-6,27	17,03
Hauskatze	Hb 103	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-18,24	11,01	-12,15	-7,90	16,87
Hauskatze	Hb 104	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,14	10,19	-14,88	-10,64	16,97
Hauskatze	Hb 105	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,55	9,52	-13,13	-6,74	16,94
Hauskatze	Hb 106	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-20,06	8,81	-15,07	-6,80	16,18
Hauskatze	Hb 107	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-20,35	7,87	-12,89	-8,59	17,37
Hausschwein	Hb 63	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-20,85	7,41	-10,44	-7,70	16,37

Fortsetzung von Tabelle A4

Spezies	Probennr.	Habitat	Nahrung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰]
Hausschwein	Hb 64	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,32	6,50	-10,85	-8,73	
Hausschwein	Hb 65	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,51	5,23	-11,07	-7,40	16,01
Hausschwein	Hb 66	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,21	6,56	-10,59	-9,31	13,83
Hausschwein	Hb 67	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,86	5,54	-11,92	-8,55	15,34
Hausschwein	Hb 68	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,74	5,47	-11,80	-7,75	16,42
Hausschwein	Hb 69	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,48	7,52	-11,02	-7,09	17,76
Hausschwein	Hb 70	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,31	5,27	-10,71	-10,18	16,57
Hausschwein	Hb 71	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,76	4,47	-11,30	-9,77	15,44
Hausschwein	Hb 72	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-20,86	3,16	-10,55	-8,69	15,18
Hund	Hb 93	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-22,02	6,69	-12,22	-6,63	17,52
Hund	Hb 94	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-20,60	6,92	-11,49	-7,27	16,39
Hund	Hb 95	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,24	10,18	-13,02	-9,90	15,78
Hund	Hb 96	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-18,53	9,84	-10,09	-9,05	15,99
Hund	Hb 97	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,97	9,41	-12,29	-7,88	16,03
Hund	Hb 98	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-21,37	9,66	-12,46	-9,09	15,23
Hund	Hb 99	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-18,76	9,35	-10,58	-8,93	16,91
Hund	Hb 100	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,21	10,75	-12,94	-7,23	16,16
Hund	Hb 101	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,28	8,92	-14,21	-8,72	16,34
Hund	Hb 102	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-18,32	9,16	-13,45	-7,75	16,31
Kaninchen	S 29	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,33	8,45	-11,77	-6,95	16,64
Kaninchen	S 30	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,91	10,98	-10,47	-8,22	16,52
Pferd	Hb 83	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,15	5,73	-11,00	-7,87	16,85
Pferd	Hb 84	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,54	4,17	-11,47	-8,09	16,03
Pferd	Hb 85	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,83	6,74	-11,84	-8,50	17,05

Fortsetzung von Tabelle A4

Spezies	Probennr.	Habitat	Nahrung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Pphosphat}}$ [‰]
Pferd	Hb 86	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,86	5,63	-10,86	-6,88	17,41
Pferd	Hb 87	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,14	4,95	-12,11	-9,21	16,49
Pferd	Hb 88	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,25	4,91	-14,51	-8,03	16,71
Pferd	Hb 89	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,00	4,98	-13,17	-7,18	17,20
Pferd	Hb 90	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,69	6,39	-14,35	-6,93	17,44
Pferd	Hb 91	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,36	5,82	-12,98	-7,23	18,53
Pferd	Hb 92	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,23	6,01	-13,87	-8,01	15,77
Reh	Hb 40	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-24,00	5,38	-15,79	-10,06	16,57
Reh	Hb 41	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,95	4,42	-13,63	-8,92	16,79
Reh	Hb 42	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,67	4,82	-15,01	-8,31	16,41
Reh	Hb 43	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,41	3,70	-15,60	-7,51	16,91
Reh	S 8	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,94	4,58	-14,55	-9,48	16,47
Reh	S 9	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,73	3,07	-13,33	-9,63	16,40
Reh	S 10	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,14	5,43	-12,63	-8,98	
Reh	S 11	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-20,07	8,33	-11,89	-7,97	16,69
Reh	S 12	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,78	4,28	-14,53	-8,50	16,65
Rind	Hb 53	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,46	4,39	-9,97	-7,14	16,71
Rind	Hb 54	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,62	4,89	-10,62	-6,84	16,88
Rind	Hb 55	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,48	6,69	-11,86	-7,07	17,18
Rind	Hb 56	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,61	5,18	-10,51	-7,15	17,07
Rind	Hb 57	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,67	5,53	-10,67	-6,43	18,14
Rind	Hb 58	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,44	4,88	-9,98	-7,27	17,66
Rind	Hb 59	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,67	4,98	-10,80	-6,88	17,51
Rind	Hb 60	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,91	4,05	-9,90	-7,03	17,62

Fortsetzung von Tabelle A4

Spezies	Probennr.	Habitat	Nahrung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰]
Rind	Hb 61	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,28	4,58	-9,93	-7,44	17,13
Rind	Hb 62	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,62	6,81	-11,20	-7,37	17,18
Rotfuchs	Hb 12	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-20,59	10,24	-15,02	-6,42	16,21
Rotfuchs	Hb 13	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,27	7,45	-12,97	-8,55	16,10
Rotfuchs	Hb 14	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-21,87	8,09	-14,77	-7,62	16,51
Rotfuchs	Hb 15	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-20,94	9,23	-15,06	-7,88	16,38
Rotfuchs	S 18	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-19,89	10,09	-9,57	-6,20	17,96
Rotfuchs	S 19	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-20,31	9,64	-13,33	-6,53	17,28
Rotfuchs	S 21	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-20,57	8,95	-9,78	-4,80	18,40
Rotfuchs	S 22	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-20,43	11,21	-12,35	-6,63	16,41
Rothirsch	Hb 35	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,03	3,85	-11,36	-8,39	17,60
Rothirsch	Hb 36	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,09	5,26	-14,08	-7,37	16,71
Rothirsch	Hb 38	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,74	5,84	-13,03	-7,67	16,38
Rothirsch	Hb 39	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,05	4,99	-12,28	-8,34	16,54
Rothirsch	S 1	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,53	4,31	-13,10	-7,87	17,41
Rothirsch	S 2	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,27	4,69	-14,09	-8,17	17,03
Rothirsch	S 3	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-23,05	5,81	-15,19	-8,87	16,53
Rothirsch	S 4	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,15	5,44	-14,32	-8,47	
Rothirsch	S 5	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,69	5,51	-14,65	-8,14	17,32
Schaf	Hb 73	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,45	4,69	-10,11	-7,00	19,73
Schaf	Hb 74	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,82	7,49	-12,06	-8,89	16,68
Schaf	Hb 75	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,30	4,82	-9,79	-6,84	
Schaf	Hb 76	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,49	4,28	-10,09	-5,79	19,72
Schaf	Hb 77	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,60	6,16	-9,49	-5,32	19,64

Fortsetzung von Tabelle A4

Spezies	Probennr.	Habitat	Nahrung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰]
Schaf	Hb 78	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,29	7,55	-11,30	-6,10	18,32
Schaf	Hb 79	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-20,95	4,26	-10,65	-5,14	17,92
Wildschwein	Hb 31	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,33	6,40	-10,47	-6,44	16,44
Wildschwein	Hb 32	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-20,86	5,80	-10,59	-8,53	16,30
Wildschwein	Hb 33	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,32	5,08	-13,93	-7,59	15,78
Wildschwein	S 13	terrestrisch	omnivor	Schleswig	-21,08	4,73	-13,95	-9,33	15,27
Wildschwein	S 14	terrestrisch	omnivor	Schleswig	-21,40	8,42	-15,77	-7,98	16,01
Wildschwein	S 15	terrestrisch	omnivor	Schleswig	-20,62	9,13	-12,70	-9,24	
Wildschwein	S 16	terrestrisch	omnivor	Schleswig	-21,66	5,09	-14,32	-7,71	15,60
Wolf	Hb 10	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,85	7,61	-11,07	-7,34	16,32
Wolf	Hb 11	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-20,36	9,01	-12,00	-8,63	16,08

Tabelle A5: Übersicht über den Teildatensatz der terrestrischen, herbivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig (Datensatz I und III).

Spezies	Probennr.	Habitat	Nahrung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰]
Auerchse	Hb 47	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-20,51	10,48	-10,94	-7,60	17,25
Auerchse	Hb 48	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,82	4,03	-12,16	-8,95	17,78
Damhirsch	S 6	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,82	9,43	-11,52	-9,36	17,28
Eichhörnchen	Hb 7	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,27	2,91	-14,64	-8,03	16,54
Elch	Hb 46	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,50	4,86	-11,36	-7,01	17,64
Feldhase	Hb 1	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,54	6,17	-12,45	-8,85	15,84
Feldhase	Hb 2	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,20	3,80	-10,80	-8,22	17,04
Feldhase	Hb 3	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,67	4,54	-9,76	-6,85	17,26
Feldhase	Hb 5	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,15	4,02	-15,83	-8,36	16,47
Feldhase	S 24	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,38	4,04	-11,30	-7,43	17,29
Feldhase	S 25	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,78	5,32	-13,12	-10,04	16,67
Feldhase	S 26	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,39	3,96	-13,59	-9,27	14,68
Feldhase	S 27	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,45	3,89	-14,84	-7,82	15,63
Feldhase	S 28	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-23,40	4,35	-15,14	-6,27	17,03
Kaninchen	S 29	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,33	8,45	-11,77	-6,95	16,64
Kaninchen	S 30	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,91	10,98	-10,47	-8,22	16,52
Pferd	Hb 83	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,15	5,73	-11,00	-7,87	16,85
Pferd	Hb 84	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,54	4,17	-11,47	-8,09	16,03
Pferd	Hb 85	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,83	6,74	-11,84	-8,50	17,05
Pferd	Hb 86	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,86	5,63	-10,86	-6,88	17,41
Pferd	Hb 87	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,14	4,95	-12,11	-9,21	16,49
Pferd	Hb 88	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,25	4,91	-14,51	-8,03	16,71
Pferd	Hb 89	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,00	4,98	-13,17	-7,18	17,20
Pferd	Hb 90	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,69	6,39	-14,35	-6,93	17,44
Pferd	Hb 91	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,36	5,82	-12,98	-7,23	18,53

Fortsetzung von Tabelle A5

Spezies	Probennr.	Habitat	Nahrung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰]
Pferd	Hb 92	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,23	6,01	-13,87	-8,01	15,77
Reh	Hb 40	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-24,00	5,38	-15,79	-10,06	16,57
Reh	Hb 41	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,95	4,42	-13,63	-8,92	16,79
Reh	Hb 42	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,67	4,82	-15,01	-8,31	16,41
Reh	Hb 43	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,41	3,70	-15,60	-7,51	16,91
Reh	S 8	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,94	4,58	-14,55	-9,48	16,47
Reh	S 9	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,73	3,07	-13,33	-9,63	16,40
Reh	S 11	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-20,07	8,33	-11,89	-7,97	16,69
Reh	S 12	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,78	4,28	-14,53	-8,50	16,65
Rind	Hb 53	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,46	4,39	-9,97	-7,14	16,71
Rind	Hb 54	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,62	4,89	-10,62	-6,84	16,88
Rind	Hb 55	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,48	6,69	-11,86	-7,07	17,18
Rind	Hb 56	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,61	5,18	-10,51	-7,15	17,07
Rind	Hb 57	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,67	5,53	-10,67	-6,43	18,14
Rind	Hb 58	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,44	4,88	-9,98	-7,27	17,66
Rind	Hb 59	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,67	4,98	-10,80	-6,88	17,51
Rind	Hb 60	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,91	4,05	-9,90	-7,03	17,62
Rind	Hb 61	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,28	4,58	-9,93	-7,44	17,13
Rind	Hb 62	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,62	6,81	-11,20	-7,37	17,18
Rothirsch	Hb 35	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,03	3,85	-11,36	-8,39	17,60
Rothirsch	Hb 36	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,09	5,26	-14,08	-7,37	16,71
Rothirsch	Hb 38	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,74	5,84	-13,03	-7,67	16,38
Rothirsch	Hb 39	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,05	4,99	-12,28	-8,34	16,54
Rothirsch	S 1	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,53	4,31	-13,10	-7,87	17,41
Rothirsch	S 2	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,27	4,69	-14,09	-8,17	17,03

Fortsetzung von Tabelle A5

Spezies	Probennr.	Habitat	Nahrung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰]
Rothirsch	S 3	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-23,05	5,81	-15,19	-8,87	16,53
Rothirsch	S 5	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,69	5,51	-14,65	-8,14	17,32
Schaf	Hb 73	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,45	4,69	-10,11	-7,00	19,73
Schaf	Hb 74	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,82	7,49	-12,06	-8,89	16,68
Schaf	Hb 76	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,49	4,28	-10,09	-5,79	19,72
Schaf	Hb 77	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,60	6,16	-9,49	-5,32	19,64
Schaf	Hb 78	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,29	7,55	-11,30	-6,10	18,32
Schaf	Hb 79	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-20,95	4,26	-10,65	-5,14	17,92

Tabelle A6: Übersicht über den Teildatensatz der Vögel aus Haithabu und Schleswig (Datensatz I).

Spezies	Probenr.	Habitat	Ernährung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$
Askrähe	S 107	terrestrisch	omnivor	Schleswig	-19,73	10,70	-13,71	-6,53
Askrähe	S 108	terrestrisch	omnivor	Schleswig	-19,23	11,76	-8,39	-5,29
Askrähe	S 109	terrestrisch	omnivor	Schleswig	-20,87	9,57	-6,50	-12,15
Bergente	Hb 140	terrestrisch, Salzwasser	carnivor	Haithabu	-20,71	8,91	-15,43	-12,74
Bergente	S 51	terrestrisch, Salzwasser	carnivor	Schleswig	-25,42	6,01	-14,53	-16,37
Bergente	S 52	terrestrisch, Salzwasser	carnivor	Schleswig	-14,78	9,56	-7,88	-7,38
Bergente	S 54	terrestrisch, Salzwasser	carnivor	Schleswig	-21,25	7,98	-12,07	-8,91
Birkhuhn	S 97	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,05	4,63	-12,27	-12,38
Birkhuhn	113 BH1H	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,19	5,76	-10,97	-5,67
Birkhuhn	114 BH2H	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-20,75	6,34	-11,47	-5,89
Birkhuhn	117 BH5Cc	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,24	4,46	-11,86	-6,73
Bläsgans	Hb 151	terrestrisch, Süßwasser	herbivor	Haithabu	-22,56	8,94	-13,41	-6,80
Bläsgans	Hb 152	terrestrisch, Süßwasser	herbivor	Haithabu	-21,00	5,54	-12,64	-11,65
Brandgans	Hb 148	terrestrisch, Brack-, Salz-, selten Süßwasser	carnivor	Haithabu	-20,75	11,68	-13,10	-11,95
Brandgans	Hb 149	terrestrisch, Brack-, Salz-, selten Süßwasser	carnivor	Haithabu	-17,01	7,61	-9,31	-13,62
Brandgans	Hb 150	terrestrisch, Brack-, Salz-, selten Süßwasser	carnivor	Haithabu	-19,21	11,13	-13,16	-6,36
Eiderente	Hb 146	terrestrisch, Salzwasser	carnivor	Haithabu	-16,57	8,14	-12,48	-12,01
Eiderente	Hb 147	terrestrisch, Salzwasser	carnivor	Haithabu	-17,10	8,62	-11,23	-9,14
Eiderente	79 EE3Tt	terrestrisch, Salzwasser	carnivor	Haithabu	-17,08	9,03	-6,64	-8,38
Gänsesäger	S 76	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	piscivor	Schleswig	-25,50	9,51	-12,86	-8,95
Gänsesäger	S 77	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	piscivor	Schleswig	-12,67	13,03	-7,32	-7,68
Gänsesäger	S 78	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	piscivor	Schleswig	-13,49	13,50	-6,37	-9,01
Gänsesäger	S 79	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	piscivor	Schleswig	-20,75	12,05	-11,64	-6,79
Gänsesäger	S 80	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	piscivor	Schleswig	-20,20	7,05	-10,65	-10,35
Gänsesäger	120 GS3Tt	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	piscivor	Schleswig	-17,09	15,21	-9,14	-8,22
Gänsesäger	121 GS4U	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	piscivor	Schleswig	-14,98	13,90	-8,58	-8,01
Habicht	Hb 167	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-21,89	8,86	-15,19	-7,91

Fortsetzung von Tabelle A6

Spezies	Probennr.	Habitat	Ernährung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$
Habicht	Hb 171	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,95	8,67	-13,90	-7,50
Habicht	S 86	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-19,23	11,86	-7,87	-6,41
Habicht	S 87	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-20,07	10,08	-3,17	-4,50
Habicht	S 88	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-20,60	8,28	-11,02	-4,83
Habicht	S 89	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-20,38	6,52	-9,53	-6,82
Habicht	S 90	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-19,16	9,26	-7,74	-6,20
Habicht	122 HB1F	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-20,78	11,29	-14,18	-8,24
Habicht	123 HB2F	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-19,91	9,18	-11,40	-6,43
Habicht	124 HB3F	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-20,27	6,60	-13,26	-7,27
Habicht	125 HB4F	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-19,08	8,58	-12,48	-4,94
Habicht	126 HB5F	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-19,98	10,18	-11,58	-6,87
Hausgans	Hb 108	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,92	8,04	-13,88	-8,12
Hausgans	Hb 109	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,24	7,88	-13,83	-6,81
Hausgans	Hb 110	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-23,06	7,54	-15,85	-10,36
Hausgans	Hb 111	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-23,07	10,28	-14,43	-6,04
Hausgans	Hb 112	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,93	6,83	-11,77	-7,02
Hausgans	S 31	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,05	6,51	-13,76	-8,30
Hausgans	S 32	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,58	9,40	-13,95	-7,02
Hausgans	S 33	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-23,20	9,11	-13,83	-6,55
Hausgans	S 34	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,95	7,20	-14,11	-7,68
Hausgans	S 35	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,79	9,99	-14,47	-6,84
Haushuhn	Hb 113	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-20,54	10,08	-12,91	-8,13

Fortsetzung von Tabelle A6

Spezies	Probennr.	Habitat	Ernährung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]
Haushuhn	Hb 114	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-20,41	7,84	-14,51	-7,47
Haushuhn	Hb 115	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-20,21	11,04	-14,27	-7,92
Haushuhn	Hb 117	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,49	8,01	-13,34	-6,97
Haushuhn	S 36	terrestrisch	omnivor	Schleswig	-20,84	7,12	-14,38	-11,22
Haushuhn	S 37	terrestrisch	omnivor	Schleswig	-20,99	8,56	-11,82	-9,29
Haushuhn	S 38	terrestrisch	omnivor	Schleswig	-20,46	9,15	-12,45	-6,58
Haushuhn	S 39	terrestrisch	omnivor	Schleswig	-21,67	9,12	-13,22	-10,18
Haushuhn	S 40	terrestrisch	omnivor	Schleswig	-21,15	7,12	-11,07	-7,15
Höckerschwan	Hb 159	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	herbivor	Haithabu	-11,41	4,60	-3,68	-6,48
Höckerschwan	Hb 160	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	herbivor	Haithabu	-20,86	12,13	-1,16	-7,13
Höckerschwan	Hb 161	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	herbivor	Haithabu	-10,61	5,13	-4,30	-10,33
Kollkrabe	80 KRA1H	terrestrisch	piscivor, Aasfresser	Schleswig	-16,12	13,72	-5,32	-6,51
Kollkrabe	81 KRA2H	terrestrisch	piscivor, Aasfresser	Schleswig	-21,67	10,56	-11,42	-5,62
Kollkrabe	82 KRA3H	terrestrisch	piscivor, Aasfresser	Schleswig	-20,83	9,74	-10,38	-6,21
Kollkrabe	83 KRA4H	terrestrisch	piscivor, Aasfresser	Schleswig	-20,67	10,94	-12,37	-6,16
Kollkrabe	Hb 183	terrestrisch	piscivor, Aasfresser	Haithabu	-20,20	11,28	-13,26	-11,15
Kollkrabe	Hb 184	terrestrisch	piscivor, Aasfresser	Haithabu	-21,07	10,54	-12,30	-6,65
Kollkrabe	Hb 185	terrestrisch	piscivor, Aasfresser	Haithabu	-19,66	12,73	-12,45	-11,54
Kormoran	Hb 118	terrestrisch, aquatisch	piscivor	Haithabu	-17,45	10,38	-10,62	-7,76
Kormoran	Hb 119	terrestrisch, aquatisch	piscivor	Haithabu	-13,21	11,44	-8,76	-5,25
Kormoran	Hb 120	terrestrisch, aquatisch	piscivor	Haithabu	-10,25	11,98	-3,43	-11,38
Kormoran	Hb 121	terrestrisch, aquatisch	piscivor	Haithabu	-12,85	11,83	-7,87	-7,37
Kormoran	Hb 122	terrestrisch, aquatisch	piscivor	Haithabu	-12,54	11,38	-8,25	-8,15
Kormoran	86 K2H	terrestrisch, aquatisch	piscivor	Haithabu	-14,85	11,53	-7,37	-7,63
Kormoran	87 K3F	terrestrisch, aquatisch	piscivor	Haithabu	-14,29	12,38	-6,37	-6,51
Kormoran	88 K4Cc	terrestrisch, aquatisch	piscivor	Haithabu	-17,00	11,63	-8,59	-8,42
Kormoran	89 K5U	terrestrisch, aquatisch	piscivor	Haithabu	-14,34	12,18	-9,26	-6,97

Fortsetzung von Tabelle A6

Spezies	Probennr.	Habitat	Ernährung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$
Kranich	S 101	terrestrisch, aquatisch	omnivor	Schleswig	-20,92	10,51	-10,56	-7,33
Kranich	S 102	terrestrisch, aquatisch	omnivor	Schleswig	-25,00	9,45	-6,12	-11,59
Kranich	127 KN1Tt	terrestrisch, aquatisch	omnivor	Schleswig	-20,07	9,03	-10,64	-5,21
Kranich	128 KN2Tt	terrestrisch, aquatisch	omnivor	Schleswig	-21,22	10,06	-14,08	-5,57
Kranich	129 KN3Tt	terrestrisch, aquatisch	omnivor	Schleswig	-24,17	10,06	-7,49	-12,50
Kranich	130 KN4U	terrestrisch, aquatisch	omnivor	Schleswig	-19,05	9,64	-11,78	-6,16
Kranich	131 KN5Cr	terrestrisch, aquatisch	omnivor	Schleswig	-19,30	10,36	-11,09	-6,42
Mittelsäger	S 71	terrestrisch, Küste	piscivor	Schleswig	-12,60	11,09	-7,78	-12,45
Mittelsäger	S 72	terrestrisch, Küste	piscivor	Schleswig	-20,47	6,36	-11,17	-11,09
Mittelsäger	S 73	terrestrisch, Küste	piscivor	Schleswig	-20,67	8,78	-11,92	-9,20
Mittelsäger	S 74	terrestrisch, Küste	piscivor	Schleswig	-13,53	11,33	-7,58	-8,84
Mittelsäger	S 75	terrestrisch, Küste	piscivor	Schleswig	-14,93	12,67	-9,11	-7,25
Pfeifente	Hb 126	terrestrisch, aquatisch	herbivor	Haithabu	-22,96	8,43	-15,46	-13,56
Pfeifente	Hb 127	terrestrisch, aquatisch	herbivor	Haithabu	-23,03	5,22	-13,52	-11,92
Reiherente	Hb 136	terrestrisch, aquatisch	carnivor	Haithabu	-25,46	9,26	-18,49	-11,49
Reiherente	Hb 138	terrestrisch, aquatisch	carnivor	Haithabu	-21,03	7,49	-13,73	-10,83
Reiherente	Hb 139	terrestrisch, aquatisch	carnivor	Haithabu	-21,36	8,12	-13,06	-8,61
Reiherente	90 RE1H	terrestrisch, aquatisch	carnivor	Haithabu	-22,79	7,02	-12,19	-10,13
Reiherente	91 RE2Tt	terrestrisch, aquatisch	carnivor	Haithabu	-10,77	7,57	-3,18	-12,97
Reiherente	92 RE3St	terrestrisch, aquatisch	carnivor	Haithabu	-22,61	9,82	-10,95	-11,49
Reiherente	132 RE1H	terrestrisch, aquatisch	carnivor	Schleswig	-19,31	7,34	-12,32	-10,24
Reiherente	133 RE2H	terrestrisch, aquatisch	carnivor	Schleswig	-24,12	8,61	-16,81	-13,05
Reiherente	134 RE3H	terrestrisch, aquatisch	carnivor	Schleswig	-25,76	7,03	-16,50	-10,84
Reiherente	135 RE4H	terrestrisch, aquatisch	carnivor	Schleswig	-30,51	9,44	-19,36	-12,51

Fortsetzung von Tabelle A6

Spezies	Probennr.	Habitat	Ernährung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]
Reiherente	136 RE5H	terrestrisch, aquatisch	carnivor	Schleswig	-20,29	7,71	-12,75	-8,29
Schellente	Hb 142	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Haithabu	-23,79	7,25	-16,13	-7,98
Schellente	S 61	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Schleswig	-22,34	8,54	-15,70	-7,30
Schellente	S 62	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Schleswig	-19,06	8,11	-8,96	-7,25
Schellente	S 63	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Schleswig	-22,69	8,49	-12,86	-7,88
Schellente	S 65	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Schleswig	-18,91	7,63	-12,93	-10,36
Schellente	137 SC1H	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Schleswig	-18,31	10,78	-10,75	-8,58
Schellente	138 SC2H	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Schleswig	-21,61	7,07	-12,06	-9,19
Schellente	139 SC3H	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Schleswig	-26,65	8,33	-16,53	-10,11
Schellente	140 SC4H	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Schleswig	-21,96	8,11	-13,53	-11,31
Schellente	141 SC5H	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Schleswig	-18,81	9,19	-10,18	-10,27
Seeadler	Hb 162	terrestrisch, Küste, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Haithabu	-19,87	11,77	-23,54	-8,03
Seeadler	Hb 163	terrestrisch, Küste, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Haithabu	-19,91	10,97	-13,73	-10,07
Seeadler	Hb 164	terrestrisch, Küste, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Haithabu	-24,93	9,92	-13,74	-9,39
Seeadler	Hb 166	terrestrisch, Küste, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Haithabu	-17,53	11,46	-9,56	-8,71
Seeadler	S 81	terrestrisch, Küste, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Schleswig	-20,18	10,32	-9,68	-5,26
Seeadler	S 82	terrestrisch, Küste, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Schleswig	-16,55	10,83	-8,74	-8,04
Seeadler	S 83	terrestrisch, Küste, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Schleswig	-12,41	11,83	-5,03	-10,28
Seeadler	S 84	terrestrisch, Küste, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Schleswig	-20,47	9,87	-8,89	-8,45
Seeadler	S 85	terrestrisch, Küste, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Schleswig	-15,56	12,64	-7,06	-7,37
Seeadler	93 SA1U	terrestrisch, Küste, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Haithabu	-19,88	1,25	-11,41	-11,65
Seeadler	94 SA2U	terrestrisch, Küste, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Haithabu	-18,20	11,02	-9,21	-8,93
Seeadler	95 SA3U	terrestrisch, Küste, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Haithabu	-19,54	11,41	-11,24	-9,73
Seeadler	96 SA4U	terrestrisch, Küste, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Haithabu	-12,10	13,51	-6,20	-5,94
Seeadler	97 SA5H	terrestrisch, Küste, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Haithabu	-16,11	13,45	-6,00	-5,90
Seeadler	142 SA1H	terrestrisch, Küste, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Schleswig	-22,37	13,10	-13,92	-6,55

Fortsetzung von Tabelle A6

Spezies	Probennr.	Habitat	Ernährung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]
Seeadler	144 SA3Tt	terrestrisch, Küste, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Schleswig	-12,45	12,83	-2,33	-6,39
Seeadler	146 SA5Cmc	terrestrisch, Küste, Süß- bis Salzwasser	carnivor	Schleswig	-13,24	12,20	-6,64	-6,12
Singschwan	Hb 153	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	herbivor	Haithabu	-17,69	7,95	-8,87	-9,62
Singschwan	Hb 154	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	herbivor	Haithabu	-21,90	8,25	-13,89	-10,15
Singschwan	Hb 155	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	herbivor	Haithabu	-21,60	7,33	-13,78	-9,86
Singschwan	Hb 156	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	herbivor	Haithabu	-19,00	6,36	-6,82	-9,36
Singschwan	S 41	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	herbivor	Schleswig	-19,68	6,42	-8,32	-9,57
Singschwan	S 42	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	herbivor	Schleswig	-19,39	4,29	-7,60	-12,21
Singschwan	S 43	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	herbivor	Schleswig	-23,62	7,97	-12,53	-11,75
Singschwan	S 44	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	herbivor	Schleswig	-21,55	6,64	-12,88	-11,03
Singschwan	S 45	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	herbivor	Schleswig	-16,01	5,71	-8,73	-11,63
Singschwan	98 SW1H	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	herbivor	Haithabu	-20,08	7,21	-10,58	-10,95
Singschwan	99 SW2Cc	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	herbivor	Haithabu	-18,32	3,78	-5,50	-7,41
Singschwan	100 SW3R	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	herbivor	Haithabu	-16,69	5,08	-8,44	-6,92
Singschwan	147 SW1R	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	herbivor	Schleswig	-20,57	7,03	-11,02	-13,29
Singschwan	148 SW2R	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	herbivor	Schleswig	-21,14	2,98	-9,17	-10,01
Singschwan	149 SW3H	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	herbivor	Schleswig	-17,94	6,97	-8,50	-11,51
Singschwan	150 SW4F	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	herbivor	Schleswig	-20,73	8,68	-12,19	-11,35
Singschwan	151 SW5Tt	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	herbivor	Schleswig	-21,01	8,36	-12,49	-12,84
Spieße	Hb 123	terrestrisch, Süß-, Brackwasser	omnivor	Haithabu	-12,45	7,14	-6,73	-6,72
Spieße	Hb 124	terrestrisch, Süß-, Brackwasser	omnivor	Haithabu	-19,36	5,76	-12,73	-9,06
Spieße	Hb 125	terrestrisch, Süß-, Brackwasser	omnivor	Haithabu	-24,32	9,48	-18,06	-10,18
Spieße	S 56	terrestrisch, Süß-, Brackwasser	omnivor	Schleswig	-20,94	10,44	-13,38	-8,55
Spieße	S 57	terrestrisch, Süß-, Brackwasser	omnivor	Schleswig	-23,52	7,96	-14,08	-12,52
Spieße	S 58	terrestrisch, Süß-, Brackwasser	omnivor	Schleswig	-12,49	10,23	-7,25	-9,30
Stockente	Hb 131	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	omnivor	Haithabu	-24,11	7,65	-16,44	-10,54

Fortsetzung von Tabelle A6

Spezies	Probennr.	Habitat	Ernährung	Fundort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]
Stockente	Hb 133	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	omnivor	Haithabu	-21,26	8,42	-12,29	-7,81
Stockente	Hb 134	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	omnivor	Haithabu	-21,29	7,86	-12,45	-8,83
Stockente	S 46	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	omnivor	Schleswig	-20,60	10,41	-12,85	-6,91
Stockente	S 47	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	omnivor	Schleswig	-21,47	11,88	-13,32	-7,43
Stockente	S 48	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	omnivor	Schleswig	-23,33	7,60	-15,09	-8,19
Stockente	S 49	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	omnivor	Schleswig	-20,43	10,36	-11,44	-8,54
Stockente	S 50	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	omnivor	Schleswig	-23,60	12,62	-14,85	-9,88
Stockente	104 SE2H	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	omnivor	Haithabu	-23,13	7,64	-12,89	-9,57
Stockente	105 SE3U	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	omnivor	Haithabu	-20,35	9,84	-9,71	-7,82
Stockente	152 SE1H	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	omnivor	Schleswig	-16,84	15,48	-10,45	-6,71
Stockente	153 SE2H	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	omnivor	Schleswig	-12,71	12,92	-6,56	-8,55
Stockente	154 SE3H	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	omnivor	Schleswig	-21,54	8,56	-13,23	-7,69
Stockente	155 SE4H	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	omnivor	Schleswig	-19,63	10,43	-13,77	-11,72
Stockente	156 SE5H	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	omnivor	Schleswig	-23,47	4,93	-13,21	-9,63
Trottellumme	Hb 178	terrestrisch, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-17,50	14,15	-11,68	-8,68
Trottellumme	Hb 179	terrestrisch, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-17,10	12,74	-10,43	-7,21
Trottellumme	Hb 180	terrestrisch, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-15,83	15,12	-11,06	-5,07
Trottellumme	Hb 182	terrestrisch, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-15,50	16,43	-9,47	-4,10
Trottellumme	109 TL2St	terrestrisch, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-17,11	13,53	-6,57	-7,26
Trottellumme	110 TL3St	terrestrisch, Brack-, Salzwasser	piscivor	Haithabu	-16,25	13,86	-4,94	-5,05
Wanderfalke	S 91	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-20,29	10,99	-10,00	-6,16
Wanderfalke	S 92	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-20,48	10,84	-8,99	-8,38
Wanderfalke	S 93	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-19,01	9,66	-8,42	-7,31
Wanderfalke	S 94	terrestrisch	carnivor	Schleswig	-19,20	8,08	-8,84	-10,88
Zwergsäger	S 66	terrestrisch, Süß- bis Salzwasser	piscivor	Schleswig	-18,26	9,10	-10,98	-11,57

Tabelle A7: Übersicht über den Teildatensatz der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig (Datensatz I - IV).

Probennr.	Fundort	Zeitphase	Alter	Geschlecht	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}} [\text{‰}]$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
H 4	Haithabu	Gräberfeld	adult	w	-20,2	11,2	-14,7	-6,2			
H 17	Haithabu	Gräberfeld	adult	m	-19,9	10,4	-13,4	-5,0		11,9	
H 64	Haithabu	Gräberfeld	adult	w	-19,9	10,1	-15,4	-5,1		11,8	
H 66a	Haithabu	Gräberfeld	adult	nb	-19,7	11,3	-14,9	-5,4		12,0	
H 67 a	Haithabu	Gräberfeld	adult	nb	-19,9	11,1	-13,1	-6,4			
H 72	Haithabu	Gräberfeld	adult	m	-20,1	11,5	-15,5	-4,9		10,1	
H 76	Haithabu	Gräberfeld	adult	w	-20,2	11,2	-13,9	-5,8			
H 105	Haithabu	Gräberfeld	adult	m	-20,2	11,4	-11,6	-7,2		7,5	
H 106a	Haithabu	Gräberfeld	adult	m	-19,9	12,1	-14,8	-7,2		13,3	
H 107	Haithabu	Gräberfeld	adult	m	-19,9	12,8	-15,6	-8,6		6,1	
H 154	Haithabu	Gräberfeld	adult	m	-19,7	12,4	-14,8	-5,8			
H 269	Haithabu	Gräberfeld	adult	m	-19,6	13,1	-14,1	-7,0			
H 270	Haithabu	Gräberfeld	adult	w	-19,8	12,9	-15,6	-6,4		10,4	
H 271	Haithabu	Gräberfeld	adult	m	-19,6	11,7	-14,5	-7,7		4,4	
H 274	Haithabu	Gräberfeld	adult	m	-19,8	10,0	-13,6	-4,8		13,7	
H 275	Haithabu	Gräberfeld	adult	m	-19,9	10,3	-14,6	-5,9		12,5	
H 276	Haithabu	Gräberfeld	adult	m	-19,3	13,7	-14,5	-8,3			
H K XII	Haithabu	Gräberfeld	adult	w	-20,5	11,2	-14,8	-8,1			
H 1902 Grube 56 I-IV	Haithabu	Gräberfeld	adult	nb	-19,3	12,0	-13,5	-6,8			
H 1904 III/1	Haithabu	Gräberfeld	adult	m	-19,7	11,0	-13,6	-7,0		11,5	
H 1912 XIII/3	Haithabu	Gräberfeld	adult	w	-20,1	12,0	-14,9	-6,0		11,3	
H 1912 XIV,3	Haithabu	Gräberfeld	adult	w	-20,2	11,4	-14,2	-6,5		10,3	
H 1936 DIV	Haithabu	Gräberfeld	adult	nb	-19,9	11,0	-14,7	-6,1		5,1	
H 1968 Sk 4	Haithabu	Siedlung	adult	nb	-20,0	10,0	-14,8	-6,9			0,70981
H 1968 Sk 5	Haithabu	Siedlung	adult	w	-21,8	9,7	-15,1	-5,9			
H 1968 Sk 6	Haithabu	Siedlung	adult	m	-20,8	10,0	-15,5	-6,4			
H 12301 K I/1	Haithabu	Gräberfeld	adult	nb	-19,2	13,3	-15,0	-6,0		11,3	
H 12370 K IX/6	Haithabu	Gräberfeld	adult	w	-19,9	12,4	-13,3	-5,4		11,2	
H 12640 K XIII/3	Haithabu	Gräberfeld	adult	w	-19,8	11,7	-13,5	-7,5			0,70917
H 12640 XIII/2	Haithabu	Gräberfeld	adult	w	-20,1	11,2	-15,1	-5,6			
H Kammergrab III	Haithabu	Gräberfeld	adult	w	-19,8	11,1	-15,3	-6,6			

Fortsetzung von Tabelle A7

Probennr.	Fundort	Zeitphase	Alter	Geschlecht	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}} [\text{‰}]$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
H unter Gr 10	Haitlabu	Gräberfeld	adult	w	-19,7	10,7	-14,1	-6,5			
RM 2	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-19,7	14,9	-13,5	-7,2	18,0		0,70909
RM 5	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-20,3	9,9	-14,0	-7,6			
RM 8	Schleswig RM	spät	früh-adult	m	-19,7	11,2	-14,2	-5,7	17,6		0,71055
RM 9	Schleswig RM	früh	spät-adult	w	-18,7	11,0	-15,4	-6,4	18,0		0,71067
RM 11	Schleswig RM	spät	adult	m	-20,2	12,3	-14,4	-6,7			
RM 12	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-19,7	10,7	-15,3	-8,9		11,3	
RM 14	Schleswig RM	spät	früh-adult	w	-19,5	12,3	-14,4	-5,0	17,7		0,71266
RM 17	Schleswig RM	spät	früh-adult	m	-19,7	10,8	-14,9	-5,1			
RM 21	Schleswig RM	früh	spät-adult	w	-19,8	15,1	-14,2	-5,7	16,4		0,70993
RM 23	Schleswig RM	früh	früh-adult	w	-19,8	11,2	-13,8	-7,4		13,1	
RM 28	Schleswig RM	spät	senil	w	-19,9	12,0	-15,4	-6,2			0,71194
RM 29	Schleswig RM	spät	adult	w	-20,3	10,5	-12,9	-7,9			
RM 31	Schleswig RM	früh	früh-adult	w	-19,7	10,6	-15,6	-8,0			
RM 32	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-19,5	15,0	-13,8	-7,1	17,2		0,71050
RM 38	Schleswig RM	früh	früh-adult	w	-19,9	15,5	-13,9	-6,6	17,1		0,71122
RM 41	Schleswig RM	früh	spät-adult	w	-20,3	11,7	-14,9	-6,6			
RM 42	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-20,6	10,5	-14,5	-6,8	17,3		0,71118
RM 52 a	Schleswig RM	spät	spät-adult	m	-19,8	11,5	-14,7	-6,1	16,4		0,71103
RM 54	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-18,9	12,9	-15,3	-7,4			
RM 57	Schleswig RM	spät	senil	m	-19,6	12,7	-16,0	-6,3		7,1	
RM 58	Schleswig RM	spät	adult	w	-20,8	11,4	-15,5	-7,9	17,7		0,70989
RM 60	Schleswig RM	spät	früh-adult	m	-20,0	12,2	-14,3	-6,6		8,6	
RM 68	Schleswig RM	spät	spät-adult	w	-19,4	11,4	-14,9	-7,8			
RM 76	Schleswig RM	früh	spät-adult	w	-20,1	11,0	-14,8	-7,7		11,5	
RM 78	Schleswig RM	früh	adult	nb	-18,9	12,0	-15,4	-12,0			0,70964
RM 79	Schleswig RM	spät	spät-adult	m	-20,1	10,9	-15,4	-6,9			
RM 80	Schleswig RM	früh	früh-adult	w	-19,3	13,3	-13,9	-7,6			
RM 81	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-19,9	12,5	-14,1	-5,3	17,5		0,70956
RM 82	Schleswig RM	spät	früh-adult	w	-19,8	10,4	-14,6	-6,4			
RM 86	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-19,2	13,1	-14,8	-7,9		9,8	

Fortsetzung von Tabelle A7

Probennr.	Funbort	Zeitphase	Alter	Geschlecht	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}} [\text{‰}]$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
RM 88	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-19,9	12,5	-13,9	-5,3	17,1		0,71011
RM 90	Schleswig RM	früh	senil	w	-19,6	14,4	-13,1	-5,4	17,8		0,71073
RM 91	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-19,1	11,6	-15,5	-8,3			
RM 92	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-18,8	12,9	-15,4	-8,1			
RM 93	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-19,7	10,7	-15,6	-8,3		11,6	
RM 94	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-20,2	9,8	-14,7	-8,6		7,9	
RM 95	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-19,1	12,5	-15,2	-8,4	16,2		0,71076
RM 98	Schleswig RM	spät	senil	w	-19,8	11,4	-14,7	-7,2			
RM 100	Schleswig RM	spät	früh-adult	w	-19,4	11,8	-14,3	-7,9			
RM 101	Schleswig RM	spät	früh-adult	w	-19,3	12,5	-14,4	-7,0			
RM 102	Schleswig RM	spät	früh-adult	m	-19,4	10,5	-15,0	-6,4			
RM 103	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-19,5	13,5	-15,3	-6,9	17,3	6,8	0,71060
RM 104	Schleswig RM	früh	spät-adult	w	-20,4	14,7	-14,1	-6,8			
RM 105	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-19,2	11,8	-14,3	-7,5		11,3	
RM 107	Schleswig RM	spät	spät-adult	m	-19,2	11,9	-15,2	-8,2		9,3	
RM 108	Schleswig RM	früh	spät-adult	w	-19,7	15,5	-15,1	-8,7			
RM 109	Schleswig RM	früh	früh-adult	w	-20,0	10,2	-15,9	-7,7		12,7	
RM 110	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-19,1	12,9	-16,7	-7,9		12,7	
RM 113	Schleswig RM	spät	früh-adult	m	-19,3	12,9	-14,7	-7,4			
RM 114	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-19,8	15,4	-14,7	-5,6			
RM 115	Schleswig RM	früh	früh-adult	w	-20,7	10,8	-15,2	-8,5		11,3	
RM 116	Schleswig RM	früh	adult	w	-19,4	11,2	-14,7	-7,3	17,8	2,1	0,70981
RM 117	Schleswig RM	spät	spät-adult	m	-19,3	13,2	-15,4	-8,2			
RM 118	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-20,0	10,9	-14,9	-9,1			
RM 120	Schleswig RM	spät	spät-adult	m	-19,6	11,5	-15,2	-8,5	18,4		0,70941
RM 125	Schleswig RM	spät	spät-adult	w	-20,6	13,2	-15,5	-6,5	17,8		0,70931
RM 131 a	Schleswig RM	früh	spät-adult	w	-20,0	11,0	-14,3	-7,7			
RM 134	Schleswig RM	spät	spät-adult	w	-19,0	12,5	-14,0	-7,2	17,7		0,71015
RM 135	Schleswig RM	spät	spät-adult	w	-18,9	12,7	-14,3	-8,7	16,6		0,71080
RM 136	Schleswig RM	spät	früh-adult	w	-19,4	11,8	-14,5	-9,2			
RM 137	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-19,5	12,0	-14,9	-8,5		11,5	0,70925

Fortsetzung von Tabelle A7

Probennr.	Fundort	Zeitphase	Alter	Geschlecht	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰]	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
RM 138	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-19,3	13,5	-15,4	-6,1	16,8		0,70920
RM 139	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-18,9	12,6	-14,9	-8,5		7,7	
RM 140	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-19,5	12,2	-13,9	-7,0	16,5	9,5	0,70963
RM 141	Schleswig RM	spät	spät-adult	m	-19,8	10,9	-14,6	-7,3		3,5	
RM 142a	Schleswig RM	spät	früh-adult	m	-17,7	12,7	-13,9	-8,1	16,8	9,3	0,70942
RM 142b	Schleswig RM	spät	früh-adult	m	-19,5	12,2	-13,8	-7,4			0,71055
RM 143	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-20,3	12,3	-15,4	-7,6			
RM 144	Schleswig RM	spät	spät-adult	m	-19,2	11,3	-14,2	-7,3			
RM 145	Schleswig RM	spät	spät-adult	w	-19,5	10,7	-15,5	-7,1	16,6	11,4	0,71160
RM 146	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-19,4	12,6	-15,2	-7,8			0,71028
RM 147	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-19,8	10,5	-14,1	-8,0		11,7	
RM 150	Schleswig RM	spät	spät-adult	m	-21,2	10,9	-16,4	-8,5			
RM 154	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-19,6	10,9	-14,2	-8,6		11,2	
RM 155	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-19,3	11,1	-14,2	-7,7			
RM 156	Schleswig RM	früh	früh-adult	w	-19,4	12,0	-15,1	-9,5			0,72961
RM 158	Schleswig RM	früh	früh-adult	w	-19,6	10,3	-14,0	-7,6		5,8	0,70933
RM 159	Schleswig RM	spät	spät-adult	m	-19,2	11,3	-14,4	-7,4		10,2	0,70933
RM 160	Schleswig RM	spät	früh-adult	m	-19,6	11,5	-15,1	-7,8			
RM 165	Schleswig RM	früh	spät-adult	w	-19,1	14,3	-14,6	-8,6			0,71087
RM 167	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-19,8	12,1	-14,3	-7,1			0,71078
RM 169	Schleswig RM	früh	früh-adult	w	-18,8	12,6	-14,0	-6,6		12,8	
RM 170	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-19,2	11,5	-14,7	-9,2		10,3	0,70956
RM 171	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-19,4	12,1	-14,4	-7,6		9,6	
RM 172	Schleswig RM	früh	spät-adult	w	-19,3	12,1	-14,1	-7,7		11,0	
RM 173	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-19,8	11,7	-14,7	-7,7			0,70929
RM 175	Schleswig RM	früh	früh-adult	w	-18,9	12,7	-13,7	-8,5			
RM 178	Schleswig RM	früh	senil	w	-19,5	11,9	-14,4	-7,9		11,3	0,71102
RM 179	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-19,7	11,6	-15,0	-8,0			
RM 180	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-18,7	13,1	-14,6	-8,5			
RM 182	Schleswig RM	früh	18-20 a	m	-19,6	12,0	-13,8	-7,9		2,6	
RM 183	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-19,9	12,6	-15,4	-8,6		8,9	

Fortsetzung von Tabelle A7

Probennr.	Fundort	Zeitphase	Alter	Geschlecht	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}} [\text{‰}]$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
RM 185	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-20,2	11,7	-14,0	-6,8		7,2	
RM 186	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-18,1	13,9	-15,9	-10,2			0,71115
RM 188	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-20,1	12,5	-14,7	-6,9			
RM 191	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-19,2	12,1	-14,0	-7,4		10,3	
RM 193	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-19,0	12,0	-14,6	-6,8			0,71115
RM 194	Schleswig RM	früh	18 a	w	-21,3	12,9	-15,2	-9,3		6,6	
RM 197	Schleswig RM	spät	früh-adult	m	-18,9	13,0	-14,1	-8,8		11,1	0,71152
RM 198	Schleswig RM	früh	18-20 a	w	-20,0	11,7	-12,9	-8,1		12,3	
RM 200	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-20,2	11,3	-15,7	-7,1			
RM 202	Schleswig RM	früh	spät-adult	w	-18,8	12,6	-15,3	-8,9		12,6	0,73857
RM 203	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-19,5	12,3	-14,7	-7,1			
RM 205	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-19,6	12,4	-14,3	-7,8			
RM 207	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-19,7	11,7	-14,9	-7,4			0,70941
RM 208	Schleswig RM	früh	spät-adult	w	-19,5	11,7	-14,9	-7,3		11,1	0,71128
RM 210	Schleswig RM	früh	spät-adult	m	-19,8	10,8	-15,0	-6,5			
RM 212	Schleswig RM	früh	adult	nb	-19,3	11,5	-14,4	-6,5			
RM 213	Schleswig RM	früh	spät-adult	nb	-19,2	12,3	-14,5	-7,3			
RM 214	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-19,6	9,5	-15,0	-6,5			
RM 215	Schleswig RM	früh	spät-adult	w	-19,8	12,9	-14,6	-6,6			0,71117
RM 219	Schleswig RM	früh	spät-adult	w	-19,3	12,7	-12,8	-8,3			0,71045
RM 221	Schleswig RM	spät	spät-adult	m	-19,9	11,5	-13,7	-7,2			0,70924
RM 226	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-20,1	11,2	-14,3	-7,8			
RM 230	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-19,1	13,1	-14,8	-9,1			
RM 232	Schleswig RM	früh	früh-adult	w	-19,7	10,7	-15,6	-8,8		8,1	0,71064
RM 233	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-20,5	11,6	-14,5	-7,7			0,71076
RM 234	Schleswig RM	früh	früh-adult	m	-19,0	12,4	-14,4	-9,5			
SC 5	Schleswig SC	SC	adult	m	-20,2	10,8	-13,8	-5,0	17,4	7,8	0,70948
SC 19 b	Schleswig SC	SC	adult	w	-19,2	12,0	-13,8	-6,9			
SC 21	Schleswig SC	SC	adult	w	-20,6	9,8	-13,8	-6,3			
SC 53	Schleswig SC	SC	adult	w	-19,0	14,0	-14,5	-7,6		10,3	
SC 57	Schleswig SC	SC	adult	m	-19,5	14,5	-14,1	-9,8		8,8	

Fortsetzung von Tabelle A7

Probenr.	Fundort	Zeitphase	Alter	Geschlecht	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰]	$\delta^{84}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
SC 58	Schleswig SC	SC	adult	w	-19,8	10,4	-14,2	-6,0		13,8	
SC 59	Schleswig SC	SC	adult	m	-20,2	11,7	-15,5	-7,4		7,0	
SC 66	Schleswig SC	SC	adult	w	-20,3	10,5	-12,9	-5,7			0,71211
SC 67	Schleswig SC	SC	adult	m	-19,7	12,4	-14,3	-7,5			
SC 69	Schleswig SC	SC	adult	m	-19,0	12,2	-15,1	-9,4			
SC 73	Schleswig SC	SC	adult	w	-19,9	10,7	-14,4	-6,9			
SC 75	Schleswig SC	SC	adult	m	-19,6	12,0	-14,4	-8,6		11,7	
SC 92	Schleswig SC	SC	adult	m	-17,2	14,3	-14,0	-6,3	17,2	12,7	0,71157
SC 94	Schleswig SC	SC	adult	m	-19,7	11,7	-14,3	-6,1			
SC 96	Schleswig SC	SC	adult	m	-19,1	12,5	-14,2	-6,3		11,7	
SC 97	Schleswig SC	SC	adult	m	-20,5	11,0	-13,6	-5,9			
SC 101	Schleswig SC	SC	adult	m	-20,4	10,0	-14,6	-10,0	17,0	13,2	0,71492
SC 103	Schleswig SC	SC	adult	w	-19,2	11,9	-14,7	-5,7			0,71080
SC 104	Schleswig SC	SC	adult	m	-19,6	11,9	-13,7	-7,1		4,2	
SC 105	Schleswig SC	SC	adult	m	-19,6	11,1	-13,7	-5,9	17,4	14,0	0,71146
SC 111	Schleswig SC	SC	adult	w	-19,2	12,0	-13,6	-7,0			
SC 119	Schleswig SC	SC	adult	m	-19,5	11,2	-13,0	-6,8	18,1		0,70951
SC 120	Schleswig SC	SC	adult	w	-19,7	11,4	-13,6	-5,7	16,9		0,71096
SC 132	Schleswig SC	SC	adult	m	-18,8	15,3	-13,7	-8,1	17,2		0,70948
SC 141	Schleswig SC	SC	adult	m	-19,9	10,9	-14,3	-8,6		12,1	
SC 145	Schleswig SC	SC	adult	w	-19,5	11,0	-13,6	-6,5			
SC 146	Schleswig SC	SC	adult	w	-19,9	11,0	-14,0	-7,6		12,0	
SC 147	Schleswig SC	SC	adult	m	-19,2	12,9	-13,9	-6,1			
SC 162	Schleswig SC	SC	adult	w	-19,2	11,6	-13,9	-8,4			
SC 164	Schleswig SC	SC	adult	m	-19,2	12,5	-14,1	-7,9			
SC 175	Schleswig SC	SC	adult	w	-19,5	11,0	-14,8	-7,6		12,4	
SC 177	Schleswig SC	SC	adult	w	-19,2	11,0	-13,3	-6,8			
SC 179	Schleswig SC	SC	adult	nb	-19,9	11,0	-13,7	-7,6			
SC 193	Schleswig SC	SC	adult	m	-19,9	10,5	-14,7	-6,4	17,4		0,71183
SC 197 a	Schleswig SC	SC	adult	w	-19,6	11,2	-13,6	-5,8			

Fortsetzung von Tabelle A7

Probennr.	Fundort	Zeitphase	Alter	Geschlecht	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}} [\text{‰}]$	$\delta^{84}\text{S}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
SC 198 a	Schleswig SC	SC	adult	w	-19,1	11,5	-13,9	-6,2		11,3	
SC 198 b	Schleswig SC	SC	adult	w	-18,9	11,0	-13,7	-7,8			
SC 206	Schleswig SC	SC	adult	m	-20,2	10,9	-14,5	-6,6			
SC 213	Schleswig SC	SC	adult	nb	-19,6	11,5	-14,2	-6,6			
SC 214	Schleswig SC	SC	adult	nb	-20,1	12,1	-14,9	-10,1		11,6	
SC 222	Schleswig SC	SC	adult	w	-20,4	11,3	-15,0	-7,5		12,1	
SC 225	Schleswig SC	SC	adult	m	-19,2	11,9	-14,3	-8,8		11,3	
SC 226	Schleswig SC	SC	adult	m	-20,2	12,1	-15,4	-6,2		12,2	
SC 228	Schleswig SC	SC	adult	w	-19,7	11,2	-13,8	-6,1		12,2	
SC 229	Schleswig SC	SC	adult	w	-20,4	19,1	-14,2	-7,2		12,2	
SC 232	Schleswig SC	SC	adult	m	-19,5	10,4	-14,1	-10,7	17,5	11,9	0,71159
SC 237	Schleswig SC	SC	adult	nb	-19,6	11,5	-14,7	-7,6		12,3	
SC 270	Schleswig SC	SC	adult	m	-19,1	12,3	-14,4	-7,7		12,4	
SC 273	Schleswig SC	SC	adult	w	-19,1	10,9	-15,1	-7,6		9,7	

Tabelle A8: Übersicht über die im R-Paket „mclust“ verfügbaren Modelle, sowie deren Kovarianzmatrix Σ_k , Verteilung, Form und Orientierung. Wird nur ein Cluster detektiert, so wird im univariaten Fall das Modell „X“ und im multivariaten Fall die Modelle „XII“ (kugelförmig), „XXI“ (diagonal) oder „XXX“ (ellipsoid) gewählt (Fraley et al., 2012; Fraley & Raftery, 2007; Scrucca et al., 2016).

Modell	Σ_k	Verteilung	Volumen	Form	Orientierung
E		univariat	identisch	-	-
V		univariat	variabel	-	-
EII	λI	kugelförmig	identisch	identisch	-
VII	$\lambda_k I$	kugelförmig	variabel	identisch	-
EEI	λA	diagonal	identisch	identisch	Koordinatenachsen
VEI	$\lambda_k A$	diagonal	variabel	identisch	Koordinatenachsen
EVI	λA_k	diagonal	identisch	variabel	Koordinatenachsen
VVI	$\lambda_k A_k$	diagonal	variabel	variabel	Koordinatenachsen
EEE	λDAD^T	ellipsoid	identisch	identisch	identisch
EVE	$\lambda DA_k D^T$	ellipsoid	identisch	variabel	identisch
VEE	$\lambda_k DAD^T$	ellipsoid	variabel	identisch	identisch
VVE	$\lambda_k DA_k D^T$	ellipsoid	variabel	variabel	identisch
EEV	$\lambda D_k A D_k^T$	ellipsoid	identisch	identisch	variabel
VEV	$\lambda_k D_k A D_k^T$	ellipsoid	variabel	identisch	variabel
EVV	$\lambda D_k A_k D_k^T$	ellipsoid	identisch	variabel	variabel
VVV	$\lambda_k D_k A_k D_k^T$	ellipsoid	variabel	variabel	variabel

Tabelle A9: Clusterzuweisung für die k-means-Clusteranalyse der Fische aus Haithabu und Schleswig ($k = 3$).

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Brachse 35B2Op	Dorsch 1D1V	Dorsch 3D3V
Brachse 36B3Pop	Dorsch 42D4V	Dorsch 4D4V
Brachse 37B4Pop	Flussbarsch 46FB3Op	Dorsch 5D5V
Brachse 38B5C	Flussbarsch 47FB4Pop	Dorsch KS40
Flussbarsch 8FB3C	Flussbarsch 48FB5Pop	Flussbarsch 44FB1C
Hecht 11H2C	Schellfisch 60SF2C	Flussbarsch 45FB2C
Hecht 12H3C	Schellfisch 61SF3C	Flussbarsch 6FB1C
Hecht 13H4C	Schellfisch 63SF5C	Flussbarsch 7FB2C
Hecht 49H1C	Scholle 65SOC	Flussbarsch 9FB4C
Hecht 51H3C	Stör 66ST1Rü	Hecht 10H1C
Hecht 52H4C		Hecht 14H5C
Hecht 53H5De		Hornhecht 54HH1De
Schleie 64SLOp		Hornhecht 58HH5De
Zander 15Z1C		Schellfisch 59SF1C
Zander 16Z2C		Stör 67ST2Rü
Zander 17Z3C		Stör 67ST5Rü
Zander 18Z4C		Stör 68ST3Rü
Zander 19Z5C		Stör 69ST4Rü

Tabelle A10: Clusterzuweisung für die GMM-Clusteranalyse der Fische aus Haithabu und Schleswig („EII“, 3 Cluster; Scrucca et al., 2016).

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Dorsch 1D1V	Flussbarsch 8FB3C	Brachse 35B2Op
Dorsch 3D3V	Hecht 11H2C	Brachse 36B3Pop
Dorsch 42D4V	Hecht 12H3C	Brachse 37B4Pop
Dorsch 4D4V	Hecht 13H4C	Brachse 38B5C
Dorsch 5D5V	Hecht 49H1C	Schleie 64SLOp
Dorsch KS40	Hecht 51H3C	
Flussbarsch 44FB1C	Hecht 52H4C	
Flussbarsch 45FB2C	Hecht 53H5De	
Flussbarsch 46FB3Op	Zander 15Z1C	
Flussbarsch 47FB4Pop	Zander 16Z2C	
Flussbarsch 48FB5Pop	Zander 17Z3C	
Flussbarsch 6FB1C	Zander 18Z4C	
Flussbarsch 7FB2C	Zander 19Z5C	
Flussbarsch 9FB4C		
Hecht 10H1C		
Hecht 14H5C		
Hornhecht 54HH1De		
Hornhecht 58HH5De		
Schellfisch 59SF1C		
Schellfisch 60SF2C		
Schellfisch 61SF3C		
Schellfisch 63SF5C		
Scholle 65SOC		
Stör 66ST1Rü		
Stör 67ST2Rü		
Stör 67ST5Rü		
Stör 68ST3Rü		
Stör 69ST4Rü		

Tabelle A11: Zuordnungswahrscheinlichkeiten für die in die Cluster 1 bis 3 eingeteilten Fische aus Haithabu und Schleswig. Fett gedruckt ist jeweils das Cluster, dem das entsprechende Individuum zugeordnet wird. Zuordnungswahrscheinlichkeiten < 0.9 sind überdies kursiv geschrieben.

Spezies	Probennr.	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Brachse	35 B2Op	0,000	0,003	0,997
Brachse	36 B3Pop	0,000	0,037	0,963
Brachse	37 B4Pop	0,000	0,065	0,935
Brachse	38 B5C	0,000	0,473	<i>0,527</i>
Dorsch	1 D1V	0,996	0,004	0,000
Dorsch	3 D3V	1,000	0,000	0,000
Dorsch	4 D4V	1,000	0,000	0,000
Dorsch	40 D2V	1,000	0,000	0,000
Dorsch	42 D4V	1,000	0,000	0,000
Dorsch	5 D5V	1,000	0,000	0,000
Flussbarsch	6 FB1C	1,000	0,000	0,000
Flussbarsch	7 FB2C	1,000	0,000	0,000
Flussbarsch	8 FB3C	0,000	0,992	0,008
Flussbarsch	9 FB4C	1,000	0,000	0,000
Flussbarsch	44 FB1C	1,000	0,000	0,000
Flussbarsch	45 FB2C	1,000	0,000	0,000
Flussbarsch	46 FB3Op	1,000	0,000	0,000
Flussbarsch	47 FB4Pop	1,000	0,000	0,000
Flussbarsch	48 FB5Pop	<i>0,858</i>	0,142	0,000
Hecht	10 H1C	<i>0,578</i>	0,421	0,000
Hecht	11 H2C	0,000	0,986	0,014
Hecht	12 H3C	0,000	0,992	0,008
Hecht	13 H4C	0,000	0,999	0,001
Hecht	14 H5C	0,999	0,001	0,000
Hecht	49 H1C	0,000	0,994	0,006
Hecht	51 H3C	0,000	<i>0,763</i>	0,237

Fortsetzung von Tabelle A11

Spezies	Probennr.	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Hecht	52 H4C	0,009	0,922	0,069
Hecht	53 H5De	0,000	0,667	0,333
Hornhecht	54 HH1De	1,000	0,000	0,000
Hornhecht	58 HH5De	1,000	0,000	0,000
Schellfisch	59 SF1C	1,000	0,000	0,000
Schellfisch	60 SF2C	1,000	0,000	0,000
Schellfisch	61 SF3C	1,000	0,000	0,000
Schellfisch	63 SF5C	1,000	0,000	0,000
Schleie	64 SLOp	0,000	0,062	0,938
Scholle	65 SOC	1,000	0,000	0,000
Stör	66 ST1Rü	1,000	0,000	0,000
Stör	67 ST2Rü	1,000	0,000	0,000
Stör	67 ST5Rü	1,000	0,000	0,000
Stör	68 ST3Rü	1,000	0,000	0,000
Stör	69 ST4Rü	1,000	0,000	0,000
Zander	15 Z1C	0,000	0,997	0,003
Zander	16 Z2C	0,000	0,998	0,002
Zander	17 Z3C	0,000	0,995	0,005
Zander	18 Z4C	0,000	0,980	0,020
Zander	19 Z5C	0,000	0,997	0,003

Tabelle A12: Clusterzuweisung für die GMM-Clusteranalyse der Fische aus Haithabu und Schleswig mit optimaler Clusterzahl von vier Clustern („EII“, 4 Cluster; Scrucca et al., 2016).

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
Dorsch 3D3V	Dorsch 1D1V	Brachse 35B2Op	Flussbarsch 48FB5Pop
Dorsch 4D4V	Dorsch 42D4V	Brachse 36B3Pop	Flussbarsch 8FB3C
Dorsch 5D5V	Flussbarsch 46FB3Op	Brachse 37B4Pop	Hecht 10H1C
Dorsch KS40	Flussbarsch 47FB4Pop	Brachse 38B5C	Hecht 11H2C
Flussbarsch 44FB1C	Schellfisch 61SF3C	Hecht 51H3C	Hecht 12H3C
Flussbarsch 45FB2C	Schellfisch 63SF5C	Hecht 53H5De	Hecht 13H4C
Flussbarsch 6FB1C	Scholle 65SOC	Schleie 64SLOp	Hecht 49H1C
Flussbarsch 7FB2C	Stör 66ST1Rü		Hecht 52H4C
Flussbarsch 9FB4C			Zander 15Z1C
Hecht 14H5C			Zander 16Z2C
Hornhecht 54HH1De			Zander 17Z3C
Hornhecht 58HH5De			Zander 18Z4C
Schellfisch 59SF1C			Zander 19Z5C
Schellfisch 60SF2C			
Stör 67ST2Rü			
Stör 67ST5Rü			
Stör 68ST3Rü			
Stör 69ST4Rü			

Tabelle A13: Zuordnungswahrscheinlichkeiten für die in die Cluster 1 bis 4 eingeteilten Fische aus Haithabu und Schleswig. Fett gedruckt ist jeweils das Cluster, dem das entsprechende Individuum zugeordnet wird. Zuordnungswahrscheinlichkeiten < 0.9 sind überdies kursiv geschrieben.

Spezies	Probennr.	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
Brachse	35 B2Op	0,000	0,000	1,000	0,000
Brachse	36 B3Pop	0,000	0,000	0,998	0,002
Brachse	37 B4Pop	0,000	0,000	0,992	0,008
Brachse	38 B5C	0,000	0,000	0,919	0,081
Dorsch	1 D1V	0,014	0,985	0,000	0,001
Dorsch	3 D3V	1,000	0,000	0,000	0,000
Dorsch	4 D4V	1,000	0,000	0,000	0,000
Dorsch	40 D2V	1,000	0,000	0,000	0,000
Dorsch	42 D4V	0,001	0,999	0,000	0,000
Dorsch	5 D5V	1,000	0,000	0,000	0,000
Flussbarsch	6 FB1C	0,930	0,070	0,000	0,000
Flussbarsch	7 FB2C	0,996	0,004	0,000	0,000
Flussbarsch	8 FB3C	0,000	0,000	0,003	0,997
Flussbarsch	9 FB4C	0,982	0,018	0,000	0,000
Flussbarsch	44 FB1C	0,997	0,003	0,000	0,000
Flussbarsch	45 FB2C	0,995	0,005	0,000	0,000
Flussbarsch	46 FB3Op	0,030	0,970	0,000	0,000
Flussbarsch	47 FB4Pop	0,001	0,999	0,000	0,000
Flussbarsch	48 FB5Pop	0,262	0,067	0,000	0,671
Hecht	10 H1C	0,132	0,001	0,000	0,868
Hecht	11 H2C	0,000	0,000	0,013	0,987
Hecht	12 H3C	0,000	0,000	0,004	0,996
Hecht	13 H4C	0,000	0,000	0,000	1,000
Hecht	14 H5C	1,000	0,000	0,000	0,000
Hecht	49 H1C	0,000	0,000	0,002	0,998
Hecht	51 H3C	0,000	0,000	0,510	0,490

Fortsetzung von Tabelle A13

Spezies	Probennr.	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
Hecht	52 H4C	0,000	0,000	0,039	0,961
Hecht	53 H5De	0,000	0,000	0,703	0,297
Hornhecht	54 HH1De	1,000	0,000	0,000	0,000
Hornhecht	58 HH5De	0,999	0,001	0,000	0,000
Schellfisch	59 SF1C	1,000	0,000	0,000	0,000
Schellfisch	60 SF2C	0,616	0,384	0,000	0,000
Schellfisch	61 SF3C	0,008	0,992	0,000	0,000
Schellfisch	63 SF5C	0,000	1,000	0,000	0,000
Schleie	64 SLOp	0,000	0,000	0,997	0,003
Scholle	65 SOC	0,000	1,000	0,000	0,000
Stör	66 ST1Rü	0,003	0,997	0,000	0,000
Stör	67 ST2Rü	0,963	0,037	0,000	0,000
Stör	67 ST5Rü	0,994	0,006	0,000	0,000
Stör	68 ST3Rü	1,000	0,000	0,000	0,000
Stör	69 ST4Rü	1,000	0,000	0,000	0,000
Zander	15 Z1C	0,000	0,000	0,001	0,999
Zander	16 Z2C	0,000	0,000	0,000	1,000
Zander	17 Z3C	0,000	0,000	0,002	0,998
Zander	18 Z4C	0,000	0,000	0,018	0,982
Zander	19 Z5C	0,000	0,000	0,001	0,999

Tabelle A14: Trainings- und Testfehler für die ersten 100 erfolgreichen Durchläufe, sowie Mittelwert (μ) und Standardabweichung (SD) für das GMM-Modell der Fische mit drei Clustern.

	Trainingsfehler	Testfehler		Trainingsfehler	Testfehler
1	0	0,063	27	0	0
2	0	0,125	28	0	0
3	0	0,125	29	0	0,125
4	0	0,063	30	0	0,188
5	0	0,063	31	0	0,063
6	0	0	32	0	0,188
7	0	0,063	33	0	0,063
8	0	0,063	34	0	0,063
9	0	0,188	35	0	0,250
10	0	0	36	0	0,063
11	0	0,063	37	0	0
12	0	0,063	38	0	0,063
13	0	0,188	39	0	0,125
14	0	0,125	40	0	0,125
15	0	0,188	41	0	0,125
16	0	0	42	0	0,063
17	0	0,125	43	0	0,063
18	0	0,063	44	0	0,125
19	0	0	45	0	0,188
20	0	0,125	46	0	0
21	0	0	47	0	0,063
22	0	0,063	48	0	0,188
23	0	0,125	49	0	0,063
24	0	0,125	50	0	0,063
25	0	0,063	51	0	0
26	0	0,063	52	0	0

Fortsetzung von Tabelle A14

	Trainingsfehler	Testfehler		Trainingsfehler	Testfehler
53	0	0,188	77	0	0,063
54	0	0,063	78	0	0,063
55	0	0,188	79	0	0,063
56	0	0	80	0	0,188
57	0	0,063	81	0	0,125
58	0	0,125	82	0	0,125
59	0	0,188	83	0	0,063
60	0	0,063	84	0	0
61	0	0,188	85	0	0
62	0	0,125	86	0	0,063
63	0	0,063	87	0	0
64	0	0,188	88	0	0,313
65	0	0,063	89	0	0
66	0	0	90	0	0
67	0	0	91	0	0,188
68	0	0	92	0	0
69	0	0,063	93	0	0,063
70	0	0,063	94	0	0,063
71	0	0,125	95	0	0
72	0	0	96	0	0,063
73	0	0,125	97	0	0,063
74	0	0,125	98	0	0,063
75	0	0,063	99	0	0
76	0	0	100	0	0
	Trainingsfehler	Testfehler		Trainingsfehler	Testfehler
μ	0	0,080	SD	0	0,068

Tabelle A15: Trainings- und Testfehler für die ersten 100 erfolgreichen Durchläufe, sowie Mittelwert (μ) und Standardabweichung (SD) für das GMM-Modell der Fische mit vier Clustern.

	Trainingsfehler	Testfehler		Trainingsfehler	Testfehler
1	0	0,313	27	0	0,250
2	0	0	28	0	0,125
3	0	0,063	29	0	0,250
4	0	0,188	30	0	0,188
5	0	0,250	31	0	0,313
6	0	0,125	32	0	0,125
7	0	0,313	33	0	0,063
8	0	0,250	34	0	0
9	0	0,125	35	0	0,313
10	0	0,250	36	0	0,250
11	0	0,063	37	0	0,063
12	0	0	38	0	0,125
13	0	0,313	39	0	0,188
14	0	0,063	40	0	0,375
15	0	0,188	41	0	0,063
16	0	0,188	42	0	0,125
17	0	0	43	0	0,063
18	0	0,250	44	0	0,188
19	0	0,125	45	0	0,250
20	0	0,250	46	0	0,063
21	0	0	47	0	0,125
22	0	0	48	0	0,125
23	0	0,063	49	0	0,125
24	0	0,063	50	0	0,125
25	0	0,313	51	0	0,188
26	0	0,125	52	0	0,250

Fortsetzung von Tabelle A15

	Trainingsfehler	Testfehler		Trainingsfehler	Testfehler
53	0	0,188	77	0	0,125
54	0	0,063	78	0	0,063
55	0	0,125	79	0	0,438
56	0	0,188	80	0	0,188
57	0	0	81	0	0,188
58	0	0,063	82	0	0,188
59	0	0,188	83	0	0,188
60	0	0,125	84	0	0,250
61	0	0,313	85	0	0,438
62	0	0	86	0	0,313
63	0	0,063	87	0	0,063
64	0	0,188	88	0	0,125
65	0	0,188	89	0	0,063
66	0	0,063	90	0	0,313
67	0	0,250	91	0	0,313
68	0	0,125	92	0	0,313
69	0	0,313	93	0	0,188
70	0	0,125	94	0	0
71	0	0,250	95	0	0,188
72	0	0	96	0	0,125
73	0	0,188	97	0	0,188
74	0	0,313	98	0	0,188
75	0	0,375	99	0	0,063
76	0	0,063	100	0	0,250
	Trainingsfehler	Testfehler		Trainingsfehler	Testfehler
μ	0	0,167	SD	0	0,107

Tabelle A16: Multivariate Ausreißer-Detektion (0 = Ausreißer, 1 = kein Ausreißer) in Datensatz I der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig. Multivariate Ausreißer sind grau hinterlegt.

Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
H 4	-20,2	11,2	-14,7	-6,2	1
H 17	-19,9	10,4	-13,4	-5,0	1
H 64	-19,9	10,1	-15,4	-5,1	1
H 66a	-19,7	11,3	-14,9	-5,4	1
H 67 a	-19,9	11,1	-13,1	-6,4	1
H 72	-20,1	11,5	-15,5	-4,9	1
H 76	-20,2	11,2	-13,9	-5,8	1
H 105	-20,2	11,4	-11,6	-7,2	0
H 106a	-19,9	12,1	-14,8	-7,2	1
H 107	-19,9	12,8	-15,6	-8,6	1
H 154	-19,7	12,4	-14,8	-5,8	1
H 269	-19,6	13,1	-14,1	-7	1
H 270	-19,8	12,9	-15,6	-6,4	1
H 271	-19,6	11,7	-14,5	-7,7	1
H 274	-19,8	10,0	-13,6	-4,8	1
H 275	-19,9	10,3	-14,6	-5,9	1
H 276	-19,3	13,7	-14,5	-8,3	1
H K XII	-20,5	11,2	-14,8	-8,1	1
H 1902 Grube 56 I-IV	-19,3	12,0	-13,5	-6,8	1
H 1904 III/1	-19,7	11	-13,6	-7,0	1
H 1912 XIII/3	-20,1	12	-14,9	-6,0	1
H 1912 XIV.3	-20,2	11,4	-14,2	-6,5	1
H 1936 DIV	-19,9	11,0	-14,7	-6,1	1
H 1968 Sk 4	-20,0	10,0	-14,8	-6,9	1
H 1968 Sk 5	-21,8	9,7	-15,1	-5,9	0
H 1968 Sk 6	-20,8	10,0	-15,5	-6,4	1
H 12301 K I/1	-19,2	13,3	-15	-6,0	1
H 12370 K IX/6	-19,9	12,4	-13,3	-5,4	1
H 12640 K XIII/3	-19,8	11,7	-13,5	-7,5	1
H 12640 XIII/2	-20,1	11,2	-15,1	-5,6	1

Fortsetzung von Tabelle A16

Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
H Kammergrab III	-19,8	11,1	-15,3	-6,6	1
H unter Gr 10	-19,7	10,7	-14,1	-6,5	1
RM 2	-19,7	14,9	-13,5	-7,2	1
RM 5	-20,3	9,9	-14,0	-7,6	1
RM 8	-19,7	11,2	-14,2	-5,7	1
RM 9	-18,7	11,0	-15,4	-6,4	1
RM 11	-20,2	12,3	-14,4	-6,7	1
RM 12	-19,7	10,7	-15,3	-8,9	1
RM 14	-19,5	12,3	-14,4	-5,0	1
RM 17	-19,7	10,8	-14,9	-5,1	1
RM 21	-19,8	15,1	-14,2	-5,7	0
RM 23	-19,8	11,2	-13,8	-7,4	1
RM 28	-19,9	12,0	-15,4	-6,2	1
RM 29	-20,3	10,5	-12,9	-7,9	1
RM 31	-19,7	10,6	-15,6	-8,0	1
RM 32	-19,5	15,0	-13,8	-7,1	1
RM 38	-19,9	15,5	-13,9	-6,6	0
RM 41	-20,3	11,7	-14,9	-6,6	1
RM 42	-20,6	10,5	-14,5	-6,8	1
RM 52 a	-19,8	11,5	-14,7	-6,1	1
RM 54	-18,9	12,9	-15,3	-7,4	1
RM 57	-19,6	12,7	-16,0	-6,3	1
RM 58	-20,8	11,4	-15,5	-7,9	1
RM 60	-20,0	12,2	-14,3	-6,6	1
RM 68	-19,4	11,4	-14,9	-7,8	1
RM 76	-20,1	11,0	-14,8	-7,7	1
RM 78	-18,9	12,0	-15,4	-12,0	0

Fortsetzung von Tabelle A16

Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
RM 79	-20,1	10,9	-15,4	-6,9	1
RM 80	-19,3	13,3	-13,9	-7,6	1
RM 81	-19,9	12,5	-14,1	-5,3	1
RM 82	-19,8	10,4	-14,6	-6,4	1
RM 86	-19,2	13,1	-14,8	-7,9	1
RM 88	-19,9	12,5	-13,9	-5,3	1
RM 90	-19,6	14,4	-13,1	-5,4	0
RM 91	-19,1	11,6	-15,5	-8,3	1
RM 92	-18,8	12,9	-15,4	-8,1	1
RM 93	-19,7	10,7	-15,6	-8,3	1
RM 94	-20,2	9,8	-14,7	-8,6	1
RM 95	-19,1	12,5	-15,2	-8,4	1
RM 98	-19,8	11,4	-14,7	-7,2	1
RM 100	-19,4	11,8	-14,3	-7,9	1
RM 101	-19,3	12,5	-14,4	-7,0	1
RM 102	-19,4	10,5	-15,0	-6,4	1
RM 103	-19,5	13,5	-15,3	-6,9	1
RM 104	-20,4	14,7	-14,1	-6,8	0
RM 105	-19,2	11,8	-14,3	-7,5	1
RM 107	-19,2	11,9	-15,2	-8,2	1
RM 108	-19,7	15,5	-15,1	-8,7	0
RM 109	-20,0	10,2	-15,9	-7,7	1
RM 110	-19,1	12,9	-16,7	-7,9	1
RM 113	-19,3	12,9	-14,7	-7,4	1
RM 114	-19,8	15,4	-14,7	-5,6	0

Fortsetzung von Tabelle A16

Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
RM 115	-20,7	10,8	-15,2	-8,5	1
RM 116	-19,4	11,2	-14,7	-7,3	1
RM 117	-19,3	13,2	-15,4	-8,2	1
RM 118	-20,0	10,9	-14,9	-9,1	1
RM 120	-19,6	11,5	-15,2	-8,5	1
RM 125	-20,6	13,2	-15,5	-6,5	0
RM 131 a	-20,0	11,0	-14,3	-7,7	1
RM 134	-19,0	12,5	-14,0	-7,2	1
RM 135	-18,9	12,7	-14,3	-8,7	1
RM 136	-19,4	11,8	-14,5	-9,2	1
RM 137	-19,5	12,0	-14,9	-8,5	1
RM 138	-19,3	13,5	-15,4	-6,1	1
RM 139	-18,9	12,6	-14,9	-8,5	1
RM 140	-19,5	12,2	-13,9	-7,0	1
RM 141	-19,8	10,9	-14,6	-7,3	1
RM 142a	-17,7	12,7	-13,9	-8,1	0
RM 142b	-19,5	12,2	-13,8	-7,4	1
RM 143	-20,3	12,3	-15,4	-7,6	1
RM 144	-19,2	11,3	-14,2	-7,3	1
RM 145	-19,5	10,7	-15,5	-7,1	1
RM 146	-19,4	12,6	-15,2	-7,8	1
RM 147	-19,8	10,5	-14,1	-8,0	1
RM 150	-21,2	10,9	-16,4	-8,5	0
RM 154	-19,6	10,9	-14,2	-8,6	1
RM 155	-19,3	11,1	-14,2	-7,7	1

Fortsetzung von Tabelle A16

Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
RM 156	-19,4	12,0	-15,1	-9,5	1
RM 158	-19,6	10,3	-14,0	-7,6	1
RM 159	-19,2	11,3	-14,4	-7,4	1
RM 160	-19,6	11,5	-15,1	-7,8	1
RM 165	-19,1	14,3	-14,6	-8,6	1
RM 167	-19,8	12,1	-14,3	-7,1	1
RM 169	-18,8	12,6	-14,0	-6,6	1
RM 170	-19,2	11,5	-14,7	-9,2	1
RM 171	-19,4	12,1	-14,4	-7,6	1
RM 172	-19,3	12,1	-14,1	-7,7	1
RM 173	-19,8	11,7	-14,7	-7,7	1
RM 175	-18,9	12,7	-13,7	-8,5	1
RM 178	-19,5	11,9	-14,4	-7,9	1
RM 179	-19,7	11,6	-15,0	-8,0	1
RM 180	-18,7	13,1	-14,6	-8,5	1
RM 182	-19,6	12,0	-13,8	-7,9	1
RM 183	-19,9	12,6	-15,4	-8,6	1
RM 185	-20,2	11,7	-14,0	-6,8	1
RM 186	-18,1	13,9	-15,9	-10,2	0
RM 188	-20,1	12,5	-14,7	-6,9	1
RM 191	-19,2	12,1	-14,0	-7,4	1
RM 193	-19,0	12,0	-14,6	-6,8	1
RM 194	-21,3	12,9	-15,2	-9,3	1
RM 197	-18,9	13,0	-14,1	-8,8	1
RM 198	-20,0	11,7	-12,9	-8,1	1

Fortsetzung von Tabelle A16

Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
RM 200	-20,2	11,3	-15,7	-7,1	1
RM 202	-18,8	12,6	-15,3	-8,9	1
RM 203	-19,5	12,3	-14,7	-7,1	1
RM 205	-19,6	12,4	-14,3	-7,8	1
RM 207	-19,7	11,7	-14,9	-7,4	1
RM 208	-19,5	11,7	-14,9	-7,3	1
RM 210	-19,8	10,8	-15,0	-6,5	1
RM 212	-19,3	11,5	-14,4	-6,5	1
RM 213	-19,2	12,3	-14,5	-7,3	1
RM 214	-19,6	9,5	-15,0	-6,5	1
RM 215	-19,8	12,9	-14,6	-6,6	1
RM 219	-19,3	12,7	-12,8	-8,3	1
RM 221	-19,9	11,5	-13,7	-7,2	1
RM 226	-20,1	11,2	-14,3	-7,8	1
RM 230	-19,1	13,1	-14,8	-9,1	1
RM 232	-19,7	10,7	-15,6	-8,8	1
RM 233	-20,5	11,6	-14,5	-7,7	1
RM 234	-19,0	12,4	-14,4	-9,5	1
SC 5	-20,2	10,8	-13,8	-5,0	1
SC 19 b	-19,2	12,0	-13,8	-6,9	1
SC 21	-20,6	9,8	-13,8	-6,3	1
SC 53	-19,0	14,0	-14,5	-7,6	1
SC 57	-19,5	14,5	-14,1	-9,8	1
SC 58	-19,8	10,4	-14,2	-6,0	1
SC 59	-20,2	11,7	-15,5	-7,4	1

Fortsetzung von Tabelle A16

Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
SC 66	-20,3	10,5	-12,9	-5,7	1
SC 67	-19,7	12,4	-14,3	-7,5	1
SC 69	-19	12,2	-15,1	-9,4	1
SC 73	-19,9	10,7	-14,4	-6,9	1
SC 75	-19,6	12,0	-14,4	-8,6	1
SC 92	-17,2	14,3	-14	-6,3	0
SC 94	-19,7	11,7	-14,3	-6,1	1
SC 96	-19,1	12,5	-14,2	-6,3	1
SC 97	-20,5	11,0	-13,6	-5,9	1
SC 101	-20,4	10,0	-14,6	-10,0	1
SC 103	-19,2	11,9	-14,7	-5,7	1
SC 104	-19,6	11,9	-13,7	-7,1	1
SC 105	-19,6	11,1	-13,7	-5,9	1
SC 111	-19,2	12,0	-13,6	-7,0	1
SC 119	-19,5	11,2	-13,0	-6,8	1
SC 120	-19,7	11,4	-13,6	-5,7	1
SC 132	-18,8	15,3	-13,7	-8,1	0
SC 141	-19,9	10,9	-14,3	-8,6	1
SC 145	-19,5	11,0	-13,6	-6,5	1
SC 146	-19,9	11,0	-14,0	-7,6	1
SC 147	-19,2	12,9	-13,9	-6,1	1
SC 162	-19,2	11,6	-13,9	-8,4	1
SC 164	-19,2	12,5	-14,1	-7,9	1
SC 175	-19,5	11,0	-14,8	-7,6	1
SC 177	-19,2	11,0	-13,3	-6,8	1

Fortsetzung von Tabelle A16

Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
SC 179	-19,9	11,0	-13,7	-7,6	1
SC 193	-19,9	10,5	-14,7	-6,4	1
SC 197 a	-19,6	11,2	-13,6	-5,8	1
SC 198 a	-19,1	11,5	-13,9	-6,2	1
SC 198 b	-18,9	11,0	-13,7	-7,8	1
SC 206	-20,2	10,9	-14,5	-6,6	1
SC 213	-19,6	11,5	-14,2	-6,6	1
SC 214	-20,1	12,1	-14,9	-10,1	1
SC 222	-20,4	11,3	-15,0	-7,5	1
SC 225	-19,2	11,9	-14,3	-8,8	1
SC 226	-20,2	12,1	-15,4	-6,2	1
SC 228	-19,7	11,2	-13,8	-6,1	1
SC 229	-20,4	19,1	-14,2	-7,2	0
SC 232	-19,5	10,4	-14,1	-10,7	0
SC 237	-19,6	11,5	-14,7	-7,6	1
SC 270	-19,1	12,3	-14,4	-7,7	1
SC 273	-19,1	10,9	-15,1	-7,6	1

Tabelle A17: Multivariate Ausreißer-Detektion (0 = Ausreißer, 1 = kein Ausreißer) in Datensatz II der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig. Multivariate Ausreißer sind grau hinterlegt.

Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	Ausreißer
H 17	-19,9	10,4	-13,4	-5,0	11,9	1
H 64	-19,9	10,1	-15,4	-5,1	11,8	1
H 66a	-19,7	11,3	-14,9	-5,4	12,0	1
H 72	-20,1	11,5	-15,5	-4,9	10,1	1
H 105	-20,2	11,4	-11,6	-7,2	7,5	0
H 106a	-19,9	12,1	-14,8	-7,2	13,3	1
H 107	-19,9	12,8	-15,6	-8,6	6,1	1
H 270	-19,8	12,9	-15,6	-6,4	10,4	1
H 271	-19,6	11,7	-14,5	-7,7	4,4	1
H 274	-19,8	10,0	-13,6	-4,8	13,7	1
H 275	-19,9	10,3	-14,6	-5,9	12,5	1
H 1904 III/1	-19,7	11,0	-13,6	-7,0	11,5	1
H 1912 XIII/3	-20,1	12,0	-14,9	-6,0	11,3	1
H 1912 XIV.3	-20,2	11,4	-14,2	-6,5	10,3	1
H 1936 DIV	-19,9	11,0	-14,7	-6,1	5,1	0
H 12301 K I/1	-19,2	13,3	-15,0	-6,0	11,3	1
H 12370 K IX/6	-19,9	12,4	-13,3	-5,4	11,2	1
RM 12	-19,7	10,7	-15,3	-8,9	11,3	1
RM 23	-19,8	11,2	-13,8	-7,4	13,1	1
RM 57	-19,6	12,7	-16,0	-6,3	7,1	1
RM 60	-20,0	12,2	-14,3	-6,6	8,6	1
RM 76	-20,1	11,0	-14,8	-7,7	11,5	1
RM 86	-19,2	13,1	-14,8	-7,9	9,8	1
RM 93	-19,7	10,7	-15,6	-8,3	11,6	1
RM 94	-20,2	9,8	-14,7	-8,6	7,9	1
RM 103	-19,5	13,5	-15,3	-6,9	6,8	1
RM 105	-19,2	11,8	-14,3	-7,5	11,3	1
RM 107	-19,2	11,9	-15,2	-8,2	9,3	1
RM 109	-20,0	10,2	-15,9	-7,7	12,7	1
RM 110	-19,1	12,9	-16,7	-7,9	12,7	1
RM 115	-20,7	10,8	-15,2	-8,5	11,3	1
RM 116	-19,4	11,2	-14,7	-7,3	2,1	0
RM 137	-19,5	12,0	-14,9	-8,5	11,5	1

Fortsetzung von Tabelle A17

Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	Ausreißer
RM 139	-18,9	12,6	-14,9	-8,5	7,7	1
RM 140	-19,5	12,2	-13,9	-7,0	9,5	1
RM 141	-19,8	10,9	-14,6	-7,3	3,5	0
RM 142a	-17,7	12,7	-13,9	-8,1	9,3	0
RM 145	-19,5	10,7	-15,5	-7,1	11,4	1
RM 147	-19,8	10,5	-14,1	-8,0	11,7	1
RM 154	-19,6	10,9	-14,2	-8,6	11,2	1
RM 158	-19,6	10,3	-14,0	-7,6	5,8	1
RM 159	-19,2	11,3	-14,4	-7,4	10,2	1
RM 169	-18,8	12,6	-14,0	-6,6	12,8	1
RM 170	-19,2	11,5	-14,7	-9,2	10,3	1
RM 171	-19,4	12,1	-14,4	-7,6	9,6	1
RM 172	-19,3	12,1	-14,1	-7,7	11,0	1
RM 179	-19,7	11,6	-15,0	-8,0	11,3	1
RM 182	-19,6	12,0	-13,8	-7,9	2,6	0
RM 183	-19,9	12,6	-15,4	-8,6	8,9	1
RM 185	-20,2	11,7	-14,0	-6,8	7,2	1
RM 191	-19,2	12,1	-14,0	-7,4	10,3	1
RM 194	-21,3	12,9	-15,2	-9,3	6,6	0
RM 197	-18,9	13,0	-14,1	-8,8	11,1	1
RM 198	-20,0	11,7	-12,9	-8,1	12,3	1
RM 202	-18,8	12,6	-15,3	-8,9	12,6	1
RM 208	-19,5	11,7	-14,9	-7,3	11,1	1
RM 232	-19,7	10,7	-15,6	-8,8	8,1	1
SC 5	-20,2	10,8	-13,8	-5,0	7,8	0
SC 53	-19,0	14,0	-14,5	-7,6	10,3	1
SC 57	-19,5	14,5	-14,1	-9,8	8,8	0
SC 58	-19,8	10,4	-14,2	-6,0	13,8	1
SC 59	-20,2	11,7	-15,5	-7,4	7,0	1
SC 75	-19,6	12,0	-14,4	-8,6	11,7	1

Fortsetzung von Tabelle A17

Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	Ausreißer
SC 92	-17,2	14,3	-14,0	-6,3	12,7	0
SC 96	-19,1	12,5	-14,2	-6,3	11,7	1
SC 101	-20,4	10,0	-14,6	-10,0	13,2	1
SC 104	-19,6	11,9	-13,7	-7,1	4,2	0
SC 105	-19,6	11,1	-13,7	-5,9	14,0	1
SC 141	-19,9	10,9	-14,3	-8,6	12,1	1
SC 146	-19,9	11,0	-14,0	-7,6	12,0	1
SC 175	-19,5	11,0	-14,8	-7,6	12,4	1
SC 198 a	-19,1	11,5	-13,9	-6,2	11,3	1
SC 214	-20,1	12,1	-14,9	-10,1	11,6	1
SC 222	-20,4	11,3	-15,0	-7,5	12,1	1
SC 225	-19,2	11,9	-14,3	-8,8	11,3	1
SC 226	-20,2	12,1	-15,4	-6,2	12,2	1
SC 228	-19,7	11,2	-13,8	-6,1	12,2	1
SC 229	-20,4	19,1	-14,2	-7,2	12,2	0
SC 232	-19,5	10,4	-14,1	-10,7	11,9	1
SC 237	-19,6	11,5	-14,7	-7,6	12,3	1
SC 270	-19,1	12,3	-14,4	-7,7	12,4	1
SC 273	-19,1	10,9	-15,1	-7,6	9,7	1

Tabelle A18: Multivariate Ausreißer-Detektion (0 = Ausreißer, 1 = kein Ausreißer) in Datensatz III der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig. Multivariate Ausreißer sind grau hinterlegt.

Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	Ausreißer
RM 2	-19,7	14,9	-13,5	-7,2	18,0	1
RM 8	-19,7	11,2	-14,2	-5,7	17,6	1
RM 9	-18,7	11,0	-15,4	-6,4	18,0	1
RM 14	-19,5	12,3	-14,4	-5,0	17,7	1
RM 21	-19,8	15,1	-14,2	-5,7	16,4	1
RM 32	-19,5	15,0	-13,8	-7,1	17,2	1
RM 38	-19,9	15,5	-13,9	-6,6	17,1	1
RM 42	-20,6	10,5	-14,5	-6,8	17,3	1
RM 52 a	-19,8	11,5	-14,7	-6,1	16,4	1
RM 58	-20,8	11,4	-15,5	-7,9	17,7	1
RM 81	-19,9	12,5	-14,1	-5,3	17,5	1
RM 88	-19,9	12,5	-13,9	-5,3	17,1	1
RM 90	-19,6	14,4	-13,1	-5,4	17,8	1
RM 95	-19,1	12,5	-15,2	-8,4	16,2	1
RM 103	-19,5	13,5	-15,3	-6,9	17,3	1
RM 116	-19,4	11,2	-14,7	-7,3	17,8	1
RM 120	-19,6	11,5	-15,2	-8,5	18,4	1
RM 125	-20,6	13,2	-15,5	-6,5	17,8	1
RM 134	-19,0	12,5	-14,0	-7,2	17,7	1
RM 135	-18,9	12,7	-14,3	-8,7	16,6	1
RM 138	-19,3	13,5	-15,4	-6,1	16,8	1
RM 140	-19,5	12,2	-13,9	-7,0	16,5	1
RM 142a	-17,7	12,7	-13,9	-8,1	16,8	0
RM 145	-19,5	10,7	-15,5	-7,1	16,6	1
SC 5	-20,2	10,8	-13,8	-5,0	17,4	1
SC 92	-17,2	14,3	-14,0	-6,3	17,2	0
SC 101	-20,4	10,0	-14,6	-10,0	17,0	1
SC 105	-19,6	11,1	-13,7	-5,9	17,4	1
SC 119	-19,5	11,2	-13,0	-6,8	18,1	1
SC 120	-19,7	11,4	-13,6	-5,7	16,9	1
SC 132	-18,8	15,3	-13,7	-8,1	17,2	1

Fortsetzung von Tabelle A18

Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	Ausreißer
SC 193	-19,9	10,5	-14,7	-6,4	17,4	1
SC 232	-19,5	10,4	-14,1	-10,7	17,5	1

Tabelle A19: Multivariate Ausreißer-Detektion (0 = Ausreißer, 1 = kein Ausreißer) in Datensatz IV der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig. Multivariate Ausreißer sind grau hinterlegt.

Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Ausreißer
H 4	-20,2	11,2	-14,7	-6,2	0,71188	1
H 17	-19,9	10,4	-13,4	-5,0	0,71171	1
H 66a	-19,7	11,3	-14,9	-5,4	0,71182	1
H 72	-20,1	11,5	-15,5	-4,9	0,71181	1
H 105	-20,2	11,4	-11,6	-7,2	0,71118	0
H 106a	-19,9	12,1	-14,8	-7,2	0,71170	1
H 154	-19,7	12,4	-14,8	-5,8	0,71159	1
H 269	-19,6	13,1	-14,1	-7,0	0,71158	1
H 270	-19,8	12,9	-15,6	-6,4	0,71205	1
H 271	-19,6	11,7	-14,5	-7,7	0,71161	1
H 274	-19,8	10,0	-13,6	-4,8	0,71180	1
H 275	-19,9	10,3	-14,6	-5,9	0,71173	1
H 1902 Grube 56 I-IV	-19,3	12,0	-13,5	-6,8	0,71372	0
H 1904 III/1	-19,7	11,0	-13,6	-7,0	0,71132	1
H 1912 XIII/3	-20,1	12,0	-14,9	-6,0	0,71208	1
H 1912 XIV.3	-20,2	11,4	-14,2	-6,5	0,71183	1
H 1936 DIV	-19,9	11,0	-14,7	-6,1	0,71099	1
H 1968 Sk 4	-20,0	10,0	-14,8	-6,9	0,71162	1
H 1968 Sk 6	-20,8	10,0	-15,5	-6,4	0,71181	1
H 12301 K I/1	-19,2	13,3	-15,0	-6,0	0,71148	1
H 12370 K IX/6	-19,9	12,4	-13,3	-5,4	0,71163	1
H 12640 K XIII/3	-19,8	11,7	-13,5	-7,5	0,71160	1

Tabelle A20: Übersicht über die Variablen der vier Testdatensätze (T1 - T4) mit zugehöriger Stichprobenanzahl (n), sowie den jeweiligen Mittelwerten (μ) und Standardabweichungen (SD).

Testsets	Variablen	n	μ	SD
T1	A1	200	5	2
	B1	199	5	2
		1	20	-
T2	A2	199	5	2
		1	20	-
	B2	199	20	2
		1	20	-
	C2	100	5	2
		100	20	2
T3	A3	100	5	2
		100	10	2
		100	15	2
	B3	100	10	2
		100	20	2
		100	30	2
	C3	300	20	10
		100	5	2
T4	A4	200	20	2
		100	10	2
	B4	100	30	2
		100	60	2
	C4	300	20	2
		100	10	2

Tabelle A21: „Feature Ranking“- Ergebnisse (Minima und Maxima) der zehn zufälligen Stichproben für die Evaluationsdatensätze (A - H) bestehend aus unterschiedlichen prozentualen bzw. absoluten Anteilen von herbivoren, carnivoren und omnivoren, terrestrischen Säugern (vgl. Tabelle 8). 1 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, 2 = $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, 3 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, 4 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$.

Testdatensatz		„Feature Ranking“		
		1 Dim.	2 Dim.	3 Dim.
A	Minima	2	23	123/234
	Maxima	4	14	124
B	Minima	2	23	123
	Maxima	4	14	134
C	Minima	2	23	234
	Maxima	4	14	134
D	Minima	3	13/23	234
	Maxima	4	14	124
E	Minima	2	23	123
	Maxima	4	34	124
F	Minima	3	13/23	134
	Maxima	4	14	124
G	Minima	3	23	123/134
	Maxima	4	14	124
H	Minima	3	13/23	234
	Maxima	4	14	124

Tabelle A22: Multivariate Ausreißer-Detektion (0 = Ausreißer, 1 = kein Ausreißer) in Datensatz I der terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig. Multivariate Ausreißer sind grau hinterlegt.

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
Auerochse	Hb 47	-20,51	10,48	-10,94	-7,60	1
Auerochse	Hb 48	-21,82	4,03	-12,16	-8,95	1
Baumwürger	Hb 21	-19,84	8,20	-13,95	-8,23	1
Baumwürger	Hb 22	-19,90	8,63	-11,80	-8,16	1
Braunbär	Hb 17	-21,08	5,51	-15,25	-8,08	1
Damhirsch	S 6	-22,82	9,43	-11,52	-9,36	1
Eichhörnchen	Hb 7	-21,27	2,91	-14,64	-8,03	1
Elch	Hb 46	-21,50	4,86	-11,36	-7,01	1
Europäisches Reh	Hb 40	-24,00	5,38	-15,79	-10,06	1
Europäisches Reh	Hb 41	-21,95	4,42	-13,63	-8,92	1
Europäisches Reh	Hb 42	-22,67	4,82	-15,01	-8,31	1
Europäisches Reh	Hb 43	-22,41	3,70	-15,60	-7,51	1
Europäisches Reh	S 8	-21,94	4,58	-14,55	-9,48	1
Europäisches Reh	S 9	-21,73	3,07	-13,33	-9,63	1
Europäisches Reh	S 10	-22,14	5,43	-12,63	-8,98	1
Europäisches Reh	S 11	-20,07	8,33	-11,89	-7,97	1
Europäisches Reh	S 12	-22,78	4,28	-14,53	-8,50	1
Feldhase	Hb 1	-22,54	6,17	-12,45	-8,85	1
Feldhase	Hb 2	-21,20	3,80	-10,80	-8,22	1
Feldhase	Hb 3	-21,67	4,54	-9,76	-6,85	1
Feldhase	Hb 5	-22,15	4,02	-15,83	-8,36	1
Feldhase	S 24	-22,38	4,04	-11,30	-7,43	1
Feldhase	S 25	-22,78	5,32	-13,12	-10,04	1
Feldhase	S 26	-22,39	3,96	-13,59	-9,27	1
Feldhase	S 27	-22,45	3,89	-14,84	-7,82	1
Feldhase	S 28	-23,40	4,35	-15,14	-6,27	0
Hauskatze	Hb 103	-18,24	11,01	-12,15	-7,90	0
Hauskatze	Hb 104	-19,14	10,19	-14,88	-10,64	0
Hauskatze	Hb 105	-19,55	9,52	-13,13	-6,74	1
Hauskatze	Hb 106	-20,06	8,81	-15,07	-6,80	1
Hauskatze	Hb 107	-20,35	7,87	-12,89	-8,59	1
Hausschwein	Hb 63	-20,85	7,41	-10,44	-7,70	1
Hausschwein	Hb 64	-21,32	6,50	-10,85	-8,73	1

Fortsetzung von Tabelle A22

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
Hausschwein	Hb 65	-21,51	5,23	-11,07	-7,40	1
Hausschwein	Hb 66	-21,21	6,56	-10,59	-9,31	1
Hausschwein	Hb 67	-21,86	5,54	-11,92	-8,55	1
Hausschwein	Hb 68	-21,74	5,47	-11,80	-7,75	1
Hausschwein	Hb 69	-21,48	7,52	-11,02	-7,09	1
Hausschwein	Hb 70	-21,31	5,27	-10,71	-10,18	1
Hausschwein	Hb 71	-21,76	4,47	-11,30	-9,77	1
Hausschwein	Hb 72	-20,86	3,16	-10,55	-8,69	1
Hund	Hb 100	-19,21	10,75	-12,94	-7,23	1
Hund	Hb 101	-19,28	8,92	-14,21	-8,72	1
Hund	Hb 102	-18,32	9,16	-13,45	-7,75	1
Hund	Hb 93	-22,02	6,69	-12,22	-6,63	1
Hund	Hb 94	-20,60	6,92	-11,49	-7,27	1
Hund	Hb 95	-19,24	10,18	-13,02	-9,90	0
Hund	Hb 96	-18,53	9,84	-10,09	-9,05	0
Hund	Hb 97	-19,97	9,41	-12,29	-7,88	1
Hund	Hb 98	-21,37	9,66	-12,46	-9,09	1
Hund	Hb 99	-18,76	9,35	-10,58	-8,93	0
Pferd	Hb 83	-22,15	5,73	-11,00	-7,87	1
Pferd	Hb 84	-22,54	4,17	-11,47	-8,09	1
Pferd	Hb 85	-21,83	6,74	-11,84	-8,50	1
Pferd	Hb 86	-21,86	5,63	-10,86	-6,88	1
Pferd	Hb 87	-22,14	4,95	-12,11	-9,21	1
Pferd	Hb 88	-22,25	4,91	-14,51	-8,03	1
Pferd	Hb 89	-22,00	4,98	-13,17	-7,18	1
Pferd	Hb 90	-21,69	6,39	-14,35	-6,93	1
Pferd	Hb 91	-21,36	5,82	-12,98	-7,23	1
Pferd	Hb 92	-22,23	6,01	-13,87	-8,01	1
Rind	Hb 53	-21,46	4,39	-9,97	-7,14	1
Rind	Hb 54	-21,62	4,89	-10,62	-6,84	1

Fortsetzung von Tabelle A22

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
Rind	Hb 55	-22,48	6,69	-11,86	-7,07	1
Rind	Hb 56	-21,61	5,18	-10,51	-7,15	1
Rind	Hb 57	-21,67	5,53	-10,67	-6,43	1
Rind	Hb 58	-21,44	4,88	-9,98	-7,27	1
Rind	Hb 59	-21,67	4,98	-10,80	-6,88	1
Rind	Hb 60	-21,91	4,05	-9,90	-7,03	1
Rind	Hb 61	-21,28	4,58	-9,93	-7,44	1
Rind	Hb 62	-21,62	6,81	-11,20	-7,37	1
Rotfuchs	Hb 12	-20,59	10,24	-15,02	-6,42	0
Rotfuchs	Hb 13	-19,27	7,45	-12,97	-8,55	1
Rotfuchs	Hb 14	-21,87	8,09	-14,77	-7,62	1
Rotfuchs	Hb 15	-20,94	9,23	-15,06	-7,88	1
Rotfuchs	S 18	-19,89	10,09	-9,57	-6,20	1
Rotfuchs	S 19	-20,31	9,64	-13,33	-6,53	1
Rotfuchs	S 21	-20,57	8,95	-9,78	-4,80	1
Rotfuchs	S 22	-20,43	11,21	-12,35	-6,63	1
Rothirsch	Hb 35	-22,03	3,85	-11,36	-8,39	1
Rothirsch	Hb 36	-22,09	5,26	-14,08	-7,37	1
Rothirsch	Hb 38	-22,74	5,84	-13,03	-7,67	1
Rothirsch	Hb 39	-22,05	4,99	-12,28	-8,34	1
Rothirsch	S 1	-21,53	4,31	-13,10	-7,87	1
Rothirsch	S 2	-22,27	4,69	-14,09	-8,17	1
Rothirsch	S 3	-23,05	5,81	-15,19	-8,87	1
Rothirsch	S 4	-22,15	5,44	-14,32	-8,47	1
Rothirsch	S 5	-22,69	5,51	-14,65	-8,14	1
Schaf	Hb 73	-21,45	4,69	-10,11	-7,00	1
Schaf	Hb 74	-21,82	7,49	-12,06	-8,89	1
Schaf	Hb 75	-21,30	4,82	-9,79	-6,84	1
Schaf	Hb 76	-21,49	4,28	-10,09	-5,79	1

Fortsetzung von Tabelle A22

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
Schaf	Hb 77	-21,60	6,16	-9,49	-5,32	1
Schaf	Hb 78	-22,29	7,55	-11,30	-6,10	1
Schaf	Hb 79	-20,95	4,26	-10,65	-5,14	1
Wildkaninchen	S 29	-22,33	8,45	-11,77	-6,95	1
Wildkaninchen	S 30	-21,91	10,98	-10,47	-8,22	1
Wildschwein	Hb 31	-21,33	6,40	-10,47	-6,44	1
Wildschwein	Hb 32	-20,86	5,80	-10,59	-8,53	1
Wildschwein	Hb 33	-21,32	5,08	-13,93	-7,59	1
Wildschwein	S 13	-21,08	4,73	-13,95	-9,33	1
Wildschwein	S 14	-21,40	8,42	-15,77	-7,98	1
Wildschwein	S 15	-20,62	9,13	-12,70	-9,24	1
Wildschwein	S 16	-21,66	5,09	-14,32	-7,71	1
Wolf	Hb 10	-19,85	7,61	-11,07	-7,34	1
Wolf	Hb 11	-20,36	9,01	-12,00	-8,63	1

Tabelle A23: Ergebnisse der GMM-Clusteranalyse der terrestrischen Säuger (ohne multivariate Ausreißer, vgl. Tabelle A22) aus Haithabu und Schleswig für den normalisierten, vier-dimensionalen Datensatz I („1234“) verglichen mit dem normalisierten Datensatz I nach Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ („123“). Die Cluster sind gemäß ihrer Zuordnung im vier-dimensionalen Datensatz eingefärbt (Cluster 1: blau, Cluster 2: rot, Cluster 3: grün, Cluster 4: violett).

„123“			
Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
Auerochse Hb 47	Auerochse Hb 48	Braunbär Hb 17	Feldhase Hb 3
Baummarde Hb 21	Elch Hb 46	Eichhörnchen Hb 7	Rind Hb 53
Baummarde Hb 22	Feldhase Hb 1	Feldhase Hb 5	Rind Hb 58
Damhirsch S 6	Feldhase Hb 2	Feldhase S 25	Rind Hb 61
Haushund Hb 97	Feldhase S 24	Feldhase S 26	Schaf Hb 73
Haushund Hb 98	Haushund Hb 93	Feldhase S 27	Schaf Hb 75
Haushund Hb 100	Haushund Hb 94	Pferd Hb 88	Schaf Hb 76
Haushund Hb 101	Hausschwein Hb 63	Pferd Hb 89	
Haushund Hb 102	Hausschwein Hb 64	Pferd Hb 90	
Hauskatze Hb 105	Hausschwein Hb 65	Pferd Hb 91	
Hauskatze Hb 106	Hausschwein Hb 66	Pferd Hb 92	
Hauskatze Hb 107	Hausschwein Hb 67	Reh Hb 40	
Kaninchen S 29	Hausschwein Hb 68	Reh Hb 41	
Kaninchen S 30	Hausschwein Hb 69	Reh Hb 42	
Reh S 11	Hausschwein Hb 70	Reh Hb 43	
Rotfuchs Hb 13	Hausschwein Hb 71	Reh S 8	
Rotfuchs Hb 14	Hausschwein Hb 72	Reh S 9	
Rotfuchs Hb 15	Pferd Hb 83	Reh S 12	
Rotfuchs S 18	Pferd Hb 84	Rothirsch Hb 36	
Rotfuchs S 19	Pferd Hb 85	Rothirsch Hb 38	
Rotfuchs S 21	Pferd Hb 86	Rothirsch S 1	
Rotfuchs S 22	Pferd Hb 87	Rothirsch S 2	

Fortsetzung von Tabelle A23

„123“			
Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
Schaf Hb 74	Reh S 10	Rothirsch S 3	
Wildschwein S 14	Rind Hb 54	Rothirsch S 4	
Wildschwein S 15	Rind Hb 55	Rothirsch S 5	
Wolf Hb 10	Rind Hb 56	Wildschwein Hb 33	
Wolf Hb 11	Rind Hb 57	Wildschwein S 13	
	Rind Hb 59	Wildschwein S 16	
	Rind Hb 60		
	Rind Hb 62		
	Rothirsch Hb 35		
	Rothirsch Hb 39		
	Schaf Hb 77		
	Schaf Hb 78		
	Schaf Hb 79		
	Wildschwein Hb 31		
	Wildschwein Hb 32		

Tabelle A24: Multivariate Ausreißer-Detektion (0 = Ausreißer, 1 = kein Ausreißer) in Datensatz III der terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig. Multivariate Ausreißer sind grau hinterlegt.

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	Ausreißer
Auerochse	Hb 47	-20,51	10,48	-10,94	-7,60	17,25	1
Auerochse	Hb 48	-21,82	4,03	-12,16	-8,95	17,78	1
Baummarker	Hb 21	-19,84	8,20	-13,95	-8,23	17,51	1
Baummarker	Hb 22	-19,90	8,63	-11,80	-8,16	16,63	1
Braunbär	Hb 17	-21,08	5,51	-15,25	-8,08	16,12	1
Damhirsch	S 6	-22,82	9,43	-11,52	-9,36	17,28	1
Eichhörnchen	Hb 7	-21,27	2,91	-14,64	-8,03	16,54	1
Elch	Hb 46	-21,50	4,86	-11,36	-7,01	17,64	1
Europäisches Reh	Hb 40	-24,00	5,38	-15,79	-10,06	16,57	1
Europäisches Reh	Hb 41	-21,95	4,42	-13,63	-8,92	16,79	1
Europäisches Reh	Hb 42	-22,67	4,82	-15,01	-8,31	16,41	1
Europäisches Reh	Hb 43	-22,41	3,70	-15,60	-7,51	16,91	1
Europäisches Reh	S 8	-21,94	4,58	-14,55	-9,48	16,47	1
Europäisches Reh	S 9	-21,73	3,07	-13,33	-9,63	16,40	1
Europäisches Reh	S 11	-20,07	8,33	-11,89	-7,97	16,69	1
Europäisches Reh	S 12	-22,78	4,28	-14,53	-8,50	16,65	1
Feldhase	Hb 1	-22,54	6,17	-12,45	-8,85	15,84	1
Feldhase	Hb 2	-21,20	3,80	-10,80	-8,22	17,04	1
Feldhase	Hb 3	-21,67	4,54	-9,76	-6,85	17,26	1
Feldhase	Hb 5	-22,15	4,02	-15,83	-8,36	16,47	1
Feldhase	S 24	-22,38	4,04	-11,30	-7,43	17,29	1
Feldhase	S 25	-22,78	5,32	-13,12	-10,04	16,67	1
Feldhase	S 26	-22,39	3,96	-13,59	-9,27	14,68	1
Feldhase	S 27	-22,45	3,89	-14,84	-7,82	15,63	1
Feldhase	S 28	-23,40	4,35	-15,14	-6,27	17,03	1
Hauskatze	Hb 103	-18,24	11,01	-12,15	-7,90	16,87	0
Hauskatze	Hb 104	-19,14	10,19	-14,88	-10,64	16,97	0
Hauskatze	Hb 105	-19,55	9,52	-13,13	-6,74	16,94	1
Hauskatze	Hb 106	-20,06	8,81	-15,07	-6,80	16,18	1
Hauskatze	Hb 107	-20,35	7,87	-12,89	-8,59	17,37	1
Hausschwein	Hb 63	-20,85	7,41	-10,44	-7,70	16,37	1
Hausschwein	Hb 65	-21,51	5,23	-11,07	-7,40	16,01	1
Hausschwein	Hb 66	-21,21	6,56	-10,59	-9,31	13,83	0
Hausschwein	Hb 67	-21,86	5,54	-11,92	-8,55	15,34	1
Hausschwein	Hb 68	-21,74	5,47	-11,80	-7,75	16,42	1
Hausschwein	Hb 69	-21,48	7,52	-11,02	-7,09	17,76	1
Hausschwein	Hb 70	-21,31	5,27	-10,71	-10,18	16,57	1
Hausschwein	Hb 71	-21,76	4,47	-11,30	-9,77	15,44	1

Fortsetzung von Tabelle A24

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	Ausreißer
Hausschwein	Hb 72	-20,86	3,16	-10,55	-8,69	15,18	1
Hund	Hb 100	-19,21	10,75	-12,94	-7,23	16,16	1
Hund	Hb 101	-19,28	8,92	-14,21	-8,72	16,34	1
Hund	Hb 102	-18,32	9,16	-13,45	-7,75	16,31	1
Hund	Hb 93	-22,02	6,69	-12,22	-6,63	17,52	1
Hund	Hb 94	-20,60	6,92	-11,49	-7,27	16,39	1
Hund	Hb 95	-19,24	10,18	-13,02	-9,90	15,78	0
Hund	Hb 96	-18,53	9,84	-10,09	-9,05	15,99	0
Hund	Hb 97	-19,97	9,41	-12,29	-7,88	16,03	1
Hund	Hb 98	-21,37	9,66	-12,46	-9,09	15,23	1
Hund	Hb 99	-18,76	9,35	-10,58	-8,93	16,91	0
Pferd	Hb 83	-22,15	5,73	-11,00	-7,87	16,85	1
Pferd	Hb 84	-22,54	4,17	-11,47	-8,09	16,03	1
Pferd	Hb 85	-21,83	6,74	-11,84	-8,50	17,05	1
Pferd	Hb 86	-21,86	5,63	-10,86	-6,88	17,41	1
Pferd	Hb 87	-22,14	4,95	-12,11	-9,21	16,49	1
Pferd	Hb 88	-22,25	4,91	-14,51	-8,03	16,71	1
Pferd	Hb 89	-22,00	4,98	-13,17	-7,18	17,20	1
Pferd	Hb 90	-21,69	6,39	-14,35	-6,93	17,44	1
Pferd	Hb 91	-21,36	5,82	-12,98	-7,23	18,53	1
Pferd	Hb 92	-22,23	6,01	-13,87	-8,01	15,77	1
Rind	Hb 53	-21,46	4,39	-9,97	-7,14	16,71	1
Rind	Hb 54	-21,62	4,89	-10,62	-6,84	16,88	1
Rind	Hb 55	-22,48	6,69	-11,86	-7,07	17,18	1
Rind	Hb 56	-21,61	5,18	-10,51	-7,15	17,07	1
Rind	Hb 57	-21,67	5,53	-10,67	-6,43	18,14	1
Rind	Hb 58	-21,44	4,88	-9,98	-7,27	17,66	1
Rind	Hb 59	-21,67	4,98	-10,80	-6,88	17,51	1
Rind	Hb 60	-21,91	4,05	-9,90	-7,03	17,62	1
Rind	Hb 61	-21,28	4,58	-9,93	-7,44	17,13	1
Rind	Hb 62	-21,62	6,81	-11,20	-7,37	17,18	1
Rotfuchs	Hb 12	-20,59	10,24	-15,02	-6,42	16,21	0
Rotfuchs	Hb 13	-19,27	7,45	-12,97	-8,55	16,10	1
Rotfuchs	Hb 14	-21,87	8,09	-14,77	-7,62	16,51	1

Fortsetzung von Tabelle A24

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	Ausreißer
Rotfuchs	Hb 15	-20,94	9,23	-15,06	-7,88	16,38	1
Rotfuchs	S 18	-19,89	10,09	-9,57	-6,20	17,96	1
Rotfuchs	S 19	-20,31	9,64	-13,33	-6,53	17,28	1
Rotfuchs	S 21	-20,57	8,95	-9,78	-4,80	18,40	1
Rotfuchs	S 22	-20,43	11,21	-12,35	-6,63	16,41	1
Rothirsch	Hb 35	-22,03	3,85	-11,36	-8,39	17,60	1
Rothirsch	Hb 36	-22,09	5,26	-14,08	-7,37	16,71	1
Rothirsch	Hb 38	-22,74	5,84	-13,03	-7,67	16,38	1
Rothirsch	Hb 39	-22,05	4,99	-12,28	-8,34	16,54	1
Rothirsch	S 1	-21,53	4,31	-13,10	-7,87	17,41	1
Rothirsch	S 2	-22,27	4,69	-14,09	-8,17	17,03	1
Rothirsch	S 3	-23,05	5,81	-15,19	-8,87	16,53	1
Rothirsch	S 5	-22,69	5,51	-14,65	-8,14	17,32	1
Schaf	Hb 73	-21,45	4,69	-10,11	-7,00	19,73	0
Schaf	Hb 74	-21,82	7,49	-12,06	-8,89	16,68	1
Schaf	Hb 76	-21,49	4,28	-10,09	-5,79	19,72	0
Schaf	Hb 77	-21,60	6,16	-9,49	-5,32	19,64	0
Schaf	Hb 78	-22,29	7,55	-11,30	-6,10	18,32	1
Schaf	Hb 79	-20,95	4,26	-10,65	-5,14	17,92	1
Wildkaninchen	S 29	-22,33	8,45	-11,77	-6,95	16,64	1
Wildkaninchen	S 30	-21,91	10,98	-10,47	-8,22	16,52	1
Wildschwein	Hb 31	-21,33	6,40	-10,47	-6,44	16,44	1
Wildschwein	Hb 32	-20,86	5,80	-10,59	-8,53	16,30	1
Wildschwein	Hb 33	-21,32	5,08	-13,93	-7,59	15,78	1
Wildschwein	S 13	-21,08	4,73	-13,95	-9,33	15,27	1
Wildschwein	S 14	-21,40	8,42	-15,77	-7,98	16,01	1
Wildschwein	S 16	-21,66	5,09	-14,32	-7,71	15,60	1
Wolf	Hb 10	-19,85	7,61	-11,07	-7,34	16,32	1
Wolf	Hb 11	-20,36	9,01	-12,00	-8,63	16,08	1

Tabelle A25: Ergebnisse der GMM-Clusteranalyse der terrestrischen Säuger (ohne multivariate Ausreißer, vgl. Tabelle A24) aus Haithabu und Schleswig für den normalisierten, fünf-dimensionalen Datensatz III („12345“) verglichen mit dem normalisierten Datensatz III nach Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ („1235“). Die Cluster sind gemäß ihrer Zuordnung im fünf-dimensionalen Datensatz eingefärbt (Cluster 1: blau, Cluster 2: rot, Cluster 3: grün, Cluster 4: violett).

„1235“		
Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Auerochse Hb 47	Auerochse Hb 48	Braunbär Hb 17
Baummarder Hb 21	Damhirsch S 6	Eichhörnchen Hb 7
Baummarder Hb 22	Elch Hb 46	Feldhase Hb 1
Haushund Hb 97	Feldhase Hb 2	Feldhase Hb 5
Haushund Hb 98	Feldhase Hb 3	Feldhase S 25
Haushund Hb 100	Feldhase S 24	Feldhase S 26
Haushund Hb 101	Haushund Hb 93	Feldhase S 27
Haushund Hb 102	Haushund Hb 94	Feldhase S 28
Hauskatze Hb 105	Hausschwein Hb 63	Pferd Hb 88
Hauskatze Hb 106	Hausschwein Hb 65	Pferd Hb 89
Hauskatze Hb 107	Hausschwein Hb 67	Pferd Hb 90
Kaninchen S 30	Hausschwein Hb 68	Pferd Hb 92
Reh S 11	Hausschwein Hb 69	Reh Hb 40
Rotfuchs Hb 13	Hausschwein Hb 70	Reh Hb 41
Rotfuchs Hb 15	Hausschwein Hb 71	Reh Hb 42
Rotfuchs S 18	Hausschwein Hb 72	Reh Hb 43
Rotfuchs S 19	Kaninchen S 29	Reh S 8
Rotfuchs S 21	Pferd Hb 83	Reh S 9
Rotfuchs S 22	Pferd Hb 84	Reh S 12
Wolf Hb 10	Pferd Hb 85	Rotfuchs Hb 14

Fortsetzung von Tabelle A25

„1235“		
Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Wolf Hb 11	Pferd Hb 86	Rothirsch Hb 36
	Pferd Hb 87	Rothirsch Hb 38
	Pferd Hb 91	Rothirsch S 2
	Rind Hb 53	Rothirsch S 3
	Rind Hb 54	Rothirsch S 5
	Rind Hb 55	Wildschwein Hb 33
	Rind Hb 56	Wildschwein S 13
	Rind Hb 57	Wildschwein S 14
	Rind Hb 58	Wildschwein S 16
	Rind Hb 59	
	Rind Hb 60	
	Rind Hb 61	
	Rind Hb 62	
	Rothirsch Hb 35	
	Rothirsch Hb 39	
	Rothirsch S 1	
	Schaf Hb 74	
	Schaf Hb 78	

Fortsetzung von Tabelle A25

„1235“		
Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
	Schaf Hb 79	
	Wildschwein Hb 31	
	Wildschwein Hb 32	

Tabelle A26: Multivariate Ausreißer-Detektion (0 = Ausreißer, 1 = kein Ausreißer) in Datensatz I der terrestrischen, herbivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig. Multivariate Ausreißer sind grau hinterlegt.

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
Auerochse	Hb 47	-20,51	10,48	-10,94	-7,60	0
Auerochse	Hb 48	-21,82	4,03	-12,16	-8,95	1
Damhirsch	S 6	-22,82	9,43	-11,52	-9,36	0
Eichhörnchen	Hb 7	-21,27	2,91	-14,64	-8,03	1
Elch	Hb 46	-21,50	4,86	-11,36	-7,01	1
Europäisches Reh	Hb 40	-24,00	5,38	-15,79	-10,06	1
Europäisches Reh	Hb 41	-21,95	4,42	-13,63	-8,92	1
Europäisches Reh	Hb 42	-22,67	4,82	-15,01	-8,31	1
Europäisches Reh	Hb 43	-22,41	3,70	-15,60	-7,51	1
Europäisches Reh	S 8	-21,94	4,58	-14,55	-9,48	1
Europäisches Reh	S 9	-21,73	3,07	-13,33	-9,63	1
Europäisches Reh	S 10	-22,14	5,43	-12,63	-8,98	1
Europäisches Reh	S 11	-20,07	8,33	-11,89	-7,97	0
Europäisches Reh	S 12	-22,78	4,28	-14,53	-8,50	1
Feldhase	Hb 1	-22,54	6,17	-12,45	-8,85	1
Feldhase	Hb 2	-21,20	3,80	-10,80	-8,22	1
Feldhase	Hb 3	-21,67	4,54	-9,76	-6,85	1
Feldhase	Hb 5	-22,15	4,02	-15,83	-8,36	1
Feldhase	S 24	-22,38	4,04	-11,30	-7,43	1

Fortsetzung von Tabelle A26

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
Feldhase	S 25	-22,78	5,32	-13,12	-10,04	1
Feldhase	S 26	-22,39	3,96	-13,59	-9,27	1
Feldhase	S 27	-22,45	3,89	-14,84	-7,82	1
Feldhase	S 28	-23,40	4,35	-15,14	-6,27	0
Pferd	Hb 83	-22,15	5,73	-11,00	-7,87	1
Pferd	Hb 84	-22,54	4,17	-11,47	-8,09	1
Pferd	Hb 85	-21,83	6,74	-11,84	-8,50	1
Pferd	Hb 86	-21,86	5,63	-10,86	-6,88	1
Pferd	Hb 87	-22,14	4,95	-12,11	-9,21	1
Pferd	Hb 88	-22,25	4,91	-14,51	-8,03	1
Pferd	Hb 89	-22,00	4,98	-13,17	-7,18	1
Pferd	Hb 90	-21,69	6,39	-14,35	-6,93	1
Pferd	Hb 91	-21,36	5,82	-12,98	-7,23	1
Pferd	Hb 92	-22,23	6,01	-13,87	-8,01	1
Rind	Hb 53	-21,46	4,39	-9,97	-7,14	1
Rind	Hb 54	-21,62	4,89	-10,62	-6,84	1
Rind	Hb 55	-22,48	6,69	-11,86	-7,07	1
Rind	Hb 56	-21,61	5,18	-10,51	-7,15	1
Rind	Hb 57	-21,67	5,53	-10,67	-6,43	1
Rind	Hb 58	-21,44	4,88	-9,98	-7,27	1
Rind	Hb 59	-21,67	4,98	-10,80	-6,88	1
Rind	Hb 60	-21,91	4,05	-9,90	-7,03	1
Rind	Hb 61	-21,28	4,58	-9,93	-7,44	1
Rind	Hb 62	-21,62	6,81	-11,20	-7,37	1
Rothirsch	Hb 35	-22,03	3,85	-11,36	-8,39	1
Rothirsch	Hb 36	-22,09	5,26	-14,08	-7,37	1
Rothirsch	Hb 38	-22,74	5,84	-13,03	-7,67	1
Rothirsch	Hb 39	-22,05	4,99	-12,28	-8,34	1
Rothirsch	S 1	-21,53	4,31	-13,10	-7,87	1

Fortsetzung von Tabelle A26

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
Rothirsch	S 2	-22,27	4,69	-14,09	-8,17	1
Rothirsch	S 3	-23,05	5,81	-15,19	-8,87	1
Rothirsch	S 4	-22,15	5,44	-14,32	-8,47	1
Rothirsch	S 5	-22,69	5,51	-14,65	-8,14	1
Schaf	Hb 73	-21,45	4,69	-10,11	-7,00	1
Schaf	Hb 74	-21,82	7,49	-12,06	-8,89	1
Schaf	Hb 75	-21,30	4,82	-9,79	-6,84	1
Schaf	Hb 76	-21,49	4,28	-10,09	-5,79	1
Schaf	Hb 77	-21,60	6,16	-9,49	-5,32	1
Schaf	Hb 78	-22,29	7,55	-11,30	-6,10	1
Schaf	Hb 79	-20,95	4,26	-10,65	-5,14	1
Wildkaninchen	S 29	-22,33	8,45	-11,77	-6,95	0
Wildkaninchen	S 30	-21,91	10,98	-10,47	-8,22	0

Tabelle A27: Ergebnisse der GMM-Clusteranalyse der terrestrischen, herbivoren Säuger (ohne multivariate Ausreißer, vgl. Tabelle A26) aus Haithabu und Schleswig für den normalisierten, vier-dimensionalen Datensatz I („1234“) verglichen mit dem normalisierten Datensatz I nach Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ („123“). Die Cluster sind gemäß ihrer Zuordnung im vier-dimensionalen Datensatz eingefärbt (Cluster 1: blau, Cluster 2: rot, Cluster 3: grün).

„123“	
Cluster 1	Cluster 2
Auerochse Hb 48	Pferd Hb 86
Eichhörnchen Hb 7	Rind Hb 53
Elch Hb 46	Rind Hb 54
Feldhase Hb 1	Rind Hb 56
Feldhase Hb 2	Rind Hb 57
Feldhase Hb 3	Rind Hb 58
Feldhase Hb 5	Rind Hb 59
Feldhase S 24	Rind Hb 61
Feldhase S 25	Schaf Hb 73
Feldhase S 26	Schaf Hb 75
Feldhase S 27	Schaf Hb 76
Pferd Hb 83	
Pferd Hb 84	
Pferd Hb 85	
Pferd Hb 87	
Pferd Hb 88	
Pferd Hb 89	
Pferd Hb 90	
Pferd Hb 91	
Pferd Hb 92	
Reh Hb 40	
Reh Hb 41	
Reh Hb 42	
Reh Hb 43	

Fortsetzung von Tabelle A27

„123“	
Cluster 1	Cluster 2
Reh S 8	
Reh S 9	
Reh S 10	
Reh S 12	
Rind Hb 55	
Rind Hb 60	
Rind Hb 62	
Rothirsch Hb 35	
Rothirsch Hb 36	
Rothirsch Hb 38	
Rothirsch Hb 39	
Rothirsch S 1	
Rothirsch S 2	
Rothirsch S 3	
Rothirsch S 4	
Rothirsch S 5	
Schaf Hb 74	
Schaf Hb 77	
Schaf Hb 78	
Schaf Hb 79	

Tabelle A28: Multivariate Ausreißer-Detektion (0 = Ausreißer, 1 = kein Ausreißer) in Datensatz III der terrestrischen, herbivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig. Multivariate Ausreißer sind grau hinterlegt.

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	Ausreißer
Auerochse	Hb 47	-20,51	10,48	-10,94	-7,60	17,249	0
Auerochse	Hb 48	-21,82	4,03	-12,16	-8,95	17,781	1
Damhirsch	S 6	-22,82	9,43	-11,52	-9,36	17,281	0
Eichhörnchen	Hb 7	-21,27	2,91	-14,64	-8,03	16,536	1
Elch	Hb 46	-21,50	4,86	-11,36	-7,01	17,642	1
Europäisches Reh	Hb 40	-24,00	5,38	-15,79	-10,06	16,568	1
Europäisches Reh	Hb 41	-21,95	4,42	-13,63	-8,92	16,791	1
Europäisches Reh	Hb 42	-22,67	4,82	-15,01	-8,31	16,412	1
Europäisches Reh	Hb 43	-22,41	3,70	-15,60	-7,51	16,913	1
Europäisches Reh	S 8	-21,94	4,58	-14,55	-9,48	16,470	1
Europäisches Reh	S 9	-21,73	3,07	-13,33	-9,63	16,400	1
Europäisches Reh	S 11	-20,07	8,33	-11,89	-7,97	16,693	0
Europäisches Reh	S 12	-22,78	4,28	-14,53	-8,50	16,648	1
Feldhase	Hb 1	-22,54	6,17	-12,45	-8,85	15,842	1
Feldhase	Hb 2	-21,20	3,80	-10,80	-8,22	17,040	1
Feldhase	Hb 3	-21,67	4,54	-9,76	-6,85	17,263	1
Feldhase	Hb 5	-22,15	4,02	-15,83	-8,36	16,470	1
Feldhase	S 24	-22,38	4,04	-11,30	-7,43	17,291	1
Feldhase	S 25	-22,78	5,32	-13,12	-10,04	16,670	1
Feldhase	S 26	-22,39	3,96	-13,59	-9,27	14,680	1
Feldhase	S 27	-22,45	3,89	-14,84	-7,82	15,629	1
Feldhase	S 28	-23,40	4,35	-15,14	-6,27	17,032	0
Pferd	Hb 83	-22,15	5,73	-11,00	-7,87	16,847	1
Pferd	Hb 84	-22,54	4,17	-11,47	-8,09	16,028	1
Pferd	Hb 85	-21,83	6,74	-11,84	-8,50	17,050	1
Pferd	Hb 86	-21,86	5,63	-10,86	-6,88	17,411	1
Pferd	Hb 87	-22,14	4,95	-12,11	-9,21	16,491	1
Pferd	Hb 88	-22,25	4,91	-14,51	-8,03	16,710	1
Pferd	Hb 89	-22,00	4,98	-13,17	-7,18	17,201	1
Pferd	Hb 90	-21,69	6,39	-14,35	-6,93	17,440	1
Pferd	Hb 91	-21,36	5,82	-12,98	-7,23	18,534	1
Pferd	Hb 92	-22,23	6,01	-13,87	-8,01	15,770	1
Rind	Hb 53	-21,46	4,39	-9,97	-7,14	16,708	1
Rind	Hb 54	-21,62	4,89	-10,62	-6,84	16,878	1
Rind	Hb 55	-22,48	6,69	-11,86	-7,07	17,183	1
Rind	Hb 56	-21,61	5,18	-10,51	-7,15	17,069	1
Rind	Hb 57	-21,67	5,53	-10,67	-6,43	18,139	1
Rind	Hb 58	-21,44	4,88	-9,98	-7,27	17,660	1

Fortsetzung von Tabelle A28

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	Ausreißer
Rind	Hb 59	-21,67	4,98	-10,80	-6,88	17,511	1
Rind	Hb 60	-21,91	4,05	-9,90	-7,03	17,619	1
Rind	Hb 61	-21,28	4,58	-9,93	-7,44	17,128	1
Rind	Hb 62	-21,62	6,81	-11,20	-7,37	17,181	1
Rothirsch	Hb 35	-22,03	3,85	-11,36	-8,39	17,597	1
Rothirsch	Hb 36	-22,09	5,26	-14,08	-7,37	16,707	1
Rothirsch	Hb 38	-22,74	5,84	-13,03	-7,67	16,379	1
Rothirsch	Hb 39	-22,05	4,99	-12,28	-8,34	16,544	1
Rothirsch	S 1	-21,53	4,31	-13,10	-7,87	17,410	1
Rothirsch	S 2	-22,27	4,69	-14,09	-8,17	17,026	1
Rothirsch	S 3	-23,05	5,81	-15,19	-8,87	16,530	1
Rothirsch	S 5	-22,69	5,51	-14,65	-8,14	17,317	1
Schaf	Hb 73	-21,45	4,69	-10,11	-7,00	19,734	0
Schaf	Hb 74	-21,82	7,49	-12,06	-8,89	16,675	1
Schaf	Hb 76	-21,49	4,28	-10,09	-5,79	19,720	0
Schaf	Hb 77	-21,60	6,16	-9,49	-5,32	19,637	0
Schaf	Hb 78	-22,29	7,55	-11,30	-6,10	18,324	1
Schaf	Hb 79	-20,95	4,26	-10,65	-5,14	17,920	1
Wildkaninchen	S 29	-22,33	8,45	-11,77	-6,95	16,638	0
Wildkaninchen	S 30	-21,91	10,98	-10,47	-8,22	16,523	0

Tabelle A29: Ergebnisse der GMM-Clusteranalyse der terrestrischen, herbivoren Säuger (ohne multivariate Ausreißer, vgl. Tabelle A28) aus Haithabu und Schleswig für den normalisierten, fünf-dimensionalen Datensatz III („12345“) verglichen mit dem normalisierten Datensatz III nach Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ („1235“). Die Cluster sind gemäß ihrer Zuordnung im fünf-dimensionalen Datensatz eingefärbt (Cluster 1: blau, Cluster 2: rot, Cluster 3: grün).

„1235“		
Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Eichhörnchen Hb 7	Auerochse Hb 48	Pferd Hb 83
Feldhase Hb 1	Elch Hb 46	Pferd Hb 85
Feldhase Hb 5	Feldhase Hb 2	Pferd Hb 91
Feldhase S 25	Feldhase Hb 3	Rind Hb 55
Feldhase S 26	Feldhase S 24	Rind Hb 62
Feldhase S 27	Pferd Hb 86	Schaf Hb 74
Pferd Hb 84	Rind Hb 53	Schaf Hb 78
Pferd Hb 87	Rind Hb 54	
Pferd Hb 88	Rind Hb 56	
Pferd Hb 89	Rind Hb 57	
Pferd Hb 90	Rind Hb 58	
Pferd Hb 92	Rind Hb 59	
Reh Hb 40	Rind Hb 60	
Reh Hb 41	Rind Hb 61	
Reh Hb 42	Rothirsch Hb 35	
Reh Hb 43	Schaf Hb 79	
Reh S 12		
Reh S 8		
Reh S 9		
Rothirsch Hb 38		
Rothirsch Hb 36		
Rothirsch Hb 39		
Rothirsch S 1		

Fortsetzung von Tabelle A29

„1235“		
Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Rothirsch S 2		
Rothirsch S 3		
Rothirsch S 5		

Tabelle A30: Multivariate Ausreißer-Detektion (0 = Ausreißer, 1 = kein Ausreißer) in Datensatz I der Fische aus Haithabu und Schleswig. Es liegen keine multivariaten Ausreißer vor.

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
Brachse	35 B2Op	-27,73	6,02	-0,64	-13,04	1
Brachse	36 B3Pop	-25,07	6,17	-1,66	-11,68	1
Brachse	37 B4Pop	-22,41	5,38	-1,60	-12,01	1
Brachse	38 B5C	-27,37	10,72	-4,46	-15,07	1
Dorsch	1 D1V	-16,06	13,68	-1,82	-13,20	1
Dorsch	3 D3V	-16,21	15,89	-1,30	-3,76	1
Dorsch	4 D4V	-14,74	15,57	-0,21	-3,90	1
Dorsch	5 D5V	-15,94	17,37	-0,38	-3,99	1
Dorsch	40 D2V	-15,29	11,99	-0,32	-4,00	1
Dorsch	42 D4V	-15,64	12,24	2,18	-13,38	1
Flussbarsch	6 FB1C	-13,01	9,02	0,54	-9,14	1
Flussbarsch	7 FB2C	-16,21	10,35	-0,83	-8,03	1
Flussbarsch	8 FB3C	-23,95	9,71	-7,20	-9,35	1
Flussbarsch	9 FB4C	-13,45	11,30	-0,65	-8,73	1
Flussbarsch	44 FB1C	-15,88	12,23	1,45	-7,10	1
Flussbarsch	45 FB2C	-11,66	10,85	3,53	-6,73	1
Flussbarsch	46 FB3Op	-15,72	15,28	3,37	-11,03	1
Flussbarsch	47 FB4Pop	-11,50	11,69	3,45	-13,10	1
Flussbarsch	48 FB5Pop	-17,22	12,32	-3,58	-10,96	1

Fortsetzung von Tabelle A30

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
Hecht	10 H1C	-18,62	13,38	-4,25	-9,01	1
Hecht	11 H2C	-25,66	10,77	-7,53	-11,54	1
Hecht	12 H3C	-24,66	10,25	-7,20	-9,64	1
Hecht	13 H4C	-22,23	11,63	-6,77	-9,36	1
Hecht	14 H5C	-16,32	14,43	-3,28	-6,51	1
Hecht	49 H1C	-22,40	11,52	-6,23	-12,49	1
Hecht	51 H3C	-22,38	5,40	-6,89	-12,80	1
Hecht	52 H4C	-20,16	9,65	-3,20	-12,49	1
Hecht	53 H5De	-24,31	8,02	-5,51	-13,82	1
Hornhecht	54 HH1De	-13,47	11,52	2,12	-5,07	1
Hornhecht	58 HH5De	-14,31	7,62	-1,84	-7,45	1
Schellfisch	59 SF1C	-15,95	13,29	1,37	-4,86	1
Schellfisch	60 SF2C	-15,93	12,91	-0,03	-10,23	1
Schellfisch	61 SF3C	-14,90	11,99	4,10	-11,61	1
Schellfisch	63 SF5C	-16,09	14,98	4,06	-15,06	1
Schleie	64 SLOp	-24,79	6,34	-3,23	-14,49	1
Scholle	65 SOC	-14,90	10,70	2,77	-14,74	1
Stör	66 ST1Rü	-13,52	12,80	3,29	-12,39	1
Stör	67 ST2Rü	-14,27	12,91	3,73	-7,58	1
Stör	67 ST5Rü	-13,73	13,52	4,80	-6,27	1
Stör	68 ST3Rü	-14,93	12,89	0,27	-5,33	1
Stör	69 ST4Rü	-13,72	13,18	-0,91	-6,41	1
Zander	15 Z1C	-22,67	9,67	-7,93	-10,22	1
Zander	16 Z2C	-19,96	10,29	-6,67	-10,41	1
Zander	17 Z3C	-20,99	11,48	-6,46	-14,55	1
Zander	18 Z4C	-22,94	10,58	-6,43	-13,94	1
Zander	19 Z5C	-22,21	10,17	-7,07	-9,58	1

Tabelle A31: Ergebnisse der GMM-Clusteranalyse der Fische aus Haithabu und Schleswig für den normalisierten, vier-dimensionalen Datensatz I („1234“) verglichen mit dem normalisierten Datensatz I nach Entfernen von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ („134“). Die Cluster sind gemäß ihrer Zuordnung im vier-dimensionalen Datensatz eingefärbt (Cluster 1: blau, Cluster 2: rot).

„134“	
Cluster 1	Cluster 2
Barsch 44FB1C	Barsch 48FB5Pop
Barsch 45FB2C	Barsch 8FB3C
Barsch 46FB3Op	Brachse 35B2Op
Barsch 47FB4Pop	Brachse 36B3Pop
Barsch 6FB1C	Brachse 37B4Pop
Barsch 7FB2C	Brachse 38B5C
Barsch 9FB4C	Hecht 10H1C
Dorsch 1D1V	Hecht 11H2C
Dorsch 3D3V	Hecht 12H3C
Dorsch 42D4V	Hecht 13H4C
Dorsch 4D4V	Hecht 49H1C
Dorsch 5D5V	Hecht 51H3C
Dorsch KS40	Hecht 52H4C
Hecht 14H5C	Hecht 53H5De
Hornhecht 54HH1De	Schleie 64SLOp
Hornhecht 58HH5De	Zander 15Z1C
Schellfisch 59SF1C	Zander 16Z2C
Schellfisch 60SF2C	Zander 17Z3C
Schellfisch 61SF3C	Zander 18Z4C
Schellfisch 63SF5C	Zander 19Z5C
Scholle 65SOC	
Stör 66ST1Rü	

Fortsetzung von Tabelle A31

„134“	
Cluster 1	Cluster 2
Stör 67ST2Rü	
Stör 67ST5Rü	
Stör 68ST3Rü	
Stör 69ST4Rü	

Tabelle A32: Ergebnisse der GMM-Clusteranalyse der Fische aus Haithabu und Schleswig für den nicht-normalisierten, vier-dimensionalen Datensatz I („1234“; vgl. Kapitel 5.1.2) verglichen mit dem normalisierten Datensatz I nach Entfernen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ („34“). Die Cluster sind gemäß ihrer Zuordnung im vier-dimensionalen Datensatz eingefärbt (Cluster 1: blau, Cluster 2: rot, Cluster 3: grün, Cluster 4: violett).

„34“			
Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
Barsch 44FB1C	Barsch 48FB5Pop	Barsch 46FB3Op	Barsch 8FB3C
Barsch 45FB2C	Brachse 35B2Op	Barsch 47FB4Pop	Hecht 12H3C
Barsch 6FB1C	Brachse 36B3Pop	Dorsch 42D4V	Hecht 13H4C
Barsch 7FB2C	Brachse 37B4Pop	Schellfisch 61SF3C	Zander 15Z1C
Barsch 9FB4C	Brachse 38B5C	Schellfisch 63SF5C	Zander 16Z2C
Dorsch 1D1V	Hecht 10H1C	Scholle 65SOC	Zander 19Z5C
Dorsch 3D3V	Hecht 11H2C	Stör 66ST1Rü	
Dorsch 4D4V	Hecht 49H1C		
Dorsch 5D5V	Hecht 51H3C		
Dorsch KS40	Hecht 52H4C		
Hecht 14H5C	Hecht 53H5De		
Hornhecht 54HH1De	Schleie 64SLOp		
Hornhecht 58HH5De	Zander 17Z3C		
Schellfisch 59SF1C	Zander 18Z4C		
Schellfisch 60SF2C			
Stör 67ST2Rü			
Stör 67ST5Rü			
Stör 68ST3Rü			
Stör 69ST4Rü			

Tabelle A33: Multivariate Ausreißer-Detektion (0 = Ausreißer, 1 = kein Ausreißer) in Datensatz I der Vögel aus Haithabu und Schleswig. Multivariate Ausreißer sind grau hinterlegt.

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
Aaskrähe	S 107	-19,73	10,70	-13,71	-6,53	1
Aaskrähe	S 108	-19,23	11,76	-8,39	-5,29	1
Aaskrähe	S 109	-20,87	9,57	-6,50	-12,15	1
Bergente	Hb 140	-20,71	8,91	-15,43	-12,74	1
Bergente	S 51	-25,42	6,01	-14,53	-16,37	0
Bergente	S 52	-14,78	9,56	-7,88	-7,38	1
Bergente	S 54	-21,25	7,98	-12,07	-8,91	1
Birkhuhn	113 BH1H	-21,19	5,76	-10,97	-5,67	1
Birkhuhn	114 BH2H	-20,75	6,34	-11,47	-5,89	1
Birkhuhn	117 BH5Cc	-21,24	4,46	-11,86	-6,73	1
Birkhuhn	S 97	-21,05	4,63	-12,27	-12,38	1
Blässgans	Hb 151	-22,56	8,94	-13,41	-6,80	1
Blässgans	Hb 152	-21,00	5,54	-12,64	-11,65	1
Brandgans	Hb 148	-20,75	11,68	-13,10	-11,95	1
Brandgans	Hb 149	-17,01	7,61	-9,31	-13,62	1
Brandgans	Hb 150	-19,21	11,13	-13,16	-6,36	1
Eiderente	79 EE3Tt	-17,08	9,03	-6,64	-8,38	1
Eiderente	Hb 146	-16,57	8,14	-12,48	-12,01	1
Eiderente	Hb 147	-17,10	8,62	-11,23	-9,14	1
Gänsesäger	120 GS3Tt	-17,09	15,21	-9,14	-8,22	1
Gänsesäger	121 GS4U	-14,98	13,90	-8,58	-8,01	1
Gänsesäger	S 76	-25,50	9,51	-12,86	-8,95	1
Gänsesäger	S 77	-12,67	13,03	-7,32	-7,68	1
Gänsesäger	S 78	-13,49	13,50	-6,37	-9,01	1
Gänsesäger	S 79	-20,75	12,05	-11,64	-6,79	1
Gänsesäger	S 80	-20,20	7,05	-10,65	-10,35	1
Habicht	122 HB1F	-20,78	11,29	-14,18	-8,24	1
Habicht	123 HB2F	-19,91	9,18	-11,40	-6,43	1

Fortsetzung von Tabelle A33

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
Habicht	124 HB3F	-20,27	6,60	-13,26	-7,27	1
Habicht	125 HB4F	-19,08	8,58	-12,48	-4,94	1
Habicht	126 HB5F	-19,98	10,18	-11,58	-6,87	1
Habicht	Hb 167	-21,89	8,86	-15,19	-7,91	1
Habicht	Hb 171	-19,95	8,67	-13,90	-7,50	1
Habicht	S 86	-19,23	11,86	-7,87	-6,41	1
Habicht	S 87	-20,07	10,08	-3,17	-4,50	1
Habicht	S 88	-20,60	8,28	-11,02	-4,83	1
Habicht	S 89	-20,38	6,52	-9,53	-6,82	1
Habicht	S 90	-19,16	9,26	-7,74	-6,20	1
Hausgans	Hb 108	-21,92	8,04	-13,88	-8,12	1
Hausgans	Hb 109	-22,24	7,88	-13,83	-6,81	1
Hausgans	Hb 110	-23,06	7,54	-15,85	-10,36	1
Hausgans	Hb 111	-23,07	10,28	-14,43	-6,04	1
Hausgans	Hb 112	-21,93	6,83	-11,77	-7,02	1
Hausgans	S 31	-22,05	6,51	-13,76	-8,30	1
Hausgans	S 32	-22,58	9,40	-13,95	-7,02	1
Hausgans	S 33	-23,20	9,11	-13,83	-6,55	1
Hausgans	S 34	-21,95	7,20	-14,11	-7,68	1
Hausgans	S 35	-22,79	9,99	-14,47	-6,84	1
Haushuhn	Hb 113	-20,54	10,08	-12,91	-8,13	1
Haushuhn	Hb 114	-20,41	7,84	-14,51	-7,47	1
Haushuhn	Hb 115	-20,21	11,04	-14,27	-7,92	1
Haushuhn	Hb 117	-21,49	8,01	-13,34	-6,97	1
Haushuhn	S 36	-20,84	7,12	-14,38	-11,22	1
Haushuhn	S 37	-20,99	8,56	-11,82	-9,29	1
Haushuhn	S 38	-20,46	9,15	-12,45	-6,58	1
Haushuhn	S 39	-21,67	9,12	-13,22	-10,18	1

Fortsetzung von Tabelle A33

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
Haushuhn	S 40	-21,15	7,12	-11,07	-7,15	1
Höckerschwan	Hb 159	-11,41	4,60	-3,68	-6,48	0
Höckerschwan	Hb 160	-20,86	12,13	-1,16	-7,13	1
Höckerschwan	Hb 161	-10,61	5,13	-4,30	-10,33	0
Kolkrabe	80 KRA1H	-16,12	13,72	-5,32	-6,51	1
Kolkrabe	81 KRA2H	-21,67	10,56	-11,42	-5,62	1
Kolkrabe	82 KRA3H	-20,83	9,74	-10,38	-6,21	1
Kolkrabe	83 KRA4H	-20,67	10,94	-12,37	-6,16	1
Kolkrabe	Hb 183	-20,20	11,28	-13,26	-11,15	1
Kolkrabe	Hb 184	-21,07	10,54	-12,30	-6,65	1
Kolkrabe	Hb 185	-19,66	12,73	-12,45	-11,54	1
Kormoran	86 K2H	-14,85	11,53	-7,37	-7,63	1
Kormoran	87 K3F	-14,29	12,38	-6,37	-6,51	1
Kormoran	88 K4Cc	-17,00	11,63	-8,59	-8,42	1
Kormoran	89 K5U	-14,34	12,18	-9,26	-6,97	1
Kormoran	Hb 118	-17,45	10,38	-10,62	-7,76	1
Kormoran	Hb 119	-13,21	11,44	-8,76	-5,25	1
Kormoran	Hb 120	-10,25	11,98	-3,43	-11,38	0
Kormoran	Hb 121	-12,85	11,83	-7,87	-7,37	1
Kormoran	Hb 122	-12,54	11,38	-8,25	-8,15	1
Kranich	127 KN1Tt	-20,07	9,03	-10,64	-5,21	1
Kranich	128 KN2Tt	-21,22	10,06	-14,08	-5,57	1
Kranich	129 KN3Tt	-24,17	10,06	-7,49	-12,50	1
Kranich	130 KN4U	-19,05	9,64	-11,78	-6,16	1
Kranich	131 KN5Cr	-19,30	10,36	-11,09	-6,42	1
Kranich	S 101	-20,92	10,51	-10,56	-7,33	1
Kranich	S 102	-25,00	9,45	-6,12	-11,59	1
Mittelsäger	S 71	-12,60	11,09	-7,78	-12,45	0
Mittelsäger	S 72	-20,47	6,36	-11,17	-11,09	1
Mittelsäger	S 73	-20,67	8,78	-11,92	-9,20	1

Fortsetzung von Tabelle A33

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
Mittelsäger	S 74	-13,53	11,33	-7,58	-8,84	1
Mittelsäger	S 75	-14,93	12,67	-9,11	-7,25	1
Pfeifente	Hb 126	-22,96	8,43	-15,46	-13,56	1
Pfeifente	Hb 127	-23,03	5,22	-13,52	-11,92	1
Reiherente	132 RE1H	-19,31	7,34	-12,32	-10,24	1
Reiherente	133 RE2H	-24,12	8,61	-16,81	-13,05	1
Reiherente	134 RE3H	-25,76	7,03	-16,50	-10,84	1
Reiherente	135 RE4H	-30,51	9,44	-19,36	-12,51	0
Reiherente	136 RE5H	-20,29	7,71	-12,75	-8,29	1
Reiherente	90 RE1H	-22,79	7,02	-12,19	-10,13	1
Reiherente	91 RE2Tt	-10,77	7,57	-3,18	-12,97	0
Reiherente	92 RE3St	-22,61	9,82	-10,95	-11,49	1
Reiherente	Hb 136	-25,46	9,26	-18,49	-11,49	0
Reiherente	Hb 138	-21,03	7,49	-13,73	-10,83	1
Reiherente	Hb 139	-21,36	8,12	-13,06	-8,61	1
Schellente	137 SC1H	-18,31	10,78	-10,75	-8,58	1
Schellente	138 SC2H	-21,61	7,07	-12,06	-9,19	1
Schellente	139 SC3H	-26,65	8,33	-16,53	-10,11	1
Schellente	140 SC4H	-21,96	8,11	-13,53	-11,31	1
Schellente	141 SC5H	-18,81	9,19	-10,18	-10,27	1
Schellente	Hb 142	-23,79	7,25	-16,13	-7,98	1
Schellente	S 61	-22,34	8,54	-15,70	-7,30	1
Schellente	S 62	-19,06	8,11	-8,96	-7,25	1
Schellente	S 63	-22,69	8,49	-12,86	-7,88	1
Schellente	S 65	-18,91	7,63	-12,93	-10,36	1
Seeadler	142 SA1H	-22,37	13,10	-13,92	-6,55	1
Seeadler	144 SA3Tt	-12,45	12,83	-2,33	-6,39	0
Seeadler	146 SA5Cmc	-13,24	12,20	-6,64	-6,12	1
Seeadler	93 SA1U	-19,88	1,25	-11,41	-11,65	0
Seeadler	94 SA2U	-18,20	11,02	-9,21	-8,93	1

Fortsetzung von Tabelle A33

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
Seeadler	95 SA3U	-19,54	11,41	-11,24	-9,73	1
Seeadler	96 SA4U	-12,10	13,51	-6,20	-5,94	1
Seeadler	97 SA5H	-16,11	13,45	-6,00	-5,90	1
Seeadler	Hb 162	-19,87	11,77	-23,54	-8,03	0
Seeadler	Hb 163	-19,91	10,97	-13,73	-10,07	1
Seeadler	Hb 164	-24,93	9,92	-13,74	-9,39	1
Seeadler	Hb 166	-17,53	11,46	-9,56	-8,71	1
Seeadler	S 81	-20,18	10,32	-9,68	-5,26	1
Seeadler	S 82	-16,55	10,83	-8,74	-8,04	1
Seeadler	S 83	-12,41	11,83	-5,03	-10,28	0
Seeadler	S 84	-20,47	9,87	-8,89	-8,45	1
Seeadler	S 85	-15,56	12,64	-7,06	-7,37	1
Singschwan	100 SW3R	-16,69	5,08	-8,44	-6,92	0
Singschwan	147 SW1R	-20,57	7,03	-11,02	-13,29	1
Singschwan	148 SW2R	-21,14	2,98	-9,17	-10,01	0
Singschwan	149 SW3H	-17,94	6,97	-8,50	-11,51	1
Singschwan	150 SW4F	-20,73	8,68	-12,19	-11,35	1
Singschwan	151 SW5Tt	-21,01	8,36	-12,49	-12,84	1
Singschwan	98 SW1H	-20,08	7,21	-10,58	-10,95	1
Singschwan	99 SW2Cc	-18,32	3,78	-5,50	-7,41	0
Singschwan	Hb 153	-17,69	7,95	-8,87	-9,62	1
Singschwan	Hb 154	-21,90	8,25	-13,89	-10,15	1
Singschwan	Hb 155	-21,60	7,33	-13,78	-9,86	1
Singschwan	Hb 156	-19,00	6,36	-6,82	-9,36	1
Singschwan	S 41	-19,68	6,42	-8,32	-9,57	1
Singschwan	S 42	-19,39	4,29	-7,60	-12,21	1
Singschwan	S 43	-23,62	7,97	-12,53	-11,75	1
Singschwan	S 44	-21,55	6,64	-12,88	-11,03	1
Singschwan	S 45	-16,01	5,71	-8,73	-11,63	1

Fortsetzung von Tabelle A33

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
Spießente	Hb 123	-12,45	7,14	-6,73	-6,72	0
Spießente	Hb 124	-19,36	5,76	-12,73	-9,06	1
Spießente	Hb 125	-24,32	9,48	-18,06	-10,18	1
Spießente	S 56	-20,94	10,44	-13,38	-8,55	1
Spießente	S 57	-23,52	7,96	-14,08	-12,52	1
Spießente	S 58	-12,49	10,23	-7,25	-9,30	1
Stockente	104 SE2H	-23,13	7,64	-12,89	-9,57	1
Stockente	105 SE3U	-20,35	9,84	-9,71	-7,82	1
Stockente	152 SE1H	-16,84	15,48	-10,45	-6,71	1
Stockente	153 SE2H	-12,71	12,92	-6,56	-8,55	1
Stockente	154 SE3H	-21,54	8,56	-13,23	-7,69	1
Stockente	155 SE4H	-19,63	10,43	-13,77	-11,72	1
Stockente	156 SE5H	-23,47	4,93	-13,21	-9,63	1
Stockente	Hb 131	-24,11	7,65	-16,44	-10,54	1
Stockente	Hb 133	-21,26	8,42	-12,29	-7,81	1
Stockente	Hb 134	-21,29	7,86	-12,45	-8,83	1
Stockente	S 46	-20,60	10,41	-12,85	-6,91	1
Stockente	S 47	-21,47	11,88	-13,32	-7,43	1
Stockente	S 48	-23,33	7,60	-15,09	-8,19	1
Stockente	S 49	-20,43	10,36	-11,44	-8,54	1
Stockente	S 50	-23,60	12,62	-14,85	-9,88	1
Trottellumme	109 TL2St	-17,11	13,53	-6,57	-7,26	1
Trottellumme	110 TL3St	-16,25	13,86	-4,94	-5,05	1
Trottellumme	Hb 178	-17,50	14,15	-11,68	-8,68	1
Trottellumme	Hb 179	-17,10	12,74	-10,43	-7,21	1
Trottellumme	Hb 180	-15,83	15,12	-11,06	-5,07	1
Trottellumme	Hb 182	-15,50	16,43	-9,47	-4,10	0
Wanderfalke	S 91	-20,29	10,99	-10,00	-6,16	1
Wanderfalke	S 92	-20,48	10,84	-8,99	-8,38	1

Fortsetzung von Tabelle A33

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	Ausreißer
Wanderfalke	S 93	-19,01	9,66	-8,42	-7,31	1
Wanderfalke	S 94	-19,20	8,08	-8,84	-10,88	1
Zwergsäger	S 66	-18,26	9,10	-10,98	-11,57	1

Tabelle A34: Ergebnisse der GMM-Clusteranalyse der Vögel (ohne multivariate Ausreißer, vgl. Tabelle A33) aus Haithabu und Schleswig für den normalisierten, vier-dimensionalen Datensatz I („1234“) verglichen mit dem normalisierten Datensatz I nach Entfernen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ („124“). Die Cluster sind gemäß ihrer Zuordnung im vier-dimensionalen Datensatz eingefärbt (Cluster 1: blau, Cluster 2: rot, Cluster 3: grün).

„124“		
Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Aaskrähe S109	Aaskrähe S107	Bergente S52
Bergente Hb140	Aaskrähe S108	Gänsesäger 120GS3Tt
Birkhuhn S97	Bergente S54	Gänsesäger 121GS4U
Blässgans Hb152	Birkhuhn 113BH1H	Gänsesäger S77
Brandgans Hb148	Birkhuhn 114BH2H	Gänsesäger S78
Brandgans Hb149	Birkhuhn 117BH5Cc	Kolkrabe KHb80
Eiderente Hb146	Blässgans Hb151	Kormoran 86K2H
Gänsesäger S80	Brandgans Hb150	Kormoran 87K3F
Hausgans Hb110	Eiderente 79EE3Tt	Kormoran 89K5U
Haushuhn S36	Eiderente Hb147	Kormoran Hb119
Haushuhn S37	Gänsesäger S76	Kormoran Hb121
Haushuhn S39	Gänsesäger S79	Kormoran Hb122
Kolkrabe Hb183	Habicht 122HB1F	Kormoran KHb88
Kolkrabe Hb185	Habicht 123HB2F	Mittelsäger S74
Kranich 129KN3Tt	Habicht 124HB3F	Mittelsäger S75
Kranich S102	Habicht 125HB4F	Seeadler Hb166

Fortsetzung von Tabelle A34

„124“		
Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Mittelsäger S72	Habicht 126HB5F	Seeadler KHb96
Pfeifente Hb126	Habicht Hb167	Seeadler KHb97
Pfeifente Hb127	Habicht Hb171	Seeadler KS146
Reiherente 132RE1H	Habicht S86	Seeadler S82
Reiherente 133RE2H	Habicht S87	Seeadler S85
Reiherente 134RE3H	Habicht S88	Spießente S58
Reiherente 90RE1H	Habicht S89	Stockente 152SE1H
Reiherente 92RE3St	Habicht S90	Stockente 153SE2H
Reiherente Hb138	Hausgans Hb108	Trottellumme 109TL2St
Schellente 138SC2H	Hausgans Hb109	Trottellumme 110TL3St
Schellente 139SC3H	Hausgans Hb111	Trottellumme Hb178
Schellente 140SC4H	Hausgans Hb112	Trottellumme Hb179
Schellente 141SC5H	Hausgans S31	Trottellumme Hb180
Schellente S65	Hausgans S32	
Seeadler Hb163	Hausgans S33	
Seeadler Hb164	Hausgans S34	
Singschwan 147SW1R	Hausgans S35	
Singschwan 149SW3H	Haushuhn Hb113	
Singschwan 150SW4F	Haushuhn Hb114	
Singschwan 151SW5Tt	Haushuhn Hb115	
Singschwan 98SW1H	Haushuhn Hb117	
Singschwan Hb153	Haushuhn S38	
Singschwan Hb154	Haushuhn S40	
Singschwan Hb155	Höckerschwan Hb160	

Fortsetzung von Tabelle A34

„124“		
Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Singschwan Hb156	Kolkrabe 81KRA2H	
Singschwan S41	Kolkrabe 82KRA3H	
Singschwan S42	Kolkrabe 83KRA4H	
Singschwan S43	Kolkrabe Hb184	
Singschwan S44	Kormoran Hb118	
Singschwan S45	Kranich 127KN1Tt	
Spießente Hb124	Kranich 128KN2Tt	
Spießente Hb125	Kranich 130KN4U	
Spießente S57	Kranich 131KN5Cr	
Stockente 104SE2H	Kranich S101	
Stockente 155SE4H	Mittelsäger S73	
Stockente 156SE5H	Reiherente 136RE5H	
Stockente Hb131	Reiherente Hb139	
Wanderfalke S94	Schellente 137SC1H	
Zwergsäger S66	Schellente Hb142	
	Schellente S61	
	Schellente S62	
	Schellente S63	
	Seeadler 142SA1H	
	Seeadler 95SA3U	
	Seeadler KHb94	
	Seeadler S81	
	Seeadler S84	
	Spießente S56	

Fortsetzung von Tabelle A34

„124“		
Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
	Stockente 105SE3U	
	Stockente 154SE3H	
	Stockente Hb133	
	Stockente Hb134	
	Stockente S46	
	Stockente S47	
	Wanderfalke S93	

Tabelle A35: Ergebnisse der GMM-Clusteranalyse der mindestens adulten Menschen (ohne multivariate Ausreißer, vgl. Tabelle A19) aus Haithabu und Schleswig für den normalisierten, fünf-dimensionalen Datensatz IV („12347“) verglichen mit dem normalisierten Datensatz IV nach Entfernen von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ („1347“). Die Cluster sind gemäß ihrer Zuordnung im fünf-dimensionalen Datensatz eingefärbt (Cluster 1: blau, Cluster 2: rot).

„1347“					
Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Cluster 6
H 4	H 17	H 66a	H 106a	H 1904 III/1	H 1936 DIV
H 72	H 274	H 154	H 269	H 12640 K XIII/3	H 12301 K I/1
H 270	H 12370 K IX/6	H 275	H 271		
H 1912 XIII/3			H 1968 Sk 4		
H 1912 XIV.3					
H 1968 Sk 6					

Tabelle A36: Marginale und partielle Korrelationen zwischen den Isotopensystemen aus Datensatz I für die terrestrischen Säuger, herbivoren Säuger, Fische, Vögel und mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig. Die Korrelationsfaktoren sind oberhalb der Diagonale dargestellt (grau hinterlegt), die p-Werte finden sich unterhalb der Diagonale. Signifikante Korrelationen und die entsprechenden p-Werte sind fett gedruckt. 1 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, 2 = $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, 3 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, 4 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$.

Datensatz I		marginale Korrelation				Datensatz I				partielle Korrelation			
terrestrische Säuger		1	2	3	4	terrestrische Säuger		1	2	3	4		
1	x		0.559	0.165	0.226	1	x		0.551	0.131	0.115		
2	1.888E-09	x		0.021	0.150	2		5.133E-09	x	-0.103	0.064		
3	0.103	0.834	x		0.374	3		0.202	0.314	x	0.354		
4	0.024	0.138	1.375E-04	x		4		0.263	0.532	3.681E-04	x		
Datensatz I		marginale Korrelation				herbivore Säuger		1	2	3	4		
1	x		-0.173	0.614	0.549	1	x		-0.339	0.457	0.341		
2	0.207	x		0.094	0.135	2		0.013	x	0.170	0.204		
3	6.247E-07	0.497	x		0.587	3		0.001	0.224	x	0.330		
4	1.441E-05	0.325	2.528E-06	x		4		0.012	0.143	0.016	x		
Datensatz I		marginale Korrelation				Fische		1	2	3	4		
1	x		0.567	0.754	0.489	1	x		0.334	0.728	0.383		
2	4.009E-05	x		0.373	0.453	2		0.027	x	-0.041	0.228		
3	1.408E-09	0.011	x		0.224	3		2.125E-08	0.793	x	-0.237		
4	0.001	0.002	0.135	x		4		0.010	0.137	0.121	x		
Datensatz I		marginale Korrelation				Vögel		1	2	3	4		
1	x		0.506	0.672	0.254	1	x		0.343	0.598	0.010		
2	8.884E-12	x		0.382	0.392	2		1.045E-05	x	0.038	0.311		
3	<2.2E-16	6.087E-07	x		0.238	3		1.011E-16	0.633	x	0.078		
4	0.001	3.047E-07	0.002	x		4		0.904	6.865E-05	0.332	x		
Datensatz I		marginale Korrelation				Menschen		1	2	3	4		
1	x		0.435	0.045	-0.199	1	x		0.410	0.091	-0.134		
2	8.714E-10	x		-0.034	-0.218	2		1.097E-08	x	-0.031	-0.140		
3	0.547	0.644	x		0.189	3		0.226	0.681	x	0.195		
4	0.007	0.003	0.011	x		4		0.073	0.060	0.009	x		

Tabelle A37: Marginale und partielle Korrelationen zwischen den Isotopensystemen aus Datensatz II für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig. Die Korrelationsfaktoren sind oberhalb der Diagonale dargestellt (grau hinterlegt), die p-Werte finden sich unterhalb der Diagonale. Signifikante Korrelationen und die entsprechenden p-Werte sind fett gedruckt. 1 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, 2 = $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, 3 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, 4 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, 5 = $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$.

Datensatz II		marginale Korrelation					Datensatz II		partielle Korrelation				
Menschen		1	2	3	4	5	Menschen		1	2	3	4	5
1	x		0,465	0,055	-0,103	-0,006	1	x		0,500	0,153	-0,157	0,123
2	4,964E-05	x		-0,166	0,000	-0,256	2	1,650E-05	x		-0,182	0,121	-0,261
3	0,650	0,170	x		0,163	0,217	3	0,215	0,141	x		0,167	0,144
4	0,396	0,998	0,177	x		0,120	4	0,203	0,328	0,177	x		0,114
5	0,962	0,033	0,071	0,322	x		5	0,320	0,033	0,244	0,357	x	

Tabelle A38: Marginale und partielle Korrelationen zwischen den Isotopensystemen aus Datensatz III für die terrestrischen Säuger, herbivoren Säuger und mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig. Die Korrelationsfaktoren sind oberhalb der Diagonale dargestellt (grau hinterlegt), die p-Werte finden sich unterhalb der Diagonale. Signifikante Korrelationen und die entsprechenden p-Werte sind fett gedruckt. 1 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, 2 = $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, 3 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, 4 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, 6 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$.

Datensatz III		marginale Korrelation				Datensatz III				partielle Korrelation			
terrestrische Säuger		1	2	3	4	6	terrestrische Säuger		1	2	3	4	6
1	x		0,564	0,192	0,218	-0,037	1	x		0,543	0,193	0,161	-0,195
2	5,934E-09	x		0,070	0,204	0,032	2	4,74E-08	x	-0,083	0,088	0,029	0,029
3	0,068	0,510	x		0,309	0,321	3	0,072	0,441	x	0,129	0,229	0,229
4	0,038	0,053	0,003	x		0,522	4	0,134	0,413	0,232	x		0,493
6	0,731	0,765	0,002	1,117E-07	x		6	0,069	0,785	0,032	1,087E-06	x	x
Datensatz III		marginale Korrelation				Datensatz III				partielle Korrelation			
herbivore Säuger		1	2	3	4	6	herbivore Säuger		1	2	3	4	6
1	x		-0,173	0,575	0,517	0,443	1	x		-0,368	0,423	0,258	0,188
2	0,234	x		0,109	0,152	0,197	2	0,012	x	0,163	0,130	0,189	0,189
3	1,528E-05	0,457	x		0,516	0,444	3	0,003	0,278	x	0,199	0,098	0,098
4	1,422E-04	0,297	1,455E-04	x		0,588	4	0,084	0,388	0,185	x	0,386	0,386
6	1,422E-04	0,174	0,001	9,023E-06	x		6	0,210	0,209	0,519	0,008	0,008	x
Datensatz III		marginale Korrelation				Datensatz III				partielle Korrelation			
Menschen		1	2	3	4	6	Menschen		1	2	3	4	6
1	x		0,227	0,109	-0,119	-0,087	1	x		0,218	0,093	-0,177	-0,067
2	0,220	x		0,263	0,175	-0,113	2	0,265	x	0,223	0,163	-0,131	-0,131
3	0,559	0,153	x		0,214	0,108	3	0,639	0,254	x	0,184	0,141	0,141
4	0,522	0,346	0,248	x		0,034	4	0,369	0,408	0,350	x	0,018	0,018
6	0,643	0,545	0,565	0,857	x		6	0,734	0,505	0,473	0,929	x	x

Tabelle A39: Marginale und partielle Korrelationen zwischen den Isotopensystemen aus Datensatz IV für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig. Die Korrelationsfaktoren sind oberhalb der Diagonale dargestellt (grau hinterlegt), die p-Werte finden sich unterhalb der Diagonale. Signifikante Korrelationen und die entsprechenden p-Werte sind fett gedruckt. 1 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, 2 = $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, 3 = $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, 4 = $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, 7 = $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

Datensatz IV						Datensatz IV					
marginale Korrelation						partielle Korrelation					
Menschen	1	2	3	4	7	Menschen	1	2	3	4	7
1	x	0,641	0,298	0,147	-0,405	1	x	0,546	0,250	-0,086	-0,368
2	0,006	x	-0,281	-0,252	0,279	2	0,013	x	-0,136	-0,205	0,021
3	0,245	0,274	x	0,002	-0,140	3	0,288	0,567	x	0,006	-0,296
4	0,573	0,330	0,995	x	0,269	4	0,717	0,386	0,980	x	0,218
7	0,107	0,277	0,593	0,297	x	7	0,111	0,931	0,206	0,355	x

Tabelle A40: GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz I.

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Auerochse Hb 47	Eichhörnchen Hb 7	Kegelrobbe 20 KR1Ph
Auerochse Hb 48	Feldhase Hb 5	Kegelrobbe 21 KR2T
Damhirsch S 6	Feldhase S 25	Kegelrobbe 22 KR3S
Elch Hb 46	Feldhase S 26	Kegelrobbe 23 KR4V
Feldhase Hb 1	Feldhase S 27	Kegelrobbe 24 KR5Mt
Feldhase Hb 2	Feldhase S 28	Kegelrobbe 71 KR1BuTy
Feldhase Hb 3	Pferd Hb 88	Kegelrobbe 72 KR2Sc
Feldhase S 24	Pferd Hb 89	Kegelrobbe 73 KR3Mt
Kaninchen S 29	Pferd Hb 90	Kegelrobbe 74 KR4Fi
Kaninchen S 30	Pferd Hb 92	Kegelrobbe 75 KR5Mt
Pferd Hb 83	Reh Hb 40	Kegelrobbe S 17
Pferd Hb 84	Reh Hb 41	Ringelrobbe Hb 28
Pferd Hb 85	Reh Hb 42	Sattelrobbe 26 SR2Fi
Pferd Hb 86	Reh Hb 43	Sattelrobbe Hb 30
Pferd Hb 87	Reh S 8	Sattelrobbe KHb 25
Pferd Hb 91	Reh S 9	Seehund 27 SH1Ph
Pottwal Hb 50	Reh S 10	Seehund 28 SH2R
Reh S 11	Reh S 12	Seehund 29 SH3V
Rind Hb 53	Rothirsch Hb 36	Seehund Hb 24
Rind Hb 54	Rothirsch Hb 38	Seehund Hb 25
Rind Hb 55	Rothirsch S 1	Seehund Hb 26
Rind Hb 56	Rothirsch S 2	Seehund Hb 27
Rind Hb 57	Rothirsch S 3	Seehund KHb 30
Rind Hb 58	Rothirsch S 4	Seehund KHb 31
Rind Hb 59	Rothirsch S 5	Walross KS 76
Rind Hb 60		

Fortsetzung von Tabelle A40

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Rind Hb 61		
Rind Hb 62		
Rothirsch Hb 35		
Rothirsch Hb 39		
Schaf Hb 73		
Schaf Hb 74		
Schaf Hb 75		
Schaf Hb 76		
Schaf Hb 77		
Schaf Hb 78		
Schaf Hb 79		
Seehund Hb 23		

Tabelle A41: Mittelwert (μ) und Standardabweichung (SD) für die GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz I.

μ	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	-21,64	-22,36	-15,31
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	5,93	4,77	13,35
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	-11,18	-14,18	-9,88
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	-7,39	-8,37	-8,95
SD	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	0,75	0,56	1,09
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	1,47	1,09	2,12
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	1,22	0,90	1,75
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	1,17	0,87	1,69

Tabelle A42: GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz II.

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Auerochse Hb 47	Feldhase S 28	Kegelrobbe S 17
Feldhase Hb 2	Pferd Hb 92	Sattelrobbe Hb 30
Feldhase Hb 3	Reh Hb 40	Sattelrobbe KHb 25
Feldhase S 24	Reh Hb 41	Seehund Hb 25
Reh S 11	Rothirsch S 3	Seehund KHb 30
Rind Hb 57	Rothirsch S 4	Seehund KHb 31
Schaf Hb 74	Rothirsch S 5	Walross KS 76
Schaf Hb 79		

Tabelle A43: Mittelwert und Standardabweichung für die GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz II.

μ	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	-21,28	-22,78	-15,52
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	6,06	5,27	12,49
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	-11,01	-14,66	-9,83
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	-7,32	-8,39	-9,00
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	12,56	13,34	15,67
SD	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	1,00	0,63	1,17
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	1,55	0,98	1,81
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	0,85	0,54	0,99
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	1,54	0,97	1,80
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	1,83	1,16	2,14

Tabelle A44: GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz III.

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Kegelrobbe S 17	Auerochse Hb 47	Eichhörnchen Hb 7
Ringelrobbe Hb 28	Auerochse Hb 48	Feldhase Hb 1
Sattelrobbe Hb 30	Damhirsch S 6	Feldhase Hb 5
Seehund Hb 26	Elch Hb 46	Feldhase S 25
Seehund Hb 27	Feldhase Hb 2	Feldhase S 26
	Feldhase Hb 3	Feldhase S 27
	Feldhase S 24	Feldhase S 28
	Kaninchen S 29	Pferd Hb 84
	Kaninchen S 30	Pferd Hb 87
	Pferd Hb 83	Pferd Hb 88
	Pferd Hb 85	Pferd Hb 89
	Pferd Hb 86	Pferd Hb 92
	Pferd Hb 90	Reh Hb 40
	Pferd Hb 91	Reh Hb 41
	Pottwal Hb 50	Reh Hb 42
	Reh S 11	Reh Hb 43
	Rind Hb 53	Reh S 8
	Rind Hb 54	Reh S 9
	Rind Hb 55	Reh S 12
	Rind Hb 56	Rothirsch Hb 36
	Rind Hb 57	Rothirsch Hb 38
	Rind Hb 58	Rothirsch Hb 39
	Rind Hb 59	Rothirsch S 2
	Rind Hb 60	Rothirsch S 3
	Rind Hb 61	Rothirsch S 5
	Rind Hb 62	
	Rothirsch Hb 35	

Fortsetzung von Tabelle A44

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
	Rothirsch S 1	
	Schaf Hb 73	
	Schaf Hb 74	
	Schaf Hb 76	
	Schaf Hb 77	
	Schaf Hb 78	
	Schaf Hb 79	
	Seehund Hb 23	

Tabelle A45: Mittelwert und Standardabweichung für die GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz III.

μ	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	-14,48	-21,60	-22,39
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	13,90	5,99	4,50
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	-8,64	-11,20	-14,07
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	-8,89	-7,31	-8,40
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	15,61	17,55	16,51
SD	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	0,89	0,75	0,56
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	2,00	1,67	1,25
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	1,53	1,28	0,96
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	1,26	1,05	0,79
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	0,99	0,83	0,62

Tabelle A46: Aufsteigend sortierte $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Werte der terrestrischen und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig. Marine Säuger sind grau hinterlegt.

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]
Reh	Hb 40	-24,00
Feldhase	S 28	-23,40
Rothirsch	S 3	-23,05
Damhirsch	S 6	-22,82
Feldhase	S 25	-22,78
Reh	S 12	-22,78
Rothirsch	Hb 38	-22,74
Rothirsch	S 5	-22,69
Reh	Hb 42	-22,67
Feldhase	Hb 1	-22,54
Pferd	Hb 84	-22,54
Rind	Hb 55	-22,48
Feldhase	S 27	-22,45
Reh	Hb 43	-22,41
Feldhase	S 26	-22,39
Feldhase	S 24	-22,38
Biber	Hb 9	-22,34
Kaninchen	S 29	-22,33
Schaf	Hb 78	-22,29
Rothirsch	S 2	-22,27
Pferd	Hb 88	-22,25
Pferd	Hb 92	-22,23
Feldhase	Hb 5	-22,15
Pferd	Hb 83	-22,15
Rothirsch	S 4	-22,15
Pferd	Hb 87	-22,14
Reh	S 10	-22,14

Fortsetzung von Tabelle A46

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$
Rothirsch	Hb 36	-22,09
Rothirsch	Hb 39	-22,05
Rothirsch	Hb 35	-22,03
Haushund	Hb 93	-22,02
Pferd	Hb 89	-22,00
Reh	Hb 41	-21,95
Reh	S 8	-21,94
Rind	Hb 60	-21,91
Kaninchen	S 30	-21,91
Rotfuchs	Hb 14	-21,87
Schwein	Hb 67	-21,86
Pferd	Hb 86	-21,86
Pferd	Hb 85	-21,83
Auerochse	Hb 48	-21,82
Schaf	Hb 74	-21,82
Schwein	Hb 71	-21,76
Schwein	Hb 68	-21,74
Reh	S 9	-21,73
Pferd	Hb 90	-21,69
Rind	Hb 57	-21,67
Rind	Hb 59	-21,67
Feldhase	Hb 3	-21,67
Wildschwein	S 16	-21,66
Rind	Hb 54	-21,62
Rind	Hb 62	-21,62

Fortsetzung von Tabelle A46

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]
Rind	Hb 56	-21,61
Schaf	Hb 77	-21,60
Rothirsch	S 1	-21,53
Schwein	Hb 65	-21,51
Elch	Hb 46	-21,50
Schaf	Hb 76	-21,49
Schwein	Hb 69	-21,48
Rind	Hb 53	-21,46
Schaf	Hb 73	-21,45
Rind	Hb 58	-21,44
Wildschwein	S 14	-21,40
Haushund	Hb 98	-21,37
Pferd	Hb 91	-21,36
Wildschwein	Hb 31	-21,33
Schwein	Hb 64	-21,32
Wildschwein	Hb 33	-21,32
Schwein	Hb 70	-21,31
Schaf	Hb 75	-21,30
Rind	Hb 61	-21,28
Eichhörnchen	Hb 7	-21,27
Schwein	Hb 66	-21,21
Feldhase	Hb 2	-21,20
Braunbär	Hb 17	-21,08
Wildschwein	S 13	-21,08
Schaf	Hb 79	-20,95

Fortsetzung von Tabelle A46

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]
Rotfuchs	Hb 15	-20,94
Schwein	Hb 72	-20,86
Wildschwein	Hb 32	-20,86
Schwein	Hb 63	-20,85
Seehund	Hb 23	-20,70
Fischotter	33 FO2H	-20,63
Wildschwein	S 15	-20,62
Haushund	Hb 94	-20,60
Rotfuchs	Hb 12	-20,59
Rotfuchs	S 21	-20,57
Auerochse	Hb 47	-20,51
Rotfuchs	S 22	-20,43
Wolf	Hb 11	-20,36
Hauskatze	Hb 107	-20,35
Rotfuchs	S 19	-20,31
Reh	S 11	-20,07
Hauskatze	Hb 106	-20,06
Haushund	Hb 97	-19,97
Baummarder	Hb 22	-19,90
Rotfuchs	S 18	-19,89
Fischotter	Hb 20	-19,88
Wolf	Hb 10	-19,85
Baummarder	Hb 21	-19,84
Hauskatze	Hb 105	-19,55
Pottwal	Hb 50	-19,34

Fortsetzung von Tabelle A46

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]
Haushund	Hb 101	-19,28
Rotfuchs	Hb 13	-19,27
Haushund	Hb 95	-19,24
Haushund	Hb 100	-19,21
Fischotter	Hb 19	-19,17
Hauskatze	Hb 104	-19,14
Haushund	Hb 99	-18,76
Haushund	Hb 96	-18,53
Haushund	Hb 102	-18,32
Hauskatze	Hb 103	-18,24
Kegelrobbe	73 KR3Mt	-17,22
Seehund	KHb 30	-17,01
Seehund	Hb 25	-16,96
Sattelrobbe	KHb 25	-16,67
Sattelrobbe	26 SR2Fi	-16,65
Kegelrobbe	22 KR3S	-16,31
Kegelrobbe	21 KR2T	-16,24
Kegelrobbe	23 KR4V	-16,22
Seehund	Hb 26	-15,98
Sattelrobbe	Hb 30	-15,98
Kegelrobbe	71 KR1BuTy	-15,61
Kegelrobbe	72 KR2Sc	-15,41
Kegelrobbe	74 KR4Fi	-15,37
Kegelrobbe	20 KR1Ph	-15,09
Kegelrobbe	24 KR5Mt	-15,06

Fortsetzung von Tabelle A46

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ [‰]
Seehund	29 SH3V	-15,00
Seehund	28 SH2R	-14,94
Seehund	27 SH1Ph	-14,78
Kegelrobbe	75 KR5Mt	-14,61
Kegelrobbe	S 17	-14,51
Fischotter	32 FO1Hepi	-14,15
Walross	KS 76	-14,00
Seehund	Hb 24	-13,71
Seehund	KHb 31	-13,50
Seehund	Hb 27	-13,41
Ringelrobbe	Hb 28	-12,54

Tabelle A47: Aufsteigend sortierte $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte der terrestrischen und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig. Marine Säuger sind grau hinterlegt.

Spezies	Probennr.	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]
Eichhörnchen	Hb 7	2,91
Reh	S 9	3,07
Schwein	Hb 72	3,16
Reh	Hb 43	3,70
Feldhase	Hb 2	3,80
Rothirsch	Hb 35	3,85
Feldhase	S 27	3,89
Feldhase	S 26	3,96
Feldhase	Hb 5	4,02
Auerochse	Hb 48	4,03
Feldhase	S 24	4,04

Fortsetzung von Tabelle A47

Spezies	Probennr.	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]
Rind	Hb 60	4,05
Pferd	Hb 84	4,17
Schaf	Hb 79	4,26
Reh	S 12	4,28
Schaf	Hb 76	4,28
Rothirsch	S 1	4,31
Feldhase	S 28	4,35
Rind	Hb 53	4,39
Reh	Hb 41	4,42
Schwein	Hb 71	4,47
Feldhase	Hb 3	4,54
Reh	S 8	4,58
Rind	Hb 61	4,58
Biber	Hb 9	4,60
Rothirsch	S 2	4,69
Schaf	Hb 73	4,69
Wildschwein	S 13	4,73
Reh	Hb 42	4,82
Schaf	Hb 75	4,82
Elch	Hb 46	4,86
Rind	Hb 58	4,88
Rind	Hb 54	4,89
Pferd	Hb 88	4,91
Pferd	Hb 87	4,95
Pferd	Hb 89	4,98

Fortsetzung von Tabelle A47

Spezies	Probennr.	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]
Rind	Hb 59	4,98
Rothirsch	Hb 39	4,99
Wildschwein	Hb 33	5,08
Wildschwein	S 16	5,09
Rind	Hb 56	5,18
Schwein	Hb 65	5,23
Rothirsch	Hb 36	5,26
Schwein	Hb 70	5,27
Feldhase	S 25	5,32
Reh	Hb 40	5,38
Reh	S 10	5,43
Rothirsch	S 4	5,44
Schwein	Hb 68	5,47
Braunbär	Hb 17	5,51
Rothirsch	S 5	5,51
Rind	Hb 57	5,53
Schwein	Hb 67	5,54
Pferd	Hb 86	5,63
Pferd	Hb 83	5,73
Wildschwein	Hb 32	5,80
Rothirsch	S 3	5,81
Pferd	Hb 91	5,82
Rothirsch	Hb 38	5,84
Pferd	Hb 92	6,01
Schaf	Hb 77	6,16

Fortsetzung von Tabelle A47

Spezies	Probennr.	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]
Feldhase	Hb 1	6,17
Pferd	Hb 90	6,39
Wildschwein	Hb 31	6,40
Schwein	Hb 64	6,50
Schwein	Hb 66	6,56
Haushund	Hb 93	6,69
Rind	Hb 55	6,69
Pferd	Hb 85	6,74
Rind	Hb 62	6,81
Haushund	Hb 94	6,92
Schwein	Hb 63	7,41
Rotfuchs	Hb 13	7,45
Schaf	Hb 74	7,49
Schwein	Hb 69	7,52
Schaf	Hb 78	7,55
Wolf	Hb 10	7,61
Hauskatze	Hb 107	7,87
Rotfuchs	Hb 14	8,09
Baumratter	Hb 21	8,20
Pottwal	Hb 50	8,33
Reh	S 11	8,33
Wildschwein	S 14	8,42
Kaninchen	S 29	8,45
Baumratter	Hb 22	8,63
Seehund	Hb 23	8,63

Fortsetzung von Tabelle A47

Spezies	Probennr.	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]
Hauskatze	Hb 106	8,81
Haushund	Hb 101	8,92
Rotfuchs	S 21	8,95
Wolf	Hb 11	9,01
Wildschwein	S 15	9,13
Haushund	Hb 102	9,16
Rotfuchs	Hb 15	9,23
Haushund	Hb 99	9,35
Haushund	Hb 97	9,41
Damhirsch	S 6	9,43
Hauskatze	Hb 105	9,52
Rotfuchs	S 19	9,64
Haushund	Hb 98	9,66
Haushund	Hb 96	9,84
Rotfuchs	S 18	10,09
Haushund	Hb 95	10,18
Hauskatze	Hb 104	10,19
Rotfuchs	Hb 12	10,24
Auerochse	Hb 47	10,48
Haushund	Hb 100	10,75
Kaninchen	S 30	10,98
Hauskatze	Hb 103	11,01
Fischotter	Hb 19	11,21
Rotfuchs	S 22	11,21
Sattelrobbe	Hb 30	11,21

Fortsetzung von Tabelle A47

Spezies	Probennr.	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ [‰]
Seehund	29 SH3V	11,96
Seehund	KHb 30	11,99
Seehund	Hb 25	12,00
Sattelrobbe	26 SR2Fi	12,23
Walross	KS 76	12,32
Kegelrobbe	74 KR4Fi	12,42
Sattelrobbe	KHb 25	12,46
Kegelrobbe	21 KR2T	12,80
Kegelrobbe	71 KR1BuTy	12,87
Kegelrobbe	23 KR4V	12,88
Kegelrobbe	72 KR2Sc	12,89
Kegelrobbe	S 17	12,93
Kegelrobbe	22 KR3S	13,06
Seehund	Hb 24	13,08
Fischotter	32 FO1Hepi	13,14
Seehund	Hb 26	13,18
Kegelrobbe	75 KR5Mt	13,45
Kegelrobbe	24 KR5Mt	13,48
Fischotter	33 FO2H	13,54
Fischotter	Hb 20	13,81
Seehund	27 SH1Ph	14,20
Seehund	KHb 31	14,52
Kegelrobbe	20 KR1Ph	15,06
Ringelrobbe	Hb 28	15,24
Seehund	28 SH2R	15,29

Fortsetzung von Tabelle A47

Spezies	Probennr.	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$
Kegelrobbe	73 KR3Mt	15,33
Seehund	Hb 27	16,96

Tabelle A48: Aufsteigend sortierte $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Werte der terrestrischen und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig. Marine Säuger sind grau hinterlegt. Die terrestrische Herbivoren, die für die Berechnung des marinen Einflusses verwendet wurden, sowie der marine Säuger, der der unteren marinen Grenze entspricht, sind fettgedruckt. Prozentuale Differenz (Δ) und mariner Einfluss (m) sind mit Formeln 85 und 87 berechnet worden. Die terrestrischen Säuger werden gemäß Formel 86 gegen den minimalen „sea spray“-Effekt (32,8 ‰) korrigiert.

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\Delta [\text{‰}]$	m	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$ korrigiert
Fischotter	Hb 20	-16,27		-0,072	-16,66
Biber	Hb 9	-16,06		-0,038	-16,26
Feldhase	Hb 5	-15,83		0	-15,83
Reh	Hb 40	-15,79		0,007	-15,82
Wildschwein	S 14	-15,77		0,01	-15,82
Reh	Hb 43	-15,60		0,038	-15,79
Fischotter	33 FO2H	-15,43		0,066	-15,76
Braunbär	Hb 17	-15,25		0,096	-15,73
Rothirsch	S 3	-15,19		0,105	-15,72
Feldhase	S 28	-15,14		0,114	-15,70
Hauskatze	Hb 106	-15,07		0,125	-15,69
Rotfuchs	Hb 15	-15,06		0,127	-15,69
Rotfuchs	Hb 12	-15,02		0,133	-15,68
Reh	Hb 42	-15,01		0,135	-15,68
Hauskatze	Hb 104	-14,88		0,157	-15,64
Feldhase	S 27	-14,84		0,163	-15,63
Fischotter	Hb 19	-14,81		0,168	-15,63
Rotfuchs	Hb 14	-14,77		0,175	-15,62

Fortsetzung von Tabelle A48

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	Δ [%]	m	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰] korrigiert
Rothirsch	S 5	-14,65		0,194	-15,58
Eichhörnchen	Hb 7	-14,64		0,196	-15,58
Reh	S 8	-14,55		0,211	-15,56
Reh	S 12	-14,53		0,214	-15,55
Pferd	Hb 88	-14,51		0,217	-15,54
Pottwal	Hb 50	-14,48		0,222	
Pferd	Hb 90	-14,35		0,244	-15,50
Rothirsch	S 4	-14,32		0,249	-15,49
Wildschwein	S 16	-14,32		0,249	-15,49
Haushund	Hb 101	-14,21		0,267	-15,45
Rothirsch	S 2	-14,09		0,287	-15,41
Rothirsch	Hb 36	-14,08		0,288	-15,41
Baummartener	Hb 21	-13,95		0,31	-15,37
Wildschwein	S 13	-13,95		0,31	-15,37
Wildschwein	Hb 33	-13,93		0,313	-15,36
Pferd	Hb 92	-13,87		0,323	-15,34
Reh	Hb 41	-13,63		0,362	-15,25
Feldhase	S 26	-13,59		0,369	-15,23
Kegelrobbe	73 KR3Mt	-13,59		0,369	
Haushund	Hb 102	-13,45		0,392	-15,18
Rotfuchs	S 19	-13,33		0,412	-15,13
Reh	S 9	-13,33		0,412	-15,13
Pferd	Hb 89	-13,17		0,438	-15,06
Hauskatze	Hb 105	-13,13		0,445	-15,05
Feldhase	S 25	-13,12		0,446	-15,04
Rothirsch	S 1	-13,10		0,45	-15,03
Rothirsch	Hb 38	-13,03		0,461	-15,00
Haushund	Hb 95	-13,02		0,463	-15,00

Fortsetzung von Tabelle A48

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	Δ [%]	m	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰] korrigiert
Pferd	Hb 91	-12,98		0,470	-14,98
Rotfuchs	Hb 13	-12,97		0,471	-14,97
Kegelrobbe	23 KR4V	-12,96		0,473	
Haushund	Hb 100	-12,94		0,476	-14,96
Hauskatze	Hb 107	-12,89		0,484	-14,94
Wildschwein	S 15	-12,70		0,516	-14,85
Reh	S 10	-12,63	-2,6	0,527	-14,81
Haushund	Hb 98	-12,46		0,555	-14,73
Feldhase	Hb 1	-12,45	-4,1	0,557	-14,72
Rotfuchs	S 22	-12,35		0,573	-14,67
Haushund	Hb 97	-12,29		0,583	-14,64
Rothirsch	Hb 39	-12,28	-5,5	0,585	-14,64
Haushund	Hb 93	-12,22		0,595	-14,60
Auerochse	Hb 48	-12,16	-6,6	0,605	-14,57
Hauskatze	Hb 103	-12,15		0,606	-14,57
Pferd	Hb 87	-12,11		0,613	-14,54
Schaf	Hb 74	-12,06		0,621	-14,52
Kegelrobbe	72 KR2Sc	-12,03		0,626	
Wolf	Hb 11	-12,00		0,631	-14,48
Kegelrobbe	21 KR2T	-11,98		0,634	
Schwein	Hb 67	-11,92		0,644	-14,44
Reh	S 11	-11,89	-9,0	0,649	-14,42
Rind	Hb 55	-11,86		0,654	-14,40
Pferd	Hb 85	-11,84		0,657	-14,39
Schwein	Hb 68	-11,80		0,664	-14,37
Baummartener	Hb 22	-11,80		0,664	-14,37
Kaninchen	S 29	-11,77	-10,1	0,669	-14,35
Kegelrobbe	74 KR4Fi	-11,60		0,697	

Fortsetzung von Tabelle A48

Spezies	Probenmr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	Δ [%]	m	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰] korrigiert
Kegelrobbe	20 KR1Ph	-11,57		0,702	
Damhirsch	S 6	-11,52	-12,5	0,710	-14,20
Haushund	Hb 94	-11,49		0,715	-14,18
Pferd	Hb 84	-11,47		0,718	-14,17
Elch	Hb 46	-11,36	-14,1	0,736	-14,10
Rothirsch	Hb 35	-11,36	-14,1	0,736	-14,10
Schwein	Hb 71	-11,30		0,746	-14,07
Feldhase	S 24	-11,30	-14,7	0,746	-14,07
Schaf	Hb 78	-11,30		0,746	-14,07
Seehund	Hb 23	-11,22		0,759	
Rind	Hb 62	-11,20		0,763	-14,00
Sattelrobbe	KHb 25	-11,13		0,774	
Schwein	Hb 65	-11,07		0,784	-13,92
Wolf	Hb 10	-11,07		0,784	-13,92
Schwein	Hb 69	-11,02		0,792	-13,88
Pferd	Hb 83	-11,00		0,796	-13,87
Auerochse	Hb 47	-10,94	-18,5	0,806	-13,83
Pferd	Hb 86	-10,86		0,819	-13,78
Schwein	Hb 64	-10,85		0,82	-13,77
Rind	Hb 59	-10,80		0,829	-13,74
Seehund	Hb 25	-10,80		0,829	
Feldhase	Hb 2	-10,80	-20,0	0,829	-13,74
Schwein	Hb 70	-10,71		0,843	-13,67
Rind	Hb 57	-10,67		0,850	-13,65
Schaf	Hb 79	-10,65		0,853	-13,63
Rind	Hb 54	-10,62		0,858	-13,61
Kegelrobbe	75 KR5Mt	-10,61		0,86	
Schwein	Hb 66	-10,59		0,863	-13,59

Fortsetzung von Tabelle A48

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	Δ [%]	m	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰] korrigiert
Wildschwein	Hb 32	-10,59		0,863	-13,59
Haushund	Hb 99	-10,58		0,865	-13,58
Schwein	Hb 72	-10,55		0,870	-13,56
Rind	Hb 56	-10,51		0,876	-13,53
Kaninchen	S 30	-10,47	-23,8	0,883	-13,50
Wildschwein	Hb 31	-10,47		0,883	-13,50
Schwein	Hb 63	-10,44		0,888	-13,48
Seehund	27 SH1Ph	-10,40		0,895	
Schaf	Hb 73	-10,11		0,942	-13,23
Haushund	Hb 96	-10,09		0,946	-13,22
Schaf	Hb 76	-10,09		0,946	-13,22
Rind	Hb 58	-9,98		0,964	-13,13
Rind	Hb 53	-9,97		0,965	-13,13
Kegelrobbe	22 KR3S	-9,95		0,969	
Rind	Hb 61	-9,93		0,972	-13,10
Rind	Hb 60	-9,90		0,977	-13,07
Schaf	Hb 75	-9,79		0,995	-12,99
Rotfuchs	S 21	-9,78		0,997	-12,98
Feldhase	Hb 3	-9,76	-32,8	1	-12,96
Kegelrobbe	S 17	-9,76		1	
Seehund	Hb 27	-9,71		1,008	
Seehund	KHb 31	-9,57		1,031	
Rotfuchs	S 18	-9,57		1,031	-12,81
Seehund	KHb 30	-9,49		1,044	
Schaf	Hb 77	-9,49		1,044	-12,74
Kegelrobbe	24 KR5Mt	-9,37		1,064	
Sattelrobbe	Hb 30	-9,35		1,068	
Kegelrobbe	71 KR1BuTy	-9,16		1,099	

Fortsetzung von Tabelle A48

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	Δ [%]	m	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ [‰] korrigiert
Walross	KS 76	-8,70		1,175	
Sattelrobbe	26 SR2Fi	-8,40		1,224	
Ringelrobbe	Hb 28	-8,13		1,269	
Seehund	29 SH3V	-7,98		1,293	
Seehund	Hb 24	-7,67		1,344	
Seehund	28 SH2R	-6,77		1,493	
Fischotter	32 FO1Hepi	-6,75		1,496	-10,06
Seehund	Hb 26	-6,23		1,582	

Tabelle A49: Aufsteigend sortierte $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte der terrestrischen und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig. Marine Säuger sind grau hinterlegt. Die terrestrische Herbivoren, die für die Berechnung des marinen Einflusses verwendet wurden, sowie der marine Säuger, der der unteren marinen Grenze entspricht, sind fettgedruckt. Prozentuale Differenz (Δ) und mariner Einfluss (m) sind mit Formeln 85 und 88 berechnet worden. Die terrestrischen Säuger werden gemäß Formel 86 gegen den minimalen „sea spray“-Effekt (62,8 ‰) korrigiert.

Spezies	Probennr.	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	Δ [%]	m	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰] korrigiert
Seehund	KHb 31	-13,51		-0,910	
Sattelrobbe	26 SR2Fi	-12,81		-0,726	
Kegelrobbe	73 KR3Mt	-11,93		-0,493	
Kegelrobbe	71 KR1BuTy	-11,52		-0,385	
Hauskatze	Hb 104	-10,64		-0,153	-11,66
Kegelrobbe	72 KR2Sc	-10,21		-0,040	
Seehund	Hb 26	-10,18		-0,032	-10,38
Schwein	Hb 70	-10,18		-0,032	-10,38
Reh	Hb 40	-10,06		0	-10,06
Feldhase	S 25	-10,04		0,005	-10,07
Kegelrobbe	74 KR4Fi	-9,93		0,034	
Fischotter	Hb 20	-9,91		0,040	-10,16

Fortsetzung von Tabelle A49

Spezies	Probennr.	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\Delta[\text{‰}]$	m	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$ korrigiert
Haushund	Hb 95	-9,90		0,042	-10,16
Schwein	Hb 71	-9,77		0,077	-10,24
Reh	S 9	-9,63	-6,0	0,113	-10,32
Seehund	KHb 30	-9,62		0,116	
Reh	S 8	-9,48	-7,7	0,153	-10,39
Fischotter	Hb 19	-9,46		0,158	-10,40
Damhirsch	S 6	-9,36	-9,1	0,185	-10,45
Wildschwein	S 13	-9,33		0,193	-10,46
Schwein	Hb 66	-9,31		0,198	-10,47
Feldhase	S 26	-9,27	-10,1	0,208	-10,48
Wildschwein	S 15	-9,24		0,216	-10,50
Pferd	Hb 87	-9,21		0,224	-10,51
Seehund	Hb 25	-9,12		0,248	
Haushund	Hb 98	-9,09		0,256	-10,55
Haushund	Hb 96	-9,05		0,266	-10,57
Reh	S 10	-8,98	-13,7	0,285	-10,59
Seehund	Hb 27	-8,97		0,288	
Auerochse	Hb 48	-8,95	-14,1	0,293	-10,60
Haushund	Hb 99	-8,93		0,298	-10,60
Reh	Hb 41	-8,92	-14,5	0,301	-10,61
Seehund	Hb 24	-8,91		0,303	
Schaf	Hb 74	-8,89		0,309	-10,61
Ringelrobbe	Hb 28	-8,88		0,311	
Rothirsch	S 3	-8,87	-15,1	0,314	-10,62
Kegelrobbe	S 17	-8,86		0,317	
Feldhase	Hb 1	-8,85	-15,4	0,319	-10,62
Seehund	Hb 23	-8,73		0,351	
Schwein	Hb 64	-8,73		0,351	-10,65

Fortsetzung von Tabelle A49

Spezies	Probennr.	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	Δ [%]	m	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰] korrigiert
Haushund	Hb 101	-8,72		0,354	-10,66
Schwein	Hb 72	-8,69		0,361	-10,66
Wolf	Hb 11	-8,63		0,377	-10,68
Hauskatze	Hb 107	-8,59		0,388	-10,68
Schwein	Hb 67	-8,55		0,398	-10,69
Rotfuchs	Hb 13	-8,55		0,398	-10,69
Wildschwein	Hb 32	-8,53		0,404	-10,69
Kegelrobbe	24 KR5Mt	-8,52		0,406	
Pferd	Hb 85	-8,50		0,412	-10,70
Reh	S 12	-8,50	-20,1	0,412	-10,70
Rothirsch	S 4	-8,47	-20,5	0,420	-10,70
Kegelrobbe	23 KR4V	-8,45		0,425	
Rothirsch	Hb 35	-8,39	-21,7	0,441	-10,71
Feldhase	Hb 5	-8,36	-22,1	0,449	-10,72
Rothirsch	Hb 39	-8,34	-22,4	0,454	-10,72
Reh	Hb 42	-8,31	-22,9	0,462	-10,72
Baummardeer	Hb 21	-8,23		0,483	-5,73
Feldhase	Hb 2	-8,22	-24,2	0,485	-10,73
Kaninchen	S 30	-8,22	-24,2	0,485	-10,73
Rothirsch	S 2	-8,17	-25,0	0,499	-10,73
Baummardeer	Hb 22	-8,16		0,501	-10,73
Kegelrobbe	75 KR5Mt	-8,15		0,504	
Rothirsch	S 5	-8,14	-25,4	0,507	-10,73
Pferd	Hb 84	-8,09		0,520	-10,73
Braunbär	Hb 17	-8,08		0,522	-10,73
Pferd	Hb 88	-8,03		0,536	-10,73
Eichhörnchen	Hb 7	-8,03	-27,1	0,536	-10,73
Pferd	Hb 92	-8,01		0,541	-10,73

Fortsetzung von Tabelle A49

Spezies	Probennr.	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	Δ [%]	m	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰] korrigiert
Sattelrobbe	KHb 25	-7,99		0,546	
Wildschwein	S 14	-7,98		0,549	-10,73
Kegelrobbe	21 KR2T	-7,97		0,551	
Reh	S 11	-7,97	-28,1	0,551	-10,73
Fischotter	33 FO2H	-7,96		0,554	-10,73
Hauskatze	Hb 103	-7,90		0,570	-10,73
Haushund	Hb 97	-7,88		0,575	-10,73
Rotfuchs	Hb 15	-7,88		0,575	-10,73
Pferd	Hb 83	-7,87		0,578	-10,73
Rothirsch	S 1	-7,87	-29,7	0,578	-10,73
Feldhase	S 27	-7,82	-30,6	0,591	-10,72
Kegelrobbe	20 KR1Ph	-7,80		0,596	
Haushund	Hb 102	-7,75		0,609	-10,72
Schwein	Hb 68	-7,75		0,609	-10,72
Wildschwein	S 16	-7,71		0,620	-10,71
Schwein	Hb 63	-7,70		0,623	-10,71
Kegelrobbe	22 KR3S	-7,67		0,631	
Rothirsch	Hb 38	-7,67	-33,1	0,631	-10,71
Rotfuchs	Hb 14	-7,62		0,644	-10,70
Auerochse	Hb 47	-7,60	-34,3	0,649	-10,70
Wildschwein	Hb 33	-7,59		0,652	-10,70
Sattelrobbe	Hb 30	-7,54		0,665	
Reh	Hb 43	-7,51	-36,0	0,673	-10,68
Rind	Hb 61	-7,44		0,691	-10,67
Feldhase	S 24	-7,43	-37,4	0,694	-10,67
Schwein	Hb 65	-7,40		0,702	-10,66
Rind	Hb 62	-7,37		0,710	-10,66
Rothirsch	Hb 36	-7,37	-38,5	0,710	-10,66

Fortsetzung von Tabelle A49

Spezies	Probennr.	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$	$\Delta [\text{‰}]$	m	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} [\text{‰}]$ korrigiert
Wolf	Hb 10	-7,34		0,718	-10,65
Biber	Hb 9	-7,27		0,736	-10,63
Rind	Hb 58	-7,27		0,736	-10,63
Haushund	Hb 94	-7,27		0,736	-10,63
Haushund	Hb 100	-7,23		0,747	-10,62
Pferd	Hb 91	-7,23		0,747	-10,62
Pferd	Hb 89	-7,18		0,760	-10,61
Rind	Hb 56	-7,15		0,768	-10,60
Rind	Hb 53	-7,14		0,770	-10,60
Schwein	Hb 69	-7,09		0,784	-10,58
Rind	Hb 55	-7,07		0,789	-10,57
Rind	Hb 60	-7,03		0,799	-10,56
Elch	Hb 46	-7,01	-45,6	0,805	-10,55
Schaf	Hb 73	-7,00		0,807	-10,55
Fischotter	32 FO1Hepi	-6,99		0,810	-10,55
Kaninchen	S 29	-6,95	-46,9	0,821	-10,53
Pferd	Hb 90	-6,93		0,826	-10,52
Rind	Hb 59	-6,88		0,839	-10,51
Pferd	Hb 86	-6,88		0,839	-10,51
Feldhase	Hb 3	-6,85	-49,1	0,847	-10,49
Rind	Hb 54	-6,84		0,850	-10,49
Schaf	Hb 75	-6,84		0,850	-10,49
Hauskatze	Hb 106	-6,80		0,860	-10,47
Hauskatze	Hb 105	-6,74		0,876	-10,45
Seehund	27 SH1Ph	-6,63		0,905	
Haushund	Hb 93	-6,63		0,905	-10,40
Rotfuchs	S 22	-6,63		0,905	-10,40
Rotfuchs	S 19	-6,53		0,931	-10,35

Fortsetzung von Tabelle A49

Spezies	Probennr.	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰]	Δ [%]	m	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [‰] korrigiert
Seehund	28 SH2R	-6,50		0,939	
Wildschwein	Hb 31	-6,44		0,955	-10,30
Rind	Hb 57	-6,43		0,958	-10,30
Rotfuchs	Hb 12	-6,42		0,960	-10,29
Walross	KS 76	-6,33		0,984	
Feldhase	S 28	-6,27	-62,8	1	-10,21
Rotfuchs	S 18	-6,20		1,018	-10,17
Schaf	Hb 78	-6,10		1,045	-10,10
Schaf	Hb 76	-5,79		1,127	-9,89
Pottwal	Hb 50	-5,75		1,137	
Seehund	29 SH3V	-5,74		1,140	
Schaf	Hb 77	-5,32		1,251	-9,50
Schaf	Hb 79	-5,14		1,298	-9,33
Rotfuchs	S 21	-4,80		1,388	-8,98

Tabelle A50: Aufsteigend sortierte $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte der terrestrischen und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig. Marine Säuger sind grau hinterlegt. Die terrestrische Herbivoren, die für die Berechnung des marinen Einflusses verwendet wurden, sowie der marine Säuger, der der unteren marinen Grenze entspricht, sind fettgedruckt. Prozentuale Differenz (Δ) und mariner Einfluss (m) sind mit Formeln 85 und 89 berechnet worden. Die terrestrischen Säuger werden gemäß Formel 86 gegen den minimalen „sea spray“-Effekt (13,9 %) korrigiert.

Spezies	Probennr.	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰]	Δ [%]	m	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰] korrigiert
Schwein	Hb 66	13,83		-0,273	13,31
Feldhase	S 26	14,68		0	14,68
Fischotter	Hb 20	14,92		0,077	14,76
Sattelrobbe	Hb 30	15,04		0,116	15,04
Schwein	Hb 72	15,18		0,162	14,84
Haushund	Hb 98	15,23		0,177	14,85

Fortsetzung von Tabelle A50

Spezies	Probennr.	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰]	Δ [‰]	m	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰] korrigiert
Seehund	Hb 27	15,25		0,185	15,25
Wildschwein	S 13	15,27		0,189	14,86
Ringelrobbe	Hb 28	15,30		0,201	15,30
Schwein	Hb 67	15,34		0,214	14,89
Schwein	Hb 71	15,44		0,244	14,91
Seehund	Hb 26	15,58		0,291	15,58
Wildschwein	S 16	15,60		0,297	14,96
Fischotter	Hb 19	15,60		0,298	14,96
Feldhase	S 27	15,63	-2,1	0,306	14,96
Biber	Hb 9	15,65		0,311	14,97
Pferd	Hb 92	15,77		0,351	15,00
Haushund	Hb 95	15,78		0,353	15,00
Wildschwein	Hb 33	15,78		0,355	15,00
Feldhase	Hb 1	15,84	-3,4	0,375	15,02
Haushund	Hb 96	15,99		0,422	15,05
Wildschwein	S 14	16,01		0,43	15,05
Schwein	Hb 65	16,02		0,43	15,05
Pferd	Hb 84	16,03		0,435	15,06
Haushund	Hb 97	16,03		0,437	15,06
Wolf	Hb 11	16,08		0,452	15,07
Rotfuchs	Hb 13	16,10		0,459	15,07
Braunbär	Hb 17	16,12		0,464	15,08
Haushund	Hb 100	16,16		0,477	15,09
Hauskatze	Hb 106	16,18		0,484	15,09
Rotfuchs	Hb 12	16,21		0,492	15,09
Wildschwein	Hb 32	16,30		0,522	15,11
Haushund	Hb 102	16,31		0,525	15,12
Wolf	Hb 10	16,32		0,528	15,12

Fortsetzung von Tabelle A50

Spezies	Probennr.	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰]	Δ [%]	m	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰] korrigiert
Haushund	Hb 101	16,34		0,535	15,12
Schwein	Hb 63	16,37		0,545	15,13
Rothirsch	Hb 38	16,38	-6,6	0,548	15,13
Rotfuchs	Hb 15	16,38		0,549	15,13
Haushund	Hb 94	16,39		0,55	15,13
Reh	S 9	16,40	-6,7	0,555	15,13
Rotfuchs	S 22	16,41		0,557	15,13
Reh	Hb 42	16,41	-6,8	0,559	15,13
Schwein	Hb 68	16,42		0,561	15,14
Wildschwein	Hb 31	16,44		0,568	15,14
Feldhase	Hb 5	16,47	-7,1	0,577	15,15
Reh	S 8	16,47	-7,1	0,577	15,15
Pferd	Hb 87	16,49		0,584	15,15
Rotfuchs	Hb 14	16,51		0,589	15,15
Kaninchen	S 30	16,52	-7,4	0,594	15,15
Rothirsch	S 3	16,53	-7,4	0,597	15,16
Eichhörnchen	Hb 7	16,54	-7,5	0,598	15,16
Rothirsch	Hb 39	16,54	-7,5	0,601	15,16
Reh	Hb 40	16,57	-7,6	0,609	15,16
Schwein	Hb 70	16,57		0,609	15,16
Baummartener	Hb 22	16,64		0,63	15,17
Kaninchen	S 29	16,64	-8,0	0,631	15,17
Reh	S 12	16,65	-8,1	0,635	15,18
Feldhase	S 25	16,67	-8,2	0,642	15,18
Schaf	Hb 74	16,68		0,643	15,18
Reh	S 11	16,69	-8,3	0,649	15,18
Rothirsch	Hb 36	16,71	-8,4	0,654	15,19
Rind	Hb 53	16,71		0,654	15,19

Fortsetzung von Tabelle A50

Spezies	Probennr.	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰]	Δ [%]	m	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰] korrigiert
Pferd	Hb 88	16,71		0,655	15,19
Reh	Hb 41	16,79	-8,9	0,681	15,20
Pferd	Hb 83	16,85		0,699	15,21
Hauskatze	Hb 103	16,87		0,706	15,21
Kegelrobbe	S 17	16,87		0,707	16,87
Rind	Hb 54	16,88		0,709	15,21
Reh	Hb 43	16,91	-9,5	0,72	15,22
Haushund	Hb 99	16,91		0,72	15,22
Hauskatze	Hb 105	16,94		0,729	15,22
Hauskatze	Hb 104	16,97		0,739	15,22
Rothirsch	S 2	17,03	-10,1	0,756	15,23
Feldhase	S 28	17,03	-10,2	0,758	15,23
Feldhase	Hb 2	17,04	-10,2	0,761	15,23
Pferd	Hb 85	17,05		0,764	15,23
Rind	Hb 56	17,07		0,77	15,24
Rind	Hb 61	17,13		0,79	15,24
Rind	Hb 62	17,18		0,807	15,25
Rind	Hb 55	17,18		0,807	15,25
Pferd	Hb 89	17,20		0,813	15,25
Seehund	Hb 23	17,21		0,816	17,21
Auerochse	Hb 47	17,25	-11,3	0,828	15,26
Feldhase	Hb 3	17,26	-11,4	0,833	15,26
Damhirsch	S 6	17,28	-11,4	0,839	15,26
Rotfuchs	S 19	17,28		0,839	15,26
Feldhase	S 24	17,29	-11,5	0,842	15,26
Rothirsch	S 5	17,32	-11,6	0,851	15,26
Hauskatze	Hb 107	17,37		0,866	15,27
Rothirsch	S 1	17,41	-12,1	0,88	15,27

Fortsetzung von Tabelle A50

Spezies	Probennr.	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰]	Δ [%]	m	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [‰] korrigiert
Pferd	Hb 86	17,41		0,881	15,27
Pferd	Hb 90	17,44		0,89	15,28
Baummarker	Hb 21	17,51		0,913	15,28
Rind	Hb 59	17,51		0,913	15,28
Haushund	Hb 93	17,52		0,917	15,28
Rothirsch	Hb 35	17,60	-13,0	0,941	15,29
Rind	Hb 60	17,62		0,948	15,29
Elch	Hb 46	17,64	-13,3	0,955	15,29
Rind	Hb 58	17,66		0,961	15,29
Schwein	Hb 69	17,76		0,994	15,30
Auerochse	Hb 48	17,78	-13,9	1	15,30
Schaf	Hb 79	17,92		1,045	15,31
Rotfuchs	S 18	17,96		1,059	15,31
Rind	Hb 57	18,14		1,115	15,32
Schaf	Hb 78	18,32		1,175	15,32
Rotfuchs	S 21	18,40		1,2	15,32
Pferd	Hb 91	18,53		1,243	15,32
Pottwal	Hb 50	19,59		1,582	19,59
Schaf	Hb 77	19,64		1,599	15,26
Schaf	Hb 76	19,72		1,625	15,25
Schaf	Hb 73	19,73		1,63	15,25

Tabelle A51: Aufsteigend sortierte $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte der terrestrischen und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig. Marine Säuger sind grau hinterlegt. Die terrestrische Herbivoren, die für die Berechnung des marinen Einflusses verwendet wurden, sowie der marine Säuger, der der unteren marinen Grenze entspricht, sind fettgedruckt. Prozentuale Differenz (Δ) und mariner Einfluss (m) sind mit Formeln 85 und 90 berechnet worden. Die terrestrischen Säuger werden gemäß Formel 86 gegen den minimalen „sea spray“-Effekt (16,5 ‰) korrigiert.

Spezies	Probennr.	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ [‰]	Δ [%]	m	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ [‰] korrigiert
Rotfuchs	S 22	8,15		-0,351	7,68
Auerochse	Hb 47	9,94		0	9,94
Feldhase	Hb 2	9,97		0,006	9,96
Wildschwein	Hb 32	10,67		0,142	10,42
Reh	S 11	10,77		0,162	10,48
Schwein	Hb 69	11,77		0,358	11,08
Wildschwein	S 15	12,16		0,434	11,29
Schaf	Hb 79	12,20		0,443	11,31
Hauskatze	Hb 107	12,31		0,465	11,37
Reh	Hb 40	12,33		0,467	11,38
Rothirsch	S 3	12,54		0,509	11,49
Kegelrobbe	S 17	12,56		0,512	
Fischotter	Hb 20	12,94		0,587	11,68
Pferd	Hb 92	12,97		0,594	11,70
Haushund	Hb 99	13,01		0,602	11,72
Rothirsch	S 4	13,12	4,3	0,623	11,77
Rotfuchs	S 21	13,16		0,631	11,79
Rothirsch	S 5	13,73	8,5	0,741	12,05
Schaf	Hb 74	13,76		0,749	12,06
Haushund	Hb 95	13,91		0,777	12,12
Reh	Hb 41	13,95	10,0	0,785	12,14
Rind	Hb 57	14,11		0,817	12,21
Walross	KS 76	14,36		0,866	
Feldhase	S 24	14,65	14,2	0,922	12,42

Fortsetzung von Tabelle A51

Spezies	Probennr.	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$	$\Delta[\text{‰}]$	m	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}} [\text{‰}]$ korrigiert
Feldhase	S 28	14,77	15,0	0,946	12,46
Seehund	KHb 31	14,81		0,953	
Wildschwein	S 16	15,03		0,996	12,56
Feldhase	Hb 3	15,05	16,5	1	12,56
Seehund	Hb 25	15,13		1,016	
Seehund	KHb 30	15,49		1,087	
Sattelrobbe	KHb 25	16,22		1,230	
Schwein	Hb 65	16,23		1,232	12,93
Sattelrobbe	Hb 30	21,15		2,197	

Tabelle A52: GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz I nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$).

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Auerochse Hb 47	Auerochse Hb 48	Kegelrobbe 20 KR1Ph
Damhirsch S 6	Eichhörnchen Hb 7	Kegelrobbe 21 KR2T
Kaninchen S 29	Elch Hb 46	Kegelrobbe 22 KR3S
Kaninchen S 30	Feldhase Hb 1	Kegelrobbe 23 KR4V
Reh S 11	Feldhase Hb 2	Kegelrobbe 24 KR5Mt
Schaf Hb 74	Feldhase Hb 3	Kegelrobbe 71 KR1BuTy
Schaf Hb 77	Feldhase Hb 5	Kegelrobbe 72 KR2Sc
Schaf Hb 78	Feldhase S 24	Kegelrobbe 73 KR3Mt
Seehund Hb 23	Feldhase S 25	Kegelrobbe 74 KR4Fi
	Feldhase S 26	Kegelrobbe 75 KR5Mt
	Feldhase S 27	Kegelrobbe S 17
	Feldhase S 28	Pottwal Hb 50

Fortsetzung von Tabelle A52

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
	Pferd Hb 83	Ringelrobbe Hb 28
	Pferd Hb 84	Sattelrobbe 26 SR2Fi
	Pferd Hb 85	Sattelrobbe Hb 30
	Pferd Hb 86	Sattelrobbe KHb 25
	Pferd Hb 87	Seehund 27 SH1Ph
	Pferd Hb 88	Seehund 28 SH2R
	Pferd Hb 89	Seehund 29 SH3V
	Pferd Hb 90	Seehund Hb 24
	Pferd Hb 91	Seehund Hb 25
	Pferd Hb 92	Seehund Hb 26
	Reh Hb 40	Seehund Hb 27
	Reh Hb 41	Seehund KHb 30
	Reh Hb 42	Seehund KHb 31
	Reh Hb 43	Walross KS 76
	Reh S 8	
	Reh S 9	
	Reh S 10	
	Reh S 12	
	Rind Hb 53	
	Rind Hb 54	
	Rind Hb 55	
	Rind Hb 56	
	Rind Hb 57	
	Rind Hb 58	
	Rind Hb 59	

Fortsetzung von Tabelle A52

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
	Rind Hb 60	
	Rind Hb 61	
	Rind Hb 62	
	Rothirsch Hb 35	
	Rothirsch Hb 36	
	Rothirsch Hb 38	
	Rothirsch Hb 39	
	Rothirsch S 1	
	Rothirsch S 2	
	Rothirsch S 3	
	Rothirsch S 4	
	Rothirsch S 5	
	Schaf Hb 73	
	Schaf Hb 75	
	Schaf Hb 76	
	Schaf Hb 79	

Tabelle A53: Mittelwert (μ) und Standardabweichung (SD) für die GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz I nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$).

μ	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	-21,56	-22,03	-15,48
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	8,65	4,90	13,15
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	-13,70	-14,57	-10,06
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	-10,27	-10,54	-8,83
SD	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	0,85	0,55	1,70
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	1,26	0,81	2,51
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	1,29	0,83	2,58
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	0,66	1,09	1,32

Tabelle A54: GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz II nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$).

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Auerochse Hb 47	Feldhase Hb 2	Kegelrobbe S 17
Reh S 11	Feldhase Hb 3	Sattelrobbe Hb 30
	Feldhase S 24	Sattelrobbe KHb 25
	Feldhase S 28	Seehund Hb 25
	Pferd Hb 92	Seehund KHb 30
	Reh Hb 40	Seehund KHb 31
	Reh Hb 41	Walross KS 76
	Rind Hb 57	
	Rothirsch S 3	

Fortsetzung von Tabelle A54

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
	Rothirsch S 4	
	Rothirsch S 5	
	Schaf Hb 74	
	Schaf Hb 79	

Tabelle A55: Mittelwert (μ) und Standardabweichung (SD) für die GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz II nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$).

μ	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	-20,29	-22,24	-15,52
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	9,41	5,12	12,49
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	-14,13	-14,73	-9,83
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	-10,71	-10,44	-9,00
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	10,21	11,81	15,67
SD	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	0,41	0,71	1,67
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	0,55	0,95	2,26
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	0,44	0,79	1,87
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	0,32	0,57	1,36
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	0,44	0,83	1,96

Tabelle A56: GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz III nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$).

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Kegelrobbe S17	Feldhase Hb5	Auerochse Hb47
Pottwal Hb50	Feldhase S27	Auerochse Hb48
Ringelrobbe Hb 28	Pferd Hb87	Damhirsch S6
Sattelrobbe Hb30	Pferd Hb88	Eichhörnchen Hb7
Seehund Hb 26	Pferd Hb89	Elch Hb46
Seehund Hb23	Pferd Hb92	Feldhase Hb1
Seehund Hb27	Reh Hb41	Feldhase Hb2
	Reh Hb42	Feldhase Hb3
	Reh Hb43	Feldhase S24
	Reh S12	Feldhase S25
	Reh S8	Feldhase S26
	Rothirsch Hb36	Feldhase S28
	Rothirsch Hb38	Pferd Hb83
	Rothirsch Hb39	Pferd Hb84
	Rothirsch S2	Pferd Hb85
	Rothirsch S3	Pferd Hb86
	Rothirsch S5	Pferd Hb90
		Pferd Hb91
		Reh Hb40
		Reh S11
		Reh S9
		Rind Hb53
		Rind Hb54
		Rind Hb55

Fortsetzung von Tabelle A56

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
		Rind Hb56
		Rind Hb57
		Rind Hb58
		Rind Hb59
		Rind Hb60
		Rind Hb61
		Rind Hb62
		Rothirsch Hb35
		Rothirsch S1
		Schaf Hb73
		Schaf Hb74
		Schaf Hb76
		Schaf Hb77
		Schaf Hb78
		Schaf Hb79
		Wildkaninchen S29
		Wildkaninchen S30

Tabelle A57: Mittelwert (μ) und Standardabweichung (SD) für die GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz III nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$).

μ	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	-16,10	-22,32	-21,86
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	12,30	4,88	5,58
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	-9,87	-15,58	-14,55
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	-8,42	-10,67	-10,47
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	16,40	15,16	15,22
SD	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	3,86	0,31	0,71
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	9,26	0,74	1,71
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	3,48	0,28	0,64
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	1,52	0,12	0,28
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	0,85	0,07	0,16

Tabelle A58: Aufsteigend sortierte $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte der Rothirsche und Rotfüchse aus Haithabu und Schleswig.

Spezies	Probe	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
Rothirsch	Hb 35	0,709700
Rothirsch	Hb 39	0,709747
Rothirsch	Hb 36	0,709851
Rothirsch	Hb 38	0,710019
Rothirsch	Hb 37	0,711025
Rotfuchs	S 18	0,711351
Rotfuchs	Hb 14	0,711507
Rothirsch	S 3	0,711581
Rothirsch	S 4	0,712009

Fortsetzung von Tabelle A58

Spezies	Probe	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
Rotfuchs	Hb 12	0,712063
Rothirsch	S 1	0,712066
Rothirsch	S 2	0,712134

Tabelle A59: Tiere aus Haithabu und Schleswig sortiert nach ansteigenden $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten. Marine Säuger sind grau hinterlegt. Der prozentuale Unterschied ($\Delta(\%)$) zur Berechnung des limnischen Einflusses auf die $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte ist mittels Formel 95 berechnet worden. Die $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte wurden ohne bzw. mit Hilfe des marinen Einflusses gegen den „sea spray“-Effekt korrigiert (Formeln 86 und 90).

Spezies	Probennr.	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert, ohne m)	Δ $\Delta(\%)$	m	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert, mit m)	Δ $\Delta(\%)$
Feldhase	Hb 2	3,80	9,97	8,33		0,01	9,96	
Feldhase	S 24	4,04	14,65	12,23		0,92	12,42	
Schaf	Hb 79	4,26	12,20	10,19		0,44	11,31	
Feldhase	S 28	4,35	14,77	12,33		0,95	12,46	
Reh	Hb 41	4,42	13,95	11,65		0,79	12,14	
Feldhase	Hb 3	4,54	15,05	12,56		1,00	12,56	
Wildschwein	S 16	5,09	15,03	12,55		1,00	12,56	
Hausschwein	Hb 65	5,23	16,23	13,55		1,23	12,93	
Reh	Hb 40	5,38	12,33	10,29		0,47	11,38	
Rothirsch	S 4	5,44	13,12	10,96		0,62	11,77	
Rothirsch	S 5	5,51	13,73	11,46		0,74	12,05	
Rind	Hb 57	5,53	14,11	11,78		0,82	12,21	
Wildschwein	Hb 32	5,80	10,67	8,91		0,14	10,42	
Rothirsch	S 3	5,81	12,54	10,47		0,51	11,49	
Pferd	Hb 92	6,01	12,97	10,83		0,59	11,70	
Schaf	Hb 74	7,49	13,76	11,49		0,75	12,06	
Hausschwein	Hb 69	7,52	11,77	9,83		0,36	11,08	
Hauskatze	Hb 107	7,87	12,31	10,28		0,46	11,37	
Reh	S 11	8,33	10,77	8,99		0,16	10,48	
Rotfuchs	S 21	8,95	13,16	10,99		0,63	11,79	

Fortsetzung von Tabelle A59

Spezies	Probennr.	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert, ohne m)	Δ	$\Delta(\%)$	m	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert, mit m)	Δ	$\Delta(\%)$
Wildschwein	S 15	9,13	12,16	10,15			0,43	11,29		
Hund	Hb 99	9,35	13,01	10,87			0,60	11,72		
Hund	Hb 95	10,18	13,91	11,61			0,78	12,12		
Auerchse	Hb 47	10,48	9,94	8,30	2,2	20,8	0	9,94	0,54	5,1
Sattelrobbe	Hb 30	11,21	21,15	21,15			2,20	21,15		
Rotfuchs	S 22	11,21	8,15	6,81			-0,35	8,62		
Seehund	KHb 30	11,99	15,49	15,49			1,09	15,49		
Seehund	Hb 25	12,00	15,13	15,13			1,02	15,13		
Walross	KS 76	12,32	14,36	14,36			0,87	14,36		
Sattelrobbe	KHb 25	12,46	16,22	16,22			1,23	16,22		
Kegelrobbe	S 17	12,93	12,56	12,56			0,51	12,56		
Fischotter	Hb 20	13,81	12,94	10,80			0,59	11,68		
Seehund	KHb 31	14,52	14,81	14,81			0,95	14,81		

Tabelle A60: GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „VEI“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz I nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$).

Cluster 1	Cluster 2
Auerochse Hb 48	Auerochse Hb 47
Damhirsch S 6	Kaninchen S 30
Eichhörnchen Hb 7	Kegelrobbe 20 KR1Ph
Elch Hb 46	Kegelrobbe 21 KR2T
Feldhase Hb 1	Kegelrobbe 22 KR3S
Feldhase Hb 2	Kegelrobbe 23 KR4V
Feldhase Hb 3	Kegelrobbe 24 KR5Mt
Feldhase Hb 5	Kegelrobbe 71 KR1BuTy
Feldhase S 24	Kegelrobbe 72 KR2Sc
Feldhase S 25	Kegelrobbe 73 KR3Mt
Feldhase S 26	Kegelrobbe 74 KR4Fi
Feldhase S 27	Kegelrobbe 75 KR5Mt
Feldhase S 28	Kegelrobbe S 17
Kaninchen S 29	Pottwal Hb 50
Pferd Hb 83	Ringelrobbe Hb 28
Pferd Hb 84	Sattelrobbe 26 SR2Fi
Pferd Hb 85	Sattelrobbe Hb 30
Pferd Hb 86	Sattelrobbe KHb 25
Pferd Hb 87	Seehund 27 SH1Ph
Pferd Hb 88	Seehund 28 SH2R
Pferd Hb 89	Seehund 29 SH3V
Pferd Hb 90	Seehund Hb 23
Pferd Hb 91	Seehund Hb 24
Pferd Hb 92	Seehund Hb 25
Reh Hb 40	Seehund Hb 26
Reh Hb 41	Seehund Hb 27

Fortsetzung von Tabelle A60

Cluster 1	Cluster 2
Reh Hb 42	Seehund KHb 30
Reh Hb 43	Seehund KHb 31
Reh S 8	Walross KS 76
Reh S 9	
Reh S 10	
Reh S 11	
Reh S 12	
Rind Hb 53	
Rind Hb 54	
Rind Hb 55	
Rind Hb 56	
Rind Hb 57	
Rind Hb 58	
Rind Hb 59	
Rind Hb 60	
Rind Hb 61	
Rind Hb 62	
Rothirsch Hb 35	
Rothirsch Hb 36	
Rothirsch Hb 38	
Rothirsch Hb 39	
Rothirsch S 1	
Rothirsch S 2	
Rothirsch S 3	
Rothirsch S 4	

Fortsetzung von Tabelle A60

	Cluster 1	Cluster 2
Rothirsch S 5		
Schaf Hb 73		
Schaf Hb 74		
Schaf Hb 75		
Schaf Hb 76		
Schaf Hb 77		
Schaf Hb 78		
Schaf Hb 79		

Tabelle A61: Mittelwert (μ) und Standardabweichung (SD) für die GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „VEI“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz I nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$).

μ	Cluster 1	Cluster 2
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	-22,02	-16,09
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	5,17	12,78
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	-14,53	-10,39
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	-10,53	-8,97
SD	Cluster 1	Cluster 2
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	0,62	2,10
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	1,08	3,62
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	0,83	2,79
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	0,40	1,36

Tabelle A62: GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „VEI“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz I nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$) und gegen den limnischen Einfluss ($\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$).

Cluster 1	Cluster 2
Auerchse Hb 47	Kegelrobbe 20 KR1Ph
Auerchse Hb 48	Kegelrobbe 21 KR2T
Damhirsch S 6	Kegelrobbe 22 KR3S
Eichhörnchen Hb 7	Kegelrobbe 23 KR4V
Elch Hb 46	Kegelrobbe 24 KR5Mt
Feldhase Hb 1	Kegelrobbe 71 KR1BuTy
Feldhase Hb 2	Kegelrobbe 72 KR2Sc
Feldhase Hb 3	Kegelrobbe 73 KR3Mt
Feldhase Hb 5	Kegelrobbe 74 KR4Fi
Feldhase S 24	Kegelrobbe 75 KR5Mt
Feldhase S 25	Kegelrobbe S 17
Feldhase S 26	Pottwal Hb 50
Feldhase S 27	Ringelrobbe Hb 28
Feldhase S 28	Sattelrobbe 26 SR2Fi
Kaninchen S 29	Sattelrobbe Hb 30
Kaninchen S 30	Sattelrobbe KHb 25
Pferd Hb 83	Seehund 27 SH1Ph
Pferd Hb 84	Seehund 28 SH2R
Pferd Hb 85	Seehund 29 SH3V
Pferd Hb 86	Seehund Hb 23
Pferd Hb 87	Seehund Hb 24
Pferd Hb 88	Seehund Hb 25
Pferd Hb 89	Seehund Hb 26
Pferd Hb 90	Seehund Hb 27
Pferd Hb 91	Seehund KHb 30
Pferd Hb 92	Seehund KHb 31

Fortsetzung von Tabelle A62

Cluster 1	Cluster 2
Reh Hb 40	Walross KS 76
Reh Hb 41	
Reh Hb 42	
Reh Hb 43	
Reh S 8	
Reh S 9	
Reh S 10	
Reh S 11	
Reh S 12	
Rind Hb 53	
Rind Hb 54	
Rind Hb 55	
Rind Hb 56	
Rind Hb 57	
Rind Hb 58	
Rind Hb 59	
Rind Hb 60	
Rind Hb 61	
Rind Hb 62	
Rothirsch Hb 35	
Rothirsch Hb 36	
Rothirsch Hb 38	
Rothirsch Hb 39	
Rothirsch S 1	
Rothirsch S 2	

Fortsetzung von Tabelle A62

Cluster 1	Cluster 2
Rothirsch S 3	
Rothirsch S 4	
Rothirsch S 5	
Schaf Hb 73	
Schaf Hb 74	
Schaf Hb 75	
Schaf Hb 76	
Schaf Hb 77	
Schaf Hb 78	
Schaf Hb 79	

Tabelle A63: Mittelwert (μ) und Standardabweichung (SD) für die GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „VEI“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz I nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$) und gegen den limnischen Einfluss ($\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$).

μ	Cluster 1	Cluster 2
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	-22,00	-15,71
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	4,24	12,95
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	-14,50	-10,13
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	-10,53	-8,84
SD	Cluster 1	Cluster 2
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	0,62	1,91
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	1,08	3,35
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	0,84	2,59
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	0,42	1,30

Tabelle A64: Mit Hilfe von „SISUS“ errechnete Anteile (Mittelwert (μ), Standardabweichung (SD)) der vier Nahrungskomponenten (Modell I: Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger) für die mindestens adulten Menschen aus Hait-habu und Schleswig.

Probennr.	Rind, Schaf, Schwein μ	Rind, Schaf, Schwein SD	Süßwasserfische μ	Süßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD
H 4	0,269	0,014	0,440	0,013	0,146	0,085	0,145	0,084
H 17	0,534	0,012	0,238	0,011	0,115	0,066	0,112	0,065
H 64	0,619	0,010	0,184	0,009	0,099	0,057	0,098	0,056
H 66a	0,322	0,016	0,355	0,015	0,164	0,094	0,159	0,093
H 67 a	0,344	0,014	0,361	0,013	0,147	0,086	0,148	0,085
H 72	0,207	0,015	0,470	0,014	0,163	0,093	0,160	0,092
H 76	0,269	0,014	0,440	0,013	0,146	0,085	0,145	0,084
H 105	0,217	0,015	0,473	0,014	0,154	0,090	0,155	0,089
H 106a	0,086	0,018	0,527	0,017	0,195	0,112	0,192	0,111
H 107	-	-	-	-	-	-	-	-
H 154	0,044	0,019	0,534	0,018	0,211	0,122	0,212	0,121
H 269	-	-	-	-	-	-	-	-
H 270	-	-	-	-	-	-	-	-
H 271	0,235	0,017	0,401	0,016	0,182	0,106	0,182	0,105
H 274	0,664	0,010	0,145	0,009	0,096	0,055	0,095	0,055
H 275	0,563	0,011	0,220	0,010	0,110	0,063	0,108	0,062
H 276	-	-	-	-	-	-	-	-
H K XII	0,221	0,013	0,502	0,012	0,140	0,080	0,138	0,079
H 1902 Grube 56 I-IV	0,205	0,019	0,390	0,018	0,206	0,118	0,200	0,117
H 1904 III/1	0,402	0,015	0,303	0,014	0,149	0,086	0,146	0,085
H 1912 XIII/3	0,080	0,017	0,552	0,016	0,186	0,107	0,183	0,106
H 1912 XIV,3	0,217	0,015	0,474	0,014	0,156	0,090	0,154	0,089
H 1936 DIV	0,370	0,014	0,344	0,013	0,144	0,083	0,142	0,082
H 1968 Sk 4	0,632	0,010	0,186	0,009	0,092	0,054	0,091	0,053
H 1968 Sk 5	0,416	0,004	0,507	0,003	0,039	0,022	0,038	0,022
H 1968 Sk 6	0,500	0,007	0,351	0,007	0,075	0,044	0,075	0,043
H 12301 K I/1	-	-	-	-	-	-	-	-
H 12370 K IX/6	0,022	0,013	0,565	0,012	0,145	0,082	0,268	0,082
H 12640 XII/2	0,285	0,014	0,419	0,013	0,147	0,085	0,148	0,084
H 12640 K XIII/3	0,203	0,017	0,442	0,016	0,179	0,103	0,176	0,103
H Kammergrab III	0,360	0,015	0,341	0,014	0,150	0,087	0,150	0,086
H unter Gr 10	0,484	0,013	0,251	0,012	0,133	0,077	0,132	0,076

Fortsetzung von Tabelle A64

Probenr.	Rind, Schaf, Schwein μ	Rind, Schaf, Schwein SD	Süßwasserfische μ	Süßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD
RM 2	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 5	0,612	0,008	0,228	0,007	0,081	0,047	0,079	0,046
RM 8	0,349	0,015	0,337	0,014	0,156	0,091	0,158	0,090
RM 9	0,559	0,017	0,104	0,016	0,169	0,098	0,168	0,097
RM 11	0,010	0,006	0,601	0,005	0,064	0,037	0,325	0,037
RM 12	0,484	0,013	0,251	0,012	0,133	0,077	0,132	0,076
RM 14	0,099	0,020	0,478	0,019	0,215	0,123	0,208	0,122
RM 17	0,456	0,014	0,269	0,013	0,139	0,079	0,136	0,078
RM 21	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 23	0,333	0,015	0,358	0,014	0,155	0,090	0,154	0,089
RM 28	0,111	0,018	0,511	0,017	0,191	0,110	0,187	0,109
RM 29	0,442	0,011	0,338	0,010	0,110	0,064	0,110	0,063
RM 31	0,511	0,013	0,234	0,012	0,130	0,074	0,126	0,073
RM 32	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 41	0,124	0,015	0,544	0,014	0,167	0,097	0,166	0,096
RM 42	0,393	0,010	0,400	0,009	0,104	0,060	0,102	0,060
RM 52 a	0,254	0,016	0,409	0,015	0,171	0,098	0,166	0,097
RM 54	0,046	0,023	0,450	0,022	0,253	0,146	0,251	0,145
RM 57	0,011	0,006	0,537	0,006	0,071	0,041	0,382	0,040
RM 58	0,119	0,013	0,599	0,012	0,142	0,081	0,140	0,080
RM 60	0,046	0,018	0,564	0,017	0,197	0,113	0,194	0,112
RM 68	0,344	0,017	0,311	0,016	0,173	0,100	0,173	0,099
RM 76	0,338	0,013	0,385	0,012	0,139	0,081	0,138	0,080
RM 78	0,266	0,020	0,310	0,019	0,214	0,122	0,210	0,121
RM 79	0,365	0,013	0,368	0,012	0,135	0,077	0,132	0,076
RM 80	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 81	0,010	0,006	0,569	0,006	0,067	0,039	0,354	0,039
RM 82	0,551	0,012	0,218	0,011	0,117	0,067	0,115	0,066
RM 86	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 88	0,010	0,006	0,569	0,006	0,068	0,039	0,353	0,039
RM 90	-	-	-	-	-	-	-	-

Fortsetzung von Tabelle A64

Probennr.	Rind, Schaf, Schwein μ	Rind, Schaf, Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD
RM 91	0,338	0,018	0,284	0,018	0,190	0,110	0,188	0,109
RM 92	0,061	0,023	0,430	0,023	0,253	0,146	0,257	0,146
RM 93	0,484	0,013	0,251	0,012	0,134	0,077	0,132	0,076
RM 94	0,657	0,008	0,189	0,007	0,078	0,045	0,076	0,044
RM 95	0,111	0,021	0,429	0,021	0,234	0,133	0,226	0,132
RM 98	0,281	0,016	0,392	0,015	0,165	0,096	0,163	0,095
RM 100	0,241	0,018	0,377	0,017	0,190	0,111	0,193	0,110
RM 101	0,081	0,021	0,469	0,020	0,226	0,132	0,224	0,131
RM 102	0,587	0,013	0,155	0,012	0,130	0,075	0,128	0,075
RM 103	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 104	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 105	0,271	0,019	0,337	0,018	0,198	0,114	0,194	0,113
RM 107	0,246	0,019	0,353	0,018	0,201	0,116	0,200	0,115
RM 108	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 109	0,574	0,010	0,223	0,009	0,104	0,059	0,099	0,058
RM 110	0,027	0,016	0,478	0,015	0,173	0,100	0,321	0,100
RM 113	0,011	0,007	0,504	0,006	0,074	0,042	0,411	0,042
RM 115	0,295	0,011	0,474	0,010	0,115	0,067	0,116	0,066
RM 116	0,396	0,016	0,277	0,015	0,164	0,094	0,162	0,094
RM 117	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 118	0,381	0,013	0,347	0,012	0,137	0,079	0,135	0,078
RM 120	0,286	0,016	0,368	0,016	0,174	0,100	0,172	0,099
RM 125	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 131 a	0,354	0,014	0,364	0,013	0,141	0,082	0,140	0,081
RM 134	0,127	0,022	0,408	0,021	0,231	0,136	0,233	0,135
RM 135	0,094	0,022	0,419	0,022	0,245	0,141	0,242	0,140
RM 136	0,240	0,018	0,377	0,017	0,192	0,111	0,191	0,110
RM 137	0,174	0,019	0,430	0,018	0,200	0,115	0,197	0,115
RM 138	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 139	0,118	0,022	0,404	0,021	0,241	0,138	0,237	0,138
RM 140	0,124	0,019	0,462	0,018	0,210	0,120	0,204	0,119

Fortsetzung von Tabelle A64

Probennr.	Rind, Schaf, Schwein μ	Rind, Schaf, Schwein SD	Süßwasserfische μ	Süßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD
RM 141	0,413	0,014	0,306	0,013	0,141	0,081	0,139	0,080
RM 142a	0,272	0,026	0,185	0,026	0,273	0,158	0,270	0,157
RM 142b	0,124	0,019	0,462	0,018	0,209	0,120	0,206	0,119
RM 143	0,002	0,001	0,615	0,001	0,011	0,006	0,373	0,006
RM 144	0,401	0,017	0,254	0,016	0,172	0,100	0,173	0,099
RM 145	0,515	0,014	0,211	0,013	0,138	0,079	0,135	0,078
RM 146	0,041	0,021	0,504	0,020	0,229	0,131	0,225	0,130
RM 147	0,523	0,012	0,236	0,011	0,122	0,070	0,119	0,069
RM 150	0,185	0,010	0,597	0,009	0,110	0,063	0,108	0,062
RM 154	0,445	0,014	0,266	0,013	0,145	0,084	0,144	0,083
RM 155	0,439	0,016	0,240	0,015	0,162	0,093	0,160	0,092
RM 156	0,189	0,019	0,409	0,018	0,202	0,116	0,199	0,115
RM 158	0,611	0,012	0,160	0,011	0,116	0,067	0,113	0,066
RM 159	0,401	0,017	0,254	0,016	0,172	0,100	0,173	0,099
RM 160	0,286	0,017	0,368	0,016	0,176	0,101	0,170	0,100
RM 165	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 167	0,102	0,018	0,506	0,017	0,195	0,113	0,196	0,112
RM 169	0,133	0,023	0,384	0,022	0,242	0,140	0,241	0,140
RM 170	0,349	0,018	0,287	0,017	0,183	0,106	0,181	0,105
RM 171	0,164	0,019	0,425	0,018	0,206	0,119	0,204	0,118
RM 172	0,180	0,020	0,405	0,019	0,205	0,121	0,209	0,120
RM 173	0,203	0,017	0,442	0,016	0,179	0,103	0,177	0,102
RM 175	0,094	0,022	0,420	0,022	0,246	0,141	0,241	0,140
RM 178	0,199	0,018	0,413	0,017	0,194	0,113	0,194	0,112
RM 179	0,245	0,017	0,405	0,016	0,175	0,102	0,176	0,101
RM 180	0,035	0,020	0,434	0,020	0,224	0,130	0,308	0,130
RM 183	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 185	0,139	0,015	0,524	0,015	0,171	0,097	0,166	0,096
RM 186	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 188	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 191	0,195	0,020	0,385	0,019	0,212	0,121	0,208	0,120

Fortsetzung von Tabelle A64

Probennr.	Rind, Schaf, Schwein μ	Rind, Schaf, Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD
RM 193	0,252	0,020	0,329	0,019	0,209	0,123	0,210	0,122
RM 197	0,031	0,018	0,456	0,018	0,200	0,114	0,313	0,114
RM 202	0,133	0,022	0,384	0,022	0,242	0,140	0,241	0,139
RM 203	0,099	0,020	0,478	0,019	0,213	0,123	0,210	0,122
RM 207	0,219	0,017	0,421	0,016	0,181	0,104	0,179	0,103
RM 208	0,250	0,018	0,381	0,017	0,186	0,106	0,183	0,106
RM 210	0,440	0,013	0,289	0,012	0,137	0,078	0,133	0,077
RM 212	0,334	0,018	0,307	0,017	0,178	0,104	0,181	0,104
RM 213	0,146	0,021	0,417	0,020	0,220	0,128	0,217	0,127
RM 214	0,842	0,007	0,012	0,007	0,080	0,040	0,067	0,039
RM 215	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 219	0,035	0,020	0,497	0,019	0,221	0,128	0,247	0,127
RM 221	0,239	0,016	0,429	0,015	0,167	0,096	0,166	0,095
RM 226	0,285	0,014	0,419	0,013	0,148	0,085	0,147	0,084
RM 230	0,004	0,002	0,485	0,002	0,026	0,015	0,486	0,015
RM 232	0,484	0,013	0,251	0,012	0,133	0,077	0,133	0,076
RM 233	0,117	0,014	0,569	0,013	0,159	0,091	0,155	0,090
RM 234	0,151	0,021	0,393	0,020	0,230	0,131	0,226	0,130
SC 5	0,376	0,012	0,371	0,011	0,129	0,074	0,125	0,073
SC 19 b	0,220	0,019	0,369	0,019	0,207	0,119	0,203	0,118
SC 21	0,591	0,007	0,272	0,006	0,070	0,040	0,068	0,039
SC 53	-	-	-	-	-	-	-	-
SC 57	-	-	-	-	-	-	-	-
SC 58	0,551	0,012	0,218	0,011	0,117	0,068	0,115	0,067
SC 59	0,139	0,016	0,524	0,015	0,171	0,098	0,166	0,097
SC 66	0,442	0,011	0,338	0,010	0,110	0,064	0,110	0,063
SC 67	0,044	0,019	0,534	0,018	0,213	0,122	0,210	0,121
SC 69	0,201	0,021	0,361	0,020	0,219	0,127	0,218	0,126
SC 73	0,452	0,013	0,291	0,012	0,128	0,075	0,129	0,074
SC 75	0,159	0,018	0,450	0,017	0,196	0,114	0,196	0,113
SC 92	0,014	0,008	0,279	0,008	0,089	0,052	0,618	0,052

Fortsetzung von Tabelle A64

Probennr.	Rind, Schaf, Schwein μ	Rind, Schaf, Schwein SD	Süßwasserfische μ	Süßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD
SC 94	0,219	0,017	0,421	0,016	0,182	0,105	0,178	0,104
SC 96	0,112	0,021	0,428	0,021	0,231	0,133	0,228	0,132
SC 97	0,274	0,012	0,468	0,011	0,131	0,075	0,128	0,074
SC 101	0,566	0,008	0,268	0,008	0,084	0,048	0,082	0,048
SC 103	0,246	0,019	0,353	0,018	0,203	0,115	0,198	0,115
SC 104	0,184	0,018	0,434	0,017	0,193	0,111	0,190	0,110
SC 105	0,391	0,391	0,300	0,300	0,155	0,155	0,154	0,154
SC 111	0,221	0,019	0,369	0,018	0,206	0,118	0,204	0,117
SC 119	0,381	0,016	0,297	0,015	0,162	0,094	0,160	0,093
SC 120	0,296	0,016	0,371	0,015	0,167	0,096	0,165	0,095
SC 132	-	-	-	-	-	-	-	-
SC 141	0,397	0,014	0,327	0,013	0,139	0,080	0,137	0,079
SC 145	0,434	0,015	0,263	0,014	0,152	0,089	0,151	0,088
SC 146	0,370	0,014	0,344	0,013	0,143	0,083	0,142	0,082
SC 147	0,019	0,011	0,491	0,011	0,124	0,072	0,366	0,071
SC 162	0,323	0,018	0,304	0,017	0,188	0,109	0,186	0,108
SC 164	0,097	0,021	0,448	0,020	0,227	0,130	0,228	0,129
SC 175	0,434	0,015	0,263	0,014	0,155	0,089	0,148	0,088
SC 177	0,481	0,016	0,203	0,015	0,159	0,092	0,158	0,091
SC 179	0,370	0,014	0,344	0,013	0,144	0,083	0,141	0,082
SC 193	0,507	0,012	0,256	0,011	0,119	0,069	0,118	0,068
SC 198 a	0,364	0,018	0,267	0,017	0,184	0,107	0,185	0,106
SC 206	0,349	0,013	0,388	0,012	0,132	0,077	0,130	0,076
SC 213	0,286	0,017	0,368	0,016	0,174	0,101	0,172	0,100
SC 214	0,055	0,017	0,568	0,016	0,190	0,109	0,187	0,109
SC 222	0,210	0,014	0,498	0,013	0,148	0,085	0,144	0,084
SC 225	0,246	0,019	0,353	0,018	0,199	0,116	0,202	0,115
SC 226	0,039	0,017	0,588	0,016	0,185	0,108	0,188	0,107
SC 228	0,349	0,015	0,338	0,014	0,158	0,091	0,156	0,090
SC 229	-	-	-	-	-	-	-	-
SC 232	0,599	0,013	0,157	0,012	0,123	0,071	0,121	0,070

Fortsetzung von Tabelle A64

Probennr.	Rind, Schaf, Schwein	Rind, Schaf, Schwein μ	Rind, Schaf, Schwein SD	Süßwasserfische	Süßwasserfische μ	Süßwasserfische SD	Salzwasserfische	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger	marine Säuger μ	marine Säuger SD
SC 237	0,286	0,017	0,016	0,368	0,016	0,175	0,100	0,171	0,099			
SC 270	0,161	0,021	0,020	0,397	0,224	0,128	0,128	0,218	0,128			
SC 273	0,524	0,016	0,015	0,165	0,155	0,090	0,156	0,089				

Tabelle A65: Mit Hilfe von „SISUS“ errechnete Anteile (Mittelwert (μ), Standardabweichung (SD)) der fünf Nahrungskomponenten (Modell II: Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger, Pflanzen (berechnet aus domestizierten Herbivoren)) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.

Probenr.	Rind,Schaf,Schwein μ	Rind,Schaf,Schwein SD	Süßwasserfische μ	Süßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD	Pflanzen μ	Pflanzen SD
H 4	0,144	0,076	0,233	0,125	0,130	0,076	0,130	0,075	0,363	0,218
H 17	0,408	0,076	0,122	0,069	0,114	0,064	0,107	0,064	0,249	0,147
H 64	0,497	0,073	0,092	0,054	0,102	0,057	0,095	0,056	0,214	0,125
H 66a	0,231	0,057	0,182	0,103	0,152	0,086	0,145	0,086	0,290	0,172
H 67 a	0,231	0,069	0,186	0,105	0,139	0,079	0,133	0,079	0,312	0,187
H 72	0,109	0,060	0,258	0,129	0,143	0,085	0,144	0,083	0,347	0,208
H 76	0,144	0,076	0,233	0,125	0,130	0,076	0,130	0,075	0,363	0,218
H 105	0,114	0,063	0,270	0,124	0,135	0,082	0,140	0,080	0,340	0,206
H 106a	0,046	0,028	0,344	0,117	0,160	0,103	0,188	0,097	0,262	0,164
H 107	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H 154	0,026	0,018	0,361	0,122	0,156	0,107	0,229	0,097	0,229	0,158
H 269	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H 270	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H 271	0,164	0,045	0,209	0,117	0,169	0,096	0,160	0,096	0,297	0,179
H 274	0,559	0,062	0,072	0,043	0,101	0,056	0,091	0,055	0,177	0,102
H 275	0,434	0,076	0,110	0,064	0,110	0,062	0,103	0,061	0,243	0,141
H 276	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H K XII	0,113	0,065	0,328	0,105	0,124	0,074	0,127	0,072	0,309	0,184
H 1902 Grube 56 LIV	0,159	0,033	0,201	0,113	0,185	0,108	0,184	0,108	0,272	0,162
H 1904 III/1	0,301	0,062	0,155	0,088	0,142	0,081	0,135	0,080	0,267	0,159
H 1912 XIII/3	0,043	0,026	0,406	0,094	0,155	0,099	0,183	0,094	0,213	0,133
H 1912 XIV.3	0,113	0,064	0,270	0,125	0,136	0,082	0,140	0,080	0,341	0,207
H 1936 DIV	0,254	0,071	0,177	0,099	0,135	0,076	0,129	0,076	0,305	0,181
H 1968 Sk 4	0,496	0,080	0,093	0,054	0,095	0,053	0,089	0,053	0,227	0,132
H 1968 Sk 5	0,203	0,120	0,413	0,053	0,042	0,024	0,041	0,024	0,302	0,170
H 1968 Sk 6	0,251	0,145	0,194	0,091	0,075	0,044	0,075	0,043	0,406	0,235
H 12301 K I/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H 12370 K IX/6	0,015	0,010	0,469	0,069	0,096	0,068	0,295	0,061	0,125	0,089
H 12640 XIII/2	0,164	0,074	0,217	0,121	0,135	0,078	0,131	0,077	0,353	0,212
H 12640 K XIII/3	0,125	0,050	0,231	0,127	0,161	0,092	0,156	0,091	0,328	0,197
H Kammergrab III	0,254	0,064	0,175	0,099	0,142	0,080	0,136	0,080	0,294	0,174
H unter Gr 10	0,378	0,064	0,127	0,073	0,130	0,074	0,124	0,073	0,241	0,141
RM 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 5	0,423	0,108	0,112	0,066	0,085	0,048	0,079	0,047	0,301	0,171
RM 8	0,254	0,059	0,174	0,098	0,150	0,085	0,141	0,084	0,282	0,167
RM 9	0,524	0,028	0,053	0,032	0,180	0,095	0,152	0,095	0,091	0,055
RM 11	0,007	0,005	0,566	0,026	0,043	0,030	0,339	0,028	0,047	0,033

Fortsetzung von Tabelle A65

Probennr.	Rind,Schaf,Schwein μ	Rind,Schaf,Schwein SD	Süßwasserfische μ	Süßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD	Pflanzen μ	Pflanzen SD
RM 12	0,377	0,064	0,127	0,073	0,131	0,073	0,123	0,073	0,241	0,141
RM 14	0,062	0,028	0,252	0,136	0,189	0,110	0,185	0,109	0,311	0,187
RM 17	0,352	0,064	0,137	0,078	0,134	0,076	0,128	0,076	0,249	0,147
RM 21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 23	0,231	0,062	0,184	0,103	0,145	0,082	0,139	0,082	0,301	0,178
RM 28	0,059	0,034	0,308	0,127	0,160	0,100	0,176	0,095	0,297	0,183
RM 29	0,268	0,103	0,173	0,098	0,107	0,060	0,101	0,060	0,351	0,206
RM 31	0,404	0,064	0,117	0,067	0,127	0,072	0,120	0,071	0,232	0,134
RM 32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 41	0,065	0,037	0,390	0,096	0,144	0,089	0,159	0,086	0,242	0,148
RM 42	0,201	0,112	0,222	0,105	0,096	0,057	0,097	0,056	0,384	0,225
RM 52 a	0,166	0,055	0,213	0,119	0,157	0,089	0,147	0,088	0,316	0,192
RM 54	0,046	0,021	0,233	0,131	0,229	0,132	0,223	0,133	0,269	0,163
RM 57	0,007	0,005	0,441	0,068	0,047	0,033	0,383	0,029	0,121	0,086
RM 58	0,061	0,036	0,489	0,067	0,127	0,077	0,136	0,075	0,188	0,111
RM 60	0,026	0,018	0,439	0,087	0,150	0,102	0,215	0,095	0,170	0,115
RM 68	0,272	0,046	0,160	0,090	0,166	0,093	0,157	0,093	0,246	0,146
RM 76	0,207	0,079	0,199	0,111	0,130	0,074	0,123	0,074	0,342	0,203
RM 78	0,231	0,029	0,160	0,090	0,202	0,114	0,193	0,114	0,214	0,127
RM 79	0,229	0,083	0,190	0,107	0,127	0,072	0,120	0,071	0,334	0,201
RM 80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 81	0,007	0,005	0,515	0,038	0,045	0,032	0,364	0,028	0,069	0,049
RM 82	0,435	0,069	0,110	0,063	0,116	0,065	0,110	0,065	0,229	0,134
RM 86	0,001	0,001	0,038	0,027	0,005	0,004	0,381	0,009	0,575	0,034
RM 88	0,007	0,005	0,515	0,038	0,045	0,032	0,364	0,028	0,069	0,049
RM 90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 91	0,285	0,037	0,147	0,083	0,183	0,102	0,171	0,102	0,213	0,127
RM 92	0,061	0,021	0,221	0,125	0,233	0,133	0,226	0,134	0,259	0,154
RM 93	0,378	0,064	0,128	0,073	0,132	0,073	0,123	0,073	0,240	0,142
RM 94	0,491	0,095	0,093	0,055	0,082	0,046	0,077	0,045	0,256	0,146
RM 95	0,091	0,023	0,224	0,125	0,212	0,121	0,202	0,122	0,272	0,165
RM 98	0,187	0,058	0,203	0,113	0,152	0,087	0,146	0,087	0,313	0,186
RM 100	0,182	0,039	0,195	0,110	0,177	0,101	0,172	0,101	0,273	0,164
RM 101	0,058	0,024	0,245	0,135	0,204	0,117	0,196	0,117	0,298	0,180
RM 102	0,511	0,046	0,078	0,045	0,134	0,073	0,120	0,072	0,158	0,091

Fortsetzung von Tabelle A65

Probenr.	Rind,Schaf,Schwein	μ	Rind,Schaf,Schwein	SD	Stüßwasserfische	μ	Stüßwasserfische	SD	Salzwasserfische	μ	Salzwasserfische	SD	marine Säuger	μ	marine Säuger	SD	Pflanzen	μ	Pflanzen	SD
RM 103	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
RM 104	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
RM 105	0,220	0,036	-	0,098	0,174	-	0,098	0,184	0,104	0,178	0,105	0,243	0,105	0,253	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	
RM 107	0,198	0,034	-	0,102	0,182	-	0,102	0,189	0,106	0,180	0,107	0,252	0,107	0,252	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	
RM 108	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
RM 109	0,435	0,082	-	0,064	0,112	-	0,064	0,105	0,058	0,096	0,058	0,253	0,058	0,253	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	
RM 110	0,025	0,014	-	0,137	0,248	-	0,137	0,158	0,091	0,280	0,095	0,290	0,095	0,290	0,172	0,172	0,172	0,172	0,172	
RM 113	0,009	0,005	-	0,141	0,286	-	0,141	0,055	0,035	0,375	0,040	0,275	0,040	0,275	0,177	0,177	0,177	0,177	0,177	
RM 115	0,151	0,084	-	0,097	0,309	-	0,097	0,105	0,062	0,107	0,061	0,328	0,061	0,328	0,191	0,191	0,191	0,191	0,191	
RM 116	0,320	0,049	-	0,081	0,142	-	0,081	0,158	0,089	0,150	0,089	0,230	0,089	0,230	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	
RM 117	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
RM 118	0,253	0,077	-	0,101	0,178	-	0,101	0,129	0,073	0,123	0,073	0,316	0,073	0,316	0,187	0,187	0,187	0,187	0,187	
RM 120	0,208	0,050	-	0,107	0,191	-	0,107	0,162	0,092	0,154	0,092	0,285	0,092	0,285	0,172	0,172	0,172	0,172	0,172	
RM 125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
RM 131 a	0,230	0,075	-	0,106	0,187	-	0,106	0,132	0,075	0,127	0,075	0,325	0,075	0,325	0,192	0,192	0,192	0,192	0,192	
RM 134	0,107	0,023	-	0,119	0,211	-	0,119	0,216	0,122	0,205	0,123	0,261	0,123	0,261	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157	
RM 135	0,084	0,021	-	0,121	0,217	-	0,121	0,226	0,127	0,214	0,129	0,259	0,129	0,259	0,155	0,155	0,155	0,155	0,155	
RM 136	0,182	0,040	-	0,109	0,195	-	0,109	0,178	0,101	0,171	0,102	0,274	0,102	0,274	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	
RM 137	0,121	0,036	-	0,124	0,222	-	0,124	0,181	0,102	0,174	0,103	0,303	0,103	0,303	0,181	0,181	0,181	0,181	0,181	
RM 138	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
RM 139	0,104	0,022	-	0,117	0,210	-	0,117	0,222	0,126	0,212	0,127	0,252	0,127	0,252	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	
RM 140	0,081	0,031	-	0,132	0,241	-	0,132	0,186	0,107	0,181	0,107	0,310	0,107	0,310	0,186	0,186	0,186	0,186	0,186	
RM 141	0,302	0,068	-	0,089	0,156	-	0,089	0,134	0,077	0,129	0,076	0,279	0,076	0,279	0,164	0,164	0,164	0,164	0,164	
RM 142a	0,267	0,025	-	0,057	0,096	-	0,057	0,281	0,149	0,241	0,151	0,115	0,151	0,115	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	
RM 142b	0,082	0,031	-	0,133	0,243	-	0,133	0,188	0,108	0,180	0,108	0,308	0,108	0,308	0,186	0,186	0,186	0,186	0,186	
RM 143	0,001	0,001	-	0,004	0,609	-	0,004	0,007	0,005	0,375	0,005	0,008	0,005	0,008	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	
RM 144	0,337	0,042	-	0,074	0,129	-	0,074	0,170	0,095	0,158	0,095	0,207	0,095	0,207	0,122	0,122	0,122	0,122	0,122	
RM 145	0,428	0,054	-	0,061	0,108	-	0,061	0,138	0,077	0,127	0,076	0,199	0,076	0,199	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117	
RM 146	0,029	0,018	-	0,140	0,290	-	0,140	0,178	0,112	0,227	0,105	0,276	0,105	0,276	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178	
RM 147	0,405	0,069	-	0,069	0,118	-	0,069	0,121	0,068	0,113	0,067	0,242	0,067	0,242	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	
RM 150	0,094	0,054	-	0,064	0,490	-	0,064	0,100	0,060	0,103	0,059	0,213	0,059	0,213	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	
RM 154	0,351	0,058	-	0,077	0,137	-	0,077	0,141	0,080	0,134	0,080	0,237	0,080	0,237	0,141	0,141	0,141	0,141	0,141	
RM 155	0,367	0,046	-	0,070	0,122	-	0,070	0,158	0,089	0,148	0,089	0,205	0,089	0,205	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	
RM 156	0,140	0,035	-	0,119	0,214	-	0,119	0,184	0,105	0,178	0,105	0,284	0,105	0,284	0,172	0,172	0,172	0,172	0,172	
RM 158	0,520	0,055	-	0,046	0,080	-	0,046	0,119	0,066	0,108	0,065	0,173	0,065	0,173	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	

Fortsetzung von Tabelle A65

Probennr.	Rind,Schaf,Schwein μ	Rind,Schaf,Schwein SD	Süßwasserfische μ	Süßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD	Pflanzen μ	Pflanzen SD
RM 159	0,337	0,042	0,130	0,074	0,170	0,094	0,158	0,094	0,205	0,122
RM 160	0,209	0,050	0,192	0,107	0,160	0,093	0,157	0,093	0,283	0,171
RM 165	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 167	0,055	0,032	0,297	0,131	0,166	0,103	0,182	0,098	0,300	0,185
RM 169	0,120	0,022	0,197	0,111	0,223	0,128	0,218	0,129	0,242	0,143
RM 170	0,289	0,040	0,148	0,084	0,175	0,099	0,166	0,099	0,221	0,132
RM 171	0,119	0,032	0,221	0,123	0,188	0,107	0,180	0,107	0,292	0,175
RM 172	0,137	0,032	0,211	0,117	0,193	0,109	0,182	0,109	0,277	0,166
RM 173	0,125	0,050	0,230	0,128	0,161	0,092	0,155	0,092	0,329	0,198
RM 175	0,084	0,021	0,220	0,122	0,224	0,129	0,216	0,129	0,255	0,154
RM 178	0,142	0,039	0,215	0,120	0,177	0,101	0,172	0,102	0,294	0,177
RM 179	0,166	0,050	0,212	0,116	0,159	0,092	0,158	0,092	0,305	0,183
RM 180	0,040	0,021	0,219	0,124	0,235	0,133	0,242	0,137	0,265	0,151
RM 183	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 185	0,073	0,042	0,348	0,108	0,147	0,090	0,157	0,087	0,274	0,167
RM 186	0,017	0,012	0,096	0,067	0,135	0,096	0,405	0,111	0,347	0,083
RM 188	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 191	0,156	0,031	0,202	0,112	0,196	0,111	0,186	0,112	0,260	0,158
RM 193	0,212	0,031	0,169	0,097	0,199	0,112	0,189	0,113	0,230	0,138
RM 197	0,031	0,018	0,230	0,132	0,205	0,116	0,251	0,123	0,283	0,164
RM 202	0,120	0,022	0,201	0,112	0,226	0,128	0,215	0,129	0,238	0,144
RM 203	0,063	0,028	0,253	0,137	0,190	0,109	0,185	0,109	0,310	0,188
RM 207	0,144	0,048	0,219	0,122	0,165	0,093	0,158	0,093	0,313	0,189
RM 208	0,183	0,043	0,196	0,110	0,173	0,098	0,163	0,098	0,285	0,169
RM 210	0,327	0,069	0,147	0,084	0,131	0,074	0,126	0,074	0,270	0,159
RM 212	0,269	0,042	0,158	0,090	0,171	0,097	0,164	0,097	0,238	0,142
RM 213	0,114	0,027	0,216	0,121	0,202	0,115	0,192	0,115	0,276	0,165
RM 214	0,822	0,015	0,008	0,005	0,104	0,032	0,045	0,031	0,022	0,015
RM 215	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RM 219	0,027	0,017	0,278	0,141	0,173	0,106	0,244	0,101	0,278	0,178
RM 221	0,145	0,058	0,222	0,124	0,152	0,087	0,145	0,087	0,336	0,201
RM 226	0,164	0,074	0,218	0,122	0,136	0,077	0,130	0,077	0,352	0,212
RM 230	0,007	0,004	0,208	0,136	0,045	0,029	0,394	0,053	0,346	0,170
RM 232	0,378	0,064	0,128	0,073	0,132	0,073	0,122	0,073	0,240	0,141
RM 233	0,061	0,035	0,438	0,081	0,139	0,085	0,151	0,082	0,211	0,128

Fortsetzung von Tabelle A65

Probenr.	Rind,Schaf,Schwein μ	Rind,Schaf,Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD	Pflanzen μ	Pflanzen SD
RM 234	0,128	0,024	0,204	0,113	0,212	0,120	0,202	0,121	0,254	0,152
SC 5	0,227	0,089	0,191	0,107	0,119	0,068	0,114	0,068	0,348	0,206
SC 19 b	0,177	0,082	0,193	0,107	0,191	0,109	0,185	0,110	0,254	0,153
SC 21	0,339	0,142	0,132	0,079	0,075	0,042	0,070	0,041	0,385	0,216
SC 53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SC 57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SC 58	0,435	0,069	0,111	0,063	0,117	0,066	0,109	0,065	0,228	0,134
SC 59	0,073	0,042	0,348	0,109	0,146	0,089	0,158	0,086	0,275	0,168
SC 66	0,269	0,103	0,173	0,097	0,106	0,061	0,102	0,060	0,350	0,206
SC 67	0,026	0,018	0,362	0,121	0,157	0,109	0,227	0,098	0,227	0,156
SC 69	0,169	0,027	0,188	0,105	0,207	0,116	0,194	0,117	0,241	0,145
SC 73	0,327	0,075	0,148	0,085	0,125	0,071	0,118	0,071	0,282	0,166
SC 75	0,103	0,038	0,236	0,129	0,176	0,102	0,172	0,102	0,312	0,188
SC 92	0,034	0,021	0,116	0,076	0,257	0,163	0,395	0,180	0,197	0,092
SC 94	0,144	0,047	0,219	0,122	0,166	0,094	0,157	0,093	0,315	0,188
SC 96	0,091	0,023	0,222	0,125	0,210	0,120	0,203	0,120	0,274	0,165
SC 97	0,144	0,080	0,289	0,110	0,117	0,069	0,118	0,068	0,332	0,203
SC 101	0,362	0,119	0,133	0,078	0,086	0,049	0,081	0,048	0,337	0,195
SC 103	0,198	0,084	0,181	0,103	0,188	0,106	0,181	0,107	0,253	0,151
SC 104	0,123	0,040	0,225	0,125	0,174	0,099	0,168	0,099	0,311	0,185
SC 105	0,300	0,056	0,154	0,087	0,148	0,084	0,141	0,084	0,258	0,152
SC 111	0,176	0,033	0,191	0,107	0,191	0,109	0,184	0,109	0,257	0,154
SC 119	0,298	0,052	0,152	0,087	0,155	0,088	0,147	0,088	0,248	0,148
SC 120	0,208	0,055	0,192	0,107	0,156	0,088	0,147	0,088	0,296	0,176
SC 132	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SC 141	0,278	0,072	0,167	0,095	0,131	0,075	0,127	0,074	0,297	0,176
SC 145	0,348	0,053	0,135	0,076	0,149	0,084	0,139	0,084	0,229	0,135
SC 146	0,254	0,071	0,177	0,100	0,136	0,077	0,129	0,077	0,304	0,181
SC 147	0,016	0,010	0,258	0,142	0,107	0,063	0,325	0,067	0,293	0,179
SC 162	0,265	0,039	0,158	0,089	0,181	0,100	0,167	0,100	0,228	0,137
SC 164	0,074	0,023	0,233	0,130	0,207	0,118	0,199	0,119	0,287	0,172
SC 175	0,348	0,053	0,135	0,076	0,149	0,083	0,139	0,083	0,229	0,135
SC 177	0,416	0,043	0,104	0,060	0,159	0,087	0,146	0,087	0,176	0,105
SC 179	0,256	0,070	0,180	0,099	0,136	0,077	0,129	0,076	0,299	0,180
SC 193	0,379	0,077	0,130	0,075	0,118	0,066	0,111	0,066	0,262	0,154

Fortsetzung von Tabelle A65

Probennr.	Rind,Schaf,Schwein μ	Rind,Schaf,Schwein SD	Süßwasserfische μ	Süßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD	Pflanzen μ	Pflanzen SD
SC 198 a	0,308	0,038	0,136	0,077	0,179	0,100	0,169	0,100	0,208	0,122
SC 206	0,205	0,087	0,201	0,113	0,123	0,070	0,118	0,069	0,353	0,212
SC 213	0,207	0,050	0,190	0,107	0,162	0,092	0,154	0,092	0,287	0,171
SC 214	0,030	0,020	0,446	0,084	0,152	0,101	0,200	0,095	0,172	0,114
SC 222	0,110	0,062	0,319	0,109	0,128	0,077	0,134	0,075	0,309	0,186
SC 225	0,198	0,034	0,182	0,103	0,189	0,108	0,179	0,108	0,252	0,150
SC 226	0,023	0,016	0,493	0,069	0,138	0,095	0,215	0,089	0,132	0,090
SC 228	0,254	0,059	0,174	0,098	0,149	0,084	0,141	0,084	0,282	0,168
SC 229	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SC 232	0,516	0,051	0,080	0,046	0,126	0,070	0,114	0,069	0,164	0,096
SC 237	0,207	0,050	0,191	0,108	0,163	0,092	0,154	0,092	0,285	0,172
SC 270	0,132	0,026	0,208	0,115	0,205	0,115	0,196	0,116	0,259	0,156
SC 273	0,466	0,039	0,084	0,049	0,159	0,087	0,143	0,087	0,148	0,087

Tabelle A66: Auflistung der mindestens adulten Individuen, die außerhalb des Mischungs-polygons liegen (grau: Individuen, die nur im Falle der vier Komponenten außerhalb des Polygons liegen) und daher mit „SISUS“ keine Lösung ergeben. Für diese Individuen erfolgte daher keine auf den berechneten Nahrungsanteilen basierende Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt (sh. Text). HB = Haithabu, RM = Rathausmarkt, SC = St. Clemens.

Nummer	Geschlecht	Alter	Ort	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{13}\text{C}$ (umgerechnet)	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}$ (umgerechnet)
H 107	m	adult	HB Gräberfeld	-19,9	-24,9	12,8	9,8
H 269	m	adult	HB Gräberfeld	-19,6	-24,6	13,1	10,1
H 270	w	adult	HB Gräberfeld	-19,8	-24,8	12,9	9,9
H 276	m	adult	HB Gräberfeld	-19,3	-24,3	13,7	10,7
H 12301 K I/1	nb	adult	HB Gräberfeld	-19,2	-24,2	13,3	10,3
RM 2	m	früh-adult	RM frühe Phase	-19,7	-24,7	14,9	11,9
RM 21	w	spät-adult	RM frühe Phase	-19,8	-24,8	15,1	12,1
RM 32	m	spät-adult	RM frühe Phase	-19,5	-24,5	15,0	12
RM 80	w	früh-adult	RM frühe Phase	-19,3	-24,3	13,3	10,3
RM 86	m	spät-adult	RM frühe Phase	-19,2	-24,2	13,1	10,1
RM 90	w	senil	RM frühe Phase	-19,6	-24,6	14,4	11,4
RM 103	m	spät-adult	RM frühe Phase	-19,5	-24,5	13,5	10,5
RM 104	w	spät-adult	RM frühe Phase	-20,4	-25,4	14,7	11,7
RM 108	w	spät-adult	RM frühe Phase	-19,7	-24,7	15,5	12,5
RM 117	m	spät-adult	RM späte Phase	-19,3	-24,3	13,2	10,2
RM 125	w	spät-adult	RM späte Phase	-20,6	-25,6	13,2	10,2
RM 138	m	spät-adult	RM frühe Phase	-19,3	-24,3	13,5	10,5
RM 165	w	spät-adult	RM frühe Phase	-19,1	-24,1	14,3	11,3
RM 183	m	spät-adult	RM frühe Phase	-19,9	-24,9	12,6	9,6
RM 186	m	spät-adult	RM frühe Phase	-18,1	-23,1	13,9	10,9
RM 188	m	früh-adult	RM frühe Phase	-20,1	-25,1	12,5	9,5
RM 215	w	spät-adult	RM frühe Phase	-19,8	-24,8	12,9	9,9
SC 53	w	adult	SC	-19,0	-24,0	14,0	11,0
SC 57	m	adult	SC	-19,5	-24,5	14,5	11,5
SC 132	m	adult	SC	-18,8	-23,8	15,3	12,3
SC 229	w	adult	SC	-20,4	-25,4	19,1	16,1

Tabelle A67: Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt mittels des mit „SISUS“ errechneten, mittleren terrestrischen Anteils in der Nahrung (Rind/Schaf/Schwein; Modell I) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.

Probenr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
H 4	0,269	-14,7	-16,0	-6,2	-7,2					
H 17	0,534	-13,4	-15,7	-5,0	-6,7		11,9	10,9		
H 64	0,619	-15,4	-18,5	-5,1	-7,1		11,8	10,6		
H 66a	0,322	-14,9	-16,5	-5,4	-6,5		12,0	11,4		
H 67 a	0,344	-13,1	-14,6	-6,4	-7,8		10,1	9,8		
H 72	0,207	-15,5	-16,6	-4,9	-5,5					
H 76	0,269	-13,9	-15,1	-5,8	-6,8					
H 105	0,217	-11,6	-12,4	-7,2	-8,2		7,5	7,2		
H 106a	0,086	-14,8	-15,2	-7,2	-7,6		13,3	13,1		
H 107	-	-15,6	-	-8,6	-		6,1	-		-
H 154	0,044	-14,8	-15,0	-5,8	-6,0					
H 269	-	-14,1	-	-7,0	-			-		-
H 270	-	-15,6	-	-6,4	-		10,4	-		-
H 271	0,235	-14,5	-15,6	-7,7	-8,8		4,4	4,2		
H 274	0,664	-13,6	-16,6	-4,8	-6,8		13,7	12,2		
H 275	0,563	-14,6	-17,3	-5,9	-8,0		12,5	11,3		
H 276	-	-14,5	-	-8,3	-			-		-
H K XII	0,221	-14,8	-15,9	-8,1	-9,2					
H 1902 Grube 56 I-IV	0,205	-13,5	-14,4	-6,8	-7,7					
H 1904 III/1	0,402	-13,6	-15,4	-7,0	-8,8		11,5	10,7		
H 1912 XIII/3	0,080	-14,9	-15,3	-6,0	-6,3		11,3	11,2		
H 1912 XIV.3	0,217	-14,2	-15,2	-6,5	-7,4		10,3	9,9		
H 1936 DIV	0,370	-14,7	-16,5	-6,1	-7,5		5,1	4,8		
H 1968 Sk 4	0,632	-14,8	-17,9	-6,9	-9,6					
H 1968 Sk 5	0,416	-15,1	-17,2	-5,9	-7,4					
H 1968 Sk 6	0,500	-15,5	-18,0	-6,4	-8,4					
H 12301 K I/1	-	-15,0	-	-6,0	-		11,3	-		-
H 12370 K IX/6	0,022	-13,3	-13,4	-5,4	-5,5		11,2	11,2		
H 12640 XIII/2	0,285	-15,1	-16,5	-5,6	-6,6					
H 12640 K XIII/3	0,203	-13,5	-14,4	-7,5	-8,5					
H Kammergrab III	0,360	-15,3	-17,1	-6,6	-8,1					
H unter Gr 10	0,484	-14,1	-16,3	-6,5	-8,5					

Fortsetzung von Tabelle A67

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$
RM 2	-	-13,5	-	-7,2	-	-	-	-	18,0	-	-
RM 5	0,612	-14,0	-16,8	-7,6	-10,5	-	-	-	-	-	-
RM 8	0,349	-14,2	-15,8	-5,7	-7,0	-	-	-	17,6	16,8	16,8
RM 9	0,559	-15,4	-18,2	-6,4	-8,6	-	-	-	18,0	16,6	16,6
RM 11	0,010	-14,4	-14,4	-6,7	-6,7	-	-	-	-	-	-
RM 12	0,484	-15,3	-17,7	-8,9	-11,6	-	-	10,4	-	-	-
RM 14	0,099	-14,4	-14,9	-5,0	-5,3	-	-	-	17,7	17,4	17,4
RM 17	0,456	-14,9	-17,1	-5,1	-6,6	-	-	-	-	-	-
RM 21	-	-14,2	-	-5,7	-	-	-	-	16,4	-	-
RM 23	0,333	-13,8	-15,3	-7,4	-8,9	-	-	12,4	-	-	-
RM 28	0,111	-15,4	-16,0	-6,2	-6,6	-	-	-	14,7	14,4	14,4
RM 29	0,442	-12,9	-14,8	-7,9	-10,1	-	-	-	-	-	-
RM 31	0,511	-15,6	-18,2	-8,0	-10,6	-	-	-	-	-	-
RM 32	-	-13,8	-	-7,1	-	-	-	-	17,2	-	-
RM 41	0,124	-14,9	-15,5	-6,6	-7,1	-	-	-	-	-	-
RM 42	0,393	-14,5	-16,4	-6,8	-8,5	-	-	-	17,3	16,3	16,3
RM 52 a	0,254	-14,7	-15,9	-6,1	-7,1	-	-	-	16,4	15,8	15,8
RM 54	0,046	-15,3	-15,5	-7,4	-7,6	-	-	-	-	-	-
RM 57	0,011	-16,0	-16,1	-6,3	-6,3	-	-	7,1	-	-	-
RM 58	0,119	-15,5	-16,1	-7,9	-8,5	-	-	-	17,7	17,4	17,4
RM 60	0,046	-14,3	-14,5	-6,6	-6,8	-	-	8,5	-	-	-
RM 68	0,344	-14,9	-16,6	-7,8	-9,5	-	-	-	-	-	-
RM 76	0,338	-14,8	-16,4	-7,7	-9,3	-	-	10,9	-	-	-
RM 78	0,266	-15,4	-16,7	-12,0	-14,0	-	-	-	16,3	15,7	15,7
RM 79	0,365	-15,4	-17,2	-6,9	-8,5	-	-	-	-	-	-
RM 80	-	-13,9	-	-7,6	-	-	-	-	-	-	-
RM 81	0,010	-14,1	-14,1	-5,3	-5,3	-	-	-	17,5	17,4	17,4
RM 82	0,551	-14,6	-17,2	-6,4	-8,6	-	-	-	-	-	-
RM 86	-	-14,8	-	-7,9	-	-	-	9,8	-	-	-
RM 88	0,010	-13,9	-13,9	-5,3	-5,3	-	-	-	17,1	17,1	17,1
RM 90	-	-13,1	-	-5,4	-	-	-	-	17,8	-	-

Fortsetzung von Tabelle A67

Probenr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
RM 91	0,338	-15,5	-17,2	-8,3	-10,1				
RM 92	0,061	-15,4	-15,7	-8,1	-8,4				
RM 93	0,484	-15,6	-18,1	-8,3	-10,8	11,6	10,7		
RM 94	0,657	-14,7	-17,9	-8,6	-12,1	7,9	7,0		
RM 95	0,111	-15,2	-15,8	-8,4	-9,0			16,2	15,9
RM 98	0,281	-14,7	-16,1	-7,2	-8,5				
RM 100	0,241	-14,3	-15,4	-7,9	-9,1				
RM 101	0,081	-14,4	-14,8	-7,0	-7,4				
RM 102	0,587	-15,0	-17,9	-6,4	-8,8				
RM 103	-	-15,3	-	-6,9	-	6,8	-	17,3	-
RM 104	-	-14,1	-	-6,8	-		-		-
RM 105	0,271	-14,3	-15,6	-7,5	-8,8	11,3	10,8		
RM 107	0,246	-15,2	-16,4	-8,2	-9,5	9,3	8,9		
RM 108	-	-15,1	-	-8,7	-		-		-
RM 109	0,574	-15,9	-18,9	-7,7	-10,5	12,7	11,5		
RM 110	0,027	-16,7	-16,8	-7,9	-8,0	12,7	12,6		
RM 113	0,011	-14,7	-14,8	-7,4	-7,5				
RM 115	0,295	-15,2	-16,7	-8,5	-10,1	11,3	10,8		
RM 116	0,396	-14,7	-16,6	-7,3	-9,1	2,1	2,0	17,8	16,8
RM 117	-	-15,4	-	-8,2	-		-		-
RM 118	0,381	-14,9	-16,8	-9,1	-11,3				
RM 120	0,286	-15,2	-16,6	-8,5	-10,0			18,4	17,6
RM 125	-	-15,5	-	-6,5	-		-	17,8	-
RM 131 a	0,354	-14,3	-16,0	-7,7	-9,4				
RM 134	0,127	-14,0	-14,6	-7,2	-7,8			17,7	17,4
RM 135	0,094	-14,3	-14,7	-8,7	-9,2			16,6	16,4
RM 136	0,240	-14,5	-15,6	-9,2	-10,6				
RM 137	0,174	-14,9	-15,7	-8,5	-9,4	11,5	11,2	16,7	16,3
RM 138	-	-15,4	-	-6,1	-		-	16,8	-
RM 139	0,118	-14,9	-15,5	-8,5	-9,1	7,7	7,6		
RM 140	0,124	-13,9	-14,5	-7,0	-7,5	9,5	9,3	16,5	16,2

Fortsetzung von Tabelle A67

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
RM 141	0,413	-14,6	-16,6	-7,3	-9,2	3,5	3,3		
RM 142a	0,272	-13,9	-15,1	-8,1	-9,5	9,3	8,9	16,8	16,1
RM 142b	0,124	-13,8	-14,4	-7,4	-8,0			19,6	19,3
RM 143	0,002	-15,4	-15,4	-7,6	-7,6				
RM 144	0,401	-14,2	-16,1	-7,3	-9,1				
RM 145	0,515	-15,5	-18,1	-7,1	-9,4	11,4	10,4	16,6	15,4
RM 146	0,041	-15,2	-15,4	-7,8	-8,0				
RM 147	0,523	-14,1	-16,5	-8,0	-10,6	11,7	10,7		
RM 150	0,185	-16,4	-17,4	-8,5	-9,5				
RM 154	0,445	-14,2	-16,3	-8,6	-11,0	11,2	10,4		
RM 155	0,439	-14,2	-16,2	-7,7	-9,8				
RM 156	0,189	-15,1	-16,0	-9,5	-10,6				
RM 158	0,611	-14,0	-16,8	-7,6	-10,5	5,8	5,2		
RM 159	0,401	-14,4	-16,3	-7,4	-9,3	10,2	9,5		
RM 160	0,286	-15,1	-16,5	-7,8	-9,2				
RM 165	-	-14,6	-	-8,6	-		-		-
RM 167	0,102	-14,3	-14,8	-7,1	-7,6				
RM 169	0,133	-14,0	-14,6	-6,6	-7,2	12,8	12,5		
RM 170	0,349	-14,7	-16,4	-9,2	-11,2	10,3	9,7		
RM 171	0,164	-14,4	-15,2	-7,6	-8,4	9,6	9,3		
RM 172	0,180	-14,1	-14,9	-7,7	-8,6	11,0	10,7		
RM 173	0,203	-14,7	-15,7	-7,7	-8,7				
RM 175	0,094	-13,7	-14,1	-8,5	-9,0				
RM 178	0,199	-14,4	-15,3	-7,9	-8,9				
RM 179	0,245	-15,0	-16,2	-8,0	-9,2	11,3	10,8		
RM 180	0,035	-14,6	-14,8	-8,5	-8,7				
RM 183	-	-15,4	-	-8,6	-	8,9	-		-
RM 185	0,139	-14,0	-14,6	-6,8	-7,4	7,2	7,0		
RM 186	-	-15,9	-	-10,2	-		-		-
RM 188	-	-14,7	-	-6,9	-		-		-
RM 191	0,195	-14,0	-14,9	-7,4	-8,3	10,3	10,0		

Fortsetzung von Tabelle A67

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$
RM 193	0,252	-14,6	-15,8	-6,8	-7,9						
RM 197	0,031	-14,1	-14,2	-8,8	-9,0		11,1	11,0			
RM 202	0,133	-15,3	-16,0	-8,9	-9,6		12,6	12,3			
RM 203	0,099	-14,7	-15,2	-7,1	-7,5						
RM 207	0,219	-14,9	-16,0	-7,4	-8,4						
RM 208	0,250	-14,9	-16,1	-7,3	-8,4		11,1	10,6			
RM 210	0,440	-15,0	-17,2	-6,5	-8,3						
RM 212	0,334	-14,4	-16,0	-6,5	-7,9						
RM 213	0,146	-14,5	-15,2	-7,3	-8,0						
RM 214	0,842	-15,0	-19,1	-6,5	-9,9						
RM 215	-	-14,6	-	-6,6	-			-			-
RM 219	0,035	-12,8	-12,9	-8,3	-8,5						
RM 221	0,239	-13,7	-14,8	-7,2	-8,3						
RM 226	0,285	-14,3	-15,6	-7,8	-9,2						
RM 230	0,004	-14,8	-14,8	-9,1	-9,1						
RM 232	0,484	-15,6	-18,1	-8,8	-11,5		8,1	7,5			
RM 233	0,117	-14,5	-15,1	-7,7	-8,3						
RM 234	0,151	-14,4	-15,1	-9,5	-10,4						
SC 5	0,376	-13,8	-15,5	-5,0	-6,2		7,8	7,3	17,4	16,5	
SC 19 b	0,220	-13,8	-14,8	-6,9	-7,9						
SC 21	0,591	-13,8	-16,5	-6,3	-8,6						
SC 53	-	-14,5	-	-7,6	-		10,3	-		-	-
SC 57	-	-14,1	-	-9,8	-		8,8	-		-	-
SC 58	0,551	-14,2	-16,8	-6,0	-8,1		13,8	12,5			
SC 59	0,139	-15,5	-16,2	-7,4	-8,0		7,0	6,8			
SC 66	0,442	-12,9	-14,8	-5,7	-7,3						
SC 67	0,044	-14,3	-14,5	-7,5	-7,7						
SC 69	0,201	-15,1	-16,1	-9,4	-10,6						
SC 73	0,452	-14,4	-16,5	-6,9	-8,9						
SC 75	0,159	-14,4	-15,1	-8,6	-9,5		11,7	11,4			
SC 92	0,014	-14,0	-14,1	-6,3	-6,4		12,7	12,7	17,2	17,2	

Fortsetzung von Tabelle A67

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
SC 94	0,219	-14,3	-15,3	-6,1	-6,9				
SC 96	0,112	-14,2	-14,7	-6,3	-6,7	11,7	11,5		
SC 97	0,274	-13,6	-14,8	-5,9	-6,9				
SC 101	0,566	-14,6	-17,3	-10,0	-13,6	13,2	12,0	17,0	15,7
SC 103	0,246	-14,7	-15,9	-5,7	-6,6				
SC 104	0,184	-13,7	-14,5	-7,1	-7,9	4,2	4,1		
SC 105	0,391	-13,7	-15,5	-5,9	-7,4	14,0	13,1	17,4	16,5
SC 111	0,221	-13,6	-14,6	-7,0	-8,0				
SC 119	0,381	-13,0	-14,6	-6,8	-8,4			18,1	17,1
SC 120	0,296	-13,6	-14,9	-5,7	-6,8			16,9	16,2
SC 132	-	-13,7	-	-8,1	-		-	17,2	-
SC 141	0,397	-14,3	-16,2	-8,6	-10,7	12,1	11,3		
SC 145	0,434	-13,6	-15,5	-6,5	-8,3				
SC 146	0,370	-14,0	-15,7	-7,6	-9,4	12,0	11,3		
SC 147	0,019	-13,9	-14,0	-6,1	-6,2				
SC 162	0,323	-13,9	-15,4	-8,4	-10,1				
SC 164	0,097	-14,1	-14,5	-7,9	-8,4				
SC 175	0,434	-14,8	-16,9	-7,6	-9,7	12,4	11,5		
SC 177	0,481	-13,3	-15,4	-6,8	-8,9				
SC 179	0,370	-13,7	-15,4	-7,6	-9,4				
SC 193	0,507	-14,7	-17,1	-6,4	-8,4			17,4	16,2
SC 198 a	0,364	-13,9	-15,6	-6,2	-7,6	11,3	10,6		
SC 206	0,349	-14,5	-16,2	-6,6	-8,0				
SC 213	0,286	-14,2	-15,5	-6,6	-7,8				
SC 214	0,055	-14,9	-15,2	-10,1	-10,4	11,6	11,5		
SC 222	0,210	-15,0	-16,0	-7,5	-8,5	12,1	11,7		
SC 225	0,246	-14,3	-15,5	-8,8	-10,2	11,3	10,8		
SC 226	0,039	-15,4	-15,6	-6,2	-6,4	12,2	12,1		
SC 228	0,349	-13,8	-15,4	-6,1	-7,4	12,2	11,5		
SC 229	-	-14,2	-	-7,2	-	12,2	-		-
SC 232	0,599	-14,1	-16,9	-10,7	-14,7	11,9	10,7	17,5	16,1

Fortsetzung von Tabelle A67

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
SC 237	0,286	-14,7	-16,1	-7,6	-9,0	12,3	11,7				
SC 270	0,161	-14,4	-15,2	-7,7	-8,5	12,4	12,1				
SC 273	0,524	-15,1	-17,7	-7,6	-10,1	9,7	8,9				

Tabelle A68: Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt mittels des mit „SISUS“ errechneten, mittleren terrestrischen Anteils in der Nahrung (Rind/Schaf/Schwein und Pflanzen (berechnet aus domestizierten Herbivoren); Modell II) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
H 4	0,507	-14,7	-17,1	-6,2	-8,2				
H 17	0,657	-13,4	-16,3	-5,0	-7,1	11,9	10,6		
H 64	0,711	-15,4	-19,0	-5,1	-7,4	11,8	10,4		
H 66a	0,521	-14,9	-17,4	-5,4	-7,2	12,0	11,0		
H 67 a	0,543	-13,1	-15,4	-6,4	-8,6				
H 72	0,456	-15,5	-17,8	-4,9	-6,3	10,1	9,3		
H 76	0,507	-13,9	-16,2	-5,8	-7,6				
H 105	0,454	-11,6	-13,3	-7,2	-9,3	7,5	6,9		
H 106a	0,308	-14,8	-16,3	-7,2	-8,6	13,3	12,6		
H 107	-	-15,6	-	-8,6	-	6,1	-		
H 154	0,255	-14,8	-16,0	-5,8	-6,7				
H 269	-	-14,1	-	-7,0	-				
H 270	-	-15,6	-	-6,4	-	10,4	-		
H 271	0,461	-14,5	-16,7	-7,7	-9,9	4,4	4,1		
H 274	0,736	-13,6	-16,9	-4,8	-7,0	13,7	12,0		
H 275	0,677	-14,6	-17,8	-5,9	-8,4	12,5	11,1		
H 276	-	-14,5	-	-8,3	-				
H K XII	0,421	-14,8	-16,8	-8,1	-10,2				
H 1902 Grube 56 I-IV	0,430	-13,5	-15,4	-6,8	-8,6				
H 1904 III/1	0,568	-13,6	-16,1	-7,0	-9,5	11,5	10,4		
H 1912 XIII/3	0,255	-14,9	-16,1	-6,0	-7,0	11,3	10,8		
H 1912 XIV.3	0,454	-14,2	-16,3	-6,5	-8,4	10,3	9,5		
H 1936 DIV	0,559	-14,7	-17,4	-6,1	-8,2	5,1	4,6		
H 1968 Sk 4	0,723	-14,8	-18,3	-6,9	-10,0				
H 1968 Sk 5	0,504	-15,1	-17,6	-5,9	-7,8				
H 1968 Sk 6	0,656	-15,5	-18,8	-6,4	-9,0				
H 12301 K I/1	-	-15,0	-	-6,0	-	11,3	-		
H 12370 K IX/6	0,139	-13,3	-13,9	-5,4	-5,9	11,2	10,9		
H 12640 XIII/2	0,517	-15,1	-17,7	-5,6	-7,4				
H 12640 K XIII/3	0,453	-13,5	-15,5	-7,5	-9,6				
H Kammergrab III	0,548	-15,3	-18,0	-6,6	-8,9				
H unter Gr 10	0,618	-14,1	-17,0	-6,5	-9,0				

Fortsetzung von Tabelle A68

Probenr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
RM 2	-	-13,5	-	-7,2	-	-	-	-	-	18,0	-
RM 5	0,724	-14,0	-17,3	-7,6	-11,1	-	-	-	-	-	-
RM 8	0,536	-14,2	-16,7	-5,7	-7,6	-	-	-	-	17,6	16,3
RM 9	0,615	-15,4	-18,5	-6,4	-8,9	-	-	-	-	18,0	16,4
RM 11	0,053	-14,4	-14,7	-6,7	-6,9	-	-	-	-	-	-
RM 12	0,619	-15,3	-18,4	-8,9	-12,4	-	-	-	10,1	-	-
RM 14	0,374	-14,4	-16,2	-5,0	-6,2	-	-	-	-	17,7	16,7
RM 17	0,601	-14,9	-17,8	-5,1	-7,0	-	-	-	-	-	-
RM 21	-	-14,2	-	-5,7	-	-	-	-	-	16,4	-
RM 23	0,532	-13,8	-16,2	-7,4	-9,9	-	-	-	11,9	-	-
RM 28	0,356	-15,4	-17,2	-6,2	-7,6	-	-	-	-	14,7	13,9
RM 29	0,619	-12,9	-15,5	-7,9	-11,0	-	-	-	-	-	-
RM 31	0,636	-15,6	-18,9	-8,0	-11,2	-	-	-	-	-	-
RM 32	-	-13,8	-	-7,1	-	-	-	-	-	17,2	-
RM 41	0,307	-14,9	-16,4	-6,6	-7,9	-	-	-	-	-	-
RM 42	0,585	-14,5	-17,3	-6,8	-9,3	-	-	-	-	17,3	15,9
RM 52 a	0,482	-14,7	-17,0	-6,1	-7,9	-	-	-	-	16,4	15,3
RM 54	0,315	-15,3	-16,9	-7,4	-8,9	-	-	-	-	-	-
RM 57	0,129	-16,0	-16,7	-6,3	-6,8	-	-	-	6,9	-	-
RM 58	0,249	-15,5	-16,8	-7,9	-9,1	-	-	-	-	17,7	17,0
RM 60	0,197	-14,3	-15,2	-6,6	-7,4	-	-	-	8,3	-	-
RM 68	0,518	-14,9	-17,4	-7,8	-10,3	-	-	-	-	-	-
RM 76	0,548	-14,8	-17,5	-7,7	-10,4	-	-	-	10,5	-	-
RM 78	0,445	-15,4	-17,6	-12,0	-15,4	-	-	-	-	16,3	15,3
RM 79	0,564	-15,4	-18,2	-6,9	-9,3	-	-	-	-	-	-
RM 80	-	-13,9	-	-7,6	-	-	-	-	-	-	-
RM 81	0,076	-14,1	-14,5	-5,3	-5,6	-	-	-	-	17,5	17,3
RM 82	0,664	-14,6	-17,8	-6,4	-9,1	-	-	-	-	-	-
RM 86	0,576	-14,8	-17,6	-7,9	-10,8	-	-	-	8,9	-	-
RM 88	0,076	-13,9	-14,2	-5,3	-5,6	-	-	-	-	17,1	16,9

Fortsetzung von Tabelle A68

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$
RM 90	-	-13,1	-	-5,4	-	-	-	-	17,8	-	-
RM 91	0,498	-15,5	-18,0	-8,3	-10,9	-	-	-	-	-	-
RM 92	0,320	-15,4	-17,0	-8,1	-9,7	-	-	-	-	-	-
RM 93	0,618	-15,6	-18,8	-8,3	-11,5	11,6	10,4	-	-	-	-
RM 94	0,747	-14,7	-18,3	-8,6	-12,6	7,9	6,9	-	-	-	-
RM 95	0,363	-15,2	-17,0	-8,4	-10,3	-	-	-	16,2	15,4	-
RM 98	0,500	-14,7	-17,1	-7,2	-9,5	-	-	-	-	-	-
RM 100	0,456	-14,3	-16,4	-7,9	-10,2	-	-	-	-	-	-
RM 101	0,356	-14,4	-16,1	-7,0	-8,6	-	-	-	-	-	-
RM 102	0,668	-15,0	-18,3	-6,4	-9,1	-	-	-	-	-	-
RM 103	-	-15,3	-	-6,9	-	6,8	-	-	17,3	-	-
RM 104	-	-14,1	-	-6,8	-	-	-	-	-	-	-
RM 105	0,464	-14,3	-16,5	-7,5	-9,7	11,3	10,4	-	-	-	-
RM 107	0,449	-15,2	-17,4	-8,2	-10,5	9,3	8,6	-	-	-	-
RM 108	-	-15,1	-	-8,7	-	-	-	-	-	-	-
RM 109	0,687	-15,9	-19,5	-7,7	-11,0	12,7	11,3	-	-	-	-
RM 110	0,314	-16,7	-18,4	-7,9	-9,5	12,7	12,0	-	-	-	-
RM 113	0,283	-14,7	-16,1	-7,4	-8,7	-	-	-	-	-	-
RM 115	0,479	-15,2	-17,6	-8,5	-11,1	11,3	10,4	-	-	-	-
RM 116	0,550	-14,7	-17,4	-7,3	-9,8	2,1	1,9	-	17,8	16,4	-
RM 117	-	-15,4	-	-8,2	-	-	-	-	-	-	-
RM 118	0,570	-14,9	-17,7	-9,1	-12,4	-	-	-	-	-	-
RM 120	0,492	-15,2	-17,7	-8,5	-11,1	-	-	-	18,4	17,1	-
RM 125	-	-15,5	-	-6,5	-	-	-	-	17,8	-	-
RM 131 a	0,555	-14,3	-16,9	-7,7	-10,4	-	-	-	-	-	-
RM 134	0,369	-14,0	-15,7	-7,2	-8,9	-	-	-	17,7	16,8	-
RM 135	0,343	-14,3	-15,9	-8,7	-10,6	-	-	-	16,6	15,8	-
RM 136	0,456	-14,5	-16,7	-9,2	-11,8	-	-	-	-	-	-
RM 137	0,423	-14,9	-17,0	-8,5	-10,8	11,5	10,7	-	16,7	15,7	-
RM 138	-	-15,4	-	-6,1	-	-	-	-	16,8	-	-

Fortsetzung von Tabelle A68

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
RM 139	0,356	-14,9	-16,6	-8,5	-10,4	7,7	7,2						
RM 140	0,392	-13,9	-15,7	-7,0	-8,7	9,5	8,9	16,5				15,6	
RM 141	0,581	-14,6	-17,4	-7,3	-10,0	3,5	3,2						
RM 142a	0,382	-13,9	-15,6	-8,1	-10,0	9,3	8,7	16,8				15,9	
RM 142b	0,389	-13,8	-15,6	-7,4	-9,2			19,6				18,6	
RM 143	0,009	-15,4	-15,4	-7,6	-7,6								
RM 144	0,544	-14,2	-16,7	-7,3	-9,8								
RM 145	0,627	-15,5	-18,7	-7,1	-9,9	11,4	10,2	16,6				15,2	
RM 146	0,305	-15,2	-16,7	-7,8	-9,3								
RM 147	0,648	-14,1	-17,1	-8,0	-11,3	11,7	10,4						
RM 150	0,307	-16,4	-18,1	-8,5	-10,1								
RM 154	0,588	-14,2	-16,9	-8,6	-11,8	11,2	10,1						
RM 155	0,571	-14,2	-16,9	-7,7	-10,5								
RM 156	0,424	-15,1	-17,2	-9,5	-12,0								
RM 158	0,693	-14,0	-17,2	-7,6	-10,9	5,8	5,1						
RM 159	0,543	-14,4	-17,0	-7,4	-9,9	10,2	9,3						
RM 160	0,491	-15,1	-17,5	-7,8	-10,2								
RM 165	-	-14,6	-	-8,6	-		-					-	
RM 167	0,355	-14,3	-16,0	-7,1	-8,7								
RM 169	0,363	-14,0	-15,7	-6,6	-8,1	12,8	12,0						
RM 170	0,510	-14,7	-17,2	-9,2	-12,1	10,3	9,4						
RM 171	0,411	-14,4	-16,3	-7,6	-9,6	9,6	8,9						
RM 172	0,414	-14,1	-16,0	-7,7	-9,7	11,0	10,2						
RM 173	0,453	-14,7	-16,9	-7,7	-9,9								
RM 175	0,340	-13,7	-15,2	-8,5	-10,3								
RM 178	0,436	-14,4	-16,5	-7,9	-10,1								
RM 179	0,472	-15,0	-17,3	-8,0	-10,4	11,3	10,4						
RM 180	0,305	-14,6	-16,1	-8,5	-10,1								
RM 183	-	-15,4	-	-8,6	-	8,9	-					-	
RM 185	0,348	-14,0	-15,6	-6,8	-8,3	7,2	6,8						

Fortsetzung von Tabelle A68

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
RM 186	0,364	-15,9	-17,8	-10,2	-12,5					
RM 188	-	-14,7	-	-6,9	-					
RM 191	0,416	-14,0	-15,9	-7,4	-9,3		10,3	9,6		
RM 193	0,442	-14,6	-16,7	-6,8	-8,7					
RM 197	0,314	-14,1	-15,6	-8,8	-10,5		11,1	10,5		
RM 202	0,358	-15,3	-17,1	-8,9	-10,9		12,6	11,9		
RM 203	0,373	-14,7	-16,5	-7,1	-8,8					
RM 207	0,458	-14,9	-17,1	-7,4	-9,5					
RM 208	0,468	-14,9	-17,2	-7,3	-9,4		11,1	10,2		
RM 210	0,597	-15,0	-17,9	-6,5	-8,9					
RM 212	0,507	-14,4	-16,8	-6,5	-8,6					
RM 213	0,389	-14,5	-16,4	-7,3	-9,1					
RM 214	0,844	-15,0	-19,2	-6,5	-9,9					
RM 215	-	-14,6	-	-6,6	-					
RM 219	0,305	-12,8	-14,1	-8,3	-9,9					
RM 221	0,481	-13,7	-15,9	-7,2	-9,4					
RM 226	0,516	-14,3	-16,7	-7,8	-10,3					
RM 230	0,353	-14,8	-16,5	-9,1	-11,1					
RM 232	0,618	-15,6	-18,8	-8,8	-12,2	8,1		7,3		
RM 233	0,272	-14,5	-15,8	-7,7	-9,0					
RM 234	0,382	-14,4	-16,2	-9,5	-11,8					
SC 5	0,575	-13,8	-16,4	-5,0	-6,8		7,8	7,1	17,4	16,0
SC 19 b	0,431	-13,8	-15,8	-6,9	-8,8					
SC 21	0,723	-13,8	-17,1	-6,3	-9,2					
SC 53	-	-14,5	-	-7,6	-		10,3	-		-
SC 57	-	-14,1	-	-9,8	-		8,8	-		-
SC 58	0,663	-14,2	-17,3	-6,0	-8,5		13,8	12,3		
SC 59	0,348	-15,5	-17,3	-7,4	-9,0		7,0	6,6		
SC 66	0,619	-12,9	-15,5	-5,7	-7,9					
SC 67	0,253	-14,3	-15,5	-7,5	-8,7					

Fortsetzung von Tabelle A68

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$
SC 69	0,411	-15,1	-17,1	-9,4	-11,8						
SC 73	0,608	-14,4	-17,3	-6,9	-9,5						
SC 75	0,415	-14,4	-16,4	-8,6	-10,8		11,7	10,9			
SC 92	0,232	-14,0	-15,1	-6,3	-7,2		12,7	12,2	17,2		16,7
SC 94	0,458	-14,3	-16,5	-6,1	-7,9						
SC 96	0,365	-14,2	-15,9	-6,3	-7,7		11,7	11,0			
SC 97	0,476	-13,6	-15,7	-5,9	-7,7						
SC 101	0,699	-14,6	-17,9	-10,0	-14,4		13,2	11,7	17,0		15,3
SC 103	0,450	-14,7	-16,9	-5,7	-7,3						
SC 104	0,433	-13,7	-15,6	-7,1	-9,0		4,2	3,9			
SC 105	0,557	-13,7	-16,2	-5,9	-8,0		14,0	12,7	17,4		16,1
SC 111	0,434	-13,6	-15,5	-7,0	-8,9						
SC 119	0,546	-13,0	-15,3	-6,8	-9,1				18,1		16,7
SC 120	0,504	-13,6	-15,9	-5,7	-7,5				16,9		15,7
SC 132	-	-13,7	-	-8,1	-			-	17,2		-
SC 141	0,575	-14,3	-17,0	-8,6	-11,7		12,1	11,0			
SC 145	0,577	-13,6	-16,2	-6,5	-8,9						
SC 146	0,559	-14,0	-16,6	-7,6	-10,3		12,0	10,9			
SC 147	0,310	-13,9	-15,3	-6,1	-7,3						
SC 162	0,493	-13,9	-16,1	-8,4	-11,0						
SC 164	0,361	-14,1	-15,8	-7,9	-9,7						
SC 175	0,577	-14,8	-17,6	-7,6	-10,4		12,4	11,2			
SC 177	0,592	-13,3	-15,9	-6,8	-9,3						
SC 179	0,555	-13,7	-16,2	-7,6	-10,3						
SC 193	0,641	-14,7	-17,8	-6,4	-9,0				17,4		15,8
SC 198 a	0,516	-13,9	-16,3	-6,2	-8,2		11,3	10,3			
SC 206	0,558	-14,5	-17,2	-6,6	-8,9						
SC 213	0,494	-14,2	-16,5	-6,6	-8,6						
SC 214	0,202	-14,9	-15,9	-10,1	-11,4		11,6	11,2			
SC 222	0,419	-15,0	-17,1	-7,5	-9,5		12,1	11,3			

Fortsetzung von Tabelle A68

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
SC 225	0,449	-14,3	-16,4	-8,8	-11,3	11,3	10,5		
SC 226	0,155	-15,4	-16,2	-6,2	-6,8	12,2	11,9		
SC 228	0,536	-13,8	-16,2	-6,1	-8,2	12,2	11,1		
SC 229	-	-14,2	-	-7,2	-	12,2	-		-
SC 232	0,680	-14,1	-17,2	-10,7	-15,3	11,9	10,6	17,5	15,9
SC 237	0,493	-14,7	-17,1	-7,6	-10,0	12,3	11,3		
SC 270	0,390	-14,4	-16,2	-7,7	-9,6	12,4	11,6		
SC 273	0,614	-15,1	-18,1	-7,6	-10,5	9,7	8,7		

Tabelle A69: Mit Hilfe von „simmr“ errechnete Anteile (Mittelwert (μ), Standardabweichung (SD)) der vier Nahrungskomponenten (Modell I: Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig. Grau hinterlegt sind diejenigen Individuen, die außerhalb des Mischungspolygons liegen (Abbildung 27(a)) und für die „SISUS“ demnach kein Mischungsmodell berechnen konnte.

Probenr.	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Süßwasserfische μ	Süßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD
H 4	0,275	0,324	0,602	0,342	0,063	0,044	0,060	0,042
H 17	0,207	0,181	0,419	0,153	0,142	0,085	0,142	0,085
H 64	0,406	0,212	0,344	0,173	0,125	0,076	0,126	0,077
H 66a	0,273	0,175	0,468	0,152	0,128	0,078	0,131	0,079
H 67 a	0,247	0,156	0,384	0,138	0,179	0,105	0,190	0,109
H 72	0,183	0,123	0,444	0,126	0,178	0,107	0,195	0,112
H 76	0,179	0,119	0,411	0,127	0,194	0,115	0,217	0,120
H 105	0,172	0,111	0,380	0,122	0,213	0,123	0,235	0,131
H 106a	0,300	0,179	0,394	0,152	0,150	0,091	0,156	0,092
H 107	0,306	0,176	0,339	0,153	0,174	0,100	0,181	0,100
H 154	0,223	0,139	0,381	0,133	0,193	0,112	0,203	0,116
H 269	0,110	0,073	0,460	0,118	0,195	0,123	0,235	0,136
H 270	0,145	0,094	0,347	0,119	0,237	0,146	0,270	0,153
H 271	0,233	0,146	0,361	0,134	0,195	0,114	0,212	0,117
H 274	0,470	0,218	0,288	0,178	0,122	0,073	0,120	0,073
H 275	0,366	0,200	0,340	0,167	0,146	0,086	0,148	0,087
H 276	0,302	0,182	0,392	0,155	0,150	0,090	0,156	0,093
H K XII	0,324	0,194	0,384	0,161	0,144	0,086	0,148	0,088
H 1902 Grube 56 I-IV	0,215	0,140	0,397	0,131	0,188	0,108	0,200	0,113
H 1904 III/1	0,501	0,219	0,270	0,180	0,114	0,071	0,115	0,071
H 1912 XIII/3	0,351	0,193	0,328	0,160	0,159	0,093	0,162	0,095
H 1912 XIV.3	0,176	0,115	0,397	0,126	0,200	0,117	0,227	0,126
H 1936 DIV	0,334	0,187	0,343	0,156	0,160	0,094	0,162	0,095
H 1968 Sk 4	0,388	0,218	0,408	0,182	0,102	0,065	0,102	0,066
H 1968 Sk 5	0,502	0,222	0,278	0,184	0,109	0,068	0,111	0,067
H 1968 Sk 6	0,273	0,177	0,547	0,159	0,090	0,059	0,090	0,058
H 12301 K I/1	0,251	0,160	0,463	0,145	0,142	0,085	0,145	0,086
H 12370 K IX/6	0,325	0,190	0,381	0,157	0,145	0,087	0,149	0,088
H 12640 XIII/2	0,389	0,201	0,311	0,167	0,148	0,087	0,152	0,089
H 12640 K XIII/3	0,332	0,192	0,371	0,161	0,145	0,087	0,151	0,088
H Kammergrab III	0,513	0,213	0,257	0,177	0,116	0,069	0,114	0,068
H unter Gr 10	0,300	0,183	0,381	0,154	0,157	0,093	0,162	0,095
RM 2	0,091	0,059	0,372	0,125	0,228	0,161	0,310	0,183

Fortsetzung von Tabelle A69

Probennr.	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD
RM 5	0,476	0,236	0,322	0,195	0,099	0,064	0,103	0,065
RM 8	0,364	0,195	0,321	0,162	0,157	0,092	0,158	0,091
RM 9	0,413	0,170	0,223	0,150	0,184	0,101	0,180	0,102
RM 11	0,203	0,133	0,431	0,131	0,178	0,105	0,188	0,108
RM 12	0,426	0,205	0,294	0,172	0,139	0,082	0,140	0,084
RM 14	0,242	0,148	0,352	0,138	0,194	0,113	0,211	0,117
RM 17	0,416	0,206	0,298	0,168	0,142	0,084	0,144	0,085
RM 21	0,083	0,055	0,376	0,129	0,221	0,162	0,320	0,189
RM 23	0,359	0,196	0,333	0,163	0,151	0,089	0,157	0,092
RM 28	0,254	0,159	0,386	0,143	0,176	0,100	0,184	0,105
RM 29	0,403	0,213	0,355	0,173	0,121	0,075	0,122	0,076
RM 31	0,443	0,207	0,284	0,173	0,137	0,081	0,136	0,080
RM 32	0,093	0,061	0,343	0,120	0,231	0,167	0,333	0,191
RM 41	0,258	0,161	0,421	0,143	0,158	0,094	0,162	0,096
RM 42	0,362	0,205	0,404	0,172	0,116	0,072	0,118	0,074
RM 52 a	0,322	0,185	0,347	0,156	0,161	0,094	0,169	0,097
RM 54	0,332	0,196	0,381	0,163	0,141	0,087	0,146	0,088
RM 57	0,224	0,144	0,405	0,138	0,178	0,106	0,193	0,108
RM 58	0,143	0,095	0,338	0,119	0,236	0,147	0,283	0,157
RM 60	0,261	0,148	0,300	0,135	0,214	0,118	0,225	0,125
RM 68	0,144	0,094	0,358	0,115	0,229	0,138	0,268	0,147
RM 76	0,369	0,205	0,357	0,170	0,134	0,082	0,139	0,083
RM 78	0,168	0,108	0,351	0,123	0,227	0,136	0,254	0,140
RM 79	0,201	0,131	0,403	0,131	0,190	0,111	0,206	0,115
RM 80	0,469	0,210	0,281	0,175	0,125	0,076	0,125	0,073
RM 81	0,305	0,173	0,321	0,150	0,183	0,104	0,191	0,108
RM 82	0,187	0,118	0,340	0,124	0,224	0,129	0,250	0,137
RM 86	0,205	0,133	0,401	0,130	0,192	0,113	0,202	0,115
RM 88	0,107	0,069	0,371	0,118	0,228	0,150	0,294	0,169
RM 90	0,215	0,129	0,296	0,126	0,233	0,133	0,256	0,140
RM 91	0,432	0,207	0,289	0,172	0,138	0,083	0,141	0,083

Fortsetzung von Tabelle A69

Probennr.	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD
RM 92	0,508	0,229	0,293	0,189	0,100	0,065	0,100	0,064
RM 93	0,245	0,146	0,316	0,136	0,214	0,120	0,225	0,127
RM 94	0,309	0,173	0,319	0,148	0,180	0,102	0,191	0,106
RM 95	0,330	0,191	0,347	0,159	0,159	0,094	0,165	0,096
RM 98	0,234	0,143	0,334	0,136	0,210	0,120	0,221	0,125
RM 100	0,466	0,201	0,251	0,171	0,142	0,082	0,141	0,082
RM 101	0,148	0,096	0,373	0,122	0,224	0,135	0,256	0,144
RM 102	0,085	0,055	0,456	0,124	0,203	0,136	0,256	0,158
RM 103	0,318	0,169	0,298	0,146	0,189	0,105	0,194	0,109
RM 104	0,337	0,197	0,405	0,163	0,128	0,079	0,130	0,080
RM 105	0,304	0,169	0,301	0,145	0,194	0,111	0,201	0,113
RM 107	0,469	0,220	0,299	0,183	0,116	0,072	0,116	0,072
RM 108	0,205	0,126	0,329	0,127	0,220	0,127	0,246	0,132
RM 109	0,416	0,201	0,286	0,165	0,148	0,088	0,150	0,090
RM 110	0,185	0,119	0,335	0,125	0,223	0,131	0,257	0,139
RM 113	0,376	0,192	0,295	0,163	0,162	0,093	0,167	0,095
RM 115	0,175	0,114	0,350	0,124	0,222	0,131	0,252	0,137
RM 116	0,385	0,206	0,338	0,169	0,135	0,082	0,142	0,086
RM 117	0,287	0,171	0,354	0,148	0,178	0,102	0,181	0,103
RM 118	0,335	0,184	0,325	0,155	0,170	0,096	0,170	0,097
RM 120	0,313	0,188	0,388	0,156	0,147	0,087	0,152	0,092
RM 125	0,444	0,227	0,350	0,186	0,102	0,066	0,103	0,066
RM 131 a	0,248	0,145	0,302	0,131	0,220	0,124	0,231	0,129
RM 134	0,281	0,163	0,339	0,145	0,185	0,106	0,195	0,109
RM 135	0,157	0,102	0,351	0,123	0,227	0,136	0,265	0,147
RM 136	0,245	0,142	0,293	0,133	0,221	0,126	0,240	0,133
RM 137	0,254	0,157	0,347	0,143	0,190	0,110	0,208	0,116
RM 138	0,394	0,202	0,316	0,165	0,145	0,085	0,145	0,086
RM 139	0,203	0,133	0,438	0,131	0,174	0,102	0,185	0,107
RM 140	0,375	0,184	0,275	0,156	0,173	0,097	0,177	0,100
RM 141	0,443	0,202	0,267	0,168	0,143	0,083	0,147	0,085

Fortsetzung von Tabelle A69

Probennr.	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD
RM 142a	0,218	0,136	0,351	0,131	0,207	0,120	0,225	0,123
RM 142b	0,450	0,215	0,291	0,177	0,129	0,077	0,131	0,079
RM 143	0,149	0,098	0,333	0,121	0,233	0,144	0,285	0,158
RM 144	0,226	0,136	0,302	0,129	0,225	0,130	0,247	0,135
RM 145	0,258	0,163	0,497	0,146	0,121	0,074	0,124	0,074
RM 146	0,234	0,145	0,353	0,136	0,197	0,115	0,215	0,120
RM 147	0,104	0,067	0,205	0,101	0,289	0,211	0,402	0,223
RM 150	0,283	0,165	0,327	0,144	0,191	0,109	0,199	0,112
RM 154	0,333	0,187	0,327	0,158	0,168	0,097	0,172	0,098
RM 155	0,217	0,138	0,360	0,133	0,203	0,119	0,221	0,123
RM 156	0,506	0,216	0,260	0,178	0,115	0,071	0,119	0,071
RM 158	0,221	0,143	0,378	0,135	0,194	0,114	0,207	0,116
RM 159	0,361	0,199	0,340	0,165	0,148	0,089	0,151	0,088
RM 160	0,121	0,078	0,323	0,118	0,247	0,160	0,309	0,175
RM 165	0,355	0,177	0,283	0,152	0,179	0,100	0,183	0,103
RM 167	0,278	0,160	0,321	0,143	0,195	0,111	0,206	0,113
RM 169	0,291	0,146	0,238	0,133	0,233	0,127	0,238	0,129
RM 170	0,232	0,138	0,301	0,130	0,227	0,130	0,241	0,134
RM 171	0,295	0,170	0,335	0,147	0,180	0,103	0,189	0,106
RM 172	0,213	0,140	0,438	0,136	0,168	0,098	0,181	0,104
RM 173	0,294	0,167	0,334	0,145	0,182	0,105	0,190	0,108
RM 175	0,205	0,123	0,287	0,121	0,241	0,140	0,267	0,145
RM 178	0,195	0,127	0,405	0,131	0,192	0,113	0,208	0,118
RM 179	0,261	0,166	0,412	0,146	0,161	0,096	0,166	0,096
RM 180	0,165	0,100	0,238	0,110	0,279	0,165	0,318	0,171
RM 183	0,206	0,133	0,362	0,128	0,207	0,120	0,224	0,126
RM 185	0,281	0,161	0,312	0,142	0,198	0,113	0,209	0,119
RM 186	0,486	0,211	0,270	0,174	0,121	0,073	0,123	0,074
RM 188	0,131	0,087	0,542	0,117	0,157	0,096	0,170	0,102
RM 191	0,208	0,125	0,303	0,126	0,233	0,135	0,257	0,143
RM 193	0,131	0,086	0,400	0,119	0,214	0,132	0,255	0,146

Fortsetzung von Tabelle A69

Probennr.	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD
RM 197	0,247	0,155	0,351	0,141	0,194	0,112	0,208	0,113
RM 202	0,314	0,179	0,325	0,150	0,179	0,102	0,183	0,105
RM 203	0,338	0,180	0,293	0,153	0,181	0,103	0,188	0,106
RM 207	0,347	0,181	0,294	0,154	0,177	0,101	0,182	0,101
RM 208	0,257	0,152	0,321	0,137	0,206	0,116	0,216	0,121
RM 210	0,175	0,118	0,403	0,127	0,200	0,118	0,222	0,125
RM 212	0,383	0,195	0,298	0,164	0,159	0,092	0,160	0,092
RM 213	0,214	0,135	0,343	0,132	0,210	0,121	0,233	0,129
RM 214	0,123	0,080	0,293	0,114	0,256	0,169	0,328	0,181
RM 215	0,310	0,183	0,364	0,156	0,160	0,093	0,166	0,096
RM 219	0,278	0,175	0,412	0,151	0,153	0,091	0,157	0,091
RM 221	0,387	0,209	0,346	0,172	0,131	0,080	0,136	0,081
RM 226	0,432	0,204	0,289	0,169	0,138	0,081	0,142	0,083
RM 230	0,402	0,194	0,282	0,165	0,157	0,091	0,159	0,092
RM 232	0,250	0,155	0,352	0,141	0,197	0,113	0,201	0,114
RM 233	0,425	0,210	0,317	0,171	0,128	0,078	0,130	0,079
RM 234	0,188	0,118	0,335	0,122	0,223	0,131	0,254	0,140
SC 5	0,375	0,207	0,362	0,171	0,130	0,078	0,133	0,079
SC 19 b	0,289	0,163	0,310	0,144	0,198	0,112	0,203	0,114
SC 21	0,450	0,231	0,359	0,192	0,096	0,064	0,096	0,063
SC 53	0,137	0,090	0,318	0,117	0,246	0,153	0,299	0,165
SC 57	0,104	0,069	0,361	0,119	0,232	0,158	0,303	0,171
SC 58	0,463	0,212	0,284	0,176	0,126	0,076	0,127	0,076
SC 59	0,264	0,166	0,409	0,145	0,160	0,094	0,167	0,097
SC 66	0,404	0,214	0,354	0,176	0,120	0,076	0,122	0,075
SC 67	0,224	0,142	0,378	0,135	0,190	0,110	0,209	0,117
SC 69	0,277	0,158	0,297	0,142	0,207	0,116	0,219	0,120
SC 73	0,417	0,213	0,315	0,174	0,137	0,082	0,131	0,079
SC 75	0,277	0,167	0,345	0,144	0,186	0,108	0,192	0,109
SC 92	0,150	0,087	0,174	0,091	0,320	0,188	0,356	0,194
SC 94	0,298	0,175	0,354	0,152	0,171	0,098	0,177	0,102

Fortsetzung von Tabelle A69

Probennr.	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD
SC 96	0,243	0,146	0,319	0,135	0,215	0,122	0,223	0,125
SC 97	0,317	0,192	0,413	0,161	0,132	0,080	0,137	0,083
SC 101	0,457	0,229	0,336	0,187	0,105	0,067	0,103	0,065
SC 103	0,305	0,169	0,303	0,148	0,193	0,108	0,199	0,112
SC 104	0,281	0,167	0,346	0,145	0,182	0,106	0,191	0,111
SC 105	0,383	0,196	0,304	0,161	0,156	0,090	0,156	0,089
SC 111	0,293	0,165	0,308	0,143	0,195	0,109	0,204	0,114
SC 119	0,378	0,193	0,297	0,161	0,161	0,093	0,164	0,095
SC 120	0,338	0,188	0,334	0,158	0,161	0,093	0,167	0,096
SC 132	0,097	0,064	0,261	0,116	0,252	0,190	0,390	0,213
SC 141	0,391	0,211	0,327	0,172	0,139	0,084	0,143	0,085
SC 145	0,400	0,197	0,288	0,168	0,154	0,091	0,157	0,091
SC 146	0,380	0,201	0,330	0,163	0,143	0,086	0,147	0,086
SC 147	0,204	0,128	0,334	0,128	0,217	0,126	0,246	0,135
SC 162	0,343	0,176	0,287	0,150	0,183	0,103	0,187	0,105
SC 164	0,240	0,144	0,323	0,133	0,207	0,120	0,230	0,127
SC 175	0,401	0,194	0,288	0,163	0,154	0,091	0,157	0,090
SC 177	0,415	0,189	0,256	0,158	0,162	0,092	0,167	0,096
SC 179	0,376	0,204	0,335	0,168	0,144	0,086	0,145	0,085
SC 193	0,443	0,217	0,302	0,178	0,127	0,078	0,128	0,077
SC 198 a	0,355	0,178	0,277	0,152	0,183	0,102	0,186	0,105
SC 206	0,362	0,203	0,368	0,166	0,134	0,082	0,136	0,082
SC 213	0,328	0,185	0,331	0,158	0,168	0,098	0,172	0,098
SC 214	0,229	0,148	0,416	0,141	0,171	0,100	0,184	0,105
SC 222	0,292	0,181	0,415	0,154	0,143	0,087	0,150	0,089
SC 225	0,305	0,170	0,304	0,148	0,191	0,110	0,200	0,112
SC 226	0,221	0,146	0,427	0,138	0,170	0,102	0,181	0,106
SC 228	0,365	0,194	0,321	0,161	0,154	0,091	0,160	0,093
SC 229	0,041	0,029	0,091	0,091	0,090	0,182	0,777	0,208
SC 232	0,475	0,204	0,254	0,172	0,136	0,078	0,135	0,080
SC 237	0,332	0,182	0,326	0,154	0,169	0,099	0,172	0,100

Fortsetzung von Tabelle A69

Probennr.	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Süßwasserfische μ	Süßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD
SC 270	0,264	0,153	0,308	0,138	0,209	0,118	0,219	0,121
SC 273	0,425	0,186	0,246	0,160	0,165	0,091	0,163	0,093

Tabelle A70: Mit Hilfe von „simmr“ errechnete Anteile (Mittelwert (μ), Standardabweichung (SD)) der fünf Nahrungskomponenten (Modell II: Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger, Pflanzen (berechnet aus domestizierten Herbivoren)) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig. Grau hinterlegt sind diejenigen Individuen, die außerhalb des Mischungspolygons liegen (Abbildung 27(b)) und für die „SISUS“ demnach kein Mischungsmodell berechnen konnte.

Probenr.	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Süßwasserfische μ	Süßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD	Pflanzen μ	Pflanzen SD
H 4	0,149	0,226	0,662	0,243	0,055	0,040	0,051	0,037	0,083	0,074
H 17	0,197	0,148	0,258	0,155	0,119	0,070	0,126	0,072	0,300	0,196
H 64	0,269	0,180	0,207	0,145	0,114	0,067	0,114	0,066	0,296	0,194
H 66a	0,188	0,141	0,307	0,157	0,108	0,065	0,112	0,067	0,285	0,200
H 67 a	0,167	0,120	0,239	0,138	0,160	0,093	0,170	0,095	0,264	0,171
H 72	0,131	0,096	0,298	0,148	0,157	0,093	0,171	0,097	0,243	0,168
H 76	0,128	0,092	0,260	0,139	0,170	0,104	0,198	0,112	0,244	0,163
H 105	0,122	0,087	0,237	0,131	0,190	0,114	0,216	0,122	0,236	0,152
H 106a	0,201	0,146	0,239	0,150	0,133	0,076	0,138	0,080	0,289	0,185
H 107	0,214	0,143	0,292	0,134	0,162	0,092	0,163	0,093	0,258	0,164
H 154	0,156	0,112	0,234	0,137	0,170	0,100	0,186	0,103	0,253	0,162
H 269	0,084	0,058	0,354	0,135	0,175	0,117	0,219	0,129	0,168	0,126
H 270	0,106	0,075	0,213	0,121	0,210	0,132	0,248	0,140	0,224	0,144
H 271	0,160	0,112	0,225	0,135	0,176	0,102	0,190	0,107	0,250	0,159
H 274	0,334	0,195	0,185	0,144	0,116	0,066	0,115	0,066	0,251	0,178
H 275	0,251	0,164	0,204	0,137	0,135	0,077	0,138	0,077	0,273	0,176
H 276	0,201	0,146	0,238	0,145	0,133	0,076	0,139	0,079	0,290	0,185
H K XII	0,215	0,156	0,231	0,148	0,130	0,074	0,130	0,075	0,294	0,188
H 1902 Grube 56 HV	0,149	0,110	0,251	0,142	0,167	0,098	0,179	0,100	0,254	0,168
H 1904 III/1	0,354	0,198	0,180	0,142	0,112	0,064	0,111	0,064	0,243	0,173
H 1912 XIII/3	0,240	0,156	0,201	0,136	0,146	0,081	0,151	0,085	0,262	0,166
H 1912 XIV.3	0,125	0,092	0,254	0,139	0,180	0,108	0,201	0,114	0,241	0,161
H 1936 DIV	0,222	0,149	0,211	0,140	0,146	0,081	0,151	0,084	0,270	0,171
H 1968 Sk 4	0,253	0,181	0,232	0,158	0,086	0,053	0,086	0,052	0,341	0,221
H 1968 Sk 5	0,356	0,200	0,183	0,144	0,107	0,062	0,104	0,061	0,250	0,174
H 1968 Sk 6	0,190	0,144	0,385	0,169	0,072	0,048	0,070	0,047	0,283	0,211
H 12301 K I/1	0,175	0,133	0,299	0,157	0,122	0,073	0,125	0,073	0,279	0,193
H 12370 K IX/6	0,217	0,155	0,233	0,145	0,130	0,073	0,131	0,074	0,289	0,185
H 12640 XIII/2	0,274	0,168	0,194	0,136	0,139	0,078	0,141	0,078	0,251	0,165
H 12640 K XIII/3	0,225	0,157	0,222	0,143	0,133	0,075	0,134	0,076	0,286	0,183
H Kammergrab III	0,380	0,201	0,180	0,144	0,114	0,063	0,110	0,064	0,217	0,158
H unter Gr 10	0,197	0,144	0,238	0,145	0,139	0,080	0,144	0,082	0,281	0,182
RM 2	0,072	0,050	0,250	0,134	0,201	0,157	0,301	0,174	0,177	0,131
RM 5	0,330	0,203	0,194	0,152	0,094	0,056	0,094	0,056	0,289	0,201
RM 6	0,155	0,109	0,222	0,134	0,179	0,102	0,188	0,107	0,256	0,161
RM 9	0,313	0,155	0,162	0,122	0,182	0,101	0,176	0,101	0,167	0,116
RM 11	0,141	0,105	0,280	0,145	0,157	0,092	0,169	0,095	0,253	0,171
RM 12	0,309	0,183	0,186	0,139	0,131	0,074	0,132	0,074	0,242	0,164
RM 14	0,168	0,118	0,217	0,134	0,179	0,102	0,188	0,107	0,249	0,159

Fortsetzung von Tabelle A70

Probenr.	Rind/Schaf/Schwein	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD	Pflanzen μ	Pflanzen SD
RM 17	0,292	0,174		0,190	0,139	0,134	0,076	0,136	0,077	0,248	0,167
RM 21	0,067	0,045		0,258	0,137	0,192	0,156	0,314	0,181	0,169	0,126
RM 23	0,248	0,162		0,203	0,135	0,141	0,079	0,144	0,080	0,264	0,171
RM 28	0,174	0,125		0,234	0,140	0,157	0,090	0,167	0,095	0,269	0,171
RM 29	0,271	0,183		0,209	0,147	0,107	0,062	0,108	0,063	0,305	0,199
RM 31	0,315	0,183		0,187	0,137	0,131	0,072	0,128	0,072	0,239	0,165
RM 32	0,073	0,051		0,224	0,128	0,211	0,162	0,312	0,181	0,180	0,128
RM 41	0,175	0,133		0,263	0,150	0,137	0,081	0,147	0,084	0,278	0,183
RM 42	0,243	0,174		0,236	0,155	0,098	0,060	0,103	0,061	0,320	0,209
RM 52 a	0,220	0,149		0,216	0,142	0,149	0,083	0,151	0,084	0,265	0,171
RM 54	0,225	0,158		0,229	0,146	0,128	0,073	0,129	0,073	0,289	0,187
RM 57	0,155	0,113		0,255	0,140	0,159	0,093	0,171	0,095	0,259	0,170
RM 58	0,104	0,073		0,208	0,121	0,212	0,135	0,256	0,146	0,220	0,142
RM 60	0,183	0,119		0,185	0,119	0,201	0,111	0,206	0,114	0,226	0,139
RM 68	0,104	0,074		0,222	0,127	0,203	0,129	0,249	0,140	0,222	0,145
RM 76	0,251	0,170		0,213	0,146	0,124	0,073	0,124	0,072	0,287	0,188
RM 78	0,122	0,085		0,212	0,123	0,202	0,123	0,235	0,129	0,229	0,145
RM 79	0,141	0,106		0,255	0,141	0,169	0,099	0,182	0,103	0,252	0,166
RM 80	0,331	0,191		0,182	0,140	0,124	0,069	0,119	0,068	0,244	0,169
RM 81	0,212	0,139		0,197	0,130	0,171	0,095	0,175	0,097	0,245	0,156
RM 82	0,132	0,094		0,203	0,121	0,208	0,121	0,225	0,127	0,232	0,147
RM 86	0,143	0,104		0,248	0,137	0,168	0,097	0,183	0,105	0,258	0,165
RM 88	0,081	0,057		0,243	0,130	0,206	0,148	0,275	0,162	0,195	0,139
RM 90	0,156	0,104		0,182	0,112	0,215	0,124	0,235	0,129	0,212	0,132
RM 91	0,306	0,181		0,187	0,137	0,132	0,074	0,133	0,075	0,242	0,163
RM 92	0,358	0,210		0,181	0,148	0,094	0,055	0,093	0,054	0,275	0,194
RM 93	0,172	0,114		0,193	0,119	0,200	0,112	0,205	0,115	0,231	0,141
RM 94	0,211	0,138		0,200	0,132	0,170	0,094	0,175	0,097	0,244	0,154
RM 95	0,226	0,152		0,208	0,136	0,148	0,083	0,149	0,083	0,269	0,171
RM 98	0,165	0,112		0,207	0,127	0,190	0,110	0,202	0,113	0,237	0,147
RM 100	0,348	0,179		0,174	0,135	0,141	0,078	0,136	0,077	0,201	0,141
RM 101	0,107	0,076		0,230	0,130	0,200	0,126	0,231	0,131	0,232	0,151
RM 102	0,067	0,049		0,356	0,141	0,179	0,134	0,250	0,152	0,147	0,113
RM 103	0,224	0,139		0,187	0,123	0,180	0,099	0,181	0,100	0,228	0,148
RM 104	0,223	0,164		0,240	0,155	0,111	0,067	0,114	0,067	0,311	0,203
RM 105	0,212	0,137		0,191	0,124	0,181	0,099	0,186	0,105	0,229	0,147

Fortsetzung von Tabelle A70

Probenr.	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD	Pflanzen μ	Pflanzen SD
RM 107	0,331	0,196	0,189	0,145	0,109	0,063	0,111	0,064	0,260	0,178
RM 108	0,144	0,098	0,200	0,121	0,209	0,119	0,216	0,120	0,231	0,144
RM 109	0,289	0,174	0,194	0,139	0,142	0,079	0,141	0,080	0,235	0,159
RM 110	0,127	0,091	0,206	0,121	0,206	0,123	0,232	0,129	0,228	0,144
RM 113	0,268	0,158	0,187	0,130	0,160	0,088	0,154	0,088	0,232	0,150
RM 115	0,125	0,087	0,209	0,123	0,203	0,119	0,227	0,127	0,236	0,148
RM 116	0,259	0,170	0,208	0,145	0,128	0,072	0,127	0,072	0,278	0,183
RM 117	0,194	0,134	0,212	0,136	0,160	0,089	0,166	0,093	0,268	0,167
RM 118	0,224	0,148	0,203	0,137	0,158	0,086	0,156	0,088	0,258	0,166
RM 120	0,206	0,151	0,235	0,149	0,132	0,075	0,134	0,077	0,292	0,189
RM 125	0,292	0,197	0,209	0,155	0,090	0,054	0,090	0,054	0,319	0,213
RM 131 a	0,174	0,114	0,188	0,120	0,202	0,113	0,212	0,117	0,224	0,140
RM 134	0,194	0,132	0,205	0,129	0,170	0,094	0,178	0,097	0,254	0,159
RM 135	0,114	0,080	0,215	0,125	0,207	0,127	0,241	0,135	0,223	0,144
RM 136	0,172	0,111	0,186	0,117	0,207	0,117	0,219	0,120	0,216	0,136
RM 137	0,176	0,122	0,214	0,130	0,174	0,100	0,188	0,105	0,248	0,157
RM 138	0,277	0,174	0,193	0,134	0,132	0,074	0,135	0,078	0,263	0,172
RM 139	0,140	0,107	0,292	0,149	0,152	0,090	0,166	0,094	0,250	0,175
RM 140	0,271	0,158	0,180	0,125	0,166	0,092	0,169	0,095	0,214	0,142
RM 141	0,320	0,180	0,180	0,137	0,142	0,078	0,137	0,078	0,221	0,152
RM 142a	0,153	0,108	0,216	0,130	0,188	0,109	0,206	0,116	0,238	0,152
RM 142b	0,318	0,186	0,184	0,137	0,126	0,070	0,122	0,071	0,250	0,171
RM 143	0,110	0,078	0,201	0,120	0,217	0,136	0,256	0,146	0,217	0,139
RM 144	0,158	0,106	0,185	0,116	0,211	0,120	0,225	0,125	0,220	0,136
RM 145	0,179	0,132	0,353	0,160	0,099	0,061	0,105	0,063	0,264	0,191
RM 146	0,161	0,113	0,212	0,127	0,181	0,103	0,192	0,107	0,254	0,157
RM 147	0,079	0,053	0,128	0,084	0,269	0,198	0,363	0,209	0,162	0,105
RM 150	0,194	0,129	0,204	0,130	0,175	0,097	0,182	0,100	0,245	0,155
RM 154	0,229	0,149	0,201	0,131	0,158	0,088	0,158	0,088	0,253	0,163
RM 155	0,150	0,107	0,217	0,131	0,183	0,107	0,201	0,113	0,248	0,156
RM 156	0,370	0,198	0,179	0,145	0,115	0,066	0,112	0,066	0,224	0,163
RM 158	0,159	0,113	0,227	0,135	0,175	0,100	0,185	0,104	0,254	0,162
RM 159	0,247	0,165	0,206	0,140	0,135	0,077	0,139	0,079	0,273	0,179
RM 160	0,091	0,063	0,197	0,116	0,223	0,151	0,282	0,160	0,207	0,134
RM 165	0,254	0,150	0,184	0,127	0,175	0,095	0,169	0,097	0,219	0,141
RM 167	0,195	0,129	0,197	0,128	0,182	0,102	0,186	0,105	0,240	0,150

Fortsetzung von Tabelle A70

Probenr.	Rind/Schaf/Schwein	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD	Pflanzen μ	Pflanzen SD
RM 169	0,215	0,125	0,125	0,158	0,107	0,227	0,124	0,222	0,126	0,178	0,116
RM 170	0,165	0,110	0,110	0,188	0,116	0,210	0,121	0,221	0,124	0,216	0,135
RM 171	0,209	0,138	0,138	0,202	0,132	0,167	0,095	0,172	0,096	0,250	0,158
RM 172	0,150	0,113	0,113	0,282	0,149	0,149	0,088	0,158	0,090	0,262	0,177
RM 173	0,199	0,134	0,134	0,205	0,132	0,171	0,095	0,172	0,096	0,253	0,159
RM 175	0,146	0,098	0,098	0,174	0,109	0,228	0,131	0,241	0,134	0,211	0,131
RM 178	0,135	0,101	0,101	0,252	0,140	0,170	0,100	0,187	0,106	0,256	0,165
RM 179	0,175	0,130	0,130	0,256	0,150	0,142	0,083	0,148	0,084	0,278	0,182
RM 180	0,120	0,080	0,080	0,148	0,094	0,264	0,157	0,288	0,163	0,179	0,111
RM 183	0,144	0,103	0,103	0,217	0,130	0,186	0,107	0,202	0,113	0,252	0,157
RM 185	0,197	0,128	0,128	0,195	0,126	0,187	0,104	0,190	0,106	0,230	0,146
RM 186	0,341	0,190	0,190	0,184	0,142	0,120	0,068	0,118	0,067	0,237	0,164
RM 188	0,098	0,070	0,070	0,453	0,127	0,138	0,087	0,151	0,092	0,160	0,119
RM 191	0,146	0,098	0,098	0,186	0,113	0,217	0,121	0,230	0,127	0,221	0,137
RM 193	0,096	0,068	0,068	0,263	0,135	0,194	0,124	0,233	0,135	0,214	0,150
RM 197	0,168	0,117	0,117	0,216	0,134	0,180	0,102	0,188	0,105	0,248	0,156
RM 202	0,220	0,143	0,143	0,202	0,132	0,163	0,093	0,171	0,096	0,244	0,158
RM 203	0,241	0,145	0,145	0,188	0,125	0,178	0,096	0,172	0,097	0,220	0,141
RM 207	0,246	0,152	0,152	0,188	0,129	0,169	0,093	0,169	0,095	0,229	0,149
RM 208	0,183	0,122	0,122	0,196	0,125	0,190	0,107	0,198	0,109	0,234	0,146
RM 210	0,125	0,093	0,093	0,249	0,135	0,181	0,110	0,201	0,112	0,243	0,160
RM 212	0,276	0,165	0,165	0,188	0,134	0,149	0,081	0,151	0,083	0,237	0,153
RM 213	0,152	0,107	0,107	0,210	0,128	0,194	0,112	0,209	0,117	0,234	0,151
RM 214	0,094	0,065	0,065	0,179	0,110	0,236	0,158	0,296	0,168	0,195	0,127
RM 215	0,211	0,149	0,149	0,218	0,142	0,146	0,084	0,149	0,084	0,276	0,175
RM 219	0,189	0,142	0,142	0,254	0,151	0,134	0,078	0,139	0,079	0,284	0,187
RM 221	0,261	0,172	0,172	0,210	0,143	0,122	0,071	0,124	0,071	0,283	0,184
RM 226	0,299	0,177	0,177	0,191	0,141	0,137	0,076	0,131	0,076	0,243	0,165
RM 230	0,290	0,169	0,169	0,183	0,130	0,153	0,084	0,149	0,085	0,224	0,152
RM 232	0,177	0,123	0,123	0,212	0,131	0,175	0,100	0,183	0,101	0,252	0,160
RM 233	0,289	0,182	0,182	0,203	0,147	0,120	0,069	0,119	0,069	0,269	0,182
RM 234	0,134	0,093	0,093	0,202	0,122	0,205	0,121	0,228	0,127	0,231	0,144
SC 5	0,253	0,176	0,176	0,219	0,148	0,119	0,069	0,118	0,068	0,291	0,192
SC 19 b	0,205	0,134	0,134	0,192	0,124	0,185	0,100	0,185	0,104	0,232	0,147
SC 21	0,298	0,198	0,198	0,203	0,154	0,085	0,052	0,083	0,050	0,330	0,216
SC 53	0,102	0,072	0,072	0,193	0,115	0,227	0,141	0,267	0,150	0,210	0,134

Fortsetzung von Tabelle A70

Probenr.	Rind/Schaf/Schwein	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD	Pflanzen μ	Pflanzen SD
SC 57		0,080	0,055	0,229	0,127	0,204	0,149	0,286	0,162	0,201	0,139
SC 58		0,332	0,187	0,184	0,139	0,123	0,068	0,120	0,069	0,240	0,165
SC 59		0,177	0,130	0,254	0,148	0,141	0,082	0,148	0,085	0,280	0,183
SC 66		0,272	0,183	0,212	0,151	0,109	0,064	0,109	0,064	0,299	0,195
SC 67		0,154	0,108	0,230	0,136	0,171	0,099	0,188	0,103	0,257	0,163
SC 69		0,200	0,127	0,184	0,121	0,194	0,109	0,201	0,112	0,221	0,140
SC 73		0,291	0,179	0,197	0,140	0,126	0,070	0,125	0,071	0,262	0,174
SC 75		0,189	0,129	0,214	0,133	0,167	0,094	0,177	0,097	0,254	0,160
SC 92		0,114	0,074	0,117	0,074	0,310	0,182	0,322	0,186	0,136	0,088
SC 94		0,202	0,138	0,215	0,140	0,157	0,088	0,161	0,089	0,265	0,168
SC 96		0,175	0,117	0,192	0,120	0,198	0,110	0,207	0,117	0,228	0,142
SC 97		0,213	0,158	0,254	0,157	0,114	0,067	0,120	0,069	0,300	0,200
SC 101		0,308	0,200	0,195	0,146	0,094	0,056	0,092	0,055	0,311	0,203
SC 103		0,212	0,137	0,190	0,125	0,180	0,100	0,186	0,103	0,232	0,149
SC 104		0,197	0,134	0,212	0,135	0,169	0,093	0,169	0,095	0,253	0,162
SC 105		0,269	0,166	0,195	0,135	0,146	0,081	0,148	0,081	0,243	0,160
SC 111		0,210	0,134	0,187	0,121	0,183	0,102	0,188	0,106	0,232	0,147
SC 119		0,260	0,162	0,194	0,136	0,153	0,086	0,154	0,086	0,239	0,158
SC 120		0,228	0,154	0,208	0,138	0,151	0,084	0,151	0,086	0,262	0,170
SC 132		0,075	0,052	0,156	0,101	0,236	0,186	0,351	0,200	0,182	0,119
SC 141		0,267	0,171	0,202	0,141	0,131	0,073	0,131	0,074	0,269	0,176
SC 145		0,285	0,168	0,188	0,137	0,147	0,080	0,145	0,081	0,235	0,156
SC 146		0,254	0,167	0,207	0,141	0,135	0,076	0,133	0,079	0,271	0,177
SC 147		0,145	0,102	0,202	0,124	0,202	0,117	0,219	0,123	0,233	0,146
SC 162		0,243	0,144	0,185	0,126	0,177	0,096	0,174	0,096	0,222	0,142
SC 164		0,166	0,115	0,197	0,124	0,194	0,110	0,203	0,112	0,239	0,147
SC 175		0,282	0,167	0,187	0,134	0,149	0,082	0,146	0,083	0,235	0,154
SC 177		0,302	0,164	0,175	0,126	0,163	0,089	0,156	0,088	0,205	0,139
SC 179		0,260	0,170	0,202	0,142	0,133	0,075	0,135	0,077	0,270	0,179
SC 193		0,307	0,185	0,191	0,141	0,122	0,068	0,119	0,069	0,262	0,175
SC 198 a		0,253	0,148	0,182	0,125	0,177	0,097	0,176	0,100	0,211	0,140
SC 206		0,241	0,168	0,222	0,147	0,121	0,069	0,123	0,071	0,294	0,192
SC 213		0,232	0,151	0,204	0,135	0,155	0,086	0,161	0,091	0,248	0,162
SC 214		0,158	0,117	0,257	0,146	0,150	0,089	0,167	0,094	0,268	0,178
SC 222		0,198	0,145	0,259	0,154	0,124	0,073	0,132	0,076	0,286	0,191
SC 225		0,215	0,136	0,190	0,127	0,179	0,098	0,185	0,103	0,231	0,145

Fortsetzung von Tabelle A70

Probennr.	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD	Pflanzen μ	Pflanzen SD
SC 226	0,153	0,114	0,272	0,147	0,150	0,087	0,161	0,091	0,263	0,174
SC 228	0,248	0,159	0,199	0,133	0,146	0,081	0,148	0,083	0,259	0,166
SC 229	0,035	0,025	0,070	0,075	0,082	0,174	0,735	0,199	0,079	0,067
SC 232	0,355	0,184	0,172	0,134	0,134	0,075	0,130	0,073	0,209	0,148
SC 237	0,229	0,148	0,200	0,134	0,155	0,086	0,159	0,088	0,257	0,163
SC 270	0,189	0,121	0,189	0,120	0,193	0,108	0,201	0,111	0,227	0,145
SC 273	0,315	0,167	0,171	0,129	0,162	0,089	0,159	0,090	0,193	0,135

Tabelle A71: Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt mittels des mit „simmr“ errechneten, mittleren terrestrischen Anteils in der Nahrung (Rind/Schaf/Schwein; Modell I) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig. Grau hinterlegt sind diejenigen Individuen, die außerhalb des Mischungspolygons liegen (Abbildung 27(a)) und für die „SISUS“ demnach kein Mischungsmodell berechnen konnte.

Probenr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
H 4	0,275	-14,7	-16,0	-6,2	-7,3				
H 17	0,297	-13,4	-14,7	-5,0	-5,9	11,9	11,3		
H 64	0,406	-15,4	-17,5	-5,1	-6,4	11,8	11,0		
H 66a	0,273	-14,9	-16,2	-5,4	-6,3	12,0	11,5		
H 67 a	0,247	-13,1	-14,2	-6,4	-7,4				
H 72	0,183	-15,5	-16,4	-4,9	-5,5	10,1	9,8		
H 76	0,179	-13,9	-14,7	-5,8	-6,5				
H 105	0,172	-11,6	-12,3	-7,2	-8,0	7,5	7,3		
H 106a	0,300	-14,8	-16,3	-7,2	-8,6	13,3	12,6		
H 107	0,306	-15,6	-17,2	-8,6	-10,3	6,1	5,8		
H 154	0,223	-14,8	-15,9	-5,8	-6,6				
H 269	0,110	-14,1	-14,6	-7,0	-7,5				
H 270	0,145	-15,6	-16,3	-6,4	-7,0	10,4	10,2		
H 271	0,233	-14,5	-15,6	-7,7	-8,8	4,4	4,2		
H 274	0,470	-13,6	-15,7	-4,8	-6,2	13,7	12,6		
H 275	0,366	-14,6	-16,4	-5,9	-7,3	12,5	11,7		
H 276	0,302	-14,5	-15,9	-8,3	-9,9				
H K XII	0,324	-14,8	-16,4	-8,1	-9,7				
H 1902 Grube 56 LIV	0,215	-13,5	-14,5	-6,8	-7,7				
H 1904 III/1	0,501	-13,6	-15,8	-7,0	-9,2	11,5	10,5		
H 1912 XIII/3	0,351	-14,9	-16,6	-6,0	-7,3	11,3	10,6		
H 1912 XIV.3	0,176	-14,2	-15,0	-6,5	-7,2	10,3	10,0		
H 1936 DIV	0,334	-14,7	-16,3	-6,1	-7,4	5,1	4,8		
H 1908 Sk 4	0,388	-14,8	-16,7	-6,9	-8,6				
H 1908 Sk 5	0,502	-15,1	-17,6	-5,9	-7,8				
H 1908 Sk 6	0,273	-15,5	-16,9	-6,4	-7,5				
H 12301 K I/1	0,251	-15,0	-16,2	-6,0	-6,9	11,3	10,8		
H 12370 K IX/6	0,325	-13,3	-14,7	-5,4	-6,5	11,2	10,6		
H 12640 XIII/2	0,389	-15,1	-17,0	-5,6	-7,0				
H 12640 K XIII/3	0,332	-13,5	-15,0	-7,5	-9,1				
H Kammergrab III	0,513	-15,3	-17,9	-6,6	-8,7				
H unter Gr 10	0,300	-14,1	-15,5	-6,5	-7,7				
RM 2	0,091	-13,5	-13,9	-7,2	-7,6			18,0	17,8

Fortsetzung von Tabelle A71

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
RM 5	0,476	-14,0	-16,2	-7,6	-9,9					0,0
RM 8	0,364	-14,2	-15,9	-5,7	-7,0				17,6	16,7
RM 9	0,413	-15,4	-17,5	-6,4	-8,1				18,0	16,9
RM 11	0,203	-14,4	-15,4	-6,7	-7,6					
RM 12	0,426	-15,3	-17,4	-8,9	-11,3			10,5		
RM 14	0,242	-14,4	-15,5	-5,0	-5,8				17,7	17,1
RM 17	0,416	-14,9	-16,9	-5,1	-6,4					
RM 21	0,083	-14,2	-14,6	-5,7	-6,0				16,4	16,2
RM 23	0,359	-13,8	-15,4	-7,4	-9,1		13,1	12,3		
RM 28	0,254	-15,4	-16,7	-6,2	-7,2				14,7	14,1
RM 29	0,403	-12,9	-14,6	-7,9	-9,9					
RM 31	0,443	-15,6	-17,9	-8,0	-10,2					
RM 32	0,093	-13,8	-14,2	-7,1	-7,5				17,2	17,0
RM 41	0,258	-14,9	-16,2	-6,6	-7,7					
RM 42	0,362	-14,5	-16,2	-6,8	-8,3				17,3	16,4
RM 52 a	0,322	-14,7	-16,3	-6,1	-7,3				16,4	15,7
RM 54	0,332	-15,3	-17,0	-7,4	-8,9					
RM 57	0,224	-16,0	-17,2	-6,3	-7,2		7,1	6,8		
RM 58	0,143	-15,5	-16,2	-7,9	-8,6				17,7	17,3
RM 60	0,261	-14,3	-15,5	-6,6	-7,7		8,6	8,2		
RM 68	0,144	-14,9	-15,6	-7,8	-8,5					
RM 76	0,369	-14,8	-16,6	-7,7	-9,5		11,5	10,8		
RM 78	0,168	-15,4	-16,2	-12,0	-13,3				16,3	15,9
RM 79	0,201	-15,4	-16,4	-6,9	-7,8					
RM 80	0,469	-13,9	-16,0	-7,6	-9,8					
RM 81	0,305	-14,1	-15,5	-5,3	-6,3				17,5	16,7
RM 82	0,187	-14,6	-15,5	-6,4	-7,2					
RM 86	0,205	-14,8	-15,8	-7,9	-8,9		9,8	9,5		
RM 88	0,107	-13,9	-14,4	-5,3	-5,7				17,1	16,8
RM 90	0,215	-13,1	-14,0	-5,4	-6,1				17,8	17,2

Fortsetzung von Tabelle A71

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
RM 91	0,432	-15,5	-17,7	-8,3	-10,6				
RM 92	0,508	-15,4	-18,0	-8,1	-10,7				
RM 93	0,245	-15,6	-16,9	-8,3	-9,6	11,6	11,1		
RM 94	0,309	-14,7	-16,2	-8,6	-10,3	7,9	7,5		
RM 95	0,330	-15,2	-16,8	-8,4	-10,1			16,2	15,5
RM 98	0,234	-14,7	-15,8	-7,2	-8,3				
RM 100	0,466	-14,3	-16,5	-7,9	-10,2				
RM 101	0,148	-14,4	-15,1	-7,0	-7,7				
RM 102	0,085	-15,0	-15,4	-6,4	-6,7				
RM 103	0,318	-15,3	-16,9	-6,9	-8,3	6,8	6,4	17,3	16,6
RM 104	0,337	-14,1	-15,7	-6,8	-8,2				
RM 105	0,304	-14,3	-15,7	-7,5	-8,9	11,3	10,7		
RM 107	0,469	-15,2	-17,5	-8,2	-10,6	9,3	8,6		
RM 108	0,205	-15,1	-16,1	-8,7	-9,8				
RM 109	0,416	-15,9	-18,1	-7,7	-9,7	12,7	11,8		
RM 110	0,185	-16,7	-17,7	-7,9	-8,8	12,7	12,3		
RM 113	0,376	-14,7	-16,5	-7,4	-9,1				
RM 115	0,175	-15,2	-16,1	-8,5	-9,4	11,3	11,0		
RM 116	0,385	-14,7	-16,6	-7,3	-9,1	2,1	2,0	17,8	16,8
RM 117	0,287	-15,4	-16,8	-8,2	-9,7				
RM 118	0,335	-14,9	-16,5	-9,1	-11,0				
RM 120	0,313	-15,2	-16,8	-8,5	-10,2			18,4	17,6
RM 125	0,444	-15,5	-17,8	-6,5	-8,3			17,8	16,7
RM 131 a	0,248	-14,3	-15,5	-7,7	-8,9				
RM 134	0,281	-14,0	-15,3	-7,2	-8,5			17,7	17,0
RM 135	0,157	-14,3	-15,0	-8,7	-9,6			16,6	16,2
RM 136	0,245	-14,5	-15,7	-9,2	-10,6				
RM 137	0,254	-14,9	-16,1	-8,5	-9,9	11,5	11,0	16,7	16,1
RM 138	0,394	-15,4	-17,4	-6,1	-7,6			16,8	15,9
RM 139	0,203	-14,9	-15,9	-8,5	-9,6	7,7	7,4		

Fortsetzung von Tabelle A71

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$
RM 140	0,375	-13,9	-15,6	-7,0	-8,6	9,5	8,9	16,5	15,6	
RM 141	0,443	-14,6	-16,7	-7,3	-9,3	3,5	3,2			
RM 142a	0,218	-13,9	-14,9	-8,1	-9,2	9,3	9,0	16,8	16,3	
RM 142b	0,450	-13,8	-15,8	-7,4	-9,5			19,6	18,4	
RM 143	0,149	-15,4	-16,2	-7,6	-8,3					
RM 144	0,226	-14,2	-15,3	-7,3	-8,3					
RM 145	0,258	-15,5	-16,8	-7,1	-8,3	11,4	10,9	16,6	16,0	
RM 146	0,234	-15,2	-16,4	-7,8	-8,9					
RM 147	0,104	-14,1	-14,6	-8,0	-8,5	11,7	11,5			
RM 150	0,283	-16,4	-17,9	-8,5	-10,0					
RM 154	0,333	-14,2	-15,8	-8,6	-10,4	11,2	10,6			
RM 155	0,217	-14,2	-15,2	-7,7	-8,7					
RM 156	0,506	-15,1	-17,6	-9,5	-12,5					
RM 158	0,221	-14,0	-15,0	-7,6	-8,7	5,8	5,6			
RM 159	0,361	-14,4	-16,1	-7,4	-9,1	10,2	9,6			
RM 160	0,121	-15,1	-15,7	-7,8	-8,4					
RM 165	0,355	-14,6	-16,3	-8,6	-10,5					
RM 167	0,278	-14,3	-15,6	-7,1	-8,3					
RM 169	0,291	-14,0	-15,3	-6,6	-7,8	12,8	12,2			
RM 170	0,232	-14,7	-15,8	-9,2	-10,5	10,3	9,9			
RM 171	0,295	-14,4	-15,8	-7,6	-9,0	9,6	9,1			
RM 172	0,213	-14,1	-15,1	-7,7	-8,7	11,0	10,6			
RM 173	0,294	-14,7	-16,1	-7,7	-9,1					
RM 175	0,205	-13,7	-14,6	-8,5	-9,6					
RM 178	0,195	-14,4	-15,3	-7,9	-8,9					
RM 179	0,261	-15,0	-16,3	-8,0	-9,3	11,3	10,8			
RM 180	0,165	-14,6	-15,4	-8,5	-9,4					
RM 183	0,206	-15,4	-16,4	-8,6	-9,7	8,9	8,6			
RM 185	0,281	-14,0	-15,3	-6,8	-8,0	7,2	6,9			
RM 186	0,486	-15,9	-18,4	-10,2	-13,3					
RM 188	0,131	-14,7	-15,3	-6,9	-7,5					

Fortsetzung von Tabelle A71

Probenr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
RM 191	0,208	-14,0	-15,0	-7,4	-8,4	10,3	9,9		
RM 193	0,131	-14,6	-15,2	-6,8	-7,4				
RM 197	0,247	-14,1	-15,2	-8,8	-10,2	11,1	10,6		
RM 202	0,314	-15,3	-16,9	-8,9	-10,7	12,6	11,9		
RM 203	0,338	-14,7	-16,3	-7,1	-8,6				
RM 207	0,347	-14,9	-16,6	-7,4	-9,0				
RM 208	0,257	-14,9	-16,2	-7,3	-8,5	11,1	10,6		
RM 210	0,175	-15,0	-15,9	-6,5	-7,2				
RM 212	0,383	-14,4	-16,2	-6,5	-8,1				
RM 213	0,214	-14,5	-15,5	-7,3	-8,3				
RM 214	0,123	-15,0	-15,6	-6,5	-7,0				
RM 215	0,310	-14,6	-16,1	-6,6	-7,9				
RM 219	0,278	-12,8	-14,0	-8,3	-9,7				
RM 221	0,387	-13,7	-15,4	-7,2	-8,9				
RM 226	0,432	-14,3	-16,3	-7,8	-9,9				
RM 230	0,402	-14,8	-16,8	-9,1	-11,4				
RM 232	0,250	-15,6	-16,9	-8,8	-10,2	8,1	7,8		
RM 233	0,425	-14,5	-16,5	-7,7	-9,8				
RM 234	0,188	-14,4	-15,3	-9,5	-10,6				
SC 5	0,375	-13,8	-15,5	-5,0	-6,2	7,8	7,3	17,4	16,5
SC 19 b	0,289	-13,8	-15,1	-6,9	-8,2				
SC 21	0,450	-13,8	-15,8	-6,3	-8,1				
SC 53	0,137	-14,5	-15,2	-7,6	-8,3	10,3	10,1		
SC 57	0,104	-14,1	-14,6	-9,8	-10,4	8,8	8,6		
SC 58	0,463	-14,2	-16,4	-6,0	-7,7	13,8	12,7		
SC 59	0,264	-15,5	-16,8	-7,4	-8,6	7,0	6,7		
SC 66	0,404	-12,9	-14,6	-5,7	-7,1				
SC 67	0,224	-14,3	-15,4	-7,5	-8,6				
SC 69	0,277	-15,1	-16,5	-9,4	-11,0				
SC 73	0,417	-14,4	-16,4	-6,9	-8,7				
SC 75	0,277	-14,4	-15,7	-8,6	-10,1	11,7	11,2		

Fortsetzung von Tabelle A71

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
SC 92	0,150	-14,0	-14,7	-6,3	-6,9	12,7	12,4	12,4	17,2	16,9
SC 94	0,298	-14,3	-15,7	-6,1	-7,2					
SC 96	0,243	-14,2	-15,3	-6,3	-7,3	11,7	11,2	11,2		
SC 97	0,317	-13,6	-15,0	-5,9	-7,1					
SC 101	0,457	-14,6	-16,8	-10,0	-12,9	13,2	12,2	12,2	17,0	15,9
SC 103	0,305	-14,7	-16,2	-5,7	-6,8					
SC 104	0,281	-13,7	-15,0	-7,1	-8,4	4,2	4,0	4,0		
SC 105	0,383	-13,7	-15,4	-5,9	-7,3	14,0	13,1	13,1	17,4	16,5
SC 111	0,293	-13,6	-14,9	-7,0	-8,3					
SC 119	0,378	-13,0	-14,6	-6,8	-8,4				18,1	17,1
SC 120	0,338	-13,6	-15,1	-5,7	-6,9				16,9	16,1
SC 132	0,097	-13,7	-14,1	-8,1	-8,6				17,2	16,9
SC 141	0,391	-14,3	-16,1	-8,6	-10,7	12,1	11,3	11,3		
SC 145	0,400	-13,6	-15,4	-6,5	-8,1					
SC 146	0,380	-14,0	-15,7	-7,6	-9,4	12,0	11,2	11,2		
SC 147	0,204	-13,9	-14,8	-6,1	-6,9					
SC 162	0,343	-13,9	-15,5	-8,4	-10,2					
SC 164	0,240	-14,1	-15,2	-7,9	-9,1					
SC 175	0,401	-14,8	-16,7	-7,6	-9,5	12,4	11,6	11,6		
SC 177	0,415	-13,3	-15,1	-6,8	-8,6					
SC 179	0,376	-13,7	-15,4	-7,6	-9,4					
SC 193	0,443	-14,7	-16,8	-6,4	-8,2				17,4	16,3
SC 198 a	0,355	-13,9	-15,5	-6,2	-7,6	11,3	10,6	10,6		
SC 206	0,362	-14,5	-16,2	-6,6	-8,1					
SC 213	0,328	-14,2	-15,7	-6,6	-8,0					
SC 214	0,229	-14,9	-16,0	-10,1	-11,6	11,6	11,2	11,2		
SC 222	0,292	-15,0	-16,4	-7,5	-8,9	12,1	11,5	11,5		
SC 225	0,305	-14,3	-15,7	-8,8	-10,5	11,3	10,7	10,7		
SC 226	0,221	-15,4	-16,5	-6,2	-7,1	12,2	11,8	11,8		
SC 228	0,365	-13,8	-15,5	-6,1	-7,5	12,2	11,5	11,5		
SC 229	0,041	-14,2	-14,4	-7,2	-7,4	12,2	12,1	12,1		

Fortsetzung von Tabelle A71

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
SC 232	0,475	-14,1	-16,3	-10,7	-13,9	11,9	11,0	17,5	16,4
SC 237	0,332	-14,7	-16,3	-7,6	-9,2	12,3	11,6		
SC 270	0,264	-14,4	-15,6	-7,7	-9,0	12,4	11,9		
SC 273	0,425	-15,1	-17,2	-7,6	-9,6	9,7	9,0		

Tabelle A72: Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt mittels des mit „simmr“ errechneten, mittleren terrestrischen Anteils in der Nahrung (Rind/Schaf/Schwein und Pflanzen (berechnet aus domestizierten Herbivoren); Modell II) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig. Grau hinterlegt sind diejenigen Individuen, die außerhalb des Mischungspolygons liegen (Abbildung 27(b)) und für die „SISUS“ demnach kein Mischungsmodell berechnen konnte.

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
H 4	0,232	-14,7	-15,7	-6,2	-7,0				
H 17	0,497	-13,4	-14,8	-5,0	-6,0	11,9		11,3	
H 64	0,565	-15,4	-17,3	-5,1	-6,3	11,8		11,1	
H 66a	0,473	-14,9	-16,3	-5,4	-6,4	12,0		11,4	
H 67 a	0,431	-13,1	-14,5	-6,4	-7,7				
H 72	0,374	-15,5	-17,0	-4,9	-5,8	10,1		9,6	
H 76	0,372	-13,9	-15,3	-5,8	-6,9				
H 105	0,358	-11,6	-12,8	-7,2	-8,6	7,5		7,1	
H 106a	0,490	-14,8	-16,4	-7,2	-8,7	13,3		12,6	
H 107	0,472	-15,6	-17,5	-8,6	-10,6	6,1		5,7	
H 154	0,409	-14,8	-16,4	-5,8	-7,0				
H 269	0,252	-14,1	-15,3	-7,0	-8,1				
H 270	0,330	-15,6	-17,2	-6,4	-7,7	10,4		9,9	
H 271	0,410	-14,5	-16,1	-7,7	-9,3	4,4		4,2	
H 274	0,585	-13,6	-15,6	-4,8	-6,2	13,7		12,7	
H 275	0,524	-14,6	-16,4	-5,9	-7,3	12,5		11,7	
H 276	0,491	-14,5	-16,1	-8,3	-10,0				
H K XII	0,509	-14,8	-16,5	-8,1	-9,9				
H 1902 Grube 56 I-IV	0,403	-13,5	-14,9	-6,8	-8,1				
H 1904 III/1	0,597	-13,6	-15,7	-7,0	-9,0	11,5		10,6	
H 1912 XIII/3	0,502	-14,9	-16,8	-6,0	-7,5	11,3		10,6	
H 1912 XIV.3	0,366	-14,2	-15,6	-6,5	-7,7	10,3		9,8	
H 1936 DIV	0,492	-14,7	-16,5	-6,1	-7,5	5,1		4,8	
H 1968 Sk 4	0,594	-14,8	-16,4	-6,9	-8,4				
H 1968 Sk 5	0,606	-15,1	-17,4	-5,9	-7,6				
H 1968 Sk 6	0,473	-15,5	-16,8	-6,4	-7,5				
H 12301 K I/1	0,454	-15,0	-16,5	-6,0	-7,1	11,3		10,7	
H 12370 K IX/6	0,506	-13,3	-14,8	-5,4	-6,6	11,2		10,6	
H 12640 XIII/2	0,525	-15,1	-17,1	-5,6	-7,1				
H 12640 K XIII/3	0,511	-13,5	-15,1	-7,5	-9,2				
H Kammergrab III	0,597	-15,3	-17,8	-6,6	-8,6				
H unter Gr 10	0,478	-14,1	-15,7	-6,5	-7,9				
RM 2	0,249	-13,5	-14,7	-7,2	-8,4			18,0	17,3

Fortsetzung von Tabelle A72

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
RM 5	0,619	-14,0	-15,9	-7,6	-9,6					0,0
RM 6	0,411	-13,5	-15,0	-7,2	-8,7				14,7	14,0
RM 9	0,480	-15,4	-17,9	-6,4	-8,4				18,0	16,7
RM 11	0,394	-14,4	-15,8	-6,7	-8,0					
RM 12	0,551	-15,3	-17,5	-8,9	-11,4			10,5		
RM 14	0,417	-14,4	-16,0	-5,0	-6,1		11,3		17,7	16,8
RM 17	0,540	-14,9	-17,0	-5,1	-6,5					
RM 21	0,236	-14,2	-15,4	-5,7	-6,6				16,4	15,8
RM 23	0,512	-13,8	-15,6	-7,4	-9,2		13,1	12,3		
RM 28	0,443	-15,4	-17,1	-6,2	-7,5				14,7	14,0
RM 29	0,576	-12,9	-14,5	-7,9	-9,8					
RM 31	0,554	-15,6	-17,9	-8,0	-10,2					
RM 32	0,253	-13,8	-15,1	-7,1	-8,4				17,2	16,6
RM 41	0,453	-14,9	-16,4	-6,6	-7,9					
RM 42	0,563	-14,5	-16,1	-6,8	-8,3				17,3	16,4
RM 52 a	0,485	-14,7	-16,5	-6,1	-7,5				16,4	15,6
RM 54	0,514	-15,3	-17,1	-7,4	-9,0					
RM 57	0,414	-16,0	-17,6	-6,3	-7,5	7,1		6,7		
RM 58	0,324	-15,5	-17,1	-7,9	-9,5				17,7	16,9
RM 60	0,409	-14,3	-16,1	-6,6	-8,2	8,6		8,1		
RM 68	0,326	-14,9	-16,4	-7,8	-9,3					
RM 76	0,538	-14,8	-16,6	-7,7	-9,5	11,5		10,8		
RM 78	0,351	-15,4	-17,0	-12,0	-14,4				16,3	15,6
RM 79	0,393	-15,4	-17,0	-6,9	-8,2					
RM 80	0,575	-13,9	-16,0	-7,6	-9,8					
RM 81	0,457	-14,1	-15,9	-5,3	-6,6				17,5	16,5
RM 82	0,364	-14,6	-16,2	-6,4	-7,8					
RM 86	0,401	-14,8	-16,3	-7,9	-9,4		9,8	9,3		
RM 88	0,276	-13,9	-15,2	-5,3	-6,3				17,1	16,4
RM 90	0,368	-13,1	-14,7	-5,4	-6,7				17,8	16,8

Fortsetzung von Tabelle A72

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
RM 91	0,548	-15,5	-17,7	-8,3	-10,6				
RM 92	0,633	-15,4	-17,7	-8,1	-10,4				
RM 93	0,403	-15,6	-17,5	-8,3	-10,2	11,6	10,9		
RM 94	0,455	-14,7	-16,5	-8,6	-10,7	7,9	7,4		
RM 95	0,495	-15,2	-17,1	-8,4	-10,4			16,2	15,4
RM 98	0,402	-14,7	-16,4	-7,2	-8,8				
RM 100	0,549	-14,3	-16,6	-7,9	-10,3				
RM 101	0,339	-14,4	-15,9	-7,0	-8,3				
RM 102	0,214	-15,0	-16,2	-6,4	-7,4				
RM 103	0,452	-15,3	-17,3	-6,9	-8,7	6,8	6,3	17,3	16,4
RM 104	0,534	-14,1	-15,6	-6,8	-8,2				
RM 105	0,441	-14,3	-16,1	-7,5	-9,4	11,3	10,6		
RM 107	0,591	-15,2	-17,4	-8,2	-10,5	9,3	8,6		
RM 108	0,375	-15,1	-16,8	-8,7	-10,6				
RM 109	0,524	-15,9	-18,1	-7,7	-9,8	12,7	11,8		
RM 110	0,355	-16,7	-18,5	-7,9	-9,6	12,7	12,0		
RM 113	0,500	-14,7	-16,8	-7,4	-9,4				
RM 115	0,361	-15,2	-16,8	-8,5	-10,3	11,3	10,7		
RM 116	0,537	-14,7	-16,6	-7,3	-9,1	2,1	2,0	17,8	16,8
RM 117	0,462	-15,4	-17,2	-8,2	-10,0				
RM 118	0,482	-14,9	-16,8	-9,1	-11,3				
RM 120	0,498	-15,2	-16,9	-8,5	-10,3			18,4	17,5
RM 125	0,611	-15,5	-17,4	-6,5	-8,1			17,8	16,9
RM 131 a	0,398	-14,3	-16,1	-7,7	-9,5				
RM 134	0,448	-14,0	-15,7	-7,2	-8,8			17,7	16,8
RM 135	0,337	-14,3	-15,8	-8,7	-10,5			16,6	15,8
RM 136	0,388	-14,5	-16,3	-9,2	-11,4				
RM 137	0,424	-14,9	-16,6	-8,5	-10,4	11,5	10,8	16,7	15,9
RM 138	0,540	-15,4	-17,5	-6,1	-7,7			16,8	15,9
RM 139	0,390	-14,9	-16,3	-8,5	-10,1	7,7	7,3		

Fortsetzung von Tabelle A72

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
RM 140	0,485	-13,9	-15,9	-7,0	-8,9	9,5	8,8	16,5	15,5
RM 141	0,541	-14,6	-16,8	-7,3	-9,4	3,5	3,2		
RM 142a	0,391	-13,9	-15,5	-8,1	-9,8	9,3	8,8	16,8	16,0
RM 142b	0,568	-13,8	-15,8	-7,4	-9,5			19,6	18,4
RM 143	0,327	-15,4	-17,1	-7,6	-9,2				
RM 144	0,378	-14,2	-15,9	-7,3	-9,0				
RM 145	0,443	-15,5	-16,9	-7,1	-8,3	11,4	10,9	16,6	16,0
RM 146	0,415	-15,2	-16,9	-7,8	-9,5				
RM 147	0,241	-14,1	-15,7	-8,0	-9,7	11,7	11,0		
RM 150	0,439	-16,4	-18,4	-8,5	-10,5				
RM 154	0,482	-14,2	-16,0	-8,6	-10,7	11,2	10,5		
RM 155	0,398	-14,2	-15,8	-7,7	-9,3				
RM 156	0,594	-15,1	-17,5	-9,5	-12,4				
RM 158	0,413	-14,0	-15,5	-7,6	-9,2	5,8	5,5		
RM 159	0,520	-14,4	-16,2	-7,4	-9,2	10,2	9,6		
RM 160	0,298	-15,1	-16,7	-7,8	-9,3				
RM 165	0,473	-14,6	-16,7	-8,6	-10,9				
RM 167	0,435	-14,3	-16,1	-7,1	-8,8				
RM 169	0,393	-14,0	-16,0	-6,6	-8,4	12,8	11,9		
RM 170	0,381	-14,7	-16,5	-9,2	-11,4	10,3	9,7		
RM 171	0,459	-14,4	-16,2	-7,6	-9,4	9,6	9,0		
RM 172	0,412	-14,1	-15,5	-7,7	-9,1	11,0	10,5		
RM 173	0,452	-14,7	-16,5	-7,7	-9,5				
RM 175	0,357	-13,7	-15,4	-8,5	-10,5				
RM 178	0,391	-14,4	-15,8	-7,9	-9,4				
RM 179	0,453	-15,0	-16,6	-8,0	-9,6	11,3	10,7		
RM 180	0,299	-14,6	-16,4	-8,5	-10,5				
RM 183	0,396	-15,4	-17,1	-8,6	-10,4	8,9	8,4		
RM 185	0,427	-14,0	-15,8	-6,8	-8,4	7,2	6,7		
RM 186	0,578	-15,9	-18,3	-10,2	-13,2				

Fortsetzung von Tabelle A72

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
RM 188	0,258	-14,7	-15,8	-6,9	-7,9					
RM 191	0,367	-14,0	-15,7	-7,4	-9,1		10,3	9,7		
RM 193	0,310	-14,6	-16,0	-6,8	-8,0					
RM 197	0,416	-14,1	-15,7	-8,8	-10,7		11,1	10,5		
RM 202	0,464	-15,3	-17,2	-8,9	-11,0		12,6	11,8		
RM 203	0,461	-14,7	-16,7	-7,1	-9,0					
RM 207	0,475	-14,9	-16,9	-7,4	-9,3					
RM 208	0,417	-14,9	-16,7	-7,3	-9,0		11,1	10,4		
RM 210	0,368	-15,0	-16,5	-6,5	-7,7					
RM 212	0,513	-14,4	-16,4	-6,5	-8,2					
RM 213	0,386	-14,5	-16,1	-7,3	-8,9					
RM 214	0,289	-15,0	-16,6	-6,5	-7,8					
RM 215	0,487	-14,6	-16,3	-6,6	-8,1					
RM 219	0,473	-12,8	-14,2	-8,3	-10,0					
RM 221	0,544	-13,7	-15,4	-7,2	-8,9					
RM 226	0,542	-14,3	-16,3	-7,8	-9,9					
RM 230	0,514	-14,8	-17,0	-9,1	-11,6					
RM 232	0,429	-15,6	-17,4	-8,8	-10,7		8,1	7,6		
RM 233	0,558	-14,5	-16,4	-7,7	-9,7					
RM 234	0,365	-14,4	-16,0	-9,5	-11,5					
SC 5	0,544	-13,8	-15,5	-5,0	-6,2				17,4	16,5
SC 19 b	0,437	-13,8	-15,6	-6,9	-8,6					
SC 21	0,628	-13,8	-15,5	-6,3	-7,8					
SC 53	0,312	-14,5	-16,1	-7,6	-9,2		10,3	9,7		
SC 57	0,281	-14,1	-15,4	-9,8	-11,5		8,8	8,4		
SC 58	0,572	-14,2	-16,3	-6,0	-7,7		13,8	12,8		
SC 59	0,457	-15,5	-17,1	-7,4	-8,9		7,0	6,6		
SC 66	0,571	-12,9	-14,5	-5,7	-7,1					
SC 67	0,411	-14,3	-15,8	-7,5	-9,0					
SC 69	0,421	-15,1	-17,1	-9,4	-11,7					

Fortsetzung von Tabelle A72

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
SC 73	0,553	-14,4	-16,4	-6,9	-8,7				
SC 75	0,443	-14,4	-16,1	-8,6	-10,5	11,7	11,0		
SC 92	0,250	-14,0	-15,9	-6,3	-8,0	12,7	11,8	17,2	16,2
SC 94	0,467	-14,3	-16,0	-6,1	-7,5				
SC 96	0,403	-14,2	-15,9	-6,3	-7,8	11,7	11,0		
SC 97	0,513	-13,6	-15,1	-5,9	-7,1				
SC 101	0,619	-14,6	-16,5	-10,0	-12,5	13,2	12,3	17,0	16,1
SC 103	0,444	-14,7	-16,6	-5,7	-7,1				
SC 104	0,450	-13,7	-15,3	-7,1	-8,7	4,2	3,9		
SC 105	0,512	-13,7	-15,6	-5,9	-7,4	14,0	13,0	17,4	16,4
SC 111	0,442	-13,6	-15,4	-7,0	-8,7				
SC 119	0,499	-13,0	-14,8	-6,8	-8,6			18,1	17,0
SC 120	0,490	-13,6	-15,3	-5,7	-7,1			16,9	16,0
SC 132	0,257	-13,7	-15,1	-8,1	-9,7			17,2	16,4
SC 141	0,536	-14,3	-16,2	-8,6	-10,7	12,1	11,3		
SC 145	0,520	-13,6	-15,5	-6,5	-8,3				
SC 146	0,525	-14,0	-15,8	-7,6	-9,5	12,0	11,2		
SC 147	0,378	-13,9	-15,5	-6,1	-7,4				
SC 162	0,465	-13,9	-15,8	-8,4	-10,6				
SC 164	0,405	-14,1	-15,8	-7,9	-9,7				
SC 175	0,517	-14,8	-16,9	-7,6	-9,7	12,4	11,5		
SC 177	0,507	-13,3	-15,3	-6,8	-8,8				
SC 179	0,530	-13,7	-15,5	-7,6	-9,5				
SC 193	0,569	-14,7	-16,8	-6,4	-8,1			17,4	16,4
SC 198 a	0,464	-13,9	-15,9	-6,2	-7,9	11,3	10,5		
SC 206	0,535	-14,5	-16,2	-6,6	-8,1				
SC 213	0,480	-14,2	-16,0	-6,6	-8,2				
SC 214	0,426	-14,9	-16,4	-10,1	-12,1	11,6	11,0		
SC 222	0,484	-15,0	-16,6	-7,5	-9,0	12,1	11,5		
SC 225	0,446	-14,3	-16,1	-8,8	-11,0	11,3	10,6		

Fortsetzung von Tabelle A72

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$
SC 226	0,416	-15,4	-16,9	-6,2	-7,4	12,2	11,6						
SC 228	0,507	-13,8	-15,6	-6,1	-7,6	12,2	11,4						
SC 229	0,114	-14,2	-14,7	-7,2	-7,7	12,2	12,0						
SC 232	0,564	-14,1	-16,4	-10,7	-14,0	11,9	10,9				17,5		16,3
SC 237	0,486	-14,7	-16,6	-7,6	-9,4	12,3	11,5						
SC 270	0,416	-14,4	-16,2	-7,7	-9,5	12,4	11,6						
SC 273	0,508	-15,1	-17,5	-7,6	-9,9	9,7	8,9						

Tabelle A73: Mit Hilfe von „MixSIAR“ errechnete Anteile (Mittelwert (μ), Standardabweichung (SD)) der vier Nahrungskomponenten (Modell I: Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig. Grau hinterlegt sind diejenigen Individuen, die außerhalb des Mischungspolygons liegen (Abbildung 27(a)) und für die „SISUS“ demnach kein Mischungsmodell berechnen konnte.

Probennr.	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Süßwasserfische μ	Süßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD
H 4	0,581	0,226	0,264	0,264	0,137	0,140	0,019	0,021
H 17	0,644	0,202	0,216	0,235	0,120	0,117	0,020	0,022
H 64	0,666	0,202	0,205	0,228	0,109	0,108	0,020	0,021
H 66a	0,514	0,208	0,274	0,277	0,185	0,169	0,027	0,031
H 67 a	0,568	0,215	0,254	0,263	0,155	0,151	0,023	0,026
H 72	0,532	0,224	0,284	0,275	0,164	0,164	0,021	0,024
H 76	0,587	0,227	0,259	0,260	0,136	0,139	0,018	0,021
H 105	0,554	0,228	0,283	0,275	0,145	0,146	0,018	0,022
H 106a	0,430	0,205	0,322	0,303	0,223	0,208	0,025	0,030
H 107	0,327	0,184	0,373	0,328	0,275	0,252	0,025	0,032
H 154	0,380	0,189	0,333	0,312	0,260	0,231	0,027	0,033
H 269	0,288	0,160	0,362	0,333	0,320	0,276	0,030	0,038
H 270	0,318	0,174	0,362	0,326	0,294	0,261	0,025	0,032
H 271	0,453	0,197	0,298	0,292	0,220	0,196	0,029	0,034
H 274	0,655	0,209	0,212	0,234	0,112	0,108	0,021	0,024
H 275	0,654	0,202	0,208	0,230	0,118	0,115	0,020	0,023
H 276	0,220	0,129	0,367	0,347	0,380	0,312	0,033	0,045
H K XII	0,570	0,252	0,295	0,280	0,119	0,132	0,016	0,019
H 1902 Grube 56 I-IV	0,387	0,180	0,308	0,303	0,269	0,228	0,037	0,044
H 1904 III/1	0,546	0,207	0,261	0,267	0,167	0,155	0,027	0,030
H 1912 XIII/3	0,457	0,222	0,323	0,297	0,199	0,195	0,022	0,026
H 1912 XIV.3	0,560	0,228	0,277	0,271	0,145	0,147	0,019	0,022
H 1936 DIV	0,580	0,210	0,248	0,255	0,150	0,142	0,023	0,026
H 1968 Sk 4	0,687	0,202	0,199	0,224	0,096	0,095	0,018	0,020
H 1968 Sk 5	0,289	0,214	0,608	0,256	0,088	0,099	0,015	0,018
H 1968 Sk 6	0,671	0,255	0,249	0,256	0,069	0,082	0,012	0,013
H 12301 K I/1	0,253	0,140	0,350	0,335	0,362	0,296	0,035	0,048
H 12370 K IX/6	0,389	0,199	0,344	0,315	0,242	0,224	0,025	0,031
H 12640 XIII/2	0,576	0,221	0,264	0,265	0,140	0,138	0,020	0,023
H 12640 K XIII/3	0,483	0,208	0,289	0,285	0,203	0,185	0,025	0,029
H Kammergrab III	0,553	0,210	0,260	0,266	0,163	0,153	0,024	0,027
H unter Gr 10	0,581	0,204	0,240	0,251	0,154	0,144	0,025	0,027
RM 2	0,144	0,093	0,412	0,379	0,421	0,359	0,022	0,034
RM 5	0,719	0,203	0,189	0,212	0,078	0,081	0,015	0,016

Fortsetzung von Tabelle A73

Probennr.	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD
RM 8	0,522	0,206	0,272	0,274	0,180	0,166	0,026	0,030
RM 9	0,362	0,182	0,319	0,313	0,269	0,238	0,050	0,062
RM 11	0,409	0,218	0,357	0,310	0,212	0,209	0,022	0,028
RM 12	0,577	0,205	0,244	0,255	0,154	0,141	0,025	0,029
RM 14	0,374	0,180	0,325	0,311	0,269	0,233	0,032	0,039
RM 17	0,565	0,205	0,250	0,261	0,159	0,146	0,025	0,028
RM 21	0,137	0,090	0,423	0,381	0,418	0,365	0,022	0,033
RM 23	0,538	0,208	0,265	0,268	0,172	0,161	0,025	0,028
RM 28	0,448	0,210	0,315	0,300	0,213	0,200	0,024	0,027
RM 29	0,675	0,215	0,213	0,232	0,096	0,101	0,016	0,018
RM 31	0,588	0,203	0,239	0,253	0,149	0,139	0,024	0,027
RM 32	0,139	0,089	0,399	0,378	0,438	0,364	0,024	0,040
RM 41	0,511	0,236	0,313	0,287	0,158	0,162	0,019	0,023
RM 42	0,648	0,245	0,252	0,255	0,086	0,098	0,014	0,017
RM 52 a	0,502	0,209	0,285	0,282	0,188	0,174	0,025	0,028
RM 54	0,265	0,142	0,329	0,326	0,363	0,289	0,043	0,056
RM 57	0,333	0,175	0,346	0,326	0,292	0,255	0,029	0,037
RM 58	0,482	0,257	0,381	0,290	0,120	0,137	0,017	0,020
RM 60	0,426	0,209	0,331	0,302	0,219	0,206	0,024	0,028
RM 68	0,462	0,192	0,283	0,283	0,221	0,195	0,034	0,040
RM 76	0,601	0,216	0,247	0,251	0,132	0,134	0,020	0,022
RM 78	0,337	0,165	0,310	0,309	0,307	0,251	0,046	0,056
RM 79	0,612	0,220	0,239	0,252	0,129	0,130	0,020	0,022
RM 80	0,256	0,143	0,355	0,338	0,356	0,294	0,033	0,044
RM 81	0,376	0,196	0,352	0,318	0,249	0,230	0,024	0,029
RM 82	0,625	0,206	0,226	0,243	0,126	0,120	0,023	0,026
RM 86	0,268	0,146	0,349	0,333	0,348	0,285	0,035	0,047
RM 88	0,375	0,200	0,350	0,320	0,251	0,235	0,025	0,030
RM 90	0,173	0,109	0,398	0,367	0,404	0,343	0,025	0,037
RM 91	0,392	0,180	0,304	0,300	0,263	0,224	0,041	0,049
RM 92	0,264	0,137	0,320	0,317	0,368	0,288	0,048	0,063

Fortsetzung von Tabelle A73

Probennr.	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD
RM 93	0,574	0,211	0,247	0,260	0,154	0,142	0,026	0,029
RM 94	0,721	0,202	0,184	0,214	0,080	0,082	0,015	0,017
RM 95	0,316	0,159	0,321	0,315	0,323	0,263	0,040	0,052
RM 98	0,519	0,208	0,274	0,276	0,182	0,170	0,025	0,029
RM 100	0,419	0,184	0,296	0,294	0,252	0,215	0,033	0,039
RM 101	0,332	0,167	0,330	0,318	0,301	0,254	0,037	0,046
RM 102	0,530	0,208	0,266	0,272	0,172	0,157	0,031	0,035
RM 103	0,240	0,142	0,376	0,347	0,356	0,302	0,028	0,040
RM 104	0,147	0,102	0,476	0,359	0,356	0,338	0,020	0,029
RM 105	0,393	0,178	0,303	0,299	0,266	0,222	0,038	0,045
RM 107	0,382	0,174	0,305	0,302	0,277	0,232	0,037	0,045
RM 108	0,120	0,079	0,420	0,388	0,440	0,378	0,021	0,030
RM 109	0,666	0,207	0,211	0,230	0,105	0,107	0,018	0,020
RM 110	0,280	0,148	0,331	0,324	0,351	0,284	0,038	0,051
RM 113	0,294	0,155	0,343	0,328	0,330	0,272	0,033	0,044
RM 115	0,599	0,257	0,292	0,272	0,095	0,109	0,014	0,017
RM 116	0,476	0,194	0,280	0,281	0,211	0,186	0,033	0,038
RM 117	0,268	0,145	0,351	0,334	0,346	0,287	0,034	0,046
RM 118	0,599	0,211	0,246	0,253	0,135	0,132	0,020	0,023
RM 120	0,481	0,196	0,281	0,279	0,208	0,186	0,029	0,034
RM 125	0,254	0,166	0,470	0,314	0,255	0,259	0,021	0,027
RM 131 a	0,596	0,213	0,244	0,253	0,140	0,136	0,020	0,023
RM 134	0,306	0,154	0,320	0,317	0,331	0,267	0,042	0,054
RM 135	0,283	0,151	0,324	0,326	0,350	0,278	0,043	0,055
RM 136	0,414	0,188	0,304	0,301	0,248	0,216	0,033	0,040
RM 137	0,404	0,187	0,312	0,302	0,253	0,220	0,032	0,039
RM 138	0,236	0,137	0,363	0,345	0,370	0,307	0,032	0,045
RM 139	0,292	0,152	0,317	0,318	0,345	0,275	0,046	0,061
RM 140	0,383	0,183	0,319	0,309	0,268	0,232	0,030	0,037
RM 141	0,579	0,206	0,243	0,255	0,154	0,146	0,024	0,026
RM 142a	0,212	0,123	0,258	0,278	0,435	0,309	0,096	0,119

Fortsetzung von Tabelle A73

Probennr.	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD
RM 142b	0,386	0,185	0,321	0,308	0,263	0,229	0,030	0,036
RM 143	0,399	0,221	0,371	0,310	0,210	0,210	0,020	0,024
RM 144	0,435	0,185	0,290	0,289	0,239	0,205	0,037	0,045
RM 145	0,543	0,198	0,254	0,261	0,173	0,157	0,030	0,033
RM 146	0,333	0,170	0,333	0,318	0,300	0,256	0,033	0,041
RM 147	0,614	0,205	0,228	0,244	0,135	0,128	0,022	0,025
RM 150	0,421	0,260	0,460	0,288	0,103	0,117	0,016	0,019
RM 154	0,542	0,202	0,256	0,263	0,174	0,158	0,027	0,031
RM 155	0,467	0,193	0,283	0,284	0,215	0,186	0,036	0,041
RM 156	0,402	0,181	0,304	0,297	0,259	0,222	0,035	0,042
RM 158	0,592	0,209	0,241	0,257	0,140	0,131	0,026	0,030
RM 159	0,433	0,187	0,289	0,290	0,240	0,207	0,038	0,044
RM 160	0,476	0,196	0,286	0,282	0,209	0,184	0,029	0,033
RM 165	0,171	0,105	0,370	0,359	0,425	0,341	0,033	0,050
RM 167	0,422	0,198	0,320	0,303	0,233	0,209	0,025	0,030
RM 169	0,283	0,148	0,316	0,315	0,353	0,280	0,048	0,063
RM 170	0,417	0,183	0,294	0,293	0,251	0,212	0,038	0,045
RM 171	0,390	0,179	0,312	0,302	0,265	0,227	0,033	0,040
RM 172	0,373	0,173	0,313	0,303	0,279	0,234	0,035	0,044
RM 173	0,481	0,205	0,291	0,285	0,203	0,187	0,025	0,030
RM 175	0,285	0,149	0,321	0,319	0,350	0,278	0,044	0,058
RM 178	0,420	0,188	0,303	0,296	0,246	0,216	0,031	0,038
RM 179	0,477	0,200	0,289	0,284	0,207	0,184	0,026	0,031
RM 180	0,239	0,131	0,322	0,322	0,389	0,300	0,050	0,067
RM 183	0,355	0,191	0,358	0,321	0,261	0,240	0,025	0,032
RM 185	0,506	0,234	0,310	0,289	0,164	0,168	0,020	0,024
RM 186	0,173	0,104	0,286	0,306	0,470	0,326	0,071	0,102
RM 188	0,378	0,205	0,362	0,317	0,237	0,228	0,023	0,027
RM 191	0,360	0,173	0,312	0,305	0,291	0,245	0,037	0,046
RM 193	0,349	0,168	0,307	0,306	0,300	0,249	0,044	0,055
RM 197	0,258	0,139	0,329	0,326	0,369	0,294	0,044	0,059

Fortsetzung von Tabelle A73

Probennr.	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD
RM 202	0,287	0,147	0,311	0,312	0,354	0,277	0,048	0,059
RM 203	0,374	0,182	0,322	0,307	0,273	0,237	0,031	0,037
RM 207	0,469	0,201	0,293	0,287	0,211	0,187	0,028	0,031
RM 208	0,446	0,193	0,292	0,290	0,231	0,204	0,031	0,037
RM 210	0,586	0,204	0,242	0,252	0,149	0,142	0,024	0,027
RM 212	0,434	0,188	0,292	0,292	0,238	0,203	0,036	0,042
RM 213	0,343	0,167	0,317	0,310	0,302	0,253	0,038	0,048
RM 214	0,639	0,224	0,230	0,253	0,109	0,105	0,023	0,026
RM 215	0,317	0,174	0,366	0,328	0,291	0,260	0,026	0,032
RM 219	0,309	0,159	0,336	0,322	0,320	0,269	0,035	0,046
RM 221	0,515	0,214	0,285	0,279	0,176	0,167	0,024	0,027
RM 226	0,578	0,219	0,261	0,262	0,142	0,140	0,020	0,023
RM 230	0,263	0,143	0,340	0,329	0,359	0,291	0,038	0,051
RM 232	0,573	0,207	0,248	0,258	0,154	0,144	0,025	0,029
RM 233	0,509	0,249	0,334	0,290	0,139	0,152	0,017	0,020
RM 234	0,316	0,157	0,318	0,313	0,323	0,264	0,043	0,054
SC 5	0,638	0,217	0,232	0,244	0,113	0,116	0,017	0,019
SC 19 b	0,368	0,175	0,311	0,306	0,283	0,236	0,038	0,046
SC 21	0,725	0,220	0,198	0,223	0,066	0,076	0,012	0,013
SC 53	0,192	0,115	0,359	0,351	0,412	0,326	0,037	0,056
SC 57	0,168	0,105	0,393	0,366	0,413	0,343	0,026	0,040
SC 58	0,626	0,204	0,222	0,240	0,129	0,123	0,023	0,026
SC 59	0,509	0,232	0,306	0,287	0,164	0,167	0,020	0,024
SC 66	0,664	0,217	0,223	0,236	0,096	0,100	0,016	0,018
SC 67	0,381	0,190	0,330	0,309	0,261	0,234	0,029	0,035
SC 69	0,335	0,163	0,308	0,307	0,313	0,256	0,044	0,055
SC 73	0,612	0,205	0,234	0,246	0,133	0,127	0,022	0,024
SC 75	0,421	0,191	0,308	0,299	0,242	0,213	0,029	0,035
SC 92	0,149	0,090	0,197	0,218	0,514	0,318	0,140	0,172
SC 94	0,464	0,204	0,297	0,290	0,212	0,193	0,028	0,032
SC 96	0,319	0,161	0,324	0,314	0,316	0,261	0,040	0,050

Fortsetzung von Tabelle A73

Probennr.	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD
SC 97	0,604	0,245	0,275	0,267	0,105	0,115	0,016	0,018
SC 101	0,720	0,206	0,190	0,215	0,076	0,082	0,014	0,016
SC 103	0,389	0,177	0,300	0,296	0,273	0,230	0,038	0,048
SC 104	0,433	0,195	0,305	0,297	0,232	0,206	0,030	0,035
SC 105	0,525	0,200	0,263	0,269	0,184	0,165	0,029	0,033
SC 111	0,377	0,172	0,306	0,300	0,280	0,231	0,038	0,046
SC 119	0,496	0,198	0,271	0,275	0,202	0,179	0,031	0,036
SC 120	0,507	0,201	0,274	0,273	0,192	0,173	0,027	0,031
SC 132	0,121	0,078	0,361	0,371	0,483	0,369	0,035	0,063
SC 141	0,587	0,212	0,245	0,257	0,146	0,140	0,022	0,025
SC 145	0,513	0,203	0,271	0,275	0,187	0,169	0,029	0,034
SC 146	0,577	0,212	0,253	0,262	0,148	0,141	0,022	0,026
SC 147	0,288	0,152	0,340	0,329	0,337	0,276	0,036	0,047
SC 162	0,406	0,184	0,296	0,295	0,260	0,223	0,037	0,044
SC 164	0,328	0,163	0,323	0,316	0,311	0,256	0,038	0,047
SC 175	0,515	0,200	0,263	0,271	0,192	0,170	0,030	0,034
SC 177	0,458	0,190	0,283	0,282	0,223	0,195	0,036	0,043
SC 179	0,576	0,213	0,253	0,261	0,148	0,142	0,022	0,026
SC 193	0,630	0,204	0,224	0,238	0,126	0,122	0,021	0,023
SC 198 a	0,407	0,179	0,290	0,293	0,263	0,219	0,040	0,048
SC 206	0,625	0,222	0,239	0,249	0,118	0,123	0,018	0,021
SC 213	0,477	0,199	0,283	0,284	0,211	0,188	0,029	0,033
SC 214	0,443	0,220	0,333	0,304	0,203	0,198	0,021	0,025
SC 222	0,568	0,242	0,289	0,274	0,126	0,136	0,017	0,019
SC 225	0,385	0,178	0,304	0,304	0,274	0,230	0,038	0,047
SC 226	0,439	0,226	0,342	0,302	0,198	0,200	0,021	0,024
SC 228	0,523	0,206	0,269	0,271	0,182	0,167	0,026	0,029
SC 229	0,076	0,068	0,595	0,367	0,310	0,365	0,019	0,048
SC 232	0,566	0,205	0,248	0,258	0,157	0,145	0,029	0,033
SC 237	0,473	0,199	0,289	0,284	0,209	0,188	0,028	0,033
SC 270	0,331	0,163	0,319	0,312	0,311	0,255	0,039	0,050

Fortsetzung von Tabelle A73

Probennr.	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Süßwasserfische μ	Süßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD
SC 273	0,445	0,193	0,290	0,288	0,225	0,198	0,041	0,047

Tabelle A74: Mit Hilfe von „MixSIAR“ errechnete Anteile (Mittelwert (μ), Standardabweichung (SD)) der fünf Nahrungskomponenten (Modell II: Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger, Pflanzen (berechnet aus domestizierten Herbivoren)) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig. Grau hinterlegt sind diejenigen Individuen, die außerhalb des Mischungspolygons liegen (Abbildung 27(b)) und für die „SISUS“ demnach kein Mischungsmodell berechnen konnte.

Probenr.	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Süßwasserfische μ	Süßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD	Pflanzen μ	Pflanzen SD
H 4	0,210	0,101	0,630	0,197	0,034	0,040	0,024	0,027	0,102	0,112
H 17	0,067	0,080	0,061	0,061	0,567	0,208	0,045	0,046	0,271	0,175
H 64	0,048	0,051	0,230	0,160	0,079	0,084	0,590	0,209	0,037	0,041
H 66a	0,082	0,088	0,043	0,048	0,030	0,034	0,230	0,160	0,006	0,207
H 67 a	0,025	0,027	0,105	0,112	0,660	0,184	0,043	0,048	0,185	0,140
H 72	0,572	0,211	0,111	0,122	0,264	0,188	0,105	0,112	0,034	0,035
H 76	0,129	0,091	0,549	0,225	0,151	0,140	0,111	0,122	0,061	0,058
H 105	0,087	0,095	0,038	0,043	0,028	0,032	0,165	0,120	0,594	0,228
H 106a	0,038	0,045	0,071	0,075	0,660	0,183	0,038	0,043	0,187	0,142
H 107	0,664	0,186	0,047	0,053	0,174	0,128	0,071	0,075	0,053	0,060
H 154	0,205	0,143	0,619	0,209	0,061	0,066	0,047	0,053	0,068	0,068
H 269	0,064	0,065	0,070	0,074	0,050	0,058	0,424	0,216	0,432	0,223
H 270	0,015	0,017	0,076	0,102	0,612	0,215	0,070	0,074	0,204	0,142
H 271	0,782	0,156	0,011	0,014	0,101	0,085	0,076	0,102	0,027	0,050
H 274	0,072	0,078	0,688	0,349	0,183	0,263	0,011	0,014	0,045	0,072
H 275	0,076	0,084	0,149	0,110	0,062	0,065	0,688	0,349	0,058	0,070
H 276	0,095	0,101	0,038	0,041	0,028	0,030	0,149	0,110	0,056	0,205
H K XII	0,030	0,042	0,061	0,068	0,567	0,208	0,038	0,041	0,272	0,185
H 1902 Grube 56 LV	0,366	0,206	0,479	0,220	0,040	0,038	0,030	0,030	0,085	0,091
H 1904 III/1	0,046	0,045	0,344	0,200	0,071	0,073	0,479	0,220	0,035	0,037
H 1912 XIII/3	0,461	0,230	0,412	0,241	0,041	0,043	0,028	0,029	0,059	0,066
H 1912 XIV.3	0,046	0,057	0,160	0,124	0,075	0,082	0,412	0,241	0,032	0,040
H 1936 DIV	0,053	0,056	0,083	0,103	0,046	0,064	0,160	0,124	0,086	0,179
H 1968 Sk 4	0,037	0,041	0,071	0,073	0,718	0,188	0,083	0,103	0,100	0,079
H 1968 Sk 5	0,538	0,220	0,044	0,052	0,306	0,186	0,071	0,073	0,048	0,049
H 1968 Sk 6	0,172	0,122	0,657	0,193	0,059	0,065	0,044	0,052	0,068	0,070
H 12301 K I/1	0,075	0,078	0,052	0,058	0,039	0,045	0,170	0,125	0,028	0,215
H 12370 K IX/6	0,628	0,216	0,027	0,031	0,146	0,105	0,061	0,062	0,093	0,099
H 12640 XIII/2	0,080	0,080	0,051	0,052	0,039	0,042	0,261	0,173	0,582	0,208
H 12640 K XIII/3	0,045	0,050	0,067	0,068	0,578	0,210	0,051	0,052	0,253	0,166
H Kammergrab III	0,744	0,157	0,057	0,067	0,119	0,093	0,061	0,068	0,046	0,060
H unter Gr 10	0,081	0,085	0,170	0,125	0,062	0,062	0,631	0,213	0,059	0,069
RM 2	0,098	0,104	0,036	0,039	0,026	0,028	0,220	0,150	0,610	0,208
RM 5	0,032	0,035	0,079	0,083	0,620	0,196	0,036	0,039	0,220	0,165
RM 8	0,068	0,070	0,647	0,337	0,217	0,258	0,019	0,031	0,049	0,070
RM 9	0,044	0,045	0,313	0,195	0,081	0,085	0,647	0,337	0,033	0,035
RM 11	0,035	0,038	0,080	0,082	0,487	0,226	0,045	0,044	0,367	0,205
RM 12	0,561	0,211	0,055	0,068	0,277	0,176	0,080	0,082	0,046	0,048
RM 14	0,065	0,068	0,195	0,137	0,065	0,065	0,664	0,199	0,050	0,058

Fortsetzung von Tabelle A74

Probenr.	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD	Pflanzen μ	Pflanzen SD
RM 17	0,043	0,048	0,059	0,060	0,517	0,225	0,047	0,047	0,334	0,196
RM 21	0,061	0,090	0,088	0,072	0,047	0,056	0,503	0,214	0,028	0,043
RM 23	0,075	0,078	0,051	0,051	0,039	0,044	0,088	0,072	0,776	0,165
RM 28	0,366	0,204	0,483	0,224	0,041	0,040	0,032	0,033	0,078	0,082
RM 29	0,050	0,053	0,227	0,158	0,074	0,076	0,483	0,224	0,039	0,045
RM 31	0,020	0,020	0,066	0,078	0,625	0,198	0,054	0,057	0,209	0,145
RM 32	0,294	0,210	0,032	0,032	0,591	0,220	0,066	0,078	0,028	0,030
RM 41	0,083	0,086	0,044	0,046	0,035	0,038	0,316	0,193	0,525	0,219
RM 42	0,030	0,034	0,087	0,092	0,569	0,212	0,044	0,046	0,268	0,177
RM 52 a	0,054	0,058	0,204	0,145	0,075	0,080	0,588	0,202	0,039	0,046
RM 54	0,640	0,266	0,264	0,259	0,030	0,045	0,018	0,019	0,047	0,062
RM 57	0,024	0,026	0,110	0,117	0,696	0,177	0,048	0,058	0,154	0,119
RM 58	0,570	0,210	0,019	0,018	0,263	0,189	0,110	0,117	0,033	0,035
RM 60	0,396	0,243	0,395	0,229	0,026	0,028	0,019	0,018	0,164	0,166
RM 68	0,592	0,212	0,043	0,049	0,233	0,157	0,069	0,071	0,060	0,063
RM 76	0,043	0,043	0,290	0,188	0,088	0,091	0,424	0,215	0,033	0,035
RM 78	0,095	0,099	0,036	0,035	0,027	0,028	0,290	0,188	0,546	0,213
RM 79	0,026	0,026	0,090	0,096	0,474	0,217	0,036	0,035	0,368	0,211
RM 80	0,439	0,221	0,048	0,060	0,411	0,218	0,090	0,096	0,034	0,033
RM 81	0,152	0,114	0,673	0,194	0,065	0,075	0,048	0,060	0,062	0,064
RM 82	0,079	0,087	0,155	0,113	0,064	0,066	0,673	0,194	0,057	0,071
RM 86	0,024	0,025	0,109	0,115	0,772	0,142	0,035	0,046	0,112	0,090
RM 88	0,179	0,132	0,664	0,183	0,050	0,059	0,035	0,042	0,071	0,074
RM 90	0,073	0,077	0,051	0,056	0,035	0,041	0,238	0,190	0,558	0,225
RM 91	0,029	0,033	0,090	0,096	0,639	0,194	0,051	0,056	0,203	0,146
RM 92	0,625	0,191	0,045	0,060	0,217	0,157	0,090	0,096	0,039	0,045
RM 93	0,120	0,091	0,707	0,179	0,069	0,085	0,045	0,060	0,058	0,063
RM 94	0,069	0,074	0,183	0,129	0,063	0,063	0,707	0,179	0,053	0,061
RM 95	0,078	0,084	0,044	0,052	0,030	0,036	0,183	0,129	0,632	0,209
RM 98	0,562	0,220	0,049	0,055	0,273	0,176	0,073	0,074	0,052	0,052
RM 100	0,194	0,138	0,629	0,204	0,064	0,068	0,049	0,055	0,064	0,062
RM 101	0,061	0,075	0,123	0,096	0,060	0,064	0,629	0,204	0,040	0,054
RM 102	0,064	0,065	0,064	0,074	0,048	0,058	0,123	0,096	0,717	0,176
RM 103	0,040	0,046	0,073	0,075	0,674	0,188	0,064	0,074	0,150	0,111
RM 104	0,623	0,203	0,057	0,068	0,211	0,149	0,073	0,075	0,053	0,057
RM 105	0,211	0,151	0,603	0,233	0,077	0,080	0,057	0,068	0,053	0,052

Fortsetzung von Tabelle A74

Probenr.	Rind/Schaf/Schwein	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD	Pflanzen μ	Pflanzen SD
RM 107		0,101	0,108	0,034	0,034	0,026	0,027	0,198	0,142	0,637	0,198
RM 108		0,053	0,061	0,063	0,061	0,480	0,219	0,034	0,034	0,359	0,211
RM 109		0,608	0,220	0,026	0,026	0,203	0,145	0,063	0,061	0,073	0,078
RM 110		0,373	0,217	0,465	0,218	0,034	0,033	0,026	0,026	0,104	0,109
RM 113		0,031	0,037	0,081	0,086	0,689	0,186	0,061	0,073	0,140	0,105
RM 115		0,651	0,187	0,029	0,029	0,195	0,144	0,081	0,086	0,043	0,048
RM 116		0,415	0,212	0,440	0,221	0,038	0,037	0,029	0,029	0,078	0,084
RM 117		0,053	0,054	0,238	0,163	0,073	0,074	0,440	0,221	0,041	0,046
RM 118		0,066	0,069	0,067	0,077	0,048	0,061	0,238	0,163	0,596	0,210
RM 120		0,518	0,218	0,031	0,036	0,325	0,194	0,078	0,081	0,045	0,046
RM 125		0,032	0,044	0,053	0,061	0,599	0,237	0,071	0,076	0,229	0,166
RM 131 a		0,021	0,021	0,100	0,113	0,476	0,216	0,042	0,041	0,372	0,202
RM 134		0,052	0,055	0,236	0,159	0,071	0,074	0,635	0,203	0,040	0,045
RM 135		0,089	0,093	0,043	0,044	0,032	0,035	0,236	0,159	0,601	0,209
RM 136		0,042	0,047	0,075	0,077	0,533	0,220	0,043	0,044	0,303	0,195
RM 137		0,590	0,212	0,045	0,052	0,239	0,161	0,075	0,077	0,054	0,056
RM 138		0,186	0,135	0,640	0,198	0,059	0,063	0,045	0,052	0,069	0,071
RM 139		0,047	0,046	0,339	0,195	0,066	0,068	0,640	0,198	0,036	0,038
RM 140		0,062	0,069	0,057	0,071	0,037	0,046	0,339	0,195	0,512	0,226
RM 141		0,020	0,029	0,052	0,066	0,712	0,172	0,057	0,071	0,132	0,100
RM 142a		0,801	0,148	0,044	0,050	0,082	0,067	0,052	0,066	0,044	0,073
RM 142b		0,228	0,156	0,603	0,214	0,058	0,061	0,044	0,050	0,067	0,068
RM 143		0,028	0,029	0,372	0,234	0,142	0,150	0,603	0,214	0,021	0,021
RM 144		0,066	0,065	0,058	0,065	0,044	0,050	0,372	0,234	0,438	0,226
RM 145		0,027	0,039	0,046	0,058	0,612	0,212	0,058	0,065	0,220	0,151
RM 146		0,774	0,185	0,025	0,025	0,080	0,067	0,046	0,058	0,074	0,109
RM 147		0,470	0,219	0,385	0,212	0,033	0,033	0,025	0,025	0,087	0,096
RM 150		0,047	0,057	0,064	0,065	0,511	0,220	0,045	0,045	0,334	0,196
RM 154		0,026	0,026	0,330	0,230	0,180	0,176	0,667	0,191	0,019	0,019
RM 155		0,070	0,073	0,051	0,053	0,039	0,042	0,330	0,230	0,445	0,230
RM 156		0,044	0,057	0,065	0,069	0,553	0,221	0,051	0,053	0,286	0,181
RM 158		0,688	0,186	0,027	0,028	0,142	0,108	0,065	0,069	0,061	0,071
RM 159		0,369	0,210	0,472	0,216	0,036	0,035	0,027	0,028	0,097	0,102
RM 160		0,046	0,049	0,253	0,173	0,081	0,083	0,472	0,216	0,035	0,039
RM 165		0,054	0,055	0,288	0,184	0,067	0,068	0,505	0,216	0,041	0,045
RM 167		0,038	0,040	0,071	0,073	0,757	0,150	0,030	0,040	0,120	0,101

Fortsetzung von Tabelle A74

Probenr.	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD	Pflanzen μ	Pflanzen SD
RM 169	0,501	0,233	0,338	0,210	0,028	0,029	0,020	0,020	0,113	0,125
RM 170	0,025	0,025	0,474	0,239	0,146	0,154	0,338	0,210	0,019	0,018
RM 171	0,103	0,111	0,034	0,033	0,026	0,027	0,474	0,239	0,337	0,214
RM 172	0,027	0,028	0,100	0,107	0,452	0,215	0,034	0,033	0,385	0,215
RM 173	0,483	0,219	0,029	0,031	0,353	0,210	0,100	0,107	0,037	0,037
RM 175	0,055	0,056	0,233	0,153	0,074	0,074	0,516	0,215	0,042	0,045
RM 178	0,644	0,207	0,042	0,047	0,163	0,119	0,062	0,062	0,076	0,082
RM 179	0,237	0,161	0,593	0,208	0,053	0,057	0,042	0,047	0,074	0,074
RM 180	0,051	0,054	0,229	0,156	0,075	0,078	0,593	0,208	0,040	0,046
RM 183	0,636	0,212	0,039	0,045	0,171	0,126	0,062	0,061	0,075	0,081
RM 185	0,209	0,146	0,625	0,197	0,053	0,056	0,039	0,045	0,075	0,077
RM 186	0,041	0,039	0,361	0,207	0,084	0,090	0,625	0,197	0,030	0,031
RM 188	0,036	0,043	0,070	0,074	0,488	0,237	0,163	0,144	0,168	0,115
RM 191	0,201	0,160	0,648	0,189	0,033	0,037	0,024	0,027	0,094	0,107
RM 193	0,071	0,072	0,047	0,047	0,036	0,037	0,259	0,170	0,376	0,221
RM 197	0,398	0,212	0,452	0,223	0,038	0,039	0,030	0,031	0,083	0,088
RM 202	0,530	0,254	0,040	0,047	0,197	0,180	0,234	0,229	0,023	0,030
RM 203	0,195	0,139	0,641	0,193	0,052	0,056	0,040	0,047	0,072	0,075
RM 207	0,040	0,045	0,067	0,069	0,514	0,219	0,045	0,045	0,330	0,183
RM 208	0,560	0,220	0,043	0,048	0,281	0,178	0,067	0,069	0,051	0,052
RM 210	0,042	0,041	0,391	0,208	0,068	0,070	0,608	0,206	0,031	0,032
RM 212	0,036	0,038	0,078	0,080	0,574	0,219	0,056	0,056	0,261	0,169
RM 213	0,555	0,214	0,040	0,048	0,284	0,180	0,078	0,080	0,047	0,048
RM 214	0,183	0,135	0,652	0,193	0,054	0,060	0,040	0,048	0,071	0,076
RM 215	0,037	0,037	0,450	0,214	0,077	0,082	0,652	0,193	0,027	0,028
RM 219	0,499	0,215	0,048	0,068	0,339	0,200	0,094	0,098	0,038	0,038
RM 221	0,043	0,043	0,323	0,193	0,081	0,086	0,713	0,188	0,033	0,035
RM 226	0,170	0,123	0,628	0,214	0,081	0,087	0,061	0,070	0,061	0,061
RM 230	0,043	0,049	0,069	0,070	0,615	0,203	0,055	0,058	0,214	0,149
RM 232	0,262	0,178	0,575	0,208	0,044	0,046	0,033	0,035	0,086	0,090
RM 233	0,107	0,107	0,184	0,133	0,057	0,056	0,575	0,208	0,083	0,092
RM 234	0,063	0,064	0,077	0,083	0,056	0,067	0,184	0,133	0,370	0,242
SC 5	0,391	0,222	0,444	0,220	0,032	0,031	0,024	0,024	0,110	0,116
SC 19 b	0,024	0,025	0,495	0,252	0,163	0,173	0,444	0,220	0,017	0,017
SC 21	0,058	0,061	0,083	0,096	0,052	0,068	0,495	0,252	0,301	0,211
SC 53	0,033	0,046	0,051	0,057	0,693	0,190	0,083	0,096	0,114	0,086

Fortsetzung von Tabelle A74

Probennr.	Rind/Schaf/Schwein	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Stüßwasserfische μ	Stüßwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD	Pflanzen μ	Pflanzen SD
SC 57	0,759	0,164		0,028	0,028	0,095	0,075	0,051	0,057	0,062	0,086
SC 58	0,419	0,217		0,435	0,223	0,039	0,037	0,028	0,028	0,080	0,087
SC 59	0,034	0,036		0,269	0,191	0,106	0,114	0,435	0,223	0,025	0,027
SC 66	0,118	0,125		0,028	0,028	0,022	0,022	0,269	0,191	0,565	0,209
SC 67	0,035	0,040		0,079	0,082	0,399	0,217	0,028	0,028	0,432	0,230
SC 69	0,634	0,193		0,053	0,061	0,204	0,149	0,079	0,082	0,047	0,053
SC 73	0,196	0,139		0,617	0,212	0,068	0,073	0,053	0,061	0,066	0,065
SC 75	0,036	0,036		0,386	0,214	0,088	0,094	0,617	0,212	0,028	0,030
SC 92	0,078	0,077		0,047	0,051	0,037	0,041	0,386	0,214	0,461	0,222
SC 94	0,181	0,181		0,063	0,055	0,606	0,198	0,047	0,051	0,231	0,156
SC 96	0,372	0,183		0,034	0,037	0,132	0,082	0,063	0,055	0,251	0,189
SC 97	0,261	0,176		0,576	0,209	0,045	0,047	0,034	0,037	0,084	0,088
SC 101	0,144	0,150		0,028	0,029	0,021	0,022	0,180	0,131	0,638	0,202
SC 103	0,029	0,029		0,091	0,097	0,471	0,225	0,028	0,029	0,336	0,225
SC 104	0,465	0,217		0,020	0,019	0,377	0,211	0,091	0,097	0,038	0,038
SC 105	0,490	0,238		0,337	0,213	0,026	0,027	0,020	0,019	0,127	0,140
SC 111	0,079	0,081		0,049	0,050	0,036	0,039	0,218	0,150	0,612	0,211
SC 119	0,034	0,037		0,077	0,079	0,597	0,206	0,049	0,050	0,240	0,163
SC 120	0,529	0,221		0,076	0,105	0,315	0,191	0,077	0,079	0,045	0,046
SC 132	0,100	0,077		0,627	0,227	0,142	0,145	0,076	0,105	0,056	0,058
SC 141	0,060	0,062		0,210	0,149	0,070	0,071	0,627	0,227	0,048	0,055
SC 145	0,076	0,077		0,048	0,048	0,037	0,040	0,210	0,149	0,612	0,211
SC 146	0,034	0,037		0,082	0,084	0,540	0,216	0,048	0,048	0,299	0,183
SC 147	0,548	0,214		0,057	0,084	0,292	0,184	0,082	0,084	0,044	0,045
SC 162	0,039	0,039		0,363	0,208	0,092	0,097	0,680	0,216	0,028	0,029
SC 164	0,073	0,075		0,047	0,046	0,037	0,039	0,363	0,208	0,477	0,219
SC 175	0,030	0,031		0,094	0,099	0,529	0,221	0,047	0,046	0,314	0,190
SC 177	0,494	0,216		0,047	0,056	0,344	0,201	0,094	0,099	0,038	0,038
SC 179	0,160	0,119		0,666	0,191	0,063	0,074	0,047	0,056	0,064	0,065
SC 193	0,069	0,068		0,059	0,061	0,045	0,049	0,231	0,156	0,597	0,212
SC 198 a	0,048	0,057		0,068	0,070	0,585	0,213	0,059	0,061	0,241	0,160
SC 206	0,320	0,189		0,523	0,220	0,048	0,047	0,036	0,039	0,072	0,072
SC 213	0,056	0,058		0,275	0,176	0,065	0,067	0,523	0,220	0,041	0,044
SC 214	0,090	0,097		0,038	0,036	0,029	0,029	0,275	0,176	0,562	0,225
SC 222	0,029	0,030		0,089	0,093	0,496	0,219	0,038	0,036	0,347	0,204
SC 225	0,412	0,216		0,434	0,222	0,038	0,037	0,028	0,028	0,088	0,095

Fortsetzung von Tabelle A74

Probennr.	Rind/Schaf/Schwein μ	Rind/Schaf/Schwein SD	Stifwasserfische μ	Stifwasserfische SD	Salzwasserfische μ	Salzwasserfische SD	marine Säuger μ	marine Säuger SD	Pflanzen μ	Pflanzen SD
SC 226	0,062	0,063	0,237	0,162	0,064	0,063	0,434	0,222	0,047	0,053
SC 228	0,099	0,115	0,029	0,034	0,020	0,022	0,237	0,162	0,591	0,219
SC 229	0,048	0,054	0,068	0,069	0,683	0,179	0,029	0,034	0,169	0,137
SC 232	0,377	0,217	0,454	0,216	0,033	0,033	0,024	0,024	0,112	0,118
SC 237	0,048	0,048	0,281	0,177	0,079	0,081	0,454	0,216	0,035	0,038
SC 270	0,023	0,025	0,125	0,132	0,619	0,196	0,037	0,040	0,219	0,162
SC 273	0,379	0,208	0,465	0,218	0,039	0,039	0,030	0,030	0,086	0,093

Tabelle A75: Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt mittels des mit „MixSIAR“ errechneten, mittleren terrestrischen Anteils in der Nahrung (Rind/Schaf/Schwein; Modell I) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig. Grau hinterlegt sind diejenigen Individuen, die außerhalb des Mischungspolygons liegen (Abbildung 27(a)) und für die „SISUS“ demnach kein Mischungsmodell berechnen konnte.

Probenr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
H 4	0,581	-14,7	-17,5	-6,2	-8,5				
H 17	0,644	-13,4	-16,2	-5,0	-7,0	10,6			
H 64	0,666	-15,4	-18,8	-5,1	-7,2	10,5			
H 66a	0,514	-14,9	-17,4	-5,4	-7,1	11,0			
H 67 a	0,568	-13,1	-15,5	-6,4	-8,7				
H 72	0,532	-15,5	-18,2	-4,9	-6,5	9,2			
H 76	0,587	-13,9	-16,6	-5,8	-7,9				
H 105	0,554	-11,6	-13,7	-7,2	-9,7	6,8			
H 106a	0,430	-14,8	-16,9	-7,2	-9,1	12,4			
H 107	0,327	-15,6	-17,3	-8,6	-10,4	5,8			
H 154	0,380	-14,8	-16,6	-5,8	-7,2				
H 269	0,288	-14,1	-15,4	-7,0	-8,3				
H 270	0,318	-15,6	-17,2	-6,4	-7,7	9,9			
H 271	0,453	-14,5	-16,7	-7,7	-9,9	4,1			
H 274	0,655	-13,6	-16,5	-4,8	-6,8	12,2			
H 275	0,654	-14,6	-17,7	-5,9	-8,3	11,2			
H 276	0,220	-14,5	-15,5	-8,3	-9,4				
H K XII	0,570	-14,8	-17,6	-8,1	-11,0				
H 1902 Grube 56 I-IV	0,387	-13,5	-15,2	-6,8	-8,5				
H 1904 III/1	0,546	-13,6	-16,0	-7,0	-9,4	10,5			
H 1912 XIII/3	0,457	-14,9	-17,1	-6,0	-7,7	10,4			
H 1912 XIV.3	0,560	-14,2	-16,8	-6,5	-8,8	9,3			
H 1936 DIV	0,580	-14,7	-17,5	-6,1	-8,3	4,6			
H 1968 Sk 4	0,687	-14,8	-18,1	-6,9	-9,9				
H 1968 Sk 5	0,289	-15,1	-16,5	-5,9	-7,0				
H 1968 Sk 6	0,671	-15,5	-18,9	-6,4	-9,1				
H 12301 K I/1	0,253	-15,0	-16,2	-6,0	-7,0	10,8			
H 12370 K IX/6	0,389	-13,3	-15,0	-5,4	-6,7	10,5			
H 12640 XIII/2	0,576	-15,1	-18,0	-5,6	-7,6				
H 12640 K XIII/3	0,483	-13,5	-15,6	-7,5	-9,8				
H Kammergrab III	0,553	-15,3	-18,1	-6,6	-8,9				
H unter Gr 10	0,581	-14,1	-16,8	-6,5	-8,9				
RM 2	0,144	-13,5	-14,1	-7,2	-7,9	18,0			17,7

Fortsetzung von Tabelle A75

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
RM 5	0,719	-14,0	-17,3	-7,6	-11,0					
RM 8	0,522	-14,2	-16,6	-5,7	-7,6				17,6	16,4
RM 9	0,362	-15,4	-17,2	-6,4	-7,9				18,0	17,1
RM 11	0,409	-14,4	-16,3	-6,7	-8,4					
RM 12	0,577	-15,3	-18,2	-8,9	-12,1		11,3	10,2		
RM 14	0,374	-14,4	-16,2	-5,0	-6,2				17,7	16,7
RM 17	0,565	-14,9	-17,7	-5,1	-6,9					
RM 21	0,137	-14,2	-14,8	-5,7	-6,2				16,4	16,1
RM 23	0,538	-13,8	-16,2	-7,4	-9,9		13,1	11,9		
RM 28	0,448	-15,4	-17,7	-6,2	-7,9				14,7	13,7
RM 29	0,675	-12,9	-15,8	-7,9	-11,2					
RM 31	0,588	-15,6	-18,6	-8,0	-11,0					
RM 32	0,139	-13,8	-14,4	-7,1	-7,7				17,2	16,9
RM 41	0,511	-14,9	-17,4	-6,6	-8,7					
RM 42	0,648	-14,5	-17,6	-6,8	-9,6				17,3	15,7
RM 52 a	0,502	-14,7	-17,1	-6,1	-8,0				16,4	15,3
RM 54	0,265	-15,3	-16,6	-7,4	-8,6					
RM 57	0,333	-16,0	-17,7	-6,3	-7,6		7,1	6,7		
RM 58	0,482	-15,5	-18,0	-7,9	-10,3				17,7	16,5
RM 60	0,426	-14,3	-16,3	-6,6	-8,4		8,6	8,0		
RM 68	0,462	-14,9	-17,2	-7,8	-10,1					
RM 76	0,601	-14,8	-17,7	-7,7	-10,6		11,5	10,4		
RM 78	0,337	-15,4	-17,1	-12,0	-14,5				16,3	15,6
RM 79	0,612	-15,4	-18,5	-6,9	-9,6					
RM 80	0,256	-13,9	-15,1	-7,6	-8,8					
RM 81	0,376	-14,1	-15,8	-5,3	-6,6				17,5	16,5
RM 82	0,625	-14,6	-17,6	-6,4	-8,9					
RM 86	0,268	-14,8	-16,1	-7,9	-9,2		9,8	9,4		
RM 88	0,375	-13,9	-15,6	-5,3	-6,5				17,1	16,2
RM 90	0,173	-13,1	-13,8	-5,4	-6,0				17,8	17,3

Fortsetzung von Tabelle A75

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
RM 91	0,392	-15,5	-17,5	-8,3	-10,3					
RM 92	0,264	-15,4	-16,7	-8,1	-9,4					
RM 93	0,574	-15,6	-18,5	-8,3	-11,3	11,6	10,5			
RM 94	0,721	-14,7	-18,2	-8,6	-12,5	7,9	7,0			
RM 95	0,316	-15,2	-16,8	-8,4	-10,1				16,2	15,5
RM 98	0,519	-14,7	-17,2	-7,2	-9,5					
RM 100	0,419	-14,3	-16,3	-7,9	-10,0					
RM 101	0,332	-14,4	-16,0	-7,0	-8,5					
RM 102	0,530	-15,0	-17,6	-6,4	-8,5					
RM 103	0,240	-15,3	-16,5	-6,9	-7,9	6,8	6,5		17,3	16,8
RM 104	0,147	-14,1	-14,8	-6,8	-7,4					
RM 105	0,393	-14,3	-16,1	-7,5	-9,4	11,3	10,6			
RM 107	0,382	-15,2	-17,1	-8,2	-10,2	9,3	8,7			
RM 108	0,120	-15,1	-15,7	-8,7	-9,4					
RM 109	0,666	-15,9	-19,4	-7,7	-10,9	12,7	11,3			
RM 110	0,280	-16,7	-18,2	-7,9	-9,3	12,7	12,1			
RM 113	0,294	-14,7	-16,1	-7,4	-8,8					
RM 115	0,599	-15,2	-18,2	-8,5	-11,7	11,3	10,2			
RM 116	0,476	-14,7	-17,0	-7,3	-9,5	2,1	1,9		17,8	16,6
RM 117	0,268	-15,4	-16,8	-8,2	-9,6					
RM 118	0,599	-14,9	-17,8	-9,1	-12,5					
RM 120	0,481	-15,2	-17,6	-8,5	-11,1				18,4	17,1
RM 125	0,254	-15,5	-16,8	-6,5	-7,5				17,8	17,2
RM 131 a	0,596	-14,3	-17,1	-7,7	-10,6					
RM 134	0,306	-14,0	-15,4	-7,2	-8,6				17,7	17,0
RM 135	0,283	-14,3	-15,6	-8,7	-10,2				16,6	15,9
RM 136	0,414	-14,5	-16,5	-9,2	-11,6					
RM 137	0,404	-14,9	-16,9	-8,5	-10,7	11,5	10,7		16,7	15,8
RM 138	0,236	-15,4	-16,6	-6,1	-7,0				16,8	16,3
RM 139	0,292	-14,9	-16,3	-8,5	-10,1	7,7	7,3			

Fortsetzung von Tabelle A75

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$
RM 140	0,383	-13,9	-15,6	-7,0	-8,7	9,5	8,9	16,5	15,6	
RM 141	0,579	-14,6	-17,4	-7,3	-10,0	3,5	3,2			
RM 142a	0,212	-13,9	-14,9	-8,1	-9,2	9,3	9,0	16,8	16,3	
RM 142b	0,386	-13,8	-15,5	-7,4	-9,2			19,6	18,6	
RM 143	0,399	-15,4	-17,4	-7,6	-9,5					
RM 144	0,435	-14,2	-16,2	-7,3	-9,3					
RM 145	0,543	-15,5	-18,3	-7,1	-9,5	11,4	10,4	16,6	15,3	
RM 146	0,333	-15,2	-16,9	-7,8	-9,4					
RM 147	0,614	-14,1	-16,9	-8,0	-11,1	11,7	10,5			
RM 150	0,421	-16,4	-18,7	-8,5	-10,7					
RM 154	0,542	-14,2	-16,7	-8,6	-11,5	11,2	10,2			
RM 155	0,467	-14,2	-16,4	-7,7	-10,0					
RM 156	0,402	-15,1	-17,1	-9,5	-11,9					
RM 158	0,592	-14,0	-16,7	-7,6	-10,4	5,8	5,2			
RM 159	0,433	-14,4	-16,4	-7,4	-9,4	10,2	9,5			
RM 160	0,476	-15,1	-17,5	-7,8	-10,1					
RM 165	0,171	-14,6	-15,4	-8,6	-9,5					
RM 167	0,422	-14,3	-16,3	-7,1	-9,0					
RM 169	0,283	-14,0	-15,3	-6,6	-7,8	12,8	12,2			
RM 170	0,417	-14,7	-16,7	-9,2	-11,6	10,3	9,6			
RM 171	0,390	-14,4	-16,2	-7,6	-9,5	9,6	9,0			
RM 172	0,373	-14,1	-15,8	-7,7	-9,5	11,0	10,3			
RM 173	0,481	-14,7	-17,0	-7,7	-10,0					
RM 175	0,285	-13,7	-15,0	-8,5	-10,0					
RM 178	0,420	-14,4	-16,4	-7,9	-10,0					
RM 179	0,477	-15,0	-17,3	-8,0	-10,4	11,3	10,4			
RM 180	0,239	-14,6	-15,7	-8,5	-9,8					
RM 183	0,355	-15,4	-17,2	-8,6	-10,5	8,9	8,4			
RM 185	0,506	-14,0	-16,3	-6,8	-9,0	7,2	6,6			
RM 186	0,173	-15,9	-16,8	-10,2	-11,3					

Fortsetzung von Tabelle A75

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
RM 188	0,378	-14,7	-16,5	-6,9	-8,5					
RM 191	0,360	-14,0	-15,7	-7,4	-9,1		10,3	9,7		
RM 193	0,349	-14,6	-16,3	-6,8	-8,3					
RM 197	0,258	-14,1	-15,3	-8,8	-10,2		11,1	10,6		
RM 202	0,287	-15,3	-16,7	-8,9	-10,5		12,6	12,0		
RM 203	0,374	-14,7	-16,5	-7,1	-8,8					
RM 207	0,469	-14,9	-17,2	-7,4	-9,6					
RM 208	0,446	-14,9	-17,1	-7,3	-9,3		11,1	10,3		
RM 210	0,586	-15,0	-17,9	-6,5	-8,9					
RM 212	0,434	-14,4	-16,4	-6,5	-8,3					
RM 213	0,343	-14,5	-16,1	-7,3	-8,9					
RM 214	0,639	-15,0	-18,1	-6,5	-9,1					
RM 215	0,317	-14,6	-16,1	-6,6	-7,9					
RM 219	0,309	-12,8	-14,1	-8,3	-9,9					
RM 221	0,515	-13,7	-16,0	-7,2	-9,5					
RM 226	0,578	-14,3	-17,0	-7,8	-10,6					
RM 230	0,263	-14,8	-16,1	-9,1	-10,6					
RM 232	0,573	-15,6	-18,5	-8,8	-12,0		8,1	7,3		
RM 233	0,509	-14,5	-16,9	-7,7	-10,2					
RM 234	0,316	-14,4	-15,9	-9,5	-11,4					
SC 5	0,638	-13,8	-16,7	-5,0	-7,0		7,8	7,0	17,4	15,8
SC 19 b	0,368	-13,8	-15,5	-6,9	-8,5					
SC 21	0,725	-13,8	-17,1	-6,3	-9,2					
SC 53	0,192	-14,5	-15,4	-7,6	-8,5		10,3	10,0		
SC 57	0,168	-14,1	-14,9	-9,8	-10,8		8,8	8,6		
SC 58	0,626	-14,2	-17,1	-6,0	-8,4		13,8	12,4		
SC 59	0,509	-15,5	-18,1	-7,4	-9,8		7,0	6,4		
SC 66	0,664	-12,9	-15,7	-5,7	-8,1					
SC 67	0,381	-14,3	-16,1	-7,5	-9,3					
SC 69	0,335	-15,1	-16,8	-9,4	-11,4					

Fortsetzung von Tabelle A75

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
SC 73	0,612	-14,4	-17,3	-6,9	-9,6				
SC 75	0,421	-14,4	-16,4	-8,6	-10,9	11,7	10,9		
SC 92	0,149	-14,0	-14,7	-6,3	-6,9	12,7	12,4	17,2	16,9
SC 94	0,464	-14,3	-16,5	-6,1	-7,9				
SC 96	0,319	-14,2	-15,7	-6,3	-7,6	11,7	11,1		
SC 97	0,604	-13,6	-16,3	-5,9	-8,1				
SC 101	0,720	-14,6	-18,0	-10,0	-14,5	13,2	11,6	17,0	15,3
SC 103	0,389	-14,7	-16,6	-5,7	-7,1				
SC 104	0,433	-13,7	-15,6	-7,1	-9,0	4,2	3,9		
SC 105	0,525	-13,7	-16,1	-5,9	-7,8	14,0	12,8	17,4	16,2
SC 111	0,377	-13,6	-15,3	-7,0	-8,7				
SC 119	0,496	-13,0	-15,1	-6,8	-8,9			18,1	16,8
SC 120	0,507	-13,6	-15,9	-5,7	-7,5			16,9	15,7
SC 132	0,121	-13,7	-14,2	-8,1	-8,7			17,2	16,9
SC 141	0,587	-14,3	-17,1	-8,6	-11,8	12,1	10,9		
SC 145	0,513	-13,6	-15,9	-6,5	-8,6				
SC 146	0,577	-14,0	-16,6	-7,6	-10,4	12,0	10,9		
SC 147	0,288	-13,9	-15,2	-6,1	-7,2				
SC 162	0,406	-13,9	-15,8	-8,4	-10,5				
SC 164	0,328	-14,1	-15,6	-7,9	-9,5				
SC 175	0,515	-14,8	-17,3	-7,6	-10,1	12,4	11,3		
SC 177	0,458	-13,3	-15,3	-6,8	-8,8				
SC 179	0,576	-13,7	-16,3	-7,6	-10,3				
SC 193	0,630	-14,7	-17,7	-6,4	-8,9			17,4	15,9
SC 198 a	0,407	-13,9	-15,8	-6,2	-7,8	11,3	10,5		
SC 206	0,625	-14,5	-17,5	-6,6	-9,2				
SC 213	0,477	-14,2	-16,4	-6,6	-8,6				
SC 214	0,443	-14,9	-17,1	-10,1	-12,9	11,6	10,8		
SC 222	0,568	-15,0	-17,8	-7,5	-10,2	12,1	11,0		
SC 225	0,385	-14,3	-16,1	-8,8	-10,9	11,3	10,6		

Fortsetzung von Tabelle A75

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
SC 226	0,439	-15,4	-17,6	-6,2	-7,9	12,2	12,2	11,3		
SC 228	0,523	-13,8	-16,2	-6,1	-8,1	12,2	12,2	11,1		
SC 229	0,076	-14,2	-14,6	-7,2	-7,5	12,2	12,2	12,0		
SC 232	0,566	-14,1	-16,7	-10,7	-14,5	11,9	11,9	10,8	17,5	16,2
SC 237	0,473	-14,7	-17,0	-7,6	-9,9	12,3	12,3	11,3		
SC 270	0,331	-14,4	-16,0	-7,7	-9,3	12,4	12,4	11,7		
SC 273	0,445	-15,1	-17,3	-7,6	-9,7	9,7	9,7	9,0		

Tabelle A76: Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt mittels des mit „MixSIAR“ errechneten, mittleren terrestrischen Anteils in der Nahrung (Rind/Schaf/Schwein und Pflanzen (berechnet aus domestizierten Herbivoren); Modell II) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig. Grau hinterlegt sind diejenigen Individuen, die außerhalb des Mischungspolygons liegen (Abbildung 27(b)) und für die „SISUS“ demnach kein Mischungsmodell berechnen konnte.

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
H 4	0,312	-14,7	-15,9	-6,2	-7,2				
H 17	0,338	-13,4	-16,2	-5,0	-7,0	11,9		10,7	
H 64	0,085	-15,4	-16,0	-5,1	-5,5	11,8		11,6	
H 66a	0,688	-14,9	-15,4	-5,4	-5,8	12,0		11,8	
H 67 a	0,210	-13,1	-16,0	-6,4	-9,2				
H 72	0,606	-15,5	-19,8	-4,9	-7,5	10,1		8,7	
H 76	0,190	-13,9	-15,2	-5,8	-6,8				
H 105	0,681	-11,6	-12,0	-7,2	-7,7	7,5		7,4	
H 106a	0,225	-14,8	-18,2	-7,2	-10,4	13,3		11,8	
H 107	0,717	-15,6	-19,9	-8,6	-13,1	6,1		5,3	
H 154	0,273	-14,8	-16,1	-5,8	-6,8				
H 269	0,496	-14,1	-14,6	-7,0	-7,5				
H 270	0,219	-15,6	-18,8	-6,4	-8,9	10,4		9,3	
H 271	0,809	-14,5	-18,7	-7,7	-12,0	4,4		3,8	
H 274	0,117	-13,6	-14,7	-4,8	-5,6	13,7		13,1	
H 275	0,134	-14,6	-15,3	-5,9	-6,4	12,5		12,2	
H 276	0,751	-14,5	-15,1	-8,3	-8,9				
H K XII	0,302	-14,8	-17,7	-8,1	-11,1				
H 1902 Grube 56 I-IV	0,451	-13,5	-15,3	-6,8	-8,5				
H 1904 III/1	0,081	-13,6	-14,1	-7,0	-7,5	11,5		11,3	
H 1912 XIII/3	0,520	-14,9	-17,4	-6,0	-7,9	11,3		10,4	
H 1912 XIV.3	0,078	-14,2	-14,8	-6,5	-7,0	10,3		10,1	
H 1936 DIV	0,739	-14,7	-15,2	-6,1	-6,5	5,1		5,0	
H 1968 Sk 4	0,137	-14,8	-18,5	-6,9	-10,2				
H 1968 Sk 5	0,586	-15,1	-19,3	-5,9	-9,0				
H 1968 Sk 6	0,240	-15,5	-16,7	-6,4	-7,3				
H 12301 K 1/1	0,703	-15,0	-15,6	-6,0	-6,4	11,3		11,1	
H 12370 K IX/6	0,721	-13,3	-16,7	-5,4	-8,0	11,2		9,8	
H 12640 XIII/2	0,662	-15,1	-15,7	-5,6	-6,0				
H 12640 K XIII/3	0,298	-13,5	-16,3	-7,5	-10,4				
H Kammergrab III	0,790	-15,3	-19,6	-6,6	-10,2				
H unter Gr 10	0,140	-14,1	-14,8	-6,5	-7,1				
RM 2	0,708	-13,5	-14,0	-7,2	-7,8			18,0	17,7

Fortsetzung von Tabelle A76

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
RM 5	0,252	-14,0	-17,0	-7,6	-10,7					
RM 8	0,117	-14,2	-15,5	-5,7	-6,7	17,6			16,9	
RM 9	0,077	-15,4	-16,0	-6,4	-6,9	18,0			17,7	
RM 11	0,402	-14,4	-16,9	-6,7	-8,9					
RM 12	0,607	-15,3	-19,5	-8,9	-13,6		11,3	9,7		
RM 14	0,115	-14,4	-15,0	-5,0	-5,4	17,7			17,3	
RM 17	0,377	-14,9	-17,6	-5,1	-6,9					
RM 21	0,089	-14,2	-14,7	-5,7	-6,1	16,4			16,2	
RM 23	0,851	-13,8	-14,3	-7,4	-7,9	12,9	13,1			
RM 28	0,444	-15,4	-17,5	-6,2	-7,8	14,7			13,8	
RM 29	0,089	-12,9	-13,4	-7,9	-8,5					
RM 31	0,229	-15,6	-18,9	-8,0	-11,2					
RM 32	0,322	-13,8	-17,8	-7,1	-11,0	17,2			15,1	
RM 41	0,608	-14,9	-15,5	-6,6	-7,1					
RM 42	0,298	-14,5	-17,3	-6,8	-9,4	17,3			15,8	
RM 52 a	0,093	-14,7	-15,3	-6,1	-6,6	16,4			16,1	
RM 54	0,687	-15,3	-18,7	-7,4	-10,5					
RM 57	0,178	-16,0	-19,8	-6,3	-9,1	6,3	7,1			
RM 58	0,603	-15,5	-19,7	-7,9	-12,0				15,6	
RM 60	0,560	-14,3	-16,3	-6,6	-8,3	8,0	8,6			
RM 68	0,652	-14,9	-18,9	-7,8	-11,8					
RM 76	0,076	-14,8	-15,4	-7,7	-8,3	11,3	11,5			
RM 78	0,641	-15,4	-16,0	-12,0	-12,9	16,3			16,1	
RM 79	0,394	-15,4	-17,9	-6,9	-9,1					
RM 80	0,473	-13,9	-17,8	-7,6	-11,7					
RM 81	0,214	-14,1	-15,1	-5,3	-6,0	17,5			16,9	
RM 82	0,136	-14,6	-15,3	-6,4	-7,0					
RM 86	0,136	-14,8	-18,7	-7,9	-11,8		9,8	8,5		
RM 88	0,250	-13,9	-14,9	-5,3	-6,1	17,1			16,6	
RM 90	0,631	-13,1	-13,6	-5,4	-5,8	17,8			17,5	

Fortsetzung von Tabelle A76

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
RM 91	0,232	-15,5	-18,9	-8,3	-11,8				
RM 92	0,664	-15,4	-19,7	-8,1	-12,4				
RM 93	0,178	-15,6	-16,6	-8,3	-9,3	11,6	11,2		
RM 94	0,122	-14,7	-15,3	-8,6	-9,3	7,9	7,7		
RM 95	0,710	-15,2	-15,7	-8,4	-9,0			16,2	16,0
RM 98	0,614	-14,7	-18,7	-7,2	-11,0				
RM 100	0,258	-14,3	-15,5	-7,9	-9,2				
RM 101	0,101	-14,4	-15,0	-7,0	-7,5				
RM 102	0,781	-15,0	-15,6	-6,4	-6,9				
RM 103	0,190	-15,3	-18,9	-6,9	-10,0	6,8	6,0	17,3	15,6
RM 104	0,676	-14,1	-18,0	-6,8	-10,4				
RM 105	0,264	-14,3	-15,7	-7,5	-8,9	11,3	10,8		
RM 107	0,738	-15,2	-15,8	-8,2	-8,9	9,3	9,1		
RM 108	0,412	-15,1	-17,7	-8,7	-11,6				
RM 109	0,681	-15,9	-20,1	-7,7	-11,6	12,7	11,0		
RM 110	0,477	-16,7	-18,9	-7,9	-9,9	12,7	11,8		
RM 113	0,171	-14,7	-18,2	-7,4	-10,7				
RM 115	0,694	-15,2	-19,4	-8,5	-13,0	11,3	9,7		
RM 116	0,493	-14,7	-16,9	-7,3	-9,4	2,1	1,9	17,8	16,7
RM 117	0,094	-15,4	-16,0	-8,2	-8,8				
RM 118	0,662	-14,9	-15,5	-9,1	-9,8				
RM 120	0,563	-15,2	-19,4	-8,5	-13,0			18,4	16,2
RM 125	0,261	-15,5	-18,7	-6,5	-9,1			17,8	16,2
RM 131 a	0,393	-14,3	-16,6	-7,7	-10,1				
RM 134	0,092	-14,0	-14,6	-7,2	-7,8			17,7	17,4
RM 135	0,690	-14,3	-14,9	-8,7	-9,4			16,6	16,3
RM 136	0,345	-14,5	-17,2	-9,2	-12,5				
RM 137	0,644	-14,9	-19,0	-8,5	-12,9	11,5	9,9	16,7	14,8
RM 138	0,255	-15,4	-16,6	-6,1	-7,0			16,8	16,2
RM 139	0,083	-14,9	-15,5	-8,5	-9,1	7,7	7,6		

Fortsetzung von Tabelle A76

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
RM 140	0,574	-13,9	-14,4	-7,0	-7,4	9,5	9,3	16,5	16,3	
RM 141	0,152	-14,6	-18,1	-7,3	-10,7	3,5	3,1			
RM 142a	0,845	-13,9	-17,9	-8,1	-12,6	9,3	7,9	16,8	14,7	
RM 142b	0,295	-13,8	-15,1	-7,4	-8,7			19,6	18,9	
RM 143	0,049	-15,4	-16,3	-7,6	-8,4					
RM 144	0,504	-14,2	-14,7	-7,3	-7,8					
RM 145	0,247	-15,5	-18,7	-7,1	-9,9	11,4	10,2	16,6	15,1	
RM 146	0,848	-15,2	-19,5	-7,8	-12,0					
RM 147	0,557	-14,1	-16,4	-8,0	-10,5	11,7	10,7			
RM 150	0,381	-16,4	-19,4	-8,5	-11,5					
RM 154	0,045	-14,2	-15,2	-8,6	-9,7	11,2	10,8			
RM 155	0,515	-14,2	-14,7	-7,7	-8,2					
RM 156	0,330	-15,1	-18,1	-9,5	-13,1					
RM 158	0,749	-14,0	-17,8	-7,6	-11,6	5,8	5,0			
RM 159	0,466	-14,4	-16,3	-7,4	-9,3	10,2	9,5			
RM 160	0,081	-15,1	-15,7	-7,8	-8,4					
RM 165	0,095	-14,6	-15,2	-8,6	-9,3					
RM 167	0,158	-14,3	-18,0	-7,1	-10,6					
RM 169	0,614	-14,0	-16,4	-6,6	-8,8	12,8	11,7			
RM 170	0,044	-14,7	-15,5	-9,2	-10,2	10,3	10,0			
RM 171	0,440	-14,4	-15,0	-7,6	-8,2	9,6	9,4			
RM 172	0,412	-14,1	-16,3	-7,7	-10,0	11,0	10,1			
RM 173	0,520	-14,7	-18,7	-7,7	-11,7					
RM 175	0,097	-13,7	-14,3	-8,5	-9,2					
RM 178	0,720	-14,4	-18,2	-7,9	-11,9					
RM 179	0,311	-15,0	-16,4	-8,0	-9,5	11,3	10,8			
RM 180	0,091	-14,6	-15,2	-8,5	-9,2					
RM 183	0,711	-15,4	-19,5	-8,6	-13,0	8,9	7,7			
RM 185	0,284	-14,0	-15,2	-6,8	-7,9	7,2	6,9			
RM 186	0,071	-15,9	-16,6	-10,2	-11,0					

Fortsetzung von Tabelle A76

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
RM 188	0,204	-14,7	-17,2	-6,9	-9,2				
RM 191	0,295	-14,0	-15,1	-7,4	-8,5	10,3	9,9		
RM 193	0,647	-14,6	-15,1	-6,8	-7,3				
RM 197	0,481	-14,1	-16,1	-8,8	-11,2	11,1	10,3		
RM 202	0,553	-15,3	-18,9	-8,9	-13,0	12,6	11,1		
RM 203	0,267	-14,7	-15,9	-7,1	-8,2				
RM 207	0,370	-14,9	-17,6	-7,4	-10,0				
RM 208	0,611	-14,9	-19,0	-7,3	-11,2	11,1	9,6		
RM 210	0,073	-15,0	-15,5	-6,5	-6,9				
RM 212	0,297	-14,4	-17,3	-6,5	-9,0				
RM 213	0,602	-14,5	-18,5	-7,3	-11,1				
RM 214	0,254	-15,0	-16,2	-6,5	-7,5				
RM 215	0,064	-14,6	-15,1	-6,6	-7,1				
RM 219	0,537	-12,8	-16,3	-8,3	-12,7				
RM 221	0,076	-13,7	-14,3	-7,2	-7,8				
RM 226	0,231	-14,3	-15,5	-7,8	-9,0				
RM 230	0,257	-14,8	-18,0	-9,1	-12,9				
RM 232	0,348	-15,6	-17,2	-8,8	-10,5	8,1	7,7		
RM 233	0,190	-14,5	-15,3	-7,7	-8,5				
RM 234	0,633	-14,4	-15,0	-9,5	-10,2				
SC 5	0,501	-13,8	-15,7	-5,0	-6,3			17,4	16,4
SC 19 b	0,041	-13,8	-14,6	-6,9	-7,7				
SC 21	0,359	-13,8	-14,3	-6,3	-6,7				
SC 53	0,147	-14,5	-18,0	-7,6	-11,1	10,3	9,1		
SC 57	0,821	-14,1	-18,0	-9,8	-15,1	8,8	7,6		
SC 58	0,499	-14,2	-16,3	-6,0	-7,7	13,8	12,8		
SC 59	0,059	-15,5	-16,2	-7,4	-8,1	7,0	6,8		
SC 66	0,683	-12,9	-13,5	-5,7	-6,2				
SC 67	0,467	-14,3	-16,3	-7,5	-9,5				
SC 69	0,681	-15,1	-19,3	-9,4	-14,3				

Fortsetzung von Tabelle A76

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
SC 73	0,262	-14,4	-15,6	-6,9	-8,0				
SC 75	0,064	-14,4	-15,0	-8,6	-9,3	11,7	11,5		
SC 92	0,539	-14,0	-14,5	-6,3	-6,8	12,7	12,5	17,2	16,9
SC 94	0,412	-14,3	-18,0	-6,1	-9,1				
SC 96	0,623	-14,2	-16,5	-6,3	-8,3	11,7	10,7		
SC 97	0,345	-13,6	-15,0	-5,9	-7,0				
SC 101	0,782	-14,6	-15,4	-10,0	-11,0	13,2	12,8	17,0	16,6
SC 103	0,365	-14,7	-17,1	-5,7	-7,5				
SC 104	0,503	-13,7	-17,5	-7,1	-10,9	4,2	3,6		
SC 105	0,617	-13,7	-16,0	-5,9	-7,8	14,0	12,8	17,4	16,2
SC 111	0,691	-13,6	-14,1	-7,0	-7,5				
SC 119	0,274	-13,0	-15,7	-6,8	-9,5			18,1	16,5
SC 120	0,574	-13,6	-17,4	-5,7	-8,7			16,9	14,9
SC 132	0,156	-13,7	-14,8	-8,1	-9,3			17,2	16,6
SC 141	0,108	-14,3	-14,9	-8,6	-9,3	12,1	11,8		
SC 145	0,688	-13,6	-14,1	-6,5	-7,0				
SC 146	0,333	-14,0	-16,6	-7,6	-10,3	12,0	10,9		
SC 147	0,592	-13,9	-17,7	-6,1	-9,3				
SC 162	0,067	-13,9	-14,5	-8,4	-9,1				
SC 164	0,550	-14,1	-14,6	-7,9	-8,4				
SC 175	0,344	-14,8	-17,5	-7,6	-10,3	12,4	11,3		
SC 177	0,532	-13,3	-17,0	-6,8	-10,4				
SC 179	0,224	-13,7	-14,7	-7,6	-8,7				
SC 193	0,666	-14,7	-15,2	-6,4	-6,9			17,4	17,1
SC 198 a	0,289	-13,9	-16,8	-6,2	-8,7	11,3	10,1		
SC 206	0,392	-14,5	-16,3	-6,6	-8,1				
SC 213	0,097	-14,2	-14,8	-6,6	-7,1				
SC 214	0,652	-14,9	-15,5	-10,1	-10,9	11,6	11,4		
SC 222	0,376	-15,0	-17,6	-7,5	-10,0	12,1	11,1		
SC 225	0,500	-14,3	-16,4	-8,8	-11,3	11,3	10,5		

Fortsetzung von Tabelle A76

Probennr.	terr. Anteil	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ (korrigiert)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert)
SC 226	0,109	-15,4	-16,0	-6,2	-6,7	12,2	12,2	11,9		
SC 228	0,690	-13,8	-14,3	-6,1	-6,6	12,2	12,2	12,0		
SC 229	0,217	-14,2	-17,6	-7,2	-10,5	12,2	12,2	10,7		
SC 232	0,489	-14,1	-16,0	-10,7	-13,5	11,9	11,9	11,1	17,5	16,5
SC 237	0,083	-14,7	-15,3	-7,6	-8,2	12,3	12,3	12,0		
SC 270	0,242	-14,4	-17,4	-7,7	-10,8	12,4	12,4	11,1		
SC 273	0,465	-15,1	-17,2	-7,6	-9,6	9,7	9,7	9,0		

Tabelle A77: GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „EVI“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II) aus Haithabu und Schleswig. Geclustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell I eine Lösung ergeben.

Cluster 1	Cluster 2
H 105	H 17
H 271	H 64
H 1936 DIV	H 66a
RM 57	H 72
RM 60	H 106a
RM 94	H 274
RM 116	H 275
RM 139	H 12370 K IX/6
RM 140	H 1904 III/1
RM 141	H 1912 XIII/3
RM 158	H 1912 XIV.3
RM 185	RM 12
RM 232	RM 23
SC 5	RM 76
SC 59	RM 93
SC 104	RM 105
	RM 107
	RM 109
	RM 110
	RM 115
	RM 137
	RM 142a
	RM 145
	RM 147
	RM 154
	RM 159

Fortsetzung von Tabelle A77

Cluster 1	Cluster 2
	RM 169
	RM 170
	RM 171
	RM 172
	RM 179
	RM 191
	RM 197
	RM 202
	RM 208
	SC 58
	SC 75
	SC 92
	SC 96
	SC 101
	SC 105
	SC 141
	SC 146
	SC 175
	SC 198 a
	SC 214
	SC 222
	SC 225
	SC 226
	SC 228
	SC 232

Fortsetzung von Tabelle A77

Cluster 1	Cluster 2
	SC 237
	SC 270
	SC 273

Tabelle A78: Mittelwert (μ) und Standardabweichung (SD) für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II, Modell I) für die GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „EVI“-Modell (Scrucca et al., 2016). Geclustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell I eine Lösung ergeben.

μ	Cluster 1	Cluster 2
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	-19,77	-19,55
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	11,41	11,48
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	-14,45	-14,55
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	-7,21	-7,41
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	7,05	11,69
SD	Cluster 1	Cluster 2
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	0,36	0,60
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	0,74	0,89
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	0,92	0,68
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	0,93	1,36
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	2,40	1,10

Tabelle A79: GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „EEE“-Modell (Scruc-
ca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II) aus
Haithabu und Schleswig nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt
($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$). Die Korrektur erfolgte auf Basis der mit „SI-
SUS“ berechneten, terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein) Nahrungsanteile
(Modell I). Geclustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell
I eine Lösung ergeben.

Cluster 1	Cluster 2
H 105	H 17
H 271	H 64
H 1936 DIV	H 66a
RM 57	H 72
RM 60	H 106a
RM 116	H 274
RM 141	H 275
RM 158	H 12370 K IX/6
RM 185	H 1904 III/1
SC 5	H 1912 XIII/3
SC 59	H 1912 XIV.3
SC 104	RM 12
	RM 23
	RM 76
	RM 93
	RM 94
	RM 105
	RM 107
	RM 109
	RM 110
	RM 115
	RM 137
	RM 139
	RM 140

Fortsetzung von Tabelle A79

Cluster 1	Cluster 2
	RM 142a
	RM 145
	RM 147
	RM 154
	RM 159
	RM 169
	RM 170
	RM 171
	RM 172
	RM 179
	RM 191
	RM 197
	RM 202
	RM 208
	RM 232
	SC 58
	SC 75
	SC 92
	SC 96
	SC 101
	SC 105
	SC 141
	SC 146
	SC 175
	SC 198 a

Fortsetzung von Tabelle A79

Cluster 1	Cluster 2
	SC 214
	SC 222
	SC 225
	SC 226
	SC 228
	SC 232
	SC 237
	SC 270
	SC 273

Tabelle A80: Mittelwert (μ) und Standardabweichung (SD) für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II, Modell I) für die GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „EEE“-Modell (Scrucca et al., 2016) nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$). Die Korrektur erfolgte auf Basis der mit „SISUS“ berechneten, terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein) Nahrungsanteile (Modell I). Geclustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell I eine Lösung ergeben.

μ	Cluster 1	Cluster 2
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	-19,84	-19,55
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	11,45	11,46
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	-15,54	-16,05
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	-8,09	-8,90
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	5,68	10,87
SD	Cluster 1	Cluster 2
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	0,54	0,54
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	0,85	0,85
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	1,16	1,16
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	1,76	1,76
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	1,41	1,41

Tabelle A81: GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „EEI“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II) aus Haithabu und Schleswig nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$). Die Korrektur erfolgte auf Basis der mit „simmr“ berechneten, terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein) Nahrungsanteile (Modell I). Geclustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell I eine Lösung ergeben.

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
H 105	RM 142a	H 17
H 271	SC 92	H 64
H 1936 DIV		H 66a
RM 57		H 72
RM 94		H 106a

Fortsetzung von Tabelle A81

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
RM 116		H 274
RM 141		H 275
RM 158		H 12370 K IX/6
RM 185		H 1904 III/1
SC 5		H 1912 XIII/3
SC 59		H 1912 XIV.3
SC 104		RM 12
		RM 23
		RM 60
		RM 76
		RM 93
		RM 105
		RM 107
		RM 109
		RM 110
		RM 115
		RM 137
		RM 139
		RM 140
		RM 145
		RM 147
		RM 154
		RM 159
		RM 169
		RM 170

Fortsetzung von Tabelle A81

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
		RM 171
		RM 172
		RM 179
		RM 191
		RM 197
		RM 202
		RM 208
		RM 232
		SC 58
		SC 75
		SC 96
		SC 101
		SC 105
		SC 141
		SC 146
		SC 175
		SC 198 a
		SC 214
		SC 222
		SC 225
		SC 226
		SC 228
		SC 232
		SC 237
		SC 270

Fortsetzung von Tabelle A81

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
SC 273		

Tabelle A82: Mittelwert (μ) und Standardabweichung (SD) für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II, Modell I) für die GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „EEI“-Modell (Scrucca et al., 2016) nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$). Die Korrektur erfolgte auf Basis der mit „simmr“ berechneten, terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein) Nahrungsanteile (Modell I). Geclustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell I eine Lösung ergeben.

μ	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	-19,83	-17,45	-19,63
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	11,33	13,50	11,42
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	-15,72	-14,79	-16,09
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	-8,38	-8,05	-8,89
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	5,67	10,68	10,90
SD	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	0,40	0,40	0,40
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	0,78	0,78	0,78
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	0,86	0,86	0,86
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	1,55	1,55	1,55
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	1,34	1,34	1,34

Tabelle A83: GMM-Clusterzuordnung mit vier Clustern und dem „EEI“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II) aus Haithabu und Schleswig nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$). Die Korrektur erfolgte auf Basis der mit „MixSIAR“ berechneten, terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein) Nahrungsanteile (Modell I). Geclustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell I eine Lösung ergeben.

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
H 105	H 12370 K IX/6	RM 142a	H 17
H 271	RM 105	SC 92	H 64
H 1936 DIV	RM 107		H 66a
RM 57	RM 110		H 72
RM 60	RM 137		H 106a
RM 116	RM 139		H 274
RM 141	RM 140		H 275
RM 158	RM 159		H 1904 III/1
RM 185	RM 169		H 1912 XIII/3
SC 5	RM 170		H 1912 XIV.3
SC 59	RM 171		RM 12
SC 104	RM 172		RM 23
	RM 191		RM 76
	RM 197		RM 93
	RM 202		RM 94
	RM 208		RM 109
	SC 75		RM 115
	SC 96		RM 145
	SC 198 a		RM 147
	SC 225		RM 154
	SC 270		RM 179
	SC 273		RM 232
			SC 58
			SC 101

Fortsetzung von Tabelle A83

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
			SC 105
			SC 141
			SC 146
			SC 175
			SC 214
			SC 222
			SC 226
			SC 228
			SC 232
			SC 237

Tabelle A84: Mittelwert (μ) und Standardabweichung (SD) für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II, Modell I) für die GMM-Clusterzuordnung mit vier Clustern und dem „EEI“-Modell (Scrucca et al., 2016) nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$). Die Korrektur erfolgte auf Basis der mit „MixSIAR“ berechneten, terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein) Nahrungsanteile (Modell I). Geclustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell I eine Lösung ergeben.

μ	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	-19,85	-19,26	-17,45	-19,88
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	11,39	12,06	13,50	10,96
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	-16,68	-16,26	-14,78	-17,37
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	-9,18	-9,36	-8,03	-9,95
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	5,29	10,34	10,68	10,62
SD	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	0,30	0,30	0,30	0,30
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	0,61	0,61	0,61	0,61
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	0,85	0,85	0,85	0,85
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	1,67	1,67	1,67	1,67
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	1,34	1,34	1,34	1,34

Tabelle A85: GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „VVE“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II) aus Haithabu und Schleswig. Geclustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell II eine Lösung ergeben.

Cluster 1	Cluster 2
H 72	H 17
H 105	H 64
H 271	H 66a
H 12370 K IX/6	H 106a
H 1912 XIII/3	H 274
H 1912 XIV.3	H 275
H 1936 DIV	H 1904 III/1

Fortsetzung von Tabelle A85

Cluster 1	Cluster 2
RM 57	RM 12
RM 60	RM 23
RM 116	RM 76
RM 141	RM 86
RM 185	RM 93
SC 5	RM 94
SC 59	RM 105
SC 104	RM 107
SC 226	RM 109
	RM 110
	RM 115
	RM 137
	RM 139
	RM 140
	RM 142a
	RM 145
	RM 147
	RM 154
	RM 158
	RM 159
	RM 169
	RM 170
	RM 171
	RM 172
	RM 179

Fortsetzung von Tabelle A85

Cluster 1	Cluster 2
	RM 191
	RM 197
	RM 202
	RM 208
	RM 232
	SC 58
	SC 75
	SC 92
	SC 96
	SC 101
	SC 105
	SC 141
	SC 146
	SC 175
	SC 198 a
	SC 214
	SC 222
	SC 225
	SC 228
	SC 232
	SC 237
	SC 270
	SC 273

Tabelle A86: Mittelwert (μ) und Standardabweichung (SD) für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II, Modell II) für die GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „VVE“-Modell (Scrucca et al., 2016). Geclustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell II eine Lösung ergeben.

μ	Cluster 1	Cluster 2
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	-19,95	-19,50
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	11,66	11,43
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	-14,42	-14,56
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	-6,49	-7,62
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	7,42	11,34
SD	Cluster 1	Cluster 2
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	0,28	0,56
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	0,47	0,98
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	1,02	0,64
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	0,92	1,16
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	2,91	1,61

Tabelle A87: GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „EEE“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II) aus Haithabu und Schleswig nach Korrektur gegen den „sea spray“ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$). Die Korrektur erfolgte auf Basis der mit „SISUS“ berechneten, terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein und Pflanzen (berechnet aus den domestizierten Herbivoren)) Nahrungsanteile (Modell II). Geclustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell II eine Lösung ergeben.

Cluster 1	Cluster 2
H 105	H 17
H 271	H 64
H 1936 DIV	H 66a
RM 57	H 72
RM 60	H 106a
RM 116	H 274

Fortsetzung von Tabelle A87

Cluster 1	Cluster 2
RM 141	H 275
RM 158	H 12370 K IX/6
RM 185	H 1904 III/1
SC 5	H 1912 XIII/3
SC 59	H 1912 XIV.3
SC 104	RM 12
	RM 23
	RM 76
	RM 86
	RM 93
	RM 94
	RM 105
	RM 107
	RM 109
	RM 110
	RM 115
	RM 137
	RM 139
	RM 140
	RM 142a
	RM 145
	RM 147
	RM 154
	RM 159
	RM 169

Fortsetzung von Tabelle A87

Cluster 1	Cluster 2
	RM 170
	RM 171
	RM 172
	RM 179
	RM 191
	RM 197
	RM 202
	RM 208
	RM 232
	SC 58
	SC 75
	SC 92
	SC 96
	SC 101
	SC 105
	SC 141
	SC 146
	SC 175
	SC 198 a
	SC 214
	SC 222
	SC 225
	SC 226
	SC 228
	SC 232

Fortsetzung von Tabelle A87

Cluster 1	Cluster 2
	SC 237
	SC 270
	SC 273

Tabelle A88: Mittelwert (μ) und Standardabweichung (SD) für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II, Modell II) für die GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „EEE“-Modell (Scrucca et al., 2016) nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$). Die Korrektur erfolgte auf Basis der mit „SISUS“ berechneten, terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein und Pflanzen (berechnet aus den domestizierten Herbivoren)) Nahrungsanteile (Modell II). Geclustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell II eine Lösung ergeben.

μ	Cluster 1	Cluster 2
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	-19,85	-19,55
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	11,44	11,49
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	-16,38	-16,92
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	-8,86	-9,76
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	5,49	10,50
SD	Cluster 1	Cluster 2
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	0,54	0,54
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	0,87	0,87
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	1,07	1,07
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	1,80	1,80
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	1,37	1,37

Tabelle A89: GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „VVI“-Modell (Scruc-
ca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II) aus
Haithabu und Schleswig nach gegen den „sea spray“-Effekt ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$,
 $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$). Die Korrektur erfolgte auf Basis der mit „simmr“
berechneten, terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein und Pflanzen (berech-
net aus den domestizierten Herbivoren)) Nahrungsanteile (Modell II).
Geclustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell II eine
Lösung ergeben.

Cluster 1	Cluster 2
H 105	H 17
H 271	H 64
H 1936 DIV	H 66a
RM 57	H 72
RM 60	H 106a
RM 86	H 274
RM 94	H 275
RM 107	H 12370 K IX/6
RM 110	H 1904 III/1
RM 116	H 1912 XIII/3
RM 139	H 1912 XIV.3
RM 140	RM 12
RM 141	RM 23
RM 142a	RM 76
RM 158	RM 93
RM 159	RM 105
RM 169	RM 109
RM 171	RM 115
RM 185	RM 137
RM 191	RM 145
RM 197	RM 147
RM 202	RM 154
RM 232	RM 170

Fortsetzung von Tabelle A89

Cluster 1	Cluster 2
SC 5	RM 172
SC 59	RM 179
SC 92	RM 208
SC 96	SC 58
SC 104	SC 75
SC 273	SC 101
	SC 105
	SC 141
	SC 146
	SC 175
	SC 198 a
	SC 214
	SC 222
	SC 225
	SC 226
	SC 228
	SC 232
	SC 237
	SC 270

Tabelle A90: Mittelwert (μ) und Standardabweichung (SD) für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II, Modell II) für die GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „VVI“-Modell (Scrucca et al., 2016) nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$). Die Korrektur erfolgte auf Basis der mit „simmr“ berechneten, terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein und Pflanzen (berechnet aus den domestizierten Herbivoren)) Nahrungsanteile (Modell II). Geclustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell II eine Lösung ergeben.

μ	Cluster 1	Cluster 2
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	-19,41	-19,76
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	11,83	11,19
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	-16,26	-16,34
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	-9,12	-9,07
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	8,28	11,13
SD	Cluster 1	Cluster 2
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	0,67	0,35
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	0,93	0,69
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	0,98	0,68
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	1,13	1,88
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	2,68	0,80

Tabelle A91: Mittelwert (μ) und Standardabweichung (SD) für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II, Modell II) für die GMM-Clusterzuordnung mit einem Cluster und dem „XXX“-Modell (Scrucca et al., 2016) nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$). Die Korrektur erfolgte auf Basis der mit „MixSIAR“ berechneten, terrestrischen (= Rind/Schaf/Schwein und Pflanzen (berechnet aus den domestizierten Herbivoren)) Nahrungsanteile (Modell II). Geclustert werden nur Individuen, die mit „SISUS“ im Modell II eine Lösung ergeben.

μ	Cluster 1
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	-19,60
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	11,48
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	-16,51
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	-9,28
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	9,77
SD	Cluster 1
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	0,55
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	0,87
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	1,61
$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	1,96
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	2,44

Tabelle A92: Zufällig erzeugter Trainingsdatensatz der terrestrischen herbivoren und marinen Säuger (Datensatz I).

Spezies	Probennr.
Aurochse	Hb 47
Aurochse	Hb 48
Damhirsch	S 6
Eichhörnchen	Hb 7
Feldhase	Hb 1
Feldhase	Hb 2
Feldhase	S 24

Fortsetzung von Tabelle A92

Spezies	Probennr.
Feldhase	S 25
Feldhase	S 26
Feldhase	S 27
Feldhase	S 28
Kaninchen	S 29
Kegelrobbe	20 KR1Ph
Kegelrobbe	23 KR4V
Kegelrobbe	24 KR5Mt
Kegelrobbe	71 KR1BuTy
Kegelrobbe	73 KR3Mt
Kegelrobbe	74 KR4Fi
Pferd	Hb 83
Pferd	Hb 84
Pferd	Hb 85
Pferd	Hb 86
Pferd	Hb 87
Pferd	Hb 89
Pferd	Hb 91
Pferd	Hb 92
Pottwal	Hb 50
Reh	Hb 40
Reh	Hb 41
Reh	Hb 42
Reh	Hb 43
Reh	S 8

Fortsetzung von Tabelle A92

Spezies	Probennr.
Reh	S 9
Rind	Hb 53
Rind	Hb 55
Rind	Hb 57
Rind	Hb 58
Rind	Hb 59
Ringelrobbe	Hb 28
Rothirsch	Hb 38
Rothirsch	Hb 39
Rothirsch	S 2
Rothirsch	S 5
Sattelrobbe	26 SR2Fi
Sattelrobbe	KHb 25
Schaf	Hb 73
Schaf	Hb 74
Schaf	Hb 75
Schaf	Hb 77
Schaf	Hb 78
Seehund	Hb 25
Seehund	Hb 26
Seehund	Hb 27
Seehund	KHb 31
Seehund	27 SH1Ph
Seehund	28 SH2R
Seehund	29 SH3V

Fortsetzung von Tabelle A92

Spezies	Probennr.
Walross	KS 76

Tabelle A93: Zum zufällig erzeugten Trainingsdatensatz korrespondierender Testdatensatz der terrestrischen herbivoren und marinen Säuger (Datensatz I).

Spezies	Probennr.
Elch	Hb 46
Feldhase	Hb 3
Feldhase	Hb 5
Kaninchen	S 30
Kegelrobbe	S 17
Kegelrobbe	21 KR2T
Kegelrobbe	22 KR3S
Kegelrobbe	72 KR2Sc
Kegelrobbe	75 KR5Mt
Pferd	Hb 88
Pferd	Hb 90
Reh	S 11
Reh	S 10
Reh	S 12
Rind	Hb 54
Rind	Hb 56
Rind	Hb 60
Rind	Hb 61
Rind	Hb 62
Rothirsch	S 3

Fortsetzung von Tabelle A93

Spezies	Probennr.
Rothirsch	S 4
Rothirsch	Hb 35
Rothirsch	Hb 36
Rothirsch	S 1
Sattelrobbe	Hb 30
Schaf	Hb 79
Schaf	Hb 76
Seehund	Hb 23
Seehund	Hb 24
Seehund	KHb 30

Tabelle A94: Zuordnungswahrscheinlichkeit und Klassenzuweisung der terrestrischen herbivoren und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig mittels SVM mit linearem Kern („vanilladot“) im Testdatensatz. Rot markiert sind falsche Zuordnungen, blau markiert sind Individuen mit richtiger Zuordnung, aber niedriger (< 0.8) Zuordnungswahrscheinlichkeit.

Individuum	herbivor	marin	Klassenzuweisung
Elch Hb 46	0,949	0,051	herbivor
Feldhase Hb 3	0,953	0,047	herbivor
Feldhase Hb 5	0,964	0,036	herbivor
Kaninchen S 30	0,812	0,188	herbivor
Kegelrobbe 21 KR2T	0,204	0,796	marin
Kegelrobbe 22 KR3S	0,192	0,808	marin
Kegelrobbe 72 KR2Sc	0,075	0,925	marin
Kegelrobbe 75 KR5Mt	0,082	0,918	marin
Kegelrobbe S 17	0,065	0,935	marin

Fortsetzung von Tabelle A94

Individuum	herbivor	marin	Klassenzuweisung
Pferd Hb 88	0,960	0,040	herbivor
Pferd Hb 90	0,951	0,049	herbivor
Reh S 10	0,928	0,072	herbivor
Reh S 11	0,786	0,214	herbivor
Reh S 12	0,967	0,033	herbivor
Rind Hb 54	0,952	0,048	herbivor
Rind Hb 56	0,943	0,057	herbivor
Rind Hb 60	0,959	0,041	herbivor
Rind Hb 61	0,933	0,067	herbivor
Rind Hb 62	0,922	0,078	herbivor
Rothirsch Hb 35	0,948	0,052	herbivor
Rothirsch Hb 36	0,961	0,039	herbivor
Rothirsch S 1	0,947	0,053	herbivor
Rothirsch S 3	0,958	0,042	herbivor
Rothirsch S 4	0,946	0,054	herbivor
Sattelrobbe Hb 30	0,226	0,774	marin
Schaf Hb 76	0,966	0,034	herbivor
Schaf Hb 79	0,966	0,034	herbivor
Seehund Hb 23	0,775	0,225	herbivor
Seehund Hb 24	0,038	0,962	marin
Seehund KHb 30	0,171	0,829	marin

Tabelle A95: Zuordnungswahrscheinlichkeit und Klassenzuweisung der terrestrischen herbivoren und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig mittels SVM mit polynomialem (quadratischem) Kern („polydot“) im Testdatensatz. Rot markiert sind falsche Zuordnungen, blau markiert sind Individuen mit richtiger Zuordnung, aber niedriger (< 0.8) Zuordnungswahrscheinlichkeit.

Individuum	herbivor	marin	Klassenzuweisung
Elch Hb 46	0,956	0,044	herbivor
Feldhase Hb 3	0,925	0,075	herbivor
Feldhase Hb 5	0,895	0,105	herbivor
Kaninchen S 30	0,915	0,085	herbivor
Kegelrobbe 21 KR2T	0,307	0,693	marin
Kegelrobbe 22 KR3S	0,344	0,656	marin
Kegelrobbe 72 KR2Sc	0,082	0,918	marin
Kegelrobbe 75 KR5Mt	0,252	0,748	marin
Kegelrobbe S 17	0,337	0,663	marin
Pferd Hb 88	0,955	0,045	herbivor
Pferd Hb 90	0,967	0,033	herbivor
Reh S 10	0,953	0,047	herbivor
Reh S 11	0,908	0,092	herbivor
Reh S 12	0,953	0,047	herbivor
Rind Hb 54	0,947	0,053	herbivor
Rind Hb 56	0,948	0,052	herbivor
Rind Hb 60	0,931	0,069	herbivor
Rind Hb 61	0,933	0,067	herbivor
Rind Hb 62	0,958	0,042	herbivor
Rothirsch Hb 35	0,954	0,046	herbivor
Rothirsch Hb 36	0,968	0,032	herbivor
Rothirsch S 1	0,952	0,048	herbivor
Rothirsch S 3	0,947	0,053	herbivor
Rothirsch S 4	0,945	0,055	herbivor
Sattelrobbe Hb 30	0,652	0,348	marin
Schaf Hb 76	0,907	0,093	herbivor

Fortsetzung von Tabelle A95

Individuum	herbivor	marin	Klassenzuweisung
Schaf Hb 79	0,909	0,091	herbivor
Seehund Hb 23	0,910	0,090	herbivor
Seehund Hb 24	0,409	0,591	marin
Seehund KHb 30	0,444	0,556	marin

Tabelle A96: Zuordnungswahrscheinlichkeit und Klassenzuweisung der terrestrischen herbivoren und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig mittels SVM mit Gauß'scher Radialer Basisfunktion („rbfdot“) im Testdatensatz. Rot markiert sind falsche Zuordnungen, blau markiert sind Individuen mit richtiger Zuordnung, aber niedriger (< 0.8) Zuordnungswahrscheinlichkeit.

Individuum	herbivor	marin	Klassenzuweisung
Elch Hb 46	0,979	0,021	herbivor
Feldhase Hb 3	0,970	0,030	herbivor
Feldhase Hb 5	0,964	0,036	herbivor
Kaninchen S 30	0,967	0,033	herbivor
Kegelrobbe 21 KR2T	0,032	0,968	marin
Kegelrobbe 22 KR3S	0,044	0,956	marin
Kegelrobbe 72 KR2Sc	0,053	0,947	marin
Kegelrobbe 75 KR5Mt	0,020	0,980	marin
Kegelrobbe S 17	0,027	0,973	marin
Pferd Hb 88	0,982	0,018	herbivor
Pferd Hb 90	0,981	0,019	herbivor
Reh S 10	0,985	0,015	herbivor
Reh S 11	0,973	0,027	herbivor
Reh S 12	0,983	0,017	herbivor
Rind Hb 54	0,979	0,021	herbivor

Fortsetzung von Tabelle A96

Individuum	herbivor	marin	Klassenzuweisung
Rind Hb 56	0,982	0,018	herbivor
Rind Hb 60	0,964	0,036	herbivor
Rind Hb 61	0,971	0,029	herbivor
Rind Hb 62	0,989	0,011	herbivor
Rothirsch Hb 35	0,975	0,025	herbivor
Rothirsch Hb 36	0,983	0,017	herbivor
Rothirsch S 1	0,981	0,019	herbivor
Rothirsch S 3	0,976	0,024	herbivor
Rothirsch S 4	0,982	0,018	herbivor
Sattelrobbe Hb 30	0,126	0,874	marin
Schaf Hb 76	0,965	0,035	herbivor
Schaf Hb 79	0,933	0,067	herbivor
Seehund Hb 23	0,975	0,025	herbivor
Seehund Hb 24	0,049	0,951	marin
Seehund KHb 30	0,064	0,936	marin

Tabelle A97: Zuordnung der terrestrischen Spezies aus Haithabu und Schleswig in Habitat (wildlebend vs. domestiziert) und Ernährungsweise (herbivor, carnivor, omnivor, Grasfresser, Laubfresser, Wiederkäuertypen). Die Einteilung in die Kategorien Gras-/Laubfresser bzw. die Wiederkäuer-Typen (GR, CS, IM) erfolgt gemäß der Einteilung von Gordon & Prins (2008), Hofmann (1991), Hofmann (1989) bzw. Shimada (2006).

Spezies	Habitat	Ernährung
Auerochse	wildlebend	herbivor (Grasfresser; GR)
Baummararder	wildlebend	carnivor
Braunbär	wildlebend	omnivor
Damhirsch	wildlebend	herbivor (Grasfresser; IM)

Fortsetzung von Tabelle A97

Spezies	Habitat	Ernährung
Eichhörnchen	wildlebend	herbivor
Elch	wildlebend	herbivor (Laubfresser; CS)
Feldhase	wildlebend	herbivor (Grasfresser)
Hauskatze	domestiziert	carnivor
Hausschwein	domestiziert	omnivor
Hund	domestiziert	carnivor
Kaninchen	wildlebend	herbivor (Grasfresser)
Katze	domestiziert	carnivor
Pferd	domestiziert	herbivor (Grasfresser)
Reh	wildlebend	herbivor (Laubfresser; CS)
Rind	domestiziert	herbivor (Grasfresser; GR)
Rotfuchs	wildlebend	carnivor
Rothirsch	wildlebend	herbivor (Grasfresser; IM)
Schaf	domestiziert	herbivor (Grasfresser; GR)
Wildschwein	wildlebend	omnivor
Wolf	wildlebend	carnivor

Tabelle A98: Modellparameter (Steigung m, Achsenabschnitt t) für den Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (x) und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (y) für die unterschiedlichen Speziesgruppen vor und nach der „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten. Signifikante p-Werte sind fett gedruckt.

Habitat	Speziesgruppe	n	unkorrigiert					
			m	SE	p	t	SE	p
terrestrisch+marin	alle Säuger	102	0,365	0,061	4,04E-08	8,362	1,397	3,36E-08
terrestrisch	alle Säuger	96	0,358	0,061	7,37E-08	8,555	1,397	2,11E-08
	wildlebende Säuger	51	0,242	0,085	0,006	11,155	1,921	4,66E-07
	domestizierte Säuger	45	0,485	0,088	1,84E-06	5,649	2,018	0,008
	alle Herbivore	55	0,348	0,075	2,17E-05	9,000	1,705	2,46E-05
	alle Omnivore	15	0,268	0,161	0,121	10,028	3,628	0,016
	alle Carnivore	26	0,363	0,100	0,001	8,251	2,301	0,001
marin	alle Säuger	6	-0,127	0,531	0,822	18,648	11,577	0,183
Habitat	Speziesgruppe	n	korrigiert					
			m	SE	p	t	SE	p
terrestrisch+marin	alle Säuger	102	0,034	0,103	0,744	15,443	2,085	4,15E-11
terrestrisch	alle Säuger	96	0,557	0,185	0,003	4,975	3,710	0,183
	wildlebende Säuger	51	0,500	0,216	0,025	6,093	4,319	0,165
	domestizierte Säuger	45	0,651	0,333	0,057	3,137	6,673	0,641
	alle Herbivore	55	0,473	0,248	0,062	6,826	4,972	0,176
	alle Omnivore	15	0,034	0,751	0,964	14,993	15,014	0,336
	alle Carnivore	26	0,674	0,237	0,009	2,542	4,750	0,598
marin	alle Säuger	6	-	-	-	-	-	-

Tabelle A99: Kendall's Rangkorrelation (τ ; Teststatistik z/T) zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ für die unterschiedlichen Speziesgruppen vor und nach der „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten. Signifikante p-Werte sind fett gedruckt.

Habitat	Speziesgruppe	n	Kendall's Rangkorrelation τ					
			unkorrigiert			korrigiert		
			z/T	p	τ	z/T	p	τ
terrestrisch+marin	alle Säuger	102	4,6785	2,89E-06	0,315	1,588	0,112	0,107
terrestrisch	alle terrestrischen Säuger	96	4,520	6,18E-08	0,314	2,213	0,027	0,154
	wildlebende Säuger	51	1,560	0,119	0,151	0,788	0,431	0,076
	domestizierte Säuger	45	4,638	3,52E-06	0,480	2,339	0,019	0,242
	wildlebende Herbivore	32	1,655	0,098	0,206	-0,130	0,897	-0,016
	domestizierte Herbivore	23	3,593	3,27E-04	0,539	3	0,003	0,440
	alle Herbivore	55	4,197	2,71E-05	0,390	2,120	0,034	0,197
	wildlebende Omnivore	7	12	0,773	0,143	11	1,000	0,048
	domestizierte Omnivore	8	17	0,548	0,214	14	1,000	0,000
	alle Omnivore	15	70	0,093	0,333	51	0,923	-0,029
	wildlebende Carnivore	12	46	0,086	0,394	39	0,459	0,182
	domestizierte Carnivore	14	63	0,062	0,385	43	0,830	-0,055
	alle Carnivore	26	2,668	0,008	0,373	0,595	0,552	0,083
marin	alle marinen Säuger	6	8	1,000	0,067	-	-	-

Tabelle A100: Pearson's Produkt-Moment-Korrelation (r; Teststatistik t) zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ für die unterschiedlichen Speziesgruppen vor und nach der „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten. Signifikante p-Werte sind fett gedruckt.

Habitat	Speziesgruppe	n	Pearson's Produkt-Moment-Korrelation r					
			unkorrigiert			korrigiert		
			t	p	r	t	p	r
terrestrisch+marin	alle Säuger	102	5,946	4,04E-08	0,511	0,327	0,744	0,033
terrestrisch	alle terrestrischen Säuger	96	5,842	7,37E-08	0,516	3,010	0,003	0,296
	wildlebende Säuger	51	2,864	0,006	0,379	2,318	0,025	0,314
	domestizierte Säuger	45	5,516	1,84E-06	0,644	1,955	0,057	0,286
	wildlebende Herbivore	32	1,760	0,089	0,306	-0,447	0,658	-0,081
	domestizierte Herbivore	23	4,193	4,10E-04	0,675	2,599	0,017	0,493
	alle Herbivore	55	4,660	2,17E-05	0,539	1,905	0,062	0,253
	wildlebende Omnivore	7	1,688	0,152	0,602	0,201	0,849	0,089
	domestizierte Omnivore	8	1,212	0,271	0,444	-0,109	0,917	-0,044
	alle Omnivore	15	1,659	0,121	0,418	0,045	0,965	0,013
	wildlebende Carnivore	12	2,782	0,019	0,661	3,239	0,009	0,716
	domestizierte Carnivore	14	1,663	0,122	0,433	-0,434	0,672	-0,124
	alle Carnivore	26	3,637	0,001	0,596	2,849	0,009	0,503
marin	alle marinen Säuger	6	-0,239	0,823	-0,119	-	-	-

Tabelle A101: Kendall's Rangkorrelation (τ ; Teststatistik z/T) zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ für ausgewählte Spezies vor und nach der „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten. Signifikante p-Werte sind fett gedruckt.

Speziesgruppe	n	Kendall's Rangkorrelation τ					
		unkorrigiert			korrigiert		
		z/T	p	τ	z/T	p	τ
Hase/Kaninchen	11	1,718	0,086	0,404	0,156	0,876	0,037
Rothirsch	8	14	1,000	0,000	9	0,275	-0,357
Reh	8	20	0,179	0,429	11	0,548	-0,214
Rotfuchs	8	23	0,031	0,643	21	0,109	0,500
Wildschwein	6	10	0,359	0,278	9	0,719	0,200
Rind	10	27	0,484	0,200	27	0,484	0,200
Pferd	10	33	0,073	0,467	1,976	0,048	0,494
Hund	10	34	0,047	0,511	21	0,862	-0,067
Schwein	8	17	0,548	0,214	14	1,000	0,000

Tabelle A102: Pearson's Produkt-Moment-Korrelation (r ; Teststatistik t) zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ für ausgewählte Spezies vor und nach der „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten. Signifikante p-Werte sind fett gedruckt.

Speziesgruppe	n	Pearson's Produkt-Moment-Korrelation r					
		unkorrigiert			korrigiert		
		t	p	r	t	p	r
Hase/Kaninchen	11	1,838	0,099	0,522	0,340	0,742	0,113
Rothirsch	8	-0,165	0,874	-0,067	-1,449	0,198	-0,509
Reh	8	1,810	0,120	0,594	-1,107	0,311	-0,412
Rotfuchs	8	3,251	0,017	0,799	3,414	0,014	0,813
Wildschwein	6	1,620	0,181	0,630	0,325	0,761	0,160
Rind	10	1,705	0,127	0,516	1,943	0,088	0,566

Fortsetzung von Tabelle A102

Speziesgruppe	n	Pearson's Produkt-Moment-Korrelation r					
		unkorrigiert			korrigiert		
		t	p	r	t	p	r
Pferd	10	2,037	0,076	0,584	1,462	0,182	0,459
Hund	10	2,034	0,076	0,584	-0,037	0,971	-0,013
Schwein	8	1,212	0,271	0,444	-0,109	0,917	-0,044

Tabelle A103: $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte vor und nach der „sea spray“-Korrektur im Karbonat und Phosphat. Bivariate Ausreißer im unkorrigierten Fall sind grau hinterlegt.

Spezies	Probennr.	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [VSMOW]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [VSMOW]	$\Delta\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert) [VSMOW]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert) [VSMOW]	$\Delta\delta^{18}\text{O}$ (korrigiert)
Aurochse	Hb 47	23,08	17,25	5,83	19,88	16,52	3,36
Aurochse	Hb 48	21,68	17,78	3,90	19,99	16,87	3,11
Baummarker	Hb 21	22,43	17,51	4,92	19,85	16,69	3,16
Baummarker	Hb 22	22,50	16,63	5,86	19,85	16,10	3,75
Biber	Hb 9	23,42	15,65	7,77	19,95	15,40	4,55
Braunbär	Hb 17	22,58	16,12	6,46	19,85	15,74	4,11
Damhirsch	S 6	21,26	17,28	3,98	20,14	16,54	3,60
Eichhörnchen	Hb 7	22,63	16,54	6,10	19,85	16,03	3,82
Elch	Hb 46	23,68	17,64	6,04	20,03	16,78	3,25
Feldhase	Hb 1	21,79	15,84	5,94	19,96	15,54	4,42
Feldhase	Hb 2	22,44	17,04	5,40	19,85	16,38	3,48
Feldhase	Hb 3	23,85	17,26	6,58	20,09	16,53	3,56
Feldhase	Hb 5	22,29	16,47	5,82	19,86	15,98	3,88
Feldhase	S 24	23,25	17,29	5,96	19,91	16,55	3,37
Feldhase	S 25	20,56	16,67	3,89	20,53	16,12	4,40
Feldhase	S 26	21,35	14,68	6,67	20,10	14,68	5,42
Feldhase	S 27	22,85	15,63	7,22	19,86	15,38	4,47
Feldhase	S 28	24,45	17,03	7,41	20,39	16,37	4,02
Fischotter	Hb 19	21,16	15,60	5,55	20,19	15,37	4,82
Fischotter	Hb 20	20,69	14,92	5,77	20,44	14,86	5,58
Hauskatze	Hb 103	22,77	16,87	5,90	19,85	16,26	3,59
Hauskatze	Hb 104	19,94	16,97	2,97	18,89	16,33	2,56
Hauskatze	Hb 105	23,96	16,94	7,02	20,14	16,31	3,83
Hauskatze	Hb 106	23,90	16,18	7,72	20,11	15,78	4,33
Hauskatze	Hb 107	22,05	17,37	4,69	19,90	16,60	3,30
Hausschwein	Hb 63	22,97	16,37	6,60	19,87	15,91	3,95

Fortsetzung von Tabelle A103

Spezies	Probennr.	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [VSMOW]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [VSMOW]	$\Delta\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert) [VSMOW]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert) [VSMOW]	$\Delta\delta^{18}\text{O}$ (korrigiert)
Hausschwein	Hb 65	23,28	16,01	7,27	19,92	15,66	4,26
Hausschwein	Hb 66	21,31	13,83	7,48	20,12	13,64	6,48
Hausschwein	Hb 67	22,10	15,34	6,75	19,89	15,18	4,71
Hausschwein	Hb 68	22,92	16,42	6,50	19,86	15,95	3,91
Hausschwein	Hb 69	23,60	17,76	5,84	20,00	16,86	3,14
Hausschwein	Hb 70	20,42	16,57	3,85	20,21	16,05	4,15
Hausschwein	Hb 71	20,84	15,44	5,40	20,35	15,24	5,11
Hausschwein	Hb 72	21,95	15,18	6,77	19,92	15,06	4,86
Hund	Hb 93	24,08	17,52	6,55	20,19	16,70	3,49
Hund	Hb 94	23,42	16,39	7,03	19,95	15,93	4,03
Hund	Hb 95	20,70	15,78	4,93	20,43	15,49	4,94
Hund	Hb 96	21,58	15,99	5,59	20,02	15,64	4,38
Hund	Hb 97	22,79	16,03	6,75	19,85	15,68	4,18
Hund	Hb 98	21,54	15,23	6,31	20,03	15,09	4,94
Hund	Hb 99	21,70	16,91	4,79	19,98	16,29	3,69
Hund	Hb 100	23,46	16,16	7,30	19,96	15,77	4,20
Hund	Hb 101	21,92	16,34	5,58	19,92	15,89	4,03
Hund	Hb 102	22,92	16,31	6,61	19,86	15,87	3,99
Kaninchen	S 29	23,75	16,64	7,11	20,05	16,10	3,95
Kaninchen	S 30	22,44	16,52	5,91	19,85	16,02	3,83
Kegelrobbe	S 17	21,78	16,87	4,90	21,78	16,87	4,90
Pferd	Hb 83	22,80	16,85	5,95	19,85	16,25	3,61
Pferd	Hb 84	22,57	16,03	6,54	19,85	15,67	4,18
Pferd	Hb 85	22,15	17,05	5,10	19,88	16,38	3,50
Pferd	Hb 86	23,82	17,41	6,41	20,08	16,63	3,45
Pferd	Hb 87	21,42	16,49	4,92	20,08	16,00	4,08
Pferd	Hb 88	22,63	16,71	5,92	19,85	16,15	3,70
Pferd	Hb 89	23,51	17,20	6,31	19,98	16,49	3,49
Pferd	Hb 90	23,77	17,44	6,33	20,06	16,65	3,41
Pferd	Hb 91	23,46	18,53	4,92	19,96	17,36	2,60
Pferd	Hb 92	22,65	15,77	6,88	19,85	15,49	4,36
Pottwal	Hb 50	24,98	19,59	5,40	24,98	19,59	5,40
Reh	Hb 40	20,54	16,57	3,97	20,54	16,05	4,49
Reh	Hb 41	21,71	16,79	4,92	19,98	16,21	3,77
Reh	Hb 42	22,34	16,41	5,93	19,86	15,94	3,92
Reh	Hb 43	23,17	16,91	6,25	19,90	16,29	3,61
Reh	S 8	21,14	16,47	4,67	20,20	15,98	4,21
Reh	S 9	20,98	16,40	4,58	20,27	15,94	4,34
Reh	S 11	22,69	16,69	6,00	19,85	16,14	3,71
Reh	S 12	22,15	16,65	5,50	19,88	16,11	3,77

Fortsetzung von Tabelle A103

Spezies	Probennr.	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [VSMOW]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [VSMOW]	$\Delta\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert) [VSMOW]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert) [VSMOW]	$\Delta\delta^{18}\text{O}$ (korrigiert)
Rind	Hb 53	23,55	16,71	6,84	19,99	16,15	3,84
Rind	Hb 54	23,86	16,88	6,98	20,10	16,27	3,83
Rind	Hb 55	23,62	17,18	6,44	20,01	16,47	3,54
Rind	Hb 56	23,54	17,07	6,47	19,98	16,40	3,59
Rind	Hb 57	24,28	18,14	6,14	20,29	17,10	3,19
Rind	Hb 58	23,42	17,66	5,76	19,95	16,79	3,16
Rind	Hb 59	23,82	17,51	6,31	20,08	16,69	3,39
Rind	Hb 60	23,66	17,62	6,04	20,02	16,77	3,26
Rind	Hb 61	23,24	17,13	6,11	19,91	16,44	3,47
Rind	Hb 62	23,31	17,18	6,13	19,93	16,47	3,45
Ringelrobbe	Hb 28	21,76	15,30	6,45	21,76	15,30	6,45
Rotfuchs	Hb 12	24,29	16,21	8,09	20,30	15,80	4,50
Rotfuchs	Hb 13	22,10	16,10	5,99	19,89	15,73	4,16
Rotfuchs	Hb 14	23,05	16,51	6,55	19,88	16,01	3,87
Rotfuchs	Hb 15	22,79	16,38	6,40	19,85	15,92	3,93
Rotfuchs	S 18	24,52	17,96	6,56	20,43	16,99	3,44
Rotfuchs	S 19	24,18	17,28	6,90	20,24	16,54	3,70
Rotfuchs	S 21	25,96	18,40	7,56	21,65	17,27	4,38
Rotfuchs	S 22	24,08	16,41	7,67	20,19	15,94	4,25
Rothirsch	Hb 35	22,26	17,60	4,66	19,87	16,75	3,12
Rothirsch	Hb 36	23,31	16,71	6,61	19,93	16,15	3,78
Rothirsch	Hb 38	23,00	16,38	6,62	19,87	15,92	3,95
Rothirsch	Hb 39	22,31	16,54	5,77	19,86	16,04	3,83
Rothirsch	S 1	22,80	17,41	5,39	19,85	16,63	3,23
Rothirsch	S 2	22,49	17,03	5,46	19,85	16,37	3,48
Rothirsch	S 3	21,77	16,53	5,24	19,96	16,03	3,94
Rothirsch	S 5	22,52	17,32	5,20	19,85	16,56	3,28
Sattelrobbe	Hb 30	23,14	15,04	8,10	23,14	15,04	8,10
Schaf	Hb 73	23,69	19,73	3,96	20,03	18,09	1,94
Schaf	Hb 74	21,75	16,68	5,07	19,97	16,13	3,84
Schaf	Hb 76	24,94	19,72	5,22	20,72	18,08	2,64
Schaf	Hb 77	25,43	19,64	5,79	21,12	18,03	3,08
Schaf	Hb 78	24,62	18,32	6,30	20,50	17,22	3,27
Schaf	Hb 79	25,61	17,92	7,69	21,29	16,96	4,33
Seehund	Hb 23	21,91	17,21	4,70	21,91	17,21	4,70
Seehund	Hb 26	20,42	15,58	4,83	20,42	15,58	4,83
Seehund	Hb 27	21,66	15,25	6,41	21,66	15,25	6,41
Wildschwein	Hb 31	24,27	16,44	7,83	20,29	15,96	4,32
Wildschwein	Hb 32	22,12	16,30	5,82	19,89	15,86	4,02
Wildschwein	Hb 33	23,09	15,78	7,31	19,88	15,49	4,39

Fortsetzung von Tabelle A103

Spezies	Probennr.	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ [VSMOW]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ [VSMOW]	$\Delta\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (korrigiert) [VSMOW]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (korrigiert) [VSMOW]	$\Delta\delta^{18}\text{O}$ (korrigiert)
Wildschwein	S 13	21,29	15,27	6,03	20,13	15,12	5,01
Wildschwein	S 14	22,68	16,01	6,67	19,85	15,66	4,19
Wildschwein	S 16	22,96	15,60	7,36	19,87	15,36	4,50
Wolf	Hb 10	23,34	16,32	7,03	19,93	15,88	4,06
Wolf	Hb 11	22,01	16,08	5,93	19,91	15,71	4,20

Tabelle A104: Ergebnisse des Wilcoxon Vorzeichen-Rang-Test auf statistische Unterschiede zwischen den $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte vor und nach der „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten. Signifikante p-Werte sind fett gedruckt.

Speziesgruppe	n	$\mu \Delta\delta^{18}\text{O}$		Wilcoxon Vorzeichen-Rang-Test (unkorrigiert vs. korrigiert)	
		unkorrigiert	korrigiert	V	p
alle terrestrischen Säuger	96	6,09	3,89	4636	< 2,2E-16
wildlebende Säuger	51	6,03	3,93	1317	9,04E-10
domestizierte Säuger	45	6,16	3,86	1031	3,98E-13
wildlebende Herbivore	32	5,64	3,82	519	1,95E-06
domestizierte Herbivore	23	6,15	3,59	276	2,38E-07
alle Herbivore	55	5,86	3,73	1531	1,87E-10
wildlebende Omnivore	7	6,78	4,36	28	1,56E-02
domestizierte Omnivore	8	6,12	4,26	34	2,34E-02
alle Omnivore	15	6,43	4,31	118	1,83E-04
wildlebende Carnivore	12	6,62	3,95	78	4,88E-04
domestizierte Carnivore	12	6,20	4,06	104	2,44E-04
alle Carnivore	26	6,39	4,01	350	5,96E-08
Grasfresser	45	5,96	3,68	1079	4,16E-09
Laubfresser	9	5,23	3,98	33	3,91E-02
GR-Typ	15	6,13	3,51	120	6,10E-05
CS-Typ	9	5,32	3,90	42	1,95E-02
IM-Typ	9	5,44	3,58	45	3,91E-03

Tabelle A105: Clusterzuweisung für die k-means-Clusteranalyse der Fische aus Haithabu und Schleswig ($k = 3$) mit farbiger Kodierung der Clusterzuweisungen für die GMM-Clusteranalyse ($G = 3$). Cluster 1: blau, Cluster 2: rot, Cluster 3: grün.

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Brachse 35B2Op	Dorsch 1D1V	Dorsch 3D3V
Brachse 36B3Pop	Dorsch 42D4V	Dorsch 4D4V
Brachse 37B4Pop	Flussbarsch 46FB3Op	Dorsch 5D5V
Brachse 38B5C	Flussbarsch 47FB4Pop	Dorsch KS40
Flussbarsch 8FB3C	Flussbarsch 48FB5Pop	Flussbarsch 44FB1C
Hecht 11H2C	Schellfisch 60SF2C	Flussbarsch 45FB2C
Hecht 12H3C	Schellfisch 61SF3C	Flussbarsch 6FB1C
Hecht 13H4C	Schellfisch 63SF5C	Flussbarsch 7FB2C
Hecht 49H1C	Scholle 65SOC	Flussbarsch 9FB4C
Hecht 51H3C	Stör 66ST1Rü	Hecht 10H1C
Hecht 52H4C		Hecht 14H5C
Hecht 53H5De		Hornhecht 54HH1De
Schleie 64SLOp		Hornhecht 58HH5De
Zander 15Z1C		Schellfisch 59SF1C
Zander 16Z2C		Stör 67ST2Rü
Zander 17Z3C		Stör 67ST5Rü
Zander 18Z4C		Stör 68ST3Rü
Zander 19Z5C		Stör 69ST4Rü

Tabelle A106: Clusterzuweisung für die k-means-Clusteranalyse der Fische aus Haithabu und Schleswig ($k = 3$) mit farbiger Kodierung der Clusterzuweisungen für die GMM-Clusteranalyse ($G = 4$). Cluster 1: blau, Cluster 2: rot, Cluster 3: grün, Cluster 4: violett.

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Brachse 35B2Op	Dorsch 1D1V	Dorsch 3D3V
Brachse 36B3Pop	Dorsch 42D4V	Dorsch 4D4V
Brachse 37B4Pop	Flussbarsch 46FB3Op	Dorsch 5D5V
Brachse 38B5C	Flussbarsch 47FB4Pop	Dorsch KS40
Flussbarsch 8FB3C	Flussbarsch 48FB5Pop	Flussbarsch 44FB1C
Hecht 11H2C	Schellfisch 60SF2C	Flussbarsch 45FB2C
Hecht 12H3C	Schellfisch 61SF3C	Flussbarsch 6FB1C
Hecht 13H4C	Schellfisch 63SF5C	Flussbarsch 7FB2C
Hecht 49H1C	Scholle 65SOC	Flussbarsch 9FB4C
Hecht 51H3C	Stör 66ST1Rü	Hecht 10H1C
Hecht 52H4C		Hecht 14H5C
Hecht 53H5De		Hornhecht 54HH1De
Schleie 64SLOp		Hornhecht 58HH5De
Zander 15Z1C		Schellfisch 59SF1C
Zander 16Z2C		Stör 67ST2Rü
Zander 17Z3C		Stör 67ST5Rü
Zander 18Z4C		Stör 68ST3Rü
Zander 19Z5C		Stör 69ST4Rü

Tabelle A107: Mit Hilfe der Simulation von Smith et al. (2013) berechnete Wahrscheinlichkeit, mit der die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle von Modell I (Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger) bzw. Modell II (Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger, Pflanzen (berechnet aus domestizierten Herbivoren)) innerhalb der für die beiden Modelle simulierten Mischungspolygone liegen. Grau hinterlegt sind diejenigen Individuen, die außerhalb der von „SISUS“ erzeugten Mischungspolygone liegen (Abbildungen 27(a) und 27(b)) und für die „SISUS“ demnach kein Mischungsmodell berechnen konnte.

Probennr.	Wahrscheinlichkeit, dass das Individuum im Polygon liegt	Wahrscheinlichkeit, dass das Individuum im Polygon liegt
	(Modell I)	(Modell II)
H 4	0,785	0,806
H 17	0,806	0,933
H 64	0,765	0,949
H 66a	0,829	0,865
H 67 a	0,819	0,866
H 72	0,761	0,763
H 76	0,785	0,806
H 105	0,762	0,765
H 106a	0,672	0,693
H 107	0,509	0,527
H 154	0,642	0,659
H 269	0,495	0,512
H 270	0,503	0,523
H 271	0,795	0,815
H 274	0,737	0,959
H 275	0,794	0,937
H 276	0,404	0,409
H K XII	0,735	0,749
H 1902 Grube 56 I-IV	0,799	0,815
H 1904 III/1	0,843	0,907

Fortsetzung von Tabelle A107

Probennr.	Wahrscheinlichkeit, dass das Individuum im Polygon liegt	Wahrscheinlichkeit, dass das Individuum im Polygon liegt
	(Modell I)	(Modell II)
H 1912 XIII/3	0,655	0,679
H 1912 XIV.3	0,762	0,765
H 1936 DIV	0,826	0,878
H 1968 Sk 4	0,761	0,949
H 1968 Sk 5	0,527	0,743
H 1968 Sk 6	0,740	0,869
H 12301 K I/1	0,521	0,543
H 12370 K IX/6	0,601	0,627
H 12640 XIII/2	0,792	0,818
H 12640 K XIII/3	0,775	0,782
H Kammergrab III	0,827	0,877
H unter Gr 10	0,829	0,926
RM 2	0,099	0,112
RM 5	0,761	0,934
RM 8	0,829	0,877
RM 9	0,719	0,953
RM 11	0,563	0,593
RM 12	0,829	0,926
RM 14	0,705	0,723
RM 17	0,831	0,918
RM 21	0,072	0,078
RM 23	0,825	0,865
RM 28	0,695	0,706
RM 29	0,808	0,887
RM 31	0,815	0,933
RM 32	0,104	0,117
RM 41	0,681	0,702

Fortsetzung von Tabelle A107

Probennr.	Wahrscheinlichkeit, dass das Individuum im Polygon liegt	Wahrscheinlichkeit, dass das Individuum im Polygon liegt
	(Modell I)	(Modell II)
RM 42	0,778	0,838
RM 52 a	0,795	0,817
RM 54	0,685	0,701
RM 57	0,587	0,612
RM 58	0,634	0,675
RM 60	0,632	0,648
RM 68	0,847	0,889
RM 76	0,809	0,849
RM 78	0,835	0,865
RM 79	0,813	0,867
RM 80	0,499	0,517
RM 81	0,574	0,599
RM 82	0,799	0,936
RM 86	0,573	0,594
RM 88	0,574	0,599
RM 90	0,194	0,207
RM 91	0,849	0,900
RM 92	0,705	0,719
RM 93	0,829	0,926
RM 94	0,741	0,948
RM 95	0,734	0,757
RM 98	0,808	0,835
RM 100	0,813	0,834
RM 101	0,703	0,715
RM 102	0,767	0,957

Fortsetzung von Tabelle A107

Probennr.	Wahrscheinlichkeit, dass das Individuum im Polygon liegt	Wahrscheinlichkeit, dass das Individuum im Polygon liegt
	(Modell I)	(Modell II)
RM 103	0,413	0,423
RM 104	0,075	0,084
RM 105	0,833	0,857
RM 107	0,825	0,844
RM 108	0,045	0,051
RM 109	0,788	0,937
RM 110	0,646	0,658
RM 113	0,599	0,620
RM 115	0,753	0,783
RM 116	0,846	0,915
RM 117	0,527	0,549
RM 118	0,822	0,876
RM 120	0,823	0,852
RM 125	0,311	0,307
RM 131 a	0,816	0,867
RM 134	0,757	0,778
RM 135	0,729	0,751
RM 136	0,813	0,834
RM 137	0,769	0,781
RM 138	0,453	0,465
RM 139	0,751	0,773
RM 140	0,723	0,742
RM 141	0,838	0,904
RM 142a	0,821	0,889
RM 142b	0,723	0,742

Fortsetzung von Tabelle A107

Probennr.	Wahrscheinlichkeit, dass das Individuum im Polygon liegt	Wahrscheinlichkeit, dass das Individuum im Polygon liegt
	(Modell I)	(Modell II)
RM 143	0,545	0,574
RM 144	0,844	0,921
RM 145	0,807	0,940
RM 146	0,656	0,671
RM 147	0,813	0,935
RM 150	0,649	0,690
RM 154	0,835	0,919
RM 155	0,837	0,930
RM 156	0,783	0,796
RM 158	0,759	0,957
RM 159	0,844	0,921
RM 160	0,823	0,852
RM 165	0,283	0,297
RM 167	0,695	0,705
RM 169	0,771	0,790
RM 170	0,849	0,904
RM 171	0,767	0,781
RM 172	0,779	0,796
RM 173	0,775	0,782
RM 175	0,729	0,751
RM 178	0,783	0,795
RM 179	0,797	0,816
RM 180	0,677	0,693
RM 183	0,551	0,583
RM 185	0,694	0,717

Fortsetzung von Tabelle A107

Probennr.	Wahrscheinlichkeit, dass das Individuum im Polygon liegt	Wahrscheinlichkeit, dass das Individuum im Polygon liegt
	(Modell I)	(Modell II)
RM 186	0,585	0,609
RM 188	0,537	0,567
RM 191	0,797	0,816
RM 193	0,831	0,851
RM 197	0,659	0,676
RM 202	0,771	0,790
RM 203	0,705	0,723
RM 207	0,779	0,797
RM 208	0,813	0,833
RM 210	0,838	0,912
RM 212	0,847	0,887
RM 213	0,761	0,780
RM 214	0,512	0,954
RM 215	0,503	0,523
RM 219	0,653	0,667
RM 221	0,781	0,797
RM 226	0,792	0,818
RM 230	0,592	0,612
RM 232	0,829	0,926
RM 233	0,661	0,688
RM 234	0,778	0,793
SC 5	0,809	0,863
SC 19 b	0,813	0,829
SC 21	0,737	0,911
SC 53	0,383	0,392

Fortsetzung von Tabelle A107

Probenr.	Wahrscheinlichkeit, dass das Individuum im Polygon liegt	Wahrscheinlichkeit, dass das Individuum im Polygon liegt
	(Modell I)	(Modell II)
SC 57	0,186	0,201
SC 58	0,799	0,936
SC 59	0,694	0,717
SC 66	0,808	0,887
SC 67	0,642	0,659
SC 69	0,816	0,827
SC 73	0,835	0,913
SC 75	0,751	0,763
SC 92	0,646	0,685
SC 94	0,779	0,797
SC 96	0,734	0,757
SC 97	0,764	0,784
SC 101	0,773	0,917
SC 103	0,825	0,844
SC 104	0,771	0,779
SC 105	0,842	0,909
SC 111	0,813	0,829
SC 119	0,844	0,908
SC 120	0,822	0,853
SC 132	0,129	0,139
SC 141	0,831	0,888
SC 145	0,839	0,919
SC 146	0,826	0,878
SC 147	0,621	0,642
SC 162	0,846	0,885

Fortsetzung von Tabelle A107

Probennr.	Wahrscheinlichkeit, dass das Individuum im Polygon liegt	Wahrscheinlichkeit, dass das Individuum im Polygon liegt
	(Modell I)	(Modell II)
SC 164	0,716	0,735
SC 175	0,839	0,919
SC 177	0,817	0,942
SC 179	0,826	0,878
SC 193	0,818	0,927
SC 198 a	0,847	0,915
SC 206	0,805	0,849
SC 213	0,823	0,852
SC 214	0,631	0,651
SC 222	0,741	0,750
SC 225	0,825	0,844
SC 226	0,613	0,632
SC 228	0,829	0,877
SC 229	0,000	0,000
SC 232	0,763	0,957
SC 237	0,823	0,852
SC 270	0,778	0,795
SC 273	0,787	0,953

Tabelle A108: Übersicht über den Fisch-Datensatz aus Orton et al. (2011). Untersucht wird die Wahrscheinlichkeit (P) dafür, dass ein Individuum lokal, importiert oder transbaltisch ist.

Fundort	Probennr.	Zeitstellung	geschätzte Länge [mm]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	vorhergesagte Herkunft	P	Status	Anmerkungen
Groß Strömkendorf	197	8. Jhd.	500–800	-12,63	12,97	Kattegat/westliche Ostsee	0,89	lokal	-
Groß Strömkendorf	323	8. Jhd.	500–800	-14,22	13,46	nördliches Norwegen	0,73	importiert	-
Groß Strömkendorf	324	8. Jhd.	500–800	-15,52	12,82	östliche Ostsee	0,60	transbaltisch	-
Groß Strömkendorf	325	8. Jhd.	500–800	-9,96	11,1	Kattegat/westliche Ostsee	1	lokal	-
Selsø-Vestby	224	8. - 9. Jhd.	500–800	-12,57	12,06	Kattegat/westliche Ostsee	0,99	lokal	-
Haithabu Harbour	315	9. - 11. Jhd.	800–1000	-14,98	13,97	nördliches Norwegen	0,94	importiert	-
Haithabu Harbour	316	9. - 11. Jhd.	800–1000	-14,72	15,07	nördliches Norwegen	0,56	importiert	-
Haithabu Harbour	317	9. - 11. Jhd.	800–1000	-14,23	14,36	nördliches Norwegen	0,87	importiert	-
Haithabu Harbour	318	9. - 11. Jhd.	800–1000	-14,49	14,87	nördliches Norwegen	0,67	importiert	-
Haithabu Harbour	319	9. - 11. Jhd.	800–1000	-11,86	15,86	südliche Nordsee	0,96	importiert	-
Haithabu Harbour	320	9. - 11. Jhd.	800–1000	-14,81	14,59	nördliches Norwegen	0,84	importiert	-
Haithabu Settlement area	826	9. - 11. Jhd.	800–1000	-14,70	13,20	nördliches Norwegen	0,63	importiert	-
Haithabu Settlement area	828	9. - 11. Jhd.	800–1000	-13,90	14,30	nördliches Norwegen	0,86	importiert	-
Stargard Szczecinski 11a	1159	sp. 13. - fr. 15. Jhd.	800–1000	-13,10	15,00	südliche Nordsee	0,57	importiert	-
Stargard Szczecinski 11a	1160	sp. 13. - fr. 15. Jhd.	800–1000	-14,60	13,60	nördliches Norwegen	0,85	importiert	-
Stargard Szczecinski 11a	1161	sp. 13. - fr. 15. Jhd.	500–800	-16,90	12,20	östliche Ostsee	1	transbaltisch	-
Stargard Szczecinski 11a	1162	sp. 13. - fr. 15. Jhd.	800–1000	-15,80	14,20	nördliches Norwegen	0,95	importiert	-
Lübeck, Fleischhauerstraße 64-72	815	14. Jhd.	500–800	-14,80	11,30	östliche Ostsee	0,76	transbaltisch	-
Lübeck, Dr. Julius-Leber-Straße	816	14. Jhd.	800–1000	-12,30	14,80	südliche Nordsee	0,52	importiert	-
Lübeck, Dr. Julius-Leber-Straße	818	14. Jhd.	800–1000	-14,60	14,80	nördliches Norwegen	0,72	importiert	-
Lübeck, Dr. Julius-Leber-Straße	819	14. Jhd.	800–1000	-14,00	14,90	nördliches Norwegen	0,60	importiert	-
Tallinn, 4 Rahukohtu St	491	1225 - 1250	800–1000	-14,41	14,31	nördliches Norwegen	0,89	importiert	-
Tallinn, 4 Rahukohtu St	492	1225 - 1250	500–800	-14,61	15,12	nördliches Norwegen	0,51	importiert	-
Uppsala	327	sp. 13. Jhd.	800–1000	-15,44	13,23	nördliches Norwegen	0,65	importiert	-
Uppsala	332	sp. 13. Jhd.	800–1000	-14,19	15,25	südliche Nordsee	0,62	importiert	-
Uppsala	334	sp. 13. Jhd.	800–1000	-14,03	15,43	südliche Nordsee	0,75	importiert	-
Uppsala	335	sp. 13. Jhd.	800–1000	-14,74	13,50	nördliches Norwegen	0,83	importiert	-
Uppsala	336	sp. 13. Jhd.	800–1000	-14,71	13,86	nördliches Norwegen	0,92	importiert	-
Uppsala	337	sp. 13. Jhd.	800–1000	-14,65	14,27	nördliches Norwegen	0,91	importiert	-

Fortsetzung von Tabelle A108

Fundort	Probennr.	Zeitstellung	geschätzte Länge [mm]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	vorhergesagte Herkunft	P	Status	Anmerkungen
Uppsala	338	sp. 13. Jhd.	800–1000	-13,16	14,06	nördliches Norwegen	0,82	importiert	-
Tallinn, 10 Sauna St	480	sp. 13. - fr. 14. Jhd.	800–1000	-14,35	16,08	südliche Nordsee	0,94	importiert	-
Tallinn, 10 Sauna St	482	sp. 13. - fr. 14. Jhd.	800–1000	-14,33	14,41	nördliches Norwegen	0,86	importiert	-
Tallinn, 10 Sauna St	483	sp. 13. - fr. 14. Jhd.	800–1000	-11,51	15,87	südliche Nordsee	0,97	importiert	-
Tallinn, 10 Sauna St	485	sp. 13. - fr. 14. Jhd.	800–1000	-13,62	13,15	Kattegat/western	0,63	transbaltisch	-
Tallinn, 10 Sauna St	486	sp. 13. - fr. 14. Jhd.	500–800	-13,52	14,62	nördliches Norwegen	0,72	importiert	-
Tartu, Vanemuise St.	493	sp. 13. - fr. 14. Jhd.	800–1000	-14,18	15,73	südliche Nordsee	0,87	importiert	-
Tartu, Vanemuise St.	494	sp. 13. - fr. 14. Jhd.	500–800	-14,57	14,27	nördliches Norwegen	0,91	importiert	-
Tartu, Vanemuise St.	495	sp. 13. - fr. 14. Jhd.	500–800	-14,86	14,31	nördliches Norwegen	0,91	importiert	-
Gdańsk, Olejarna Street 2	469	1350 - 1400	800–1000	-14,73	14,75	nördliches Norwegen	0,76	importiert	-
Kołobrzeg, Gierczak Street	476	1350 - 1400	800–1000	-15,55	11,39	östliche Ostsee	0,97	lokal	-
Tallinn, 10 Viru St	487	1350 - 1400	800–1000	-11,68	15,11	südliche Nordsee	0,77	importiert	-
Tallinn, 10 Viru St	488	1350 - 1400	500–800	-13,00	14,39	nördliches Norwegen	0,77	importiert	-
Gdańsk, Granary Island	1137	1350 - 1400	800–1000	-16,20	9,40	östliche Ostsee	1	lokal	-
Gdańsk, Granary Island	1138	1350 - 1400	500–800	-17,7 0	11,30	östliche Ostsee	1	lokal	-
Gdańsk, Granary Island	1154	1350 - 1400	800–1000	-17,90	10,30	östliche Ostsee	1	lokal	-
Mała Nieszawka	215	14. - 15. Jhd.	500–800	-18,03	11,06	östliche Ostsee	1	lokal	-
Mała Nieszawka	216	14. - 15. Jhd.	500–800	-16,53	10,87	östliche Ostsee	1	lokal	-
Mała Nieszawka	217	14. - 15. Jhd.	500–800	-15,69	11,86	östliche Ostsee	0,97	lokal	-
Gdańsk, Granary Island	1150	14. - 15. Jhd.	800–1000	-17,00	10,80	östliche Ostsee	1	lokal	-
Uppsala	466	15. Jhd.	800–1000	-16,09	12,19	östliche Ostsee	0,98	lokal	-
Gdańsk, Granary Island	1146	15. Jhd.	500–800	-16,00	10,40	östliche Ostsee	1	lokal	-
Gdańsk, Granary Island	1147	1450 - 1500	800–1000	-14,90	13,40	nördliches Norwegen	0,77	importiert	-
Gdańsk, Granary Island	477	15. - 16. Jhd.	800–1000	-18,66	11,14	östliche Ostsee	1	lokal	-
Gdańsk, Granary Island	1140	15. - 16. Jhd.	800–1000	-16,4	11,00	östliche Ostsee	1	lokal	-
Tallinn, 10 Viru St	489	1225 - 1250	>1000	-13,26	16,08	-	-	importiert	-
Uppsala	326	sp. 13. Jhd.	>1000	-14,54	15,25	-	-	importiert	-

Fortsetzung von Tabelle A108

Fundort	Probennr.	Zeitstellung	geschätzte Länge [mm]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	vorhergesagte Herkunft	P	Status	Anmerkungen
Uppsala	328	sp. 13. Jhd.	>1000	-14,39	14,91	-	-	importiert	-
Uppsala	329	sp. 13. Jhd.	>1000	-13,93	15,32	-	-	importiert	-
Uppsala	330	sp. 13. Jhd.	>1000	-15,40	13,57	-	-	??	importiert?
Uppsala	331	sp. 13. Jhd.	>1000	-14,82	15,08	-	-	importiert	-
Uppsala	333	sp. 13. Jhd.	>1000	-14,64	14,43	-	-	importiert	-
Uppsala	443	sp. 13. Jhd.	>1000	-13,34	15,40	-	-	importiert	-
Uppsala	444	sp. 13. Jhd.	>1000	-14,29	15,29	-	-	importiert	-
Elbląg	472	sp. 13. Jhd.	>1000	-15,00	13,54	-	-	importiert	-
Kołobrzeg, Armii Krajowej St. 19	473	12. - 14. Jhd.	>1000	-14,33	14,91	-	-	importiert	-
Kołobrzeg, Armii Krajowej St. 19	474	13. - 14. Jhd.	>1000	-15,08	14,95	-	-	importiert	-
Gdańsk, Olejarna Street 2	470	1255 - 1295	>1000	-14,3	15,19	-	-	importiert	-
Gdańsk, Olejarna Street 2	471	1255 - 1295	>1000	-15,42	13,33	-	-	??	importiert?
Tallinn, 10 Sauna St	479	sp. 13. - fr. 14. Jhd.	>1000	-14,27	15,92	-	-	importiert	-
Tallinn, 10 Sauna St	481	sp. 13. - fr. 14. Jhd.	>1000	-12,65	14,77	-	-	importiert	-
Tallinn, 10 Sauna St	484	sp. 13. - fr. 14. Jhd.	>1000	-14,15	15,72	-	-	importiert	-
Kołobrzeg, Gierczak Street	475	sp. 14. Jhd.	>1000	-13,39	15,18	-	-	importiert	-
Gdańsk, Granary Island	1149	14. - 15. Jhd.	>1000	-16,9	8	-	-	??	lokal?
Gdańsk, Granary Island	1155	15. - 16. Jhd.	>1000	-14,2	13,7	-	-	importiert	-

Tabelle A109: Clusterzuordnung bei der GMM-Clusteranalyse der Daten aus Orton et al. (2011) mit drei bzw. fünf Clustern.

Fundort	Probenr.	vorhergesagte Herkunft	P	Status	Anmerkungen	GMM-Clusterzuordnung	
						(G = 3)	(G = 5)
Groß Strömkendorf	197	Kattegat/westliche Ostsee	0,89	lokal	-	1	4
Groß Strömkendorf	323	nördliches Norwegen	0,73	importiert	-	2	2
Groß Strömkendorf	324	östliche Ostsee	0,60	transbaltisch	-	3	2
Groß Strömkendorf	325	Kattegat/westliche Ostsee	1	lokal	-	1	1
Selsø- Vestby	224	Kattegat/westliche Ostsee	0,99	lokal	-	1	1
Haithabu Harbour	315	nördliches Norwegen	0,94	importiert	-	2	2
Haithabu Harbour	316	nördliches Norwegen	0,56	importiert	-	2	3
Haithabu Harbour	317	nördliches Norwegen	0,87	importiert	-	2	3
Haithabu Harbour	318	nördliches Norwegen	0,67	importiert	-	2	3
Haithabu Harbour	319	südliche Nordsee	0,96	importiert	-	1	4
Haithabu Harbour	320	nördliches Norwegen	0,84	importiert	-	2	3
Haithabu Settlement area	826	nördliches Norwegen	0,63	importiert	-	2	2
Haithabu Settlement area	828	nördliches Norwegen	0,86	importiert	-	2	3
Stargard Szczecinski 11a	1159	südliche Nordsee	0,57	importiert	-	1	4
Stargard Szczecinski 11a	1160	nördliches Norwegen	0,85	importiert	-	2	2
Stargard Szczecinski 11a	1161	östliche Ostsee	1	transbaltisch	-	3	5
Stargard Szczecinski 11a	1162	nördliches Norwegen	0,95	importiert	-	2	2
Lübeck, Fleischhauerstraße 64-72	815	östliche Ostsee	0,76	transbaltisch	-	3	5
Lübeck, Dr Julius-Leber-Straße	816	südliche Nordsee	0,52	importiert	-	1	4
Lübeck, Dr Julius-Leber-Straße	818	nördliches Norwegen	0,72	importiert	-	2	3
Lübeck, Dr Julius-Leber-Straße	819	nördliches Norwegen	0,60	importiert	-	2	3
Tallinn, 4 Rahukoltnu St	491	nördliches Norwegen	0,89	importiert	-	2	3
Tallinn, 4 Rahukoltnu St	492	nördliches Norwegen	0,51	importiert	-	2	3
Uppsala	327	nördliches Norwegen	0,65	importiert	-	2	2

Fortsetzung von Tabelle A109

Fundort	Probennr.	vorhergesagte Herkunft	P	Status	Anmerkungen	GMM-Clusterzuordnung (G = 3)	GMM-Clusterzuordnung (G = 5)
Uppsala	332	südliche Nordsee	0,62	importiert	-	2	3
Uppsala	334	südliche Nordsee	0,75	importiert	-	2	3
Uppsala	335	nördliches Norwegen	0,83	importiert	-	2	2
Uppsala	336	nördliches Norwegen	0,92	importiert	-	2	2
Uppsala	337	nördliches Norwegen	0,91	importiert	-	2	2
Uppsala	338	nördliches Norwegen	0,82	importiert	-	1	4
Tallinn, 10 Sauna St	480	südliche Nordsee	0,94	importiert	-	2	3
Tallinn, 10 Sauna St	482	nördliches Norwegen	0,86	importiert	-	2	3
Tallinn, 10 Sauna St	483	südliche Nordsee	0,97	importiert	-	1	4
Tallinn, 10 Sauna St	485	Kattegat/ westliche Ostsee	0,63	transbaltisch	-	1	2
Tallinn, 10 Sauna St	486	nördliches Norwegen	0,72	importiert	-	2	4
Tartu, Vanemuise St.	493	südliche Nordsee	0,87	importiert	-	2	3
Tartu, Vanemuise St.	494	nördliches Norwegen	0,91	importiert	-	2	2
Tartu, Vanemuise St.	495	nördliches Norwegen	0,91	importiert	-	2	2
Gdańsk, Olejarna Street 2	469	nördliches Norwegen	0,76	importiert	-	2	3
Kołobrzeg, Gierczak Street	476	östliche Ostsee	0,97	lokal	-	3	5
Tallinn, 10 Viru St	487	südliche Nordsee	0,77	importiert	-	1	4
Tallinn, 10 Viru St	488	nördliches Norwegen	0,77	importiert	-	1	4
Gdańsk, Granary Island	1137	östliche Ostsee	1	lokal	-	3	5
Gdańsk, Granary Island	1138	östliche Ostsee	1	lokal	-	3	5
Gdańsk, Granary Island	1154	östliche Ostsee	1	lokal	-	3	5
Mała Nieszawka	215	östliche Ostsee	1	lokal	-	3	5
Mała Nieszawka	216	östliche Ostsee	1	lokal	-	3	5
Mała Nieszawka	217	östliche Ostsee	0,97	lokal	-	3	5
Gdańsk, Granary Island	1150	östliche Ostsee	1	lokal	-	3	5

Fortsetzung von Tabelle A109

Fundort	Probennr.	vorhergesagte Herkunft	P	Status	Anmerkungen	GMM-Clusterzuordnung	
						(G = 3)	(G = 5)
Uppsala	466	östliche Ostsee	0,98	lokal	-	3	5
Gdańsk, Granary Island	1146	östliche Ostsee	1	lokal	-	3	5
Gdańsk, Granary Island	1147	nördliches Norwegen	0,77	importiert	-	2	2
Gdańsk, Granary Island	477	östliche Ostsee	1	lokal	-	3	5
Gdańsk, Granary Island	1140	östliche Ostsee	1	lokal	-	3	5
Tallinn, 10 Viru St	489	-	-	importiert	-	2	4
Uppsala	326	-	-	importiert	-	2	3
Uppsala	328	-	-	importiert	-	2	3
Uppsala	329	-	-	importiert	-	2	3
Uppsala	330	-	-	??	importiert?	2	2
Uppsala	331	-	-	importiert	-	2	3
Uppsala	333	-	-	importiert	-	2	3
Uppsala	443	-	-	importiert	-	2	4
Uppsala	444	-	-	importiert	-	2	3
Elbląg	472	-	-	importiert	-	2	2
Kołobrzeg, Armii Krajowej St. 19	473	-	-	importiert	-	2	3
Kołobrzeg, Armii Krajowej St. 19	474	-	-	importiert	-	2	3
Gdańsk, Olejarna Street 2	470	-	-	importiert	-	2	3
Gdańsk, Olejarna Street 2	471	-	-	??	importiert?	2	2
Tallinn, 10 Sauna St	479	-	-	importiert	-	2	3
Tallinn, 10 Sauna St	481	-	-	importiert ⁹	-	1	4
Tallinn, 10 Sauna St	484	-	-	importiert	-	2	3
Kołobrzeg, Gierczak Street	475	-	-	importiert	-	2	4
Gdańsk, Granary Island	1149	-	-	??	lokal?	3	5
Gdańsk, Granary Island	1155	-	-	importiert	-	2	2

Tabelle A110: Zuordnungswahrscheinlichkeiten in die drei GMM-Cluster für die Daten von Orton et al. (2011) im Vergleich zu den dort berechneten Zuordnungswahrscheinlichkeiten in die Gruppe der lokalen, importieren und transbaltischen Fische. Die höchste Zuordnungswahrscheinlichkeit ist jeweils fett gedruckt. Wenn diese $< 0,9$ beträgt, wird sie außerdem kursiv dargestellt.

Fundort	Probennr.	vorhergesagte Herkunft	P	Status	Anmerkungen	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Groß Strömkendorf	197	Kattegat/westliche Ostsee	0,89	lokal	-	9,992E-01	5,059E-05	7,516E-04
Groß Strömkendorf	323	nördliches Norwegen	0,73	importiert	-	1,276E-01	8,511E-01	2,131E-02
Groß Strömkendorf	324	östliche Ostsee	0,60	transbaltisch	-	4,932E-02	4,355E-01	5,152E-01
Groß Strömkendorf	325	Kattegat/westliche Ostsee	1	lokal	-	1,000E+00	5,213E-28	2,391E-09
Selsø-Vestby	224	Kattegat/westliche Ostsee	0,99	lokal	-	9,993E-01	1,230E-07	6,769E-04
Haithabu Harbour	315	nördliches Norwegen	0,94	importiert	-	1,220E-02	9,745E-01	1,326E-02
Haithabu Harbour	316	nördliches Norwegen	0,56	importiert	-	8,829E-03	9,895E-01	1,707E-03
Haithabu Harbour	317	nördliches Norwegen	0,87	importiert	-	2,271E-02	9,752E-01	2,086E-03
Haithabu Harbour	318	nördliches Norwegen	0,67	importiert	-	1,006E-02	9,887E-01	1,258E-03
Haithabu Harbour	319	südliche Nordsee	0,96	importiert	-	9,997E-01	3,395E-04	7,358E-06
Haithabu Harbour	320	nördliches Norwegen	0,84	importiert	-	8,283E-03	9,884E-01	3,290E-03
Haithabu Settlement area	826	nördliches Norwegen	0,63	importiert	-	7,304E-02	8,656E-01	6,139E-02
Haithabu Settlement area	828	nördliches Norwegen	0,86	importiert	-	6,512E-02	9,326E-01	2,258E-03
Stargard Szczecinski 11a	1159	südliche Nordsee	0,57	importiert	-	5,013E-01	4,980E-01	7,132E-04
Stargard Szczecinski 11a	1160	nördliches Norwegen	0,85	importiert	-	3,575E-02	9,469E-01	1,738E-02
Stargard Szczecinski 11a	1161	östliche Ostsee	1	transbaltisch	-	2,482E-03	2,200E-04	9,973E-01
Stargard Szczecinski 11a	1162	nördliches Norwegen	0,95	importiert	-	2,043E-02	8,357E-01	1,439E-01
Lübeck, Fleischhauerstraße 64-72	815	östliche Ostsee	0,76	transbaltisch	-	3,040E-01	1,065E-03	6,950E-01
Lübeck, Dr Julius-Leber-Straße	816	südliche Nordsee	0,52	importiert	-	9,972E-01	2,699E-03	8,975E-05
Lübeck, Dr Julius-Leber-Straße	818	nördliches Norwegen	0,72	importiert	-	9,067E-03	9,893E-01	1,653E-03
Lübeck, Dr Julius-Leber-Straße	819	nördliches Norwegen	0,60	importiert	-	2,561E-02	9,737E-01	7,370E-04
Tallinn, 4 Rahukoltnu St	491	nördliches Norwegen	0,89	importiert	-	1,624E-02	9,811E-01	2,656E-03
Tallinn, 4 Rahukoltnu St	492	nördliches Norwegen	0,51	importiert	-	9,428E-03	9,893E-01	1,282E-03

Fortsetzung von Tabelle A110

Fundort	Probennr.	vorhergesagte Herkunft	P	Status	Anmerkungen	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Uppsala	327	nördliches Norwegen	0,65	importiert	-	3,167E-02	7,629E-01	2,055E-01
Uppsala	332	südliche Nordsee	0,62	importiert	-	1,604E-02	9,834E-01	5,810E-04
Uppsala	334	südliche Nordsee	0,75	importiert	-	2,319E-02	9,764E-01	4,358E-04
Uppsala	335	nördliches Norwegen	0,83	importiert	-	3,429E-02	9,389E-01	2,684E-02
Uppsala	336	nördliches Norwegen	0,92	importiert	-	1,832E-02	9,715E-01	1,019E-02
Uppsala	337	nördliches Norwegen	0,91	importiert	-	1,161E-02	9,845E-01	3,927E-03
Uppsala	338	nördliches Norwegen	0,82	importiert	-	8,187E-01	1,785E-01	2,785E-03
Tallinn, 10 Sauna St	480	südliche Nordsee	0,94	importiert	-	3,152E-02	9,678E-01	7,033E-04
Tallinn, 10 Sauna St	482	nördliches Norwegen	0,86	importiert	-	1,710E-02	9,809E-01	2,033E-03
Tallinn, 10 Sauna St	483	südliche Nordsee	0,97	importiert	-	1,000E+00	1,314E-05	1,821E-06
Tallinn, 10 Sauna St	485	Kattegat/western	0,63	transbaltisch	-	8,439E-01	1,333E-01	2,289E-02
Tallinn, 10 Sauna St	486	nördliches Norwegen	0,72	importiert	-	1,665E-01	8,322E-01	1,321E-03
Tartu, Vanemuise St,	493	südliche Nordsee	0,87	importiert	-	2,234E-02	9,772E-01	4,690E-04
Tartu, Vanemuise St,	494	nördliches Norwegen	0,91	importiert	-	1,292E-02	9,836E-01	3,479E-03
Tartu, Vanemuise St,	495	nördliches Norwegen	0,91	importiert	-	9,346E-03	9,852E-01	5,488E-03
Gdańsk, Olejarna Street 2	469	nördliches Norwegen	0,76	importiert	-	8,327E-03	9,894E-01	2,282E-03
Kołobrzeg, Gierczak Street	476	östliche Ostsee	0,97	lokal	-	4,524E-02	1,450E-03	9,533E-01
Tallinn, 10 Viru St	487	südliche Nordsee	0,77	importiert	-	1,000E+00	1,866E-05	6,348E-06
Tallinn, 10 Viru St	488	nördliches Norwegen	0,77	importiert	-	8,434E-01	1,553E-01	1,323E-03
Gdańsk, Granary Island	1137	östliche Ostsee	1	lokal	-	6,741E-03	7,914E-10	9,933E-01
Gdańsk, Granary Island	1138	östliche Ostsee	1	lokal	-	3,044E-04	3,720E-08	9,997E-01
Gdańsk, Granary Island	1154	östliche Ostsee	1	lokal	-	1,382E-04	9,203E-11	9,999E-01
Mała Nieszawka	215	östliche Ostsee	1	lokal	-	1,488E-04	1,027E-09	9,999E-01

Fortsetzung von Tabelle A110

Fundort	Probennr.	vorhergesagte Herkunft	P	Status	Anmerkungen	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Mala Nieszawka	216	östliche Ostsee	1	lokal	-	3,152E-03	5,070E-06	9,968E-01
Mala Nieszawka	217	östliche Ostsee	0,97	lokal	-	3,592E-02	1,131E-02	9,528E-01
Gdańsk, Granary Island	1150	östliche Ostsee	1	lokal	-	1,033E-03	3,818E-07	9,990E-01
Uppsala	466	östliche Ostsee	0,98	lokal	-	1,524E-02	1,260E-02	9,722E-01
Gdańsk, Granary Island	1146	östliche Ostsee	1	lokal	-	1,135E-02	1,624E-06	9,886E-01
Gdańsk, Granary Island	1147	nördliches Norwegen	0,77	importiert	-	3,354E-02	9,221E-01	4,441E-02
Gdańsk, Granary Island	477	östliche Ostsee	1	lokal	-	5,718E-05	3,817E-12	9,999E-01
Gdańsk, Granary Island	1140	östliche Ostsee	1	lokal	-	4,489E-03	1,704E-05	9,955E-01
Tallinn, 10 Viru St	489	-	-	importiert	-	2,760E-01	7,237E-01	2,386E-04
Uppsala	326	-	-	importiert	-	1,050E-02	9,885E-01	1,027E-03
Uppsala	328	-	-	importiert	-	1,141E-02	9,876E-01	1,032E-03
Uppsala	329	-	-	importiert	-	2,832E-02	9,712E-01	4,412E-04
Uppsala	330	-	-	??	importiert?	1,971E-02	8,904E-01	8,984E-02
Uppsala	331	-	-	importiert	-	8,798E-03	9,890E-01	2,200E-03
Uppsala	333	-	-	importiert	-	1,023E-02	9,868E-01	2,932E-03
Uppsala	443	-	-	importiert	-	1,846E-01	8,150E-01	4,141E-04
Uppsala	444	-	-	importiert	-	1,387E-02	9,855E-01	6,437E-04
Elbląg	472	-	-	importiert	-	2,299E-02	9,404E-01	3,662E-02
Kołobrzeg, Armii Krajowej St, 19	473	-	-	importiert	-	1,252E-02	9,865E-01	9,524E-04
Kołobrzeg, Armii Krajowej St, 19	474	-	-	importiert	-	9,150E-03	9,857E-01	5,171E-03
Gdańsk, Olejarna Street 2	470	-	-	importiert	-	1,322E-02	9,861E-01	7,000E-04
Gdańsk, Olejarna Street 2	471	-	-	??	importiert?	2,750E-02	8,147E-01	1,578E-01
Tallinn, 10 Sauna St	479	-	-	importiert	-	2,567E-02	9,738E-01	5,574E-04

Fortsetzung von Tabelle A110

Fundort	Probennr.	vorhergesagte Herkunft	P	Status	Anmerkungen	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Tallinn, 10 Sauna St	481	-	-	importiert	-	9,625E-01	3,717E-02	3,287E-04
Tallinn, 10 Sauna St	484	-	-	importiert	-	2,305E-02	9,765E-01	4,492E-04
Kołobrzeg, Gierczak Street	475	-	-	importiert	-	1,669E-01	8,326E-01	5,400E-04
Gdańsk, Granary Island	1149	-	-	??	lokal?	1,454E-03	8,341E-16	9,985E-01
Gdańsk, Granary Island	1155	-	-	importiert		7,777E-02	9,117E-01	1,052E-02

Tabelle A111: Zuordnungswahrscheinlichkeiten in die fünf GMM-Cluster für die Daten von Orton et al. (2011) im Vergleich zu den dort berechneten Zuordnungswahrscheinlichkeiten in die Gruppe der lokalen, importieren und transbaltischen Fische. Die höchste Zuordnungswahrscheinlichkeit ist jeweils fett gedruckt. Wenn diese $< 0,8$ beträgt, wird sie außerdem kursiv dargestellt.

Fundort	Probennr.	vorhergesagte Herkunft	P	Status	Anmerkungen	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5
Groß Strömkendorf	197	Kattegat/westliche Ostsee	0,89	lokal	-	4,917E-01	5,104E-04	3,857E-08	5,071E-01	6,655E-04
Groß Strömkendorf	323	nördliches Norwegen	0,73	importiert	-	1,629E-03	9,631E-01	2,852E-03	3,083E-02	1,545E-03
Groß Strömkendorf	324	östliche Ostsee	0,60	transbaltisch	-	4,414E-04	7,795E-01	2,473E-07	4,937E-04	2,196E-01
Groß Strömkendorf	325	Kattegat/westliche Ostsee	1	lokal	-	1,000E+00	2,709E-26	1,010E-42	6,666E-07	3,342E-08
Selø-Vestby	224	Kattegat/westliche Ostsee	0,99	lokal	-	9,772E-01	3,688E-06	3,700E-14	2,034E-02	2,440E-03
Haithabu Harbour	315	nördliches Norwegen	0,94	importiert	-	5,679E-05	9,679E-01	2,578E-02	5,437E-03	8,403E-04
Haithabu Harbour	316	nördliches Norwegen	0,56	importiert	-	6,937E-06	1,594E-02	9,681E-01	1,593E-02	9,491E-06
Haithabu Harbour	317	nördliches Norwegen	0,87	importiert	-	2,145E-04	2,812E-01	6,434E-01	7,502E-02	7,955E-05
Haithabu Harbour	318	nördliches Norwegen	0,67	importiert	-	1,570E-05	2,836E-02	9,491E-01	2,254E-02	1,004E-05
Haithabu Harbour	319	südliche Nordsee	0,96	importiert	-	7,270E-04	1,041E-11	3,838E-08	9,993E-01	1,120E-09
Haithabu Harbour	320	nördliches Norwegen	0,84	importiert	-	2,889E-05	2,529E-01	7,284E-01	1,861E-02	1,023E-04
Haithabu Settlement area	826	nördliches Norwegen	0,63	importiert	-	5,315E-04	9,902E-01	1,232E-04	3,839E-03	5,328E-03
Haithabu Settlement area	828	nördliches Norwegen	0,86	importiert	-	9,056E-04	2,196E-01	5,342E-01	2,451E-01	8,460E-05
Stargard Szczecinski 11a	1159	südliche Nordsee	0,57	importiert	-	8,535E-04	2,217E-04	5,845E-02	9,405E-01	1,024E-06
Stargard Szczecinski 11a	1160	nördliches Norwegen	0,85	importiert	-	2,654E-04	9,862E-01	4,240E-03	8,201E-03	1,135E-03
Stargard Szczecinski 11a	1161	östliche Ostsee	1	transbaltisch	-	3,365E-06	1,285E-05	9,845E-18	4,955E-08	1,000E+00
Stargard Szczecinski 11a	1162	nördliches Norwegen	0,95	importiert	-	2,863E-05	9,790E-01	6,878E-03	3,219E-03	1,087E-02
Lübeck, Fleischhauerstraße 64-72	815	östliche Ostsee	0,76	transbaltisch	-	1,059E-02	1,403E-04	5,346E-17	1,783E-05	9,893E-01
Lübeck, Dr Julius-Leber-Straße	816	südliche Nordsee	0,52	importiert	-	3,889E-03	6,590E-07	2,724E-05	9,961E-01	1,612E-07
Lübeck, Dr Julius-Leber-Straße	818	nördliches Norwegen	0,72	importiert	-	1,690E-05	5,321E-02	9,267E-01	2,002E-02	1,891E-05
Lübeck, Dr Julius-Leber-Straße	819	nördliches Norwegen	0,60	importiert	-	5,648E-05	9,885E-03	9,073E-01	8,276E-02	4,103E-06
Tallinn, 4 Rahukohtu St	491	nördliches Norwegen	0,89	importiert	-	1,480E-04	4,384E-01	5,161E-01	4,518E-02	1,273E-04
Tallinn, 4 Rahukohtu St	492	nördliches Norwegen	0,51	importiert	-	6,788E-06	9,369E-03	9,727E-01	1,794E-02	5,433E-06
Uppsala	327	nördliches Norwegen	0,65	importiert	-	1,204E-04	9,711E-01	1,593E-05	6,937E-04	2,811E-02
Uppsala	332	südliche Nordsee	0,62	importiert	-	1,281E-05	2,024E-03	9,521E-01	4,582E-02	1,408E-06
Uppsala	334	südliche Nordsee	0,75	importiert	-	1,789E-05	6,167E-04	9,066E-01	9,279E-02	7,842E-07
Uppsala	335	nördliches Norwegen	0,83	importiert	-	2,094E-04	9,921E-01	1,365E-03	4,452E-03	1,825E-03
Uppsala	336	nördliches Norwegen	0,92	importiert	-	1,253E-04	9,664E-01	2,370E-02	9,118E-03	6,523E-04

Fortsetzung von Tabelle A111

Fundort	Probennr.	vorhergesagte Herkunft	P	Status	Anmerkungen	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5
Uppsala	337	nördliches Norwegen	0,91	importiert	-	8,784E-05	6,374E-01	3,390E-01	2,334E-02	2,241E-04
Uppsala	338	nördliches Norwegen	0,82	importiert	-	1,161E-02	1,601E-02	1,069E-02	9,616E-01	5,345E-05
Tallinn, 10 Sauna St	480	südliche Nordsee	0,94	importiert	-	1,091E-05	5,410E-05	7,873E-01	2,126E-01	8,588E-07
Tallinn, 10 Sauna St	482	nördliches Norwegen	0,86	importiert	-	1,303E-04	2,580E-01	6,886E-01	5,320E-02	7,067E-05
Tallinn, 10 Sauna St	483	südliche Nordsee	0,97	importiert	-	1,381E-03	1,848E-13	2,882E-10	9,986E-01	4,212E-10
Tallinn, 10 Sauna St	485	Kattegat/western	0,63	transbaltisch	-	7,135E-02	5,676E-01	2,482E-04	3,541E-01	6,681E-03
Tallinn, 10 Sauna St	486	nördliches Norwegen	0,72	importiert	-	1,016E-03	1,564E-02	4,126E-01	5,707E-01	1,232E-05
Tartu, Vanemuise St.	493	südliche Nordsee	0,87	importiert	-	1,070E-05	1,897E-04	8,927E-01	1,071E-01	6,246E-07
Tartu, Vanemuise St.	494	nördliches Norwegen	0,91	importiert	-	1,070E-04	5,920E-01	3,790E-01	2,875E-02	1,930E-04
Tartu, Vanemuise St.	495	nördliches Norwegen	0,91	importiert	-	5,329E-05	6,995E-01	2,850E-01	1,517E-02	3,222E-04
Gdańsk, Olejarna Street 2	469	nördliches Norwegen	0,76	importiert	-	1,773E-05	9,393E-02	8,880E-01	1,799E-02	3,694E-05
Kołobrzeg, Gierczak Street	476	östliche Ostsee	0,97	lokal	-	4,645E-04	4,429E-05	4,190E-18	8,260E-07	9,995E-01
Tallinn, 10 Viru St	487	südliche Nordsee	0,77	importiert	-	5,039E-03	1,979E-10	1,313E-08	9,950E-01	8,547E-09
Tallinn, 10 Viru St	488	nördliches Norwegen	0,77	importiert	-	5,075E-03	1,665E-03	1,036E-02	9,829E-01	7,901E-06
Gdańsk, Granary Island	1137	östliche Ostsee	1	lokal	-	6,238E-06	4,389E-18	7,655E-44	7,144E-14	1,000E+00
Gdańsk, Granary Island	1138	östliche Ostsee	1	lokal	-	5,606E-08	1,683E-12	2,722E-31	2,344E-12	1,000E+00
Gdańsk, Granary Island	1154	östliche Ostsee	1	lokal	-	1,095E-08	9,963E-19	1,165E-43	1,300E-15	1,000E+00
Mała Nieszawka	215	östliche Ostsee	1	lokal	-	1,199E-08	2,756E-15	1,945E-36	6,641E-14	1,000E+00
Mała Nieszawka	216	östliche Ostsee	1	lokal	-	4,819E-06	5,985E-10	1,062E-27	1,931E-10	1,000E+00
Mała Nieszawka	217	östliche Ostsee	0,97	lokal	-	3,892E-04	2,005E-03	2,121E-14	5,938E-06	9,976E-01
Gdańsk, Granary Island	1150	östliche Ostsee	1	lokal	-	6,474E-07	6,112E-12	2,787E-31	8,277E-12	1,000E+00
Uppsala	466	östliche Ostsee	0,98	lokal	-	9,744E-05	3,711E-03	2,153E-13	4,421E-06	9,962E-01
Gdańsk, Granary Island	1146	östliche Ostsee	1	lokal	-	3,041E-05	4,606E-11	2,835E-30	1,808E-10	1,000E+00
Gdańsk, Granary Island	1147	nördliches Norwegen	0,77	importiert	-	1,729E-04	9,936E-01	3,940E-04	2,462E-03	3,341E-03
Gdańsk, Granary Island	477	östliche Ostsee	1	lokal	-	1,025E-09	1,714E-18	1,446E-41	1,544E-15	1,000E+00
Gdańsk, Granary Island	1140	östliche Ostsee	1	lokal	-	9,240E-06	6,738E-09	1,210E-25	8,876E-10	1,000E+00
Tallinn, 10 Viru St	489	-	-	importiert	-	7,933E-05	5,161E-07	2,161E-02	9,783E-01	5,128E-08

Fortsetzung von Tabelle A111

Fundort	Probennr.	vorhergesagte Herkunft	P	Status	Anmerkungen	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5
Uppsala	326	-	-	importiert	-	5,848E-06	4,038E-03	9,748E-01	2,116E-02	2,954E-06
Uppsala	328	-	-	importiert	-	1,678E-05	1,849E-02	9,548E-01	2,673E-02	6,625E-06
Uppsala	329	-	-	importiert	-	2,935E-05	9,136E-04	8,834E-01	1,157E-01	9,486E-07
Uppsala	330	-	-	??	importiert?	5,325E-05	9,912E-01	3,124E-04	1,070E-03	7,339E-03
Uppsala	331	-	-	importiert	-	6,573E-06	1,949E-02	9,654E-01	1,509E-02	1,369E-05
Uppsala	333	-	-	importiert	-	5,951E-05	3,772E-01	5,973E-01	2,533E-02	1,213E-04
Uppsala	443	-	-	importiert	-	2,277E-04	1,011E-04	2,182E-01	7,815E-01	4,918E-07
Uppsala	444	-	-	importiert	-	9,117E-06	1,973E-03	9,618E-01	3,619E-02	1,478E-06
Elblag	472	-	-	importiert	-	1,000E-04	9,942E-01	9,237E-04	2,252E-03	2,564E-03
Kołobrzeg, Armii Krajowej St. 19	473	-	-	importiert	-	1,926E-05	1,647E-02	9,529E-01	3,062E-02	5,855E-06
Kołobrzeg, Armii Krajowej St. 19	474	-	-	importiert	-	1,030E-05	7,964E-02	9,047E-01	1,555E-02	7,668E-05
Gdańsk, Olejarna Street 2	470	-	-	importiert	-	1,040E-05	3,380E-03	9,638E-01	3,277E-02	1,987E-06
Gdańsk, Olejarna Street 2	471	-	-	??	importiert?	9,187E-05	9,813E-01	4,040E-05	7,751E-04	1,775E-02
Tallinn, 10 Sauna St	479	-	-	importiert	-	1,013E-05	9,474E-05	8,525E-01	1,474E-01	6,894E-07
Tallinn, 10 Sauna St	481	-	-	importiert	-	2,632E-03	1,902E-05	1,021E-03	9,963E-01	5,498E-07
Tallinn, 10 Sauna St	484	-	-	importiert	-	1,164E-05	1,877E-04	8,863E-01	1,135E-01	6,029E-07
Kołobrzeg, Gierczak Street	475	-	-	importiert	-	3,132E-04	4,672E-04	3,246E-01	6,747E-01	1,103E-06
Gdańsk, Granary Island	1149	-	-	??	lokal?	1,380E-07	8,473E-32	4,749E-69	3,834E-20	1,000E+00
Gdańsk, Granary Island	1155	-	-	importiert	-	1,088E-03	9,317E-01	1,926E-02	4,720E-02	7,326E-04

Tabelle A112: Übersicht über die Kontrollgruppen der Fischdaten aus Barrett et al. (2011), sowie eines Teildatensatzes mit vorhergesagter Herkunft und zugehöriger Wahrscheinlichkeit (P).

Probennr.	Region	Land	Fundort	Zeitstellung	Länge [mm]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	vorhergesagte Herkunft	P
362	nördliches Norwegen	Norwegen	Helgøygården	13th/14th	500-800	-16,0	13,9	-	-
364	nördliches Norwegen	Norwegen	Helgøygården	13th/14th	500-800	-15,5	12,8	-	-
365	nördliches Norwegen	Norwegen	Helgøygården	13th/14th	500-800	-12,4	14,4	-	-
366	nördliches Norwegen	Norwegen	Helgøygården	13th/14th	500-800	-13,7	14,3	-	-
367	nördliches Norwegen	Norwegen	Helgøygården	13th/14th	800-1000	-14,6	14,6	-	-
370	nördliches Norwegen	Norwegen	Helgøygården	13th/14th	800-1000	-13,5	14,4	-	-
121	nördliches Norwegen	Norwegen	Kongshavn	13th/14th	800-1000	-15,4	13,8	-	-
123	nördliches Norwegen	Norwegen	Kongshavn	13th/14th	500-800	-15,3	14,8	-	-
125	nördliches Norwegen	Norwegen	Kongshavn	13th/14th	500-800	-14,4	13,8	-	-
126	nördliches Norwegen	Norwegen	Kongshavn	13th/14th	500-800	-17,1	13,2	-	-
152	nördliches Norwegen	Norwegen	Kongshavn	13th/14th	800-1000	-15,9	13,7	-	-
129	nördliches Norwegen	Norwegen	Skonsvika	13th/14th	800-1000	-13,7	14,3	-	-
132	nördliches Norwegen	Norwegen	Skonsvika	13th/14th	500-800	-14,8	14,2	-	-
133	nördliches Norwegen	Norwegen	Skonsvika	13th/14th	500-800	-14,0	15,7	-	-
134	nördliches Norwegen	Norwegen	Skonsvika	13th/14th	500-800	-14,4	13,6	-	-
351	nördliches Norwegen	Norwegen	Storvågan	13th/14th	500-800	-14,8	13,7	-	-
355	nördliches Norwegen	Norwegen	Storvågan	13th/14th	800-1000	-15,6	14,2	-	-
357	nördliches Norwegen	Norwegen	Storvågan	13th/14th	800-1000	-13,9	14,3	-	-
358	nördliches Norwegen	Norwegen	Storvågan	13th/14th	800-1000	-13,6	15,8	-	-
1157	östliche Ostsee	Polen	Gdańsk, Duchia Street 43-46	13th/14th	500-800	-16,1	10,7	-	-
1158	östliche Ostsee	Polen	Gdańsk, Duchia Street 43-46	13th/14th	500-800	-15,6	10,6	-	-
178	östliche Ostsee	Polen	Gdańsk, Olejarna Street 2	13th/14th	500-800	-16,8	11,1	-	-
183	östliche Ostsee	Polen	Gdańsk, Olejarna Street 2	13th/14th	800-1000	-16,6	12,0	-	-
446	östliche Ostsee	Schweden	Uppsala	13th/14th	500-800	-15,1	13,3	-	-
447	östliche Ostsee	Schweden	Uppsala	13th/14th	500-800	-15,0	10,9	-	-

Fortsetzung von Tabelle A112

Probennr.	Region	Land	Fundort	Zeitstellung	Länge [mm]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	vorhergesagte	Herkunft	P
449	östliche Ostsee	Schweden	Uppsala	13th/14th	500-800	-15,4	12,2	-	-	-
453	östliche Ostsee	Schweden	Uppsala	13th/14th	500-800	-15,1	11,9	-	-	-
455	östliche Ostsee	Schweden	Uppsala	13th/14th	500-800	-15,7	12,3	-	-	-
820	Kattegat/westliche Ostsee	Deutschland	Haithabu Hafen	9th/10th	500-800	-13,1	12,6	-	-	-
821	Kattegat/westliche Ostsee	Deutschland	Haithabu Hafen	9th/10th	500-800	-12,7	12,7	-	-	-
822	Kattegat/westliche Ostsee	Deutschland	Haithabu Hafen	9th/10th	800-1000	-13,8	13,6	-	-	-
824	Kattegat/westliche Ostsee	Deutschland	Haithabu Hafen	9th/10th	500-800	-13,2	13,2	-	-	-
221	Kattegat/westliche Ostsee	Dänemark	Selsø-Vestby	9th/10th	500-800	-14,3	12,3	-	-	-
222	Kattegat/westliche Ostsee	Dänemark	Selsø-Vestby	9th/10th	500-800	-12,6	12,1	-	-	-
223	Kattegat/westliche Ostsee	Dänemark	Selsø-Vestby	9th/10th	500-800	-11,9	11,1	-	-	-
225	Kattegat/westliche Ostsee	Dänemark	Selsø-Vestby	9th/10th	500-800	-11,9	11,9	-	-	-
226	Kattegat/westliche Ostsee	Dänemark	Selsø-Vestby	11th/12th	500-800	-14,6	12,0	-	-	-
227	Kattegat/westliche Ostsee	Dänemark	Selsø-Vestby	11th/12th	500-800	-14,1	13,4	-	-	-
228	Kattegat/westliche Ostsee	Dänemark	Selsø-Vestby	11th/12th	500-800	-14,4	13,2	-	-	-
229	Kattegat/westliche Ostsee	Dänemark	Selsø-Vestby	11th/12th	500-800	-12,2	11,9	-	-	-
230	Kattegat/westliche Ostsee	Dänemark	Selsø-Vestby	11th/12th	500-800	-13,4	13,2	-	-	-
231	Kattegat/westliche Ostsee	Dänemark	Selsø-Vestby	11th/12th	500-800	-12,3	12,5	-	-	-
232	Kattegat/westliche Ostsee	Dänemark	Selsø-Vestby	11th/12th	500-800	-11,9	12,5	-	-	-
703	nord-östlicher Atlantik	Schottland	Bornish	13th/14th	500-800	-12,9	14,5	-	-	-
706	nord-östlicher Atlantik	Schottland	Bornish	13th/14th	500-800	-11,3	15,4	-	-	-
708	nord-östlicher Atlantik	Schottland	Bornish	13th/14th	800-1000	-13,1	13,8	-	-	-
713	nord-östlicher Atlantik	Schottland	Bornish	13th/14th	800-1000	-13,2	13,8	-	-	-
7	nord-östlicher Atlantik	Schottland	Quoygreew	11th/12th	800-1000	-12,5	13,7	-	-	-
10	nord-östlicher Atlantik	Schottland	Quoygreew	11th/12th	500-800	-13,4	13,7	-	-	-
11	nord-östlicher Atlantik	Schottland	Quoygreew	11th/12th	800-1000	-13,6	13,7	-	-	-

Fortsetzung von Tabelle A112

Probennr.	Region	Land	Fundort	Zeitstellung	Länge [mm]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	vorhergesagte Herkunft	P
22	nord-östlicher Atlantik	Schottland	Quoygrew	11th/12th	500-800	-12,6	13,5	-	-
25	nord-östlicher Atlantik	Schottland	Quoygrew	11th/12th	800-1000	-12,9	14,5	-	-
26	nord-östlicher Atlantik	Schottland	Quoygrew	11th/12th	500-800	-13,7	14,4	-	-
28	nord-östlicher Atlantik	Schottland	Quoygrew	11th/12th	800-1000	-13,4	14,7	-	-
50	nord-östlicher Atlantik	Schottland	Quoygrew	11th/12th	800-1000	-12,4	11,9	-	-
73	nord-östlicher Atlantik	Schottland	Quoygrew	11th/12th	800-1000	-12,5	14,9	-	-
100	nord-östlicher Atlantik	Schottland	Quoygrew	11th/12th	800-1000	-11,9	14,7	-	-
102	nord-östlicher Atlantik	Schottland	Quoygrew	11th/12th	800-1000	-12,4	14,8	-	-
106	nord-östlicher Atlantik	Schottland	Quoygrew	11th/12th	500-800	-13,1	13,5	-	-
116	nord-östlicher Atlantik	Schottland	Quoygrew	11th/12th	800-1000	-13,5	14,3	-	-
145	nord-östlicher Atlantik	Schottland	Quoygrew	11th/12th	800-1000	-13,4	13,9	-	-
1203	südliche Nordsee	England	Cambridge, Grand Arcade	13th/14th	500-800	-13,1	16,1	-	-
1120	südliche Nordsee	England	London, Custom House	13th/14th	500-800	-13,7	15,8	-	-
1091	südliche Nordsee	England	London, Ludgate Hill Car Parks	13th/14th	500-800	-13,4	15,3	-	-
1025	südliche Nordsee	England	London, Seal House	11th/12th	800-1000	-13,8	14,3	-	-
1031	südliche Nordsee	England	London, Seal House	13th/14th	800-1000	-14,1	15,9	-	-
1083	südliche Nordsee	England	London, Southampton Street	9th/10th	500-800	-13,0	14,9	-	-
1038	südliche Nordsee	England	London, Trig Lane	13th/14th	800-1000	-14,5	15,2	-	-
1059	südliche Nordsee	England	London, Trig Lane	13th/14th	500-800	-13,1	16,1	-	-
1094	südliche Nordsee	England	London, Westminster Abbey	11th/12th	800-1000	-12,5	15,0	-	-
1096	südliche Nordsee	England	London, Westminster Abbey	11th/12th	500-800	-12,3	15,4	-	-
1098	südliche Nordsee	England	London, Westminster Abbey	11th/12th	500-800	-12,4	14,8	-	-
375	südliche Nordsee	England	Norwich, Castle Mall	11th/12th	500-800	-13,6	14,9	-	-
376	südliche Nordsee	England	Norwich, Castle Mall	11th/12th	500-800	-11,7	16,3	-	-
379	südliche Nordsee	England	Norwich, Castle Mall	11th/12th	500-800	-13,2	16,4	-	-
382	südliche Nordsee	England	Norwich, Castle Mall	11th/12th	500-800	-13,7	15,3	-	-
383	südliche Nordsee	England	Norwich, Castle Mall	11th/12th	500-800	-13,0	15,8	-	-

Fortsetzung von Tabelle A112

Probennr.	Region	Land	Fundort	Zeitstellung	Länge [mm]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	vorhergesagte Herkunft	P
564	südliche Nordsee	England	Southampton, Lower High Street	9th/10th	800-1000	-11,6	15,9	-	-
565	südliche Nordsee	England	Southampton, Lower High Street	9th/10th	800-1000	-11,5	16,4	-	-
496	südliche Nordsee	England	Southampton, Site 859	9th/10th	800-1000	-13,1	16,1	-	-
497	südliche Nordsee	England	Southampton, Site 859	9th/10th	800-1000	-12,8	16,0	-	-
498	südliche Nordsee	England	Southampton, Site 859	9th/10th	800-1000	-12,4	15,3	-	-
171	südliche Nordsee	England	Wharram Percy	13th/14th	500-800	-12,9	15,5	-	-
172	südliche Nordsee	England	Wharram Percy	13th/14th	500-800	-13,2	14,9	-	-
257	südliche Nordsee	England	York, Coppergate	13th/14th	800-1000	-13,6	16,2	-	-
259	südliche Nordsee	England	York, Coppergate	11th/12th	800-1000	-14,0	16,4	-	-
1200	-	-	Cambridge, Grand Arcade	13th/14th	500-800	-13,4	15,1	südliche Nordsee	0,61
1201	-	-	Cambridge, Grand Arcade	13th/14th	500-800	-12,9	15,1	südliche Nordsee	0,66
1202	-	-	Cambridge, Grand Arcade	13th/14th	500-800	-12,2	15,4	südliche Nordsee	0,86
1204	-	-	Cambridge, Grand Arcade	13th/14th	500-800	-13,9	16,2	südliche Nordsee	0,97
976	-	-	Flixborough	9th/10th	800-1000	-12,3	16,3	südliche Nordsee	0,99
977	-	-	Flixborough	9th/10th	800-1000	-11,3	16,5	südliche Nordsee	0,99
979	-	-	Flixborough	9th/10th	800-1000	-11,9	15,1	südliche Nordsee	0,74
1067	-	-	London, Billingsgate	11th/12th	800-1000	-12,8	15,8	südliche Nordsee	0,94
1070	-	-	London, Billingsgate	11th/12th	500-800	-12,7	14,9	südliche Nordsee	0,54
1074	-	-	London, Billingsgate	13th/14th	500-800	-13,0	15,8	südliche Nordsee	0,93
1076	-	-	London, Billingsgate	13th/14th	800-1000	-15,1	15,6	südliche Nordsee	0,75
1122	-	-	London, Custom House	13th/14th	800-1000	-13,7	17,7	südliche Nordsee	1,00
1125	-	-	London, Custom House	13th/14th	800-1000	-12,8	13,9	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,72
1088	-	-	London, Ludgate Hill Car Parks	13th/14th	800-1000	-16,7	13,4	östliche Ostsee	0,71
1090	-	-	London, Ludgate Hill Car Parks	13th/14th	800-1000	-13,4	15,3	südliche Nordsee	0,73
1133	-	-	London, New Fresh Wharf (St Magnus)	11th/12th	800-1000	-13,8	15,3	südliche Nordsee	0,70
1027	-	-	London, Seal House	11th/12th	800-1000	-14,8	15,6	südliche Nordsee	0,77
1033	-	-	London, Seal House	13th/14th	500-800	-14,2	14,3	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,88
1082	-	-	London, Southampton Street	9th/10th	800-1000	-12,6	16,1	südliche Nordsee	0,97
1084	-	-	London, Southampton Street	9th/10th	800-1000	-12,7	16,3	südliche Nordsee	0,98
1042	-	-	London, Trig Lane	13th/14th	800-1000	-12,2	14,0	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,66

Fortsetzung von Tabelle A112

Probennr.	Region	Land	Fundort	Zeitstellung	Länge [mm]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	vorhergesagte Herkunft	P
1043	-	-	London, Trig Lane	13th/14th	800-1000	-14,3	14,3	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,89
1045	-	-	London, Trig Lane	13th/14th	800-1000	-12,5	15,7	südliche Nordsee	0,93
1046	-	-	London, Trig Lane	13th/14th	800-1000	-15,5	14,0	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,95
1052	-	-	London, Trig Lane	13th/14th	800-1000	-14,1	15,5	südliche Nordsee	0,78
1055	-	-	London, Trig Lane	13th/14th	800-1000	-14,5	13,8	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,90
1056	-	-	London, Trig Lane	13th/14th	800-1000	-16,6	13,8	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,76
1057	-	-	London, Trig Lane	13th/14th	500-800	-11,8	15,8	südliche Nordsee	0,96
1095	-	-	London, Westminster Abbey	11th/12th	800-1000	-13,4	15,2	südliche Nordsee	0,67
1097	-	-	London, Westminster Abbey	11th/12th	800-1000	-11,8	16,2	südliche Nordsee	0,99
1101	-	-	London, Westminster Abbey	11th/12th	800-1000	-13,2	15,1	südliche Nordsee	0,63
1102	-	-	London, Westminster Abbey	11th/12th	800-1000	-14,1	14,4	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,85
388	-	-	Norwich, Castle Mall	13th/14th	800-1000	-11,6	16,2	südliche Nordsee	0,99
389	-	-	Norwich, Castle Mall	11th/12th	800-1000	-13,0	16,4	südliche Nordsee	0,99
394	-	-	Norwich, Castle Mall	13th/14th	800-1000	-14,4	15,3	südliche Nordsee	0,61
396	-	-	Norwich, Castle Mall	13th/14th	800-1000	-13,5	16,8	südliche Nordsee	0,99
397	-	-	Norwich, Castle Mall	11th/12th	800-1000	-13,0	15,6	südliche Nordsee	0,88
399	-	-	Norwich, Castle Mall	11th/12th	800-1000	-13,4	15,8	südliche Nordsee	0,91
413	-	-	Norwich, Castle Mall	11th/12th	500-800	-12,6	16,1	südliche Nordsee	0,98
418	-	-	Norwich, Castle Mall	13th/14th	500-800	-13,4	15,4	südliche Nordsee	0,80
423	-	-	Norwich, Castle Mall	9th/10th	800-1000	-13,8	16,5	südliche Nordsee	0,99
425	-	-	Norwich, Castle Mall	11th/12th	500-800	-13,7	15,8	südliche Nordsee	0,92
502	-	-	Southampton	9th/10th	800-1000	-12,5	16,5	südliche Nordsee	0,99
545	-	-	Southampton, Lower High Street	9th/10th	800-1000	-13,2	16,6	südliche Nordsee	0,99
549	-	-	Southampton, Lower High Street	9th/10th	800-1000	-13,6	17,1	südliche Nordsee	1,00
176	-	-	Wharram Percy	13th/14th	800-1000	-13,1	12,8	Kattegat/westliche Ostsee	0,90
177	-	-	Wharram Percy	13th/14th	800-1000	-13,3	14,3	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,81
860	-	-	York, Coppergate	13th/14th	500-800	-11,9	15,7	südliche Nordsee	0,95

Fortsetzung von Tabelle A112

Probennr.	Region	Land	Fundort	Zeitstellung	Länge [mm]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{kollagen}}$	vorhergesagte Herkunft	P
862	-	-	York, Coppergate	13th/14th	800-1000	-13,9	15,3	südliche Nordsee	0,70
868	-	-	York, Coppergate	13th/14th	800-1000	-11,9	13,2	Kattgat/westliche Ostsee	0,88
877	-	-	York, Coppergate	13th/14th	800-1000	-11,7	16,8	südliche Nordsee	1,00
880	-	-	York, Coppergate	13th/14th	800-1000	-11,6	14,9	südliche Nordsee	0,66
885	-	-	York, Coppergate	13th/14th	800-1000	-14,6	14,5	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,85
887	-	-	York, Coppergate	13th/14th	800-1000	-12,4	16,1	südliche Nordsee	0,98
890	-	-	York, Coppergate	13th/14th	800-1000	-12,1	15,2	südliche Nordsee	0,79
892	-	-	York, Coppergate	13th/14th	800-1000	-12,4	16,3	südliche Nordsee	0,99
893	-	-	York, Coppergate	13th/14th	800-1000	-13,5	15,5	südliche Nordsee	0,82
897	-	-	York, Coppergate	13th/14th	800-1000	-13,2	16,1	südliche Nordsee	0,97
900	-	-	York, Coppergate	9th/10th	800-1000	-13,4	15,9	südliche Nordsee	0,94
901	-	-	York, Coppergate	11th/12th	800-1000	-13,4	15,4	südliche Nordsee	0,79
902	-	-	York, Coppergate	13th/14th	800-1000	-12,4	16,6	südliche Nordsee	0,99
908	-	-	York, Coppergate	11th/12th	800-1000	-12,2	16,1	südliche Nordsee	0,98
909	-	-	York, Coppergate	11th/12th	800-1000	-12,9	14,9	südliche Nordsee	0,52
910	-	-	York, Coppergate	11th/12th	800-1000	-13,7	15,8	südliche Nordsee	0,91
911	-	-	York, Coppergate	11th/12th	800-1000	-12,2	17,3	südliche Nordsee	1,00
912	-	-	York, Coppergate	11th/12th	800-1000	-12,8	15,8	südliche Nordsee	0,94
913	-	-	York, Coppergate	11th/12th	800-1000	-13,1	15,4	südliche Nordsee	0,81
918	-	-	York, Coppergate	13th/14th	800-1000	-12,4	15,4	südliche Nordsee	0,85
922	-	-	York, Coppergate	13th/14th	800-1000	-12,3	15,6	südliche Nordsee	0,91
923	-	-	York, Coppergate	13th/14th	800-1000	-13,6	14,8	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,62
924	-	-	York, Coppergate	13th/14th	800-1000	-14,9	16,6	südliche Nordsee	0,98
930	-	-	York, Coppergate	11th/12th	800-1000	-12,6	16,2	südliche Nordsee	0,98
938	-	-	York, Coppergate	11th/12th	800-1000	-14,2	14,7	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,74

Fortsetzung von Tabelle A112

Probennr.	Region	Land	Fundort	Zeitstellung	Länge [mm]	$\delta^{13}\text{C}_{\text{kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{kollagen}}$	vorhergesagte Herkunft	P
939	-	-	York, Coppergate	11th/12th	800-1000	-12,1	17,0	südliche Nordsee	1,00
940	-	-	York, Coppergate	11th/12th	800-1000	-11,6	15,5	südliche Nordsee	0,92
941	-	-	York, Coppergate	13th/14th	800-1000	-12,8	16,1	südliche Nordsee	0,97
942	-	-	York, Coppergate	13th/14th	800-1000	-13,3	16,8	südliche Nordsee	1,00
632	-	-	Dendermonde, Grote Markt	13th/14th	800-1000	-12,7	17,0	südliche Nordsee	1,00
633	-	-	Dendermonde, Grote Markt	11th/12th	800-1000	-12,7	16,9	südliche Nordsee	1,00
600	-	-	Ghent, Black Layer	11th/12th	800-1000	-13,5	17,5	südliche Nordsee	1,00
603	-	-	Ghent, Black Layer	11th/12th	800-1000	-11,7	15,4	südliche Nordsee	0,89
611	-	-	Mechelen, Minderbroedersklooster	13th/14th	500-800	-13,9	15,1	südliche Nordsee	0,55
617	-	-	Mechelen, Minderbroedersklooster	13th/14th	800-1000	-15,5	15,4	südliche Nordsee	0,58
620	-	-	Mechelen, Minderbroedersklooster	13th/14th	800-1000	-13,0	16,2	südliche Nordsee	0,98
623	-	-	Mechelen, Minderbroedersklooster	13th/14th	800-1000	-13,6	15,6	südliche Nordsee	0,86
624	-	-	Mechelen, Minderbroedersklooster	13th/14th	500-800	-14,1	14,9	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,61

Tabelle A113: Clusterzuordnung bei der GMM-Clusteranalyse der Daten aus Barrett et al. (2011) mit fünf Clustern und zugehörige Zuordnungswahrscheinlichkeit. Dem gegenüber steht die vorhergesagte Herkunft und die entsprechende Wahrscheinlichkeit nach Barrett et al. (2011). Die höchste Zuordnungswahrscheinlichkeit ist jeweils fett gedruckt. Wenn diese $< 0,8$ beträgt, wird sie außerdem kursiv dargestellt.

Probennr.	Region	Fundort	vorhergesagte Herkunft	P	GMM-Clusterzuordnung (G = 5)				
					Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5
362	nördliches Norwegen	Helgøygården		3	2,580E-03	8,346E-06	9,618E-01	3,563E-02	7,786E-06
364	nördliches Norwegen	Helgøygården		3	1,398E-01	5,120E-04	8,454E-01	1,433E-02	3,146E-07
365	nördliches Norwegen	Helgøygården		4	1,192E-09	1,445E-02	9,861E-06	5,080E-01	4,775E-01
366	nördliches Norwegen	Helgøygården		4	6,752E-07	3,496E-03	2,495E-03	9,394E-01	5,461E-02
367	nördliches Norwegen	Helgøygården		4	3,566E-06	2,170E-04	3,174E-02	9,442E-01	2,384E-02
370	nördliches Norwegen	Helgøygården		4	1,570E-07	3,316E-03	9,127E-04	8,934E-01	1,024E-01
121	nördliches Norwegen	Kongshavn		3	2,597E-03	2,089E-04	7,948E-01	2,023E-01	1,036E-04
123	nördliches Norwegen	Kongshavn		4	1,327E-05	2,343E-05	2,055E-01	7,850E-01	9,387E-03
125	nördliches Norwegen	Kongshavn		4	2,271E-04	5,883E-03	9,579E-02	8,950E-01	3,106E-03
126	nördliches Norwegen	Kongshavn		3	5,500E-02	5,345E-08	9,449E-01	1,285E-04	4,315E-10
152	nördliches Norwegen	Kongshavn		3	5,448E-03	1,899E-05	9,626E-01	3,197E-02	4,680E-06
129	nördliches Norwegen	Skonsvika		4	6,752E-07	3,496E-03	2,495E-03	9,394E-01	5,461E-02
132	nördliches Norwegen	Skonsvika		4	8,492E-05	5,964E-04	1,495E-01	8,454E-01	4,457E-03
133	nördliches Norwegen	Skonsvika		5	1,223E-10	3,771E-06	9,546E-05	3,266E-01	6,793E-01
134	nördliches Norwegen	Skonsvika		4	7,443E-04	1,166E-02	1,441E-01	8,419E-01	1,616E-03
351	nördliches Norwegen	Storvågan		4	1,440E-03	2,881E-03	3,620E-01	6,329E-01	7,600E-04
355	nördliches Norwegen	Storvågan		3	5,572E-04	3,856E-05	7,588E-01	2,403E-01	2,742E-04
357	nördliches Norwegen	Storvågan		4	1,504E-06	2,453E-03	5,211E-03	9,545E-01	3,785E-02
358	nördliches Norwegen	Storvågan		5	6,002E-12	2,397E-06	7,860E-06	1,437E-01	8,563E-01
1157	östliche Ostsee	Gdańsk, Duchia Street 43-46		1	9,986E-01	5,857E-07	1,405E-03	1,979E-08	2,758E-16
1158	östliche Ostsee	Gdańsk, Duchia Street 43-46		1	9,989E-01	8,179E-06	1,118E-03	7,544E-08	2,035E-15
178	östliche Ostsee	Gdańsk, Olejarna Street 2		1	9,947E-01	2,798E-08	5,305E-03	1,535E-08	1,831E-16
183	östliche Ostsee	Gdańsk, Olejarna Street 2		1	8,411E-01	7,200E-07	1,589E-01	7,820E-06	1,961E-12
446	östliche Ostsee	Uppsala		3	1,655E-02	2,144E-03	7,966E-01	1,847E-01	3,825E-05
447	östliche Ostsee	Uppsala		1	9,951E-01	5,534E-04	4,339E-03	5,145E-06	1,063E-12
449	östliche Ostsee	Uppsala		1	6,213E-01	8,983E-04	3,755E-01	2,231E-03	1,004E-08
453	östliche Ostsee	Uppsala		1	8,247E-01	3,173E-03	1,707E-01	1,478E-03	4,861E-09
455	östliche Ostsee	Uppsala		1	5,517E-01	1,814E-04	4,470E-01	1,140E-03	3,885E-09
820	Kattegat/westliche Ostsee	Haithabu Hafen		2	3,726E-04	8,624E-01	2,233E-03	1,348E-01	1,615E-04
821	Kattegat/westliche Ostsee	Haithabu Hafen		2	3,008E-05	9,017E-01	3,025E-04	9,760E-02	3,378E-04

Fortsetzung von Tabelle A113

Probennr.	Region	Fundort	vorhergesagte Herkunft	P	GMM-Clusterzuordnung (G = 5)				
					Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5
822	Kattegat/westliche Ostsee	Haithabu Hafen		4	7,863E-05	3,939E-02	1,845E-02	9,364E-01	5,666E-03
824	Kattegat/westliche Ostsee	Haithabu Hafen		4	6,128E-05	3,594E-01	3,675E-03	6,332E-01	3,697E-03
221	Kattegat/westliche Ostsee	Selso- Vestby		3	2,606E-01	2,779E-01	3,307E-01	1,308E-01	6,493E-06
222	Kattegat/westliche Ostsee	Selso- Vestby		2	8,370E-05	9,903E-01	8,410E-05	9,509E-03	6,751E-06
223	Kattegat/westliche Ostsee	Selso- Vestby		2	1,829E-05	9,999E-01	4,693E-07	6,313E-05	8,872E-09
225	Kattegat/westliche Ostsee	Selso- Vestby		2	2,450E-06	9,987E-01	1,414E-06	1,245E-03	1,867E-06
226	Kattegat/westliche Ostsee	Selso- Vestby		1	6,797E-01	6,033E-02	2,437E-01	1,617E-02	1,861E-07
227	Kattegat/westliche Ostsee	Selso- Vestby		4	8,278E-04	4,439E-02	8,102E-02	8,721E-01	1,645E-03
228	Kattegat/westliche Ostsee	Selso- Vestby		4	7,102E-03	4,075E-02	2,899E-01	6,619E-01	3,891E-04
229	Kattegat/westliche Ostsee	Selso- Vestby		2	1,384E-05	9,978E-01	7,256E-06	2,168E-03	1,830E-06
230	Kattegat/westliche Ostsee	Selso- Vestby		4	1,506E-04	2,784E-01	8,473E-03	7,102E-01	2,828E-03
231	Kattegat/westliche Ostsee	Selso- Vestby		2	5,342E-06	9,760E-01	2,803E-05	2,390E-02	9,838E-05
232	Kattegat/westliche Ostsee	Selso- Vestby		2	5,371E-07	9,884E-01	3,204E-06	1,154E-02	1,021E-04
703	nord-östlicher Atlantik	Bornish		4	5,986E-09	5,198E-03	6,227E-05	6,697E-01	3,251E-01
706	nord-östlicher Atlantik	Bornish		5	4,081E-16	3,497E-05	2,354E-10	6,683E-03	9,933E-01
708	nord-östlicher Atlantik	Bornish		4	1,386E-06	6,535E-02	8,867E-04	8,964E-01	3,740E-02
713	nord-östlicher Atlantik	Bornish		4	2,088E-06	5,526E-02	1,294E-03	9,120E-01	3,143E-02
7	nord-östlicher Atlantik	Quoygrew		4	1,931E-07	2,264E-01	1,015E-04	7,045E-01	6,892E-02
10	nord-östlicher Atlantik	Quoygrew		4	8,655E-06	5,615E-02	3,408E-03	9,243E-01	1,616E-02
11	nord-östlicher Atlantik	Quoygrew		4	1,934E-05	3,953E-02	7,141E-03	9,421E-01	1,124E-02
22	nord-östlicher Atlantik	Quoygrew		4	8,791E-07	3,501E-01	2,054E-04	6,219E-01	2,780E-02
25	nord-östlicher Atlantik	Quoygrew		4	5,986E-09	5,198E-03	6,227E-05	6,697E-01	3,251E-01
26	nord-östlicher Atlantik	Quoygrew		4	3,556E-07	2,368E-03	1,940E-03	9,235E-01	7,218E-02
28	nord-östlicher Atlantik	Quoygrew		4	1,363E-08	1,090E-03	2,631E-04	7,469E-01	2,518E-01
50	nord-östlicher Atlantik	Quoygrew		2	4,387E-05	9,968E-01	2,158E-05	3,136E-03	1,806E-06
73	nord-östlicher Atlantik	Quoygrew		5	3,475E-11	8,302E-04	1,950E-06	2,267E-01	7,725E-01
100	nord-östlicher Atlantik	Quoygrew		5	7,282E-12	3,365E-03	2,273E-07	1,435E-01	8,531E-01
102	nord-östlicher Atlantik	Quoygrew		5	4,742E-11	1,570E-03	1,861E-06	2,453E-01	7,531E-01

Fortsetzung von Tabelle A113

Probennr.	Region	Fundort	vorhergesagte Herkunft	P	GMM-Clusterzuordnung (G = 5)					Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5
106	nord-östlicher Atlantik	Quoygrew			4	8,092E-06	1,796E-01	1,611E-03	8,049E-01	1,383E-02				1,383E-02
116	nord-östlicher Atlantik	Quoygrew			4	3,003E-07	4,936E-03	1,183E-03	9,158E-01	7,806E-02				7,806E-02
145	nord-östlicher Atlantik	Quoygrew			4	2,529E-06	2,712E-02	2,169E-03	9,410E-01	2,973E-02				2,973E-02
1203	südliche Nordsee	Cambridge, Grand Arcade			5	2,335E-14	3,555E-07	1,154E-07	2,586E-02	9,741E-01				
1120	südliche Nordsee	London, Custom House			5	1,044E-11	2,341E-06	1,324E-05	1,689E-01	8,311E-01				
1091	südliche Nordsee	London, Ludgate Hill Car Parks			5	1,444E-10	5,211E-05	2,879E-05	3,345E-01	6,655E-01				
1025	südliche Nordsee	London, Seal House			4	1,009E-06	2,932E-03	3,610E-03	9,479E-01	4,551E-02				
1031	südliche Nordsee	London, Seal House			5	3,903E-11	1,116E-06	6,426E-05	2,452E-01	7,547E-01				
1083	südliche Nordsee	London, Southampton Street			5	4,719E-10	6,282E-04	2,255E-05	4,327E-01	5,666E-01				
1038	südliche Nordsee	London, Trig Lane			4	5,086E-08	2,489E-05	4,831E-03	8,430E-01	1,521E-01				
1059	südliche Nordsee	London, Trig Lane			5	2,335E-14	3,555E-07	1,154E-07	2,586E-02	9,741E-01				
1094	südliche Nordsee	London, Westminster Abbey			5	1,471E-11	4,518E-04	1,218E-06	1,791E-01	8,205E-01				
1096	südliche Nordsee	London, Westminster Abbey			5	1,346E-13	3,583E-05	5,637E-08	4,359E-02	9,564E-01				
1098	südliche Nordsee	London, Westminster Abbey			5	4,742E-11	1,570E-03	1,861E-06	2,453E-01	7,531E-01				
375	südliche Nordsee	Norwich, Castle Mall			4	8,106E-09	3,376E-04	3,196E-04	7,060E-01	2,933E-01				
376	südliche Nordsee	Norwich, Castle Mall			5	1,075E-18	8,771E-08	1,812E-11	1,008E-03	9,990E-01				
379	südliche Nordsee	Norwich, Castle Mall			5	2,685E-15	4,873E-08	4,130E-08	1,306E-02	9,869E-01				
382	südliche Nordsee	Norwich, Castle Mall			5	6,604E-10	4,216E-05	1,196E-04	4,715E-01	5,284E-01				
383	südliche Nordsee	Norwich, Castle Mall			5	2,006E-13	2,560E-06	3,183E-07	5,056E-02	9,494E-01				
564	südliche Nordsee	Southampton, Lower High Street			5	2,373E-17	1,263E-06	8,707E-11	2,713E-03	9,973E-01				
565	südliche Nordsee	Southampton, Lower High Street			5	1,334E-19	4,440E-08	3,538E-12	5,115E-04	9,995E-01				
496	südliche Nordsee	Southampton, Site 859			5	2,335E-14	3,555E-07	1,154E-07	2,586E-02	9,741E-01				
497	südliche Nordsee	Southampton, Site 859			5	1,024E-14	6,853E-07	3,773E-08	1,970E-02	9,803E-01				
498	südliche Nordsee	Southampton, Site 859			5	5,894E-13	6,850E-05	1,620E-07	6,907E-02	9,309E-01				
171	südliche Nordsee	Wharram Percy			5	1,682E-12	1,800E-05	8,575E-07	9,654E-02	9,034E-01				
172	südliche Nordsee	Wharram Percy			4	1,262E-09	5,292E-04	5,656E-05	5,279E-01	4,715E-01				
257	südliche Nordsee	York, Coppergate			5	1,682E-13	1,834E-07	1,045E-06	4,887E-02	9,511E-01				
259	südliche Nordsee	York, Coppergate			5	2,734E-13	4,891E-08	3,254E-06	5,760E-02	9,424E-01				
1200	südliche Nordsee	Cambridge, Grand Arcade	südliche Nordsee	0,61	5	7,156E-10	1,563E-04	6,552E-05	4,759E-01	5,239E-01				
1201	südliche Nordsee	Cambridge, Grand Arcade	südliche Nordsee	0,66	5	5,469E-11	2,143E-04	5,878E-06	2,586E-01	7,411E-01				

Fortsetzung von Tabelle A113

Probennr.	Region	Fundort	vorhergesagte Herkunft	P	GMM-Clusterzuordnung (G = 5)	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5
1202		Cambridge, Grand Arcade	südliche Nordsee	0,86	5	7,568E-14	3,588E-05	3,272E-08	3,628E-02	9,637E-01
1204		Cambridge, Grand Arcade	südliche Nordsee	0,97	5	9,336E-13	1,801E-07	5,268E-06	8,360E-02	9,164E-01
976		Flixborough	südliche Nordsee	0,99	5	3,559E-17	9,085E-08	4,950E-10	3,168E-03	9,968E-01
977		Flixborough	südliche Nordsee	0,99	5	1,655E-20	2,247E-08	6,907E-13	2,596E-04	9,997E-01
979		Flixborough	südliche Nordsee	0,74	5	2,047E-13	2,584E-04	3,032E-08	4,898E-02	9,508E-01
1067		London, Billingsgate	südliche Nordsee	0,94	5	6,343E-14	2,570E-06	1,074E-07	3,505E-02	9,649E-01
1070		London, Billingsgate	südliche Nordsee	0,54	5	1,010E-10	7,603E-04	5,314E-06	3,006E-01	6,987E-01
1074		London, Billingsgate	südliche Nordsee	0,93	5	2,006E-13	2,560E-06	3,183E-07	5,056E-02	9,494E-01
1076		London, Billingsgate	südliche Nordsee	0,75	4	4,339E-08	1,814E-06	1,613E-02	8,289E-01	1,550E-01
1122		London, Custom House	südliche Nordsee	1,00	5	3,220E-19	8,530E-12	6,648E-10	7,345E-04	9,993E-01
1125		London, Custom House	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,72	4	2,150E-07	7,369E-02	2,235E-04	8,422E-01	8,387E-02
1088		London, Ludgate Hill Car Parks	östliche Ostsee	0,71	3	2,295E-02	3,712E-07	9,762E-01	8,975E-04	1,170E-08
1090		London, Ludgate Hill Car Parks	südliche Nordsee	0,73	5	1,444E-10	5,211E-05	2,879E-05	3,345E-01	6,655E-01
1133		London, New Fresh Wharf (St Magnus)	südliche Nordsee	0,70	4	1,077E-09	3,858E-05	1,889E-04	5,192E-01	4,806E-01
1027		London, Seal House	südliche Nordsee	0,77	4	1,205E-08	2,849E-06	4,932E-03	7,471E-01	2,480E-01
1033		London, Seal House	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,88	4	4,915E-06	1,419E-03	1,548E-02	9,616E-01	2,148E-02
1082		London, Southampton Street	südliche Nordsee	0,97	5	1,282E-15	3,502E-07	7,435E-09	1,009E-02	9,899E-01
1084		London, Southampton Street	südliche Nordsee	0,98	5	3,662E-16	9,280E-08	4,480E-09	6,786E-03	9,932E-01
1042		London, Trig Lane	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,66	4	8,094E-09	1,140E-01	1,505E-05	6,231E-01	2,629E-01
1043		London, Trig Lane	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,89	4	7,257E-06	1,176E-03	2,213E-02	9,590E-01	1,769E-02
1045		London, Trig Lane	südliche Nordsee	0,93	5	2,787E-14	4,965E-06	3,518E-08	2,677E-02	9,732E-01
1046		London, Trig Lane	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,95	3	1,205E-03	8,988E-05	7,777E-01	2,208E-01	1,688E-04
1052		London, Trig Lane	südliche Nordsee	0,78	4	9,941E-10	1,041E-05	3,450E-04	5,147E-01	4,850E-01
1055		London, Trig Lane	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,90	4	3,233E-04	4,700E-03	1,320E-01	8,605E-01	2,466E-03
1056		London, Trig Lane	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,76	3	4,761E-03	3,747E-07	9,919E-01	3,345E-03	1,725E-07
1057		London, Trig Lane	südliche Nordsee	0,96	5	1,908E-16	2,489E-06	4,450E-10	5,333E-03	9,947E-01
1095		London, Westminster Abbey	südliche Nordsee	0,67	5	3,248E-10	9,120E-05	4,389E-05	4,032E-01	5,967E-01
1097		London, Westminster Abbey	südliche Nordsee	0,99	5	4,832E-18	1,722E-07	5,345E-11	1,639E-03	9,984E-01
1101		London, Westminster Abbey	südliche Nordsee	0,63	5	2,624E-10	1,819E-04	2,562E-05	3,825E-01	6,173E-01
1102		London, Westminster Abbey	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,85	4	1,768E-06	1,168E-03	8,481E-03	9,556E-01	3,475E-02
388		Norwich, Castle Mall	südliche Nordsee	0,99	5	1,565E-18	1,701E-07	1,774E-11	1,119E-03	9,989E-01
389		Norwich, Castle Mall	südliche Nordsee	0,99	5	8,389E-16	4,833E-08	1,376E-08	8,942E-03	9,911E-01

Fortsetzung von Tabelle A113

Probennr.	Region	Fundort	vorhergesagte Herkunft	P	GMM-Clusterzuordnung (G = 5)	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5
394		Norwich, Castle Mall	südliche Nordsee	0,61	4	1,684E-08	1,887E-05	2,437E-03	7,711E-01	2,265E-01
396		Norwich, Castle Mall	südliche Nordsee	0,99	5	3,925E-16	3,442E-09	2,602E-08	7,139E-03	9,929E-01
397		Norwich, Castle Mall	südliche Nordsee	0,88	5	1,213E-12	9,371E-06	8,841E-07	8,779E-02	9,122E-01
399		Norwich, Castle Mall	südliche Nordsee	0,91	5	1,957E-12	2,480E-06	2,733E-06	1,027E-01	8,973E-01
413		Norwich, Castle Mall	südliche Nordsee	0,98	5	1,282E-15	3,502E-07	7,435E-09	1,009E-02	9,899E-01
418		Norwich, Castle Mall	südliche Nordsee	0,80	5	6,293E-11	2,920E-05	1,852E-05	2,721E-01	7,278E-01
423		Norwich, Castle Mall	südliche Nordsee	0,99	5	3,489E-14	2,547E-08	6,535E-07	3,008E-02	9,699E-01
425		Norwich, Castle Mall	südliche Nordsee	0,92	5	1,044E-11	2,341E-06	1,324E-05	1,689E-01	8,311E-01
502		Southampton	südliche Nordsee	0,99	5	1,818E-17	2,416E-08	5,165E-10	2,572E-03	9,974E-01
545		Southampton, Lower High Street	südliche Nordsee	0,99	5	4,289E-16	1,287E-08	1,437E-08	7,266E-03	9,927E-01
549		Southampton, Lower High Street	südliche Nordsee	1,00	5	4,470E-17	4,674E-10	9,223E-09	3,571E-03	9,964E-01
176		Wharham Percy	Kattegat / westliche Ostsee	0,90	2	1,960E-04	7,497E-01	2,558E-03	2,470E-01	5,347E-04
177		Wharham Percy	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,81	4	1,320E-07	6,886E-03	5,545E-04	8,823E-01	1,103E-01
860		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,95	5	8,555E-16	4,873E-06	1,309E-09	8,653E-03	9,913E-01
862		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,70	4	1,739E-09	3,499E-05	2,955E-04	5,666E-01	4,331E-01
868		York, Coppergate	Kattegat / westliche Ostsee	0,88	2	8,005E-08	8,547E-01	7,281E-06	1,358E-01	9,532E-03
877		York, Coppergate	südliche Nordsee	1,00	5	1,082E-20	3,099E-09	1,277E-12	2,297E-04	9,998E-01
880		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,66	5	2,234E-13	9,647E-04	1,672E-08	4,978E-02	9,493E-01
885		York, Coppergate	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,85	4	6,640E-06	3,144E-04	4,005E-02	9,419E-01	1,769E-02
887		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,98	5	4,002E-16	3,469E-07	2,475E-09	6,907E-03	9,931E-01
890		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,79	5	2,611E-13	1,335E-04	5,352E-08	5,319E-02	9,467E-01
892		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,99	5	6,376E-17	9,135E-08	8,588E-10	3,834E-03	9,962E-01
893		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,82	5	4,621E-11	1,547E-05	1,944E-05	2,519E-01	7,481E-01
897		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,97	5	4,163E-14	3,557E-07	1,992E-07	3,114E-02	9,689E-01
900		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,94	5	8,012E-13	1,305E-06	1,651E-06	7,847E-02	9,215E-01
901		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,79	5	6,293E-11	2,920E-05	1,852E-05	2,721E-01	7,278E-01
902		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,99	5	4,046E-18	1,231E-08	1,752E-10	1,582E-03	9,984E-01
908		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,98	5	1,248E-16	3,434E-07	8,230E-10	4,722E-03	9,953E-01
909		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,52	5	2,847E-10	6,752E-04	1,405E-05	3,865E-01	6,128E-01
910		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,91	5	1,044E-11	2,341E-06	1,324E-05	1,689E-01	8,311E-01
911		York, Coppergate	südliche Nordsee	1,00	5	2,013E-21	1,128E-10	1,417E-12	1,361E-04	9,999E-01

Fortsetzung von Tabelle A113

Probennr.	Region	Fundort	vorhergesagte Herkunft	P	GMM-Clusterzuordnung (G = 5)	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5
912		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,94	5	6,343E-14	2,570E-06	1,074E-07	3,505E-02	9,649E-01
913		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,81	5	1,240E-11	3,253E-05	4,017E-06	1,740E-01	8,260E-01
918		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,85	5	2,391E-13	3,573E-05	9,698E-08	5,230E-02	9,477E-01
922		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,91	5	2,181E-14	9,593E-06	1,989E-08	2,460E-02	9,754E-01
923		York, Coppergate	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,62	4	1,636E-08	5,298E-04	4,370E-04	7,632E-01	2,359E-01
924		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,98	5	7,404E-12	1,211E-08	1,439E-04	1,591E-01	8,408E-01
930		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,98	5	5,122E-16	1,799E-07	4,385E-09	7,528E-03	9,925E-01
938		York, Coppergate	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,74	4	3,901E-07	3,075E-04	5,827E-03	9,263E-01	6,758E-02
939		York, Coppergate	südliche Nordsee	1,00	5	1,774E-20	8,338E-10	4,012E-12	2,731E-04	9,997E-01
940		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,92	5	9,348E-16	1,822E-05	7,230E-10	8,807E-03	9,912E-01
941		York, Coppergate	südliche Nordsee	0,97	5	4,100E-15	3,529E-07	2,230E-08	1,473E-02	9,853E-01
942		York, Coppergate	südliche Nordsee	1,00	5	1,224E-16	3,407E-09	8,651E-09	4,880E-03	9,951E-01
632		Dendermonde, Grote Markt	südliche Nordsee	1,00	5	5,883E-19	8,650E-10	1,098E-10	8,603E-04	9,991E-01
633		Dendermonde, Grote Markt	südliche Nordsee	1,00	5	1,476E-18	1,688E-09	1,866E-10	1,156E-03	9,988E-01
600		Ghent, Black Layer	südliche Nordsee	1,00	5	6,308E-19	3,209E-11	6,375E-10	9,053E-04	9,991E-01
603		Ghent, Black Layer	südliche Nordsee	0,89	5	4,182E-15	3,558E-05	2,122E-09	1,426E-02	9,857E-01
611		Mechelen, Minderbroedersklooster	südliche Nordsee	0,55	4	7,511E-09	9,142E-05	5,859E-04	7,023E-01	2,971E-01
617		Mechelen, Minderbroedersklooster	südliche Nordsee	0,58	4	7,426E-07	1,865E-06	1,115E-01	8,477E-01	4,081E-02
620		Mechelen, Minderbroedersklooster	südliche Nordsee	0,98	5	5,244E-15	1,828E-07	3,949E-08	1,604E-02	9,840E-01
623		Mechelen, Minderbroedersklooster	südliche Nordsee	0,86	5	3,386E-11	8,181E-06	2,036E-05	2,327E-01	7,673E-01
624		Mechelen, Minderbroedersklooster	nördliches Norwegen & nord-östlicher Atlantik	0,61	4	7,024E-08	1,630E-04	2,359E-03	8,602E-01	1,373E-01

Tabelle A114: Übersicht über die Isotopendaten der Menschen aus Resmo (Linderholm et al., 2014) mit zugehöriger Phaseneinteilung, sowie Einstufung als lokal/nicht-lokal gemäß Linderholm et al. (2014). Es erfolgte z. T. eine Messung mehrerer Proben desselben Individuums.

Individuum	Alter	Probennr.	Probe	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	Phase	lokal?
1	Adultas	RES 084	M2	-18,1	12,5	10,8	1	ja
1	Adultas	RES 148	Mandibula	-18,3	12,4	10,4	1	ja
2	Adultas	RES 003	Mandibula	-18,9	12,3	10,2	1	nein
3	Infans	RES 008	dm1	-19,3	12,5	8,1	2	nein
3	Infans	RES 065	Mandibula	-19,6	11,3	9,2	2	nein
6	Infans	RES 088	M1	-18,8	12,7	9,9	1	ja
6	Infans	RES 011	Mandibula	-18,8	11,7	10,4	1	ja
8	Adultas	RES 090	M1	-19,5	12,4	8,8	1	ja
8	Adultas	RES 091	M2	-18,6	13,0	9,8	1	ja
8	Adultas	RES 022	Mandibula	-18,4	12,5	10,5	1	ja
9	Infans	RES 153	Mandibula	-20,3	12,2	8,6	2	ja
10	Adultas	RES 048	Mandibula	-19,2	11,8	10,3	1	nein
11	Juvenis	RES 025	Mandibula	-19,0	11,1	10,9	2	ja
12	Adultas	RES 096	M3	-17,5	13,3	12,5	2	ja
12	Adultas	RES 044	Mandibula	-18,1	13,0	13,4	2	ja
13	Adultas	RES 130	M2	-19,8	10,2	6,9	3	nein
13	Adultas	RES 131	M3	-19,6	9,6	5,1	3	nein
13	Adultas	RES 026	Mandibula	-19,6	10,5	5,4	3	nein
14	Adultas	RES 071	Mandibula	-19,1	12,5	9,9	1	ja
15	Juvenis	RES 097	M1	-18,1	14,7	10,1	2	nein
15	Juvenis	RES 098	M2	-18,5	12,3	10,4	2	nein
15	Juvenis	RES 132	M3	-18,9	12,5	8,8	2	nein
16	Adultas	RES 166	Mandibula	-19,3	11,4	9,6	2	nein
17	Adultas	RES 103	M2	-19,9	10,0	6,0	3	nein
17	Adultas	RES 049	Mandibula	-19,8	9,7	6,2	3	nein
18	Adultas	RES 105	M1	-20,3	9,9	13,6	3	ja
18	Adultas	RES 106	M2	-20,8	8,8	12,8	3	ja
18	Adultas	RES 107	M3	-19,6	10,5	9,3	3	ja
18	Adultas	RES 033	Mandibula	-19,5	10,6	9,2	3	ja
19	Infans	RES 108	dm1	-19,4	13,4	7,3	2	nein
19	Infans	RES 170	Mandibula	-20,7	12,2	8,8	2	nein
20	Adultas	RES 109	M1	-18,0	13,2	12,5	2	ja
20	Adultas	RES 110	M2	-18,2	14,0	12,5	2	ja
21	Adultas	RES 111	M1	-18,7	12,0	9,5	2	ja

Fortsetzung von Tabelle A114

Individuum	Alter	Probennr.	Probe	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	Phase	lokal?
21	Adultas	RES 112	M2	-20,8	10,8	11,3	2	ja
21	Adultas	RES 052	Mandibula	-18,3	13,0	10,3	2	ja
22	Adultas	RES 175	Mandibula	-19,7	10,4	11,4	3	ja
23	Adultas	RES 114	M1	-20,6	9,6	11,5	3	ja
23	Adultas	RES 115	M2	-20,0	9,5	9,6	3	ja
24	Adultas	RES 117	M1	-20,9	9,2	10,8	3	ja
24	Adultas	RES 248	Mandibula	-21,0	9,4	10,8	3	ja
26	Adultas	RES 135	M1	-19,9	9,7	5,6	3	nein
26	Adultas	RES 136	M2	-20,1	9,6	6,1	3	nein
26	Adultas	RES 058	Mandibula	-19,8	9,5	7,0	3	nein
27	Adultas	RES 120	M2	-19,9	9,4	7,7	3	nein
27	Adultas	RES 121	M3	-20,1	9,6	7,8	3	nein
27	Adultas	RES 078	Mandibula	-19,9	10,0	8,8	3	nein
28	Adultas	RES 122	M1	-20,2	9,8	8,3	3	nein
28	Adultas	RES 123	M2	-20,1	9,7	7,7	3	nein
28	Adultas	RES 062	Mandibula	-20,0	10,6	7,9	3	nein
29	Adultas	RES 064	Mandibula	-18,3	13,0	9,6	1	nein
30	Adultas	RES 137	M3	-19,4	10,3	7,4	3	nein
30	Adultas	RES 042	Mandibula	-20,0	10,3	8,2	3	nein
31	Infans	RES 163	Femur	-18,7	13,7	9,0	3	nein

Tabelle A115: GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „EVV“-Modell (Scruc-
ca et al., 2016) für die Menschen aus Resmo (Linderholm et al., 2014).

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
RES 003	RES 044	RES 026
RES 008	RES 096	RES 033
RES 011	RES 109	RES 042
RES 022	RES 110	RES 049
RES 025	RES 112	RES 058
RES 048	RES 117	RES 062

Fortsetzung von Tabelle A115

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
RES 052	RES 175	RES 078
RES 064	RES 248	RES 103
RES 065		RES 105
RES 071		RES 106
RES 084		RES 107
RES 088		RES 114
RES 090		RES 115
RES 091		RES 120
RES 097		RES 121
RES 098		RES 122
RES 108		RES 123
RES 111		RES 130
RES 132		RES 131
RES 148		RES 135
RES 153		RES 136
RES 163		RES 137
RES 166		
RES 170		

Tabelle A116: Mittelwert (μ) und Standardabweichung (SD) für die GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „EVV“-Modell (Scrucca et al., 2016) der Menschen aus Resmo (Linderholm et al., 2014).

μ	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	-19,0	-19,3	-19,9
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	12,4	11,7	9,9
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	9,6	11,9	8,1
SD	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	0,6	1,3	0,4
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	0,8	1,7	0,5
$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	0,9	0,8	2,4

Tabelle A117: Clusterzuweisung für die GMM-Clusteranalyse der Menschen aus Resmo mit farbiger Kodierung der drei Zeitphasen aus Resmo (Linderholm et al., 2014). Phase 1: orange, Phase 2: grün, Phase 3: violett.

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Subject 1	Subject 12	Subject 13
Subject 2	Subject 20	Subject 17
Subject 3	Subject 21	Subject 18
Subject 6	Subject 22	Subject 23
Subject 8	Subject 24	Subject 26
Subject 9		Subject 27
Subject 10		Subject 28
Subject 11		Subject 30
Subject 14		
Subject 15		
Subject 16		
Subject 19		
Subject 21		

Fortsetzung von Tabelle A117

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Subject 29		
Subject 31		

Tabelle A118: Approximation des „sea spray“-Effektes in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Werten (aufsteigend sortiert) der Säuger aus Tornio und Oulu (Finnland; sh. Abbildung 63 Lahtinen & Salmi, 2018). Fett gedruckt sind die beiden extremsten Herbivoren des Datensatzes. Die untere marine Grenze ist grau hinterlegt. Der approximierte, minimale „sea spray“-Effekt ist in rot gekennzeichnet.

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	m	Δ	$\Delta[\%]$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ korrigiert
Rind	OKAJA-1-C	-23,1	-0,1	-0,1		-22,7
Phocidae	TOKE-SY39	-23,0				
Schneehase	OPIK-4-H	-22,8	0		0,0	-22,8
Schneehase	OKAJA-4-H	-22,4	0,1	0,6	2,7	-22,9
Rind	OPIK-1-C	-22,3	0,1	0,7	3,1	-22,9
Schwein	OKAJA-3-P	-22,3	0,1	0,7	3,1	-22,9
Schaf/Ziege	OKAJA-2-S	-22,0	0,2	1,0	4,5	-23,0
Schaf/Ziege	OPIK-2-S	-21,7	0,3	1,3	6,0	-23,0
Schwein	OPIK-3-P	-21,7	0,3	1,3	6,0	-23,0
Ren	TOKE-4023	-21,2	0,4	1,8	8,5	-23,1
Ren	ROTI-1458	-20,1	0,7	2,9	14,4	-23,1
Ren	OFRA-1-D	-19,6	0,8	3,4	17,3	-23,1
Ren	TOKE-SY22P	-19,0	1	4,0	21,1	-23,0
Phocidae	OPIK-6-S	-17,4				
Phocidae	TOKE-SY7H	-17,3				
Phocidae (Seehund)	TOKE-4042	-17,2				
Phocidae	TOKE-SY22S	-17,0				

Tabelle A119: Approximation des „sea spray“-Effektes in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Werten (aufsteigend sortiert) der Säuger aus Stavanger (Norwegen; sh. Abbildung 63 van der Sluis et al., 2016). Fett gedruckt sind die beiden extremsten Herbivoren des Datensatzes. Die untere marine Grenze ist grau hinterlegt. Der approximierte, minimale „sea spray“-Effekt ist in rot gekennzeichnet.

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	m	Δ	$\Delta[\%]$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ korrigiert
Rind	BER-2	-22,3	0			-22,3
Rind	BER-2 dm	-22,3	0			-22,3
Rind	BER-10 dm	-22,0	0,0			-22,0
Schwein	BER-4	-21,9	0,0			-22,0
Schwein	BER-4 dm	-21,8	0,1			-21,9
Schwein	BER-3	-21,6	0,1			-21,7
Schwein	BER-3 dm	-21,6	0,1			-21,7
Katze	BER-5 dm	-17,9	0,5			-18,4
Katze	BER-5	-17,8	0,5			-18,3
Seehund	BER-1 d	-13,7	0,9			
Seehund	BER-1 dm	-13,7	0,9			
Seehund	BER-1	-13,6	0,9			
Seehund	BER-1 d dm	-13,6	0,9			
Rind	BER-2d	-13,1	1,0	0,5	-3,8	-13,9
Rind	BER-2d dm	-12,8	1	0,8	-6,2	-13,6

Tabelle A120: Approximation des „sea spray“-Effektes in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Werten (aufsteigend sortiert) der Säuger aus Ridanäs (Schweden; sh. Abbildung 63 Kosiba et al., 2007). Fett gedruckt sind die beiden extremsten Herbivoren des Datensatzes. Die untere marine Grenze ist grau hinterlegt. Der approximierte, minimale „sea spray“-Effekt ist in rot gekennzeichnet.

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	m	Δ	$\Delta[\%]$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ korrigiert
Hase	USF-522	-21,0	0			-21,0
Phoca	USF-521	-18,5				
Katze	USF-520	-17,7	0,67	0,8	4,5	-19,5

Fortsetzung von Tabelle A120

Spezies	Probennr.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	m	Δ	$\Delta[\%]$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ korrigiert
Schwein	USF-515	-17,0	0,82	1,5	8,8	-19,1
Schaf	USF-516	-16,6	0,90	1,9	11,4	-18,8
Rind	USF-514	-16,1	1	2,4	14,9	-18,5
Phocoena	USF-518	-15,8				

Tabelle A121: Approximation des „sea spray“-Effektes in den $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten (aufsteigend sortiert) der Säuger aus Norsminde (Dänemark; sh. Abbildung 64 Craig et al., 2006). Fett gedruckt sind die beiden extremsten Herbivoren des Datensatzes. Die untere marine Grenze ist grau hinterlegt. Der approximierte, minimale „sea spray“-Effekt ist in rot gekennzeichnet.

Spezies	Probennr.	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	m	Δ	$\Delta[\%]$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ korrigiert
Hund	1734 PEZ	8,4				3,3
Hund	1734 NKJ	8,7				3,8
Hund	1734 RFK	9,6				5,3
Hund	1734 YAQ	9,6				5,3
Hund	1734 TFE	10,4				6,9
Hund	1734 NAK	10,5				7,2
Kegelrobbe	1734 QAR	10,7	-1,1			
Kegelrobbe	1734 RJL	11,4	-0,7			
Rothirsch	1734 PBC	12,8	0	2,1	16,4	12,8
Rothirsch	1734 TQM	14,8	1	4,1	27,7	10,7
Kegelrobbe	1734 BRSN	14,9	1,1			
Kegelrobbe	1734 QDG	15,4	1,3			
Kegelrobbe	1734 TPG	17,4	2,3			

Tabelle A122: Approximation des „sea spray“-Effektes in den $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten der Säuger aus Stavanger (Norwegen; sh. Abbildung 64 van der Sluis et al., 2016). Fett gedruckt sind die für die Berechnung des marine Einflusses verwendeten Individuen. Die untere marine Grenze ist grau hinterlegt. Der approximierte, minimale „sea spray“-Effekt ist in rot gekennzeichnet.

Spezies	Probennr.	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	m	Δ	$\Delta[\%]$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ korrigiert
Schwein	BER-4	15,0	0			15,0
Schwein	BER-3	16,8	0,5			16,0
Seehund	BER-1	17,0	0,5			
Katze	BER-5	18,4	0,9	1,4	7,6	16,8
Rind	BER-2	18,9	1	1,9	10,1	17,0
Rind	BER-2 dm	18,9	1	1,9	10,1	17,0

Tabelle A123: Approximation des limnischen Einflusses in den $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten der Säuger aus Resmo (Schweden; Linderholm et al., 2014). Die Individuen sind sortiert nach ansteigenden $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten. Marine Säuger sind grau hinterlegt. Der prozentuale Unterschied ($\Delta(\%)$) zur Berechnung des limnischen Einflusses auf die $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte ist mittels Formel 95 berechnet worden. Der approximierte limnische Einfluss ist in rot gekennzeichnet. Die Korrektur der $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte erfolgt auf Grundlage dieses approximierten Wertes und Formel 95.

Spezies	Probennr.	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	Δ	$\Delta[\%]$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ korrigiert
Schneehase	KOP 184	1,8	10,5			1,1
Schneehase	KOP 114	2,2	13,6			1,4
Schneehase	KOP 105	3,3	7,8			2,1
Schwein	KOP 151	3,4	6,6			2,2
Elch	KOP 162	4,1	12,0			2,6
Schwein	KOP 156	4,3	8,5			2,7
Rind	KOP 186	4,4	10			2,8
Elch	KOP 142	4,5	11,6			2,9
Reh	KOP 116	4,5	8,7			2,9
Schwein	RES 143	5,3	2,1			3,4
Elch	KOP 194	5,5	10,4			3,5

Fortsetzung von Tabelle A123

Spezies	Probennr.	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	Δ	$\Delta[\%]$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ korrigiert
Schneehase	RES 146	6,3	10,0			4,0
Rind	KOP 164	6,5	11,0			4,1
Schaf/Ziege	RES 144	6,5	8,1			4,1
Schaf/Ziege	KOP 183	6,7	8,3			4,3
Rind	RES 128	7,3	6,4	0,9	12,3	4,7
Schneehase	RES 125	7,4	10,1			4,7
Schwein	RES 126	7,5	7,3			4,8
Rind	RES 182	8,1				5,2
Rind	RES 188	8,2	7,3	0,9	11,0	5,2
Baumwärdar	KOP 165	8,6	10,6			5,5
Schaf/Ziege	RES 127	9,1	5,8	3,3	36,3	5,8
Rotfuchs	KOP 102	10,7	9,5			6,8
Hund	TOR 30	10,9	7,7			6,9
Ringelrobbe	KOP 180	11,2	13,6			
Schweinswal	KOP 169	12,0	14,6			
Schweinswal	KOP 166	12,5	15,5			
Schweinswal	KOP 157	12,7	14,3			
Ringelrobbe	KOP 179	12,9	14,6			
Hund	RES 154	13,1	7,3			8,3
Sattelrobbe	KOP 093	13,3	16			
Hund	KOP 108	14,4	15,4			9,2
Hund	RES 155	14,4	12,1			9,2
Hund	KOP 106	14,5	13,3			9,2
Hund	RES 147	14,5	13,2			9,2
Hund	KOP 107	14,7	15,7			9,4

Tabelle A124: Säuger aus Björned (Schweden; Linderholm et al., 2008b) sortiert nach ansteigenden $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten. Marine Säuger sind grau hinterlegt. Eine Approximation des limnischen Einflusses ist hier aufgrund negativer $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte (rot markiert) nicht sinnvoll.

Spezies	Kontextnr.	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$
Hase	-	1,6	9,8
Schaf/Ziege	A49	3,3	
Pferd	F434	4,3	
Rind	F194	4,4	-3,2
Schaf/Ziege	F154	7,8	-1,1
Schwein	F921	9,7	17,1
Seehund	F965	13,3	12,6

A.3 Abbildungsverzeichnis

1	Modell zur Darstellung der wichtigsten, aufeinander aufbauenden KDD-Schritte.	20
2	Karte von Haithabu und Schleswig an der Schlei in unmittelbarer Nähe zur Ostsee.	26
3	Karte der Ostseeregion mit farbig eingetragener Salinität (in PSU) des Meerwassers.	31
4	Oberflächentemperatur (in °C) des Meerwassers in Europa.	32
5	Plot der resultierenden k-means-Cluster für den skalierten, vier-dimensionalen Datensatz I. Geclustert wurden hierbei nur Fische aus Haithabu und Schleswig.	73
6	Paarweiser, bivariater Plot der resultierenden drei GMM-Cluster des „EII“-Modells für den vier-dimensionalen Datensatz I. Geclustert wurden hierbei nur Fische aus Haithabu und Schleswig.	76
7	Paarweiser, bivariater Plot zur Darstellung der Cluster-Unsicherheit der resultierenden drei GMM-Cluster des „EII“-Modells für den vier-dimensionalen Datensatz I. Geclustert wurden hierbei nur Fische aus Haithabu und Schleswig.	78
8	Paarweiser, bivariater Plot der resultierenden, optimalen vier GMM-Cluster des „EII“-Modells für den vier-dimensionalen Datensatz I. Geclustert wurden hierbei nur Fische aus Haithabu und Schleswig.	81
9	Paarweiser, bivariater Plot zur Darstellung der Cluster-Unsicherheit der resultierenden, optimalen vier GMM-Cluster des „EII“-Modells für den vier-dimensionalen Datensatz I. Geclustert wurden hierbei nur Fische aus Haithabu und Schleswig.	82

10	„Ranking“ mittels ARI mit Kontrollgruppe im Datensatz (a) I, (b) II, (c) III und (d) IV für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.	86
11	„Ranking“ mittels Distanz-basierter Entropie für die verwendeten Testdatensätze (a) T1, (b) T2, (c) T3 und (d) T4.	93
12	„Ranking“ mittels Distanz-basierter Entropie im Datensatz (a) I und (b) III für die terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig.	98
13	„Ranking“ mittels Distanz-basierter Entropie im Datensatz (a) I und (b) III für die terrestrischen, herbivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig.	101
14	„Ranking“ mittels Distanz-basierter Entropie im Datensatz I für die Fische aus Haithabu und Schleswig.	103
15	„Ranking“ mittels Distanz-basierter Entropie im Datensatz I für die Vögel aus Haithabu und Schleswig.	105
16	„Ranking“ mittels Distanz-basierter Entropie im Datensatz (a) I, (b) II, (c) III und (d) IV für die mindestens adulte Menschen aus Haithabu und Schleswig.	107
17	Paarweiser, bivariater Plot der resultierenden drei GMM-Cluster des „VEI“-Modells für den vier-dimensionalen Datensatz I. Geclustert wurden hierbei nur terrestrische herbivore Säuger, sowie marine Säuger aus Haithabu und Schleswig.	116
18	Paarweiser, bivariater Plot der resultierenden drei GMM-Cluster des „VEI“-Modells für den fünf-dimensionalen Datensatz II. Geclustert wurden hierbei nur terrestrische herbivore Säuger, sowie marine Säuger aus Haithabu und Schleswig.	117
19	Paarweiser, bivariater Plot der resultierenden drei GMM-Cluster des „VEI“-Modells für den fünf-dimensionalen Datensatz III.	118

20	Terrestrischer bzw. mariner Einfluss (vgl. Abschnitt 5.3.2) im Isotopenwert wildlebender terrestrischer, herbivorer und mariner Säuger für (a) $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$, (b) $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, (c) $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$, (d) $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, (e) $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ und (f) $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	122
21	Aufsteigend sortierte $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte von Rothirschen und Rotfüchsen aus Haithabu und Schleswig.	123
22	Vergleich des unkorrigierten mit dem gegen den „sea spray“-Effekt korrigierten Isotopenwert je nach Istopensystem.	128
23	Paarweiser, bivariater Plot der resultierenden drei GMM-Cluster des „VEI“-Modells für den vier-dimensionalen Datensatz I nach „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten. Geclustert wurden hierbei nur terrestrische herbivore Säuger, sowie marine Säuger aus Haithabu und Schleswig.	130
24	Paarweiser, bivariater Plot der resultierenden drei GMM-Cluster des „VEI“-Modells für den fünf-dimensionalen Datensatz II nach „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten. Geclustert wurden hierbei nur terrestrische herbivore Säuger, sowie marine Säuger aus Haithabu und Schleswig.	131
25	Paarweiser, bivariater Plot der resultierenden drei GMM-Cluster des „VEI“-Modells für den fünf-dimensionalen Datensatz III nach „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werten. Geclustert wurden hierbei nur terrestrische herbivore Säuger, sowie marine Säuger aus Haithabu und Schleswig.	132
26	Übersicht über die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig und die potenziellen Nahrungsquellen.	135
27	Von „SISUS“ bestimmtes Mischungspolygon mit (a) vier Nahrungskomponenten (Modell I) bzw. (b) fünf Nahrungskomponenten (Modell II). . .	136

28	„sea spray“-Korrektur der Isotopensysteme der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig unter Verwendung der von „SISUS“ berechneten, mittleren terrestrischen (Modell I) Nahrungsanteile.	138
29	„sea spray“-Korrektur der Isotopensysteme der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig unter Verwendung der von „SISUS“ berechneten, mittleren terrestrischen (Modell II) Nahrungsanteile.	139
30	„sea spray“-Korrektur der Isotopensysteme der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig unter Verwendung der von „simmr“ berechneten, mittleren terrestrischen (Modell I) Nahrungsanteile.	141
31	„sea spray“-Korrektur der Isotopensysteme der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig unter Verwendung der von „simmr“ berechneten, mittleren terrestrischen (Modell II) Nahrungsanteile.	142
32	„sea spray“-Korrektur der Isotopensysteme der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig unter Verwendung der von „MixSIAR“ berechneten, mittleren terrestrischen (Modell I) Nahrungsanteile.	144
33	„sea spray“-Korrektur der Isotopensysteme der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig unter Verwendung der von „MixSIAR“ berechneten, mittleren terrestrischen (Modell II) Nahrungsanteile.	145
34	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ - und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte der terrestrischen und marinen Säuger (Datensatz II) aus Haithabu und Schleswig.	150
35	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ - und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte der terrestrischen und marinen Säuger (Datensatz II) aus Haithabu und Schleswig nach „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten (a) ohne und (b) mit Berücksichtigung des marinen Einflusses.	152
36	Paarweiser, bivariater Plot des „VEI“-Modells mit einer festgesetzten Clusterzahl von zwei für die terrestrischen herbivoren Säuger, sowie marinen Säuger (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig nach „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten.	155

- 37 Paarweiser, bivariater Plot des „VEI“-Modells mit einer festgesetzten Clusterzahl von zwei für die terrestrischen herbivoren Säuger, sowie marinen Säuger (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig nach „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten, sowie Korrektur gegen den limnischen Einfluss in den $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten. 156
- 38 Biplot der ersten beiden Hauptkomponenten für den Teildatensatz der Fische (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig. Farbig markiert sind die für die Individuen auf archäozoologischer Grundlage vermuteten Habitate. 159
- 39 Biplot der ersten und dritten Hauptkomponenten für den Teildatensatz der Fische (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig. Farbig markiert sind die für die Individuen auf archäozoologischer Grundlage vermuteten Habitate. 159
- 40 Biplot der ersten beiden Hauptkomponenten für den Teildatensatz der Fische (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig. Farbig markiert sind die vier mittels GMM-Clusteranalyse detektierten Cluster. 161
- 41 Biplot der ersten und dritten Hauptkomponenten für den Teildatensatz der Fische (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig. Farbig markiert sind die vier mittels GMM-Clusteranalyse detektierten Cluster. 161
- 42 Biplot der ersten beiden Hauptkomponenten für den Teildatensatz der terrestrischen, herbivoren und marinen Säuger (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig. Farbig markiert ist das Habitat (terrestrisch vs. marin) der untersuchten Individuen. 163
- 43 Biplot der ersten beiden Hauptkomponenten für den Teildatensatz der terrestrischen, herbivoren und marinen Säuger (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig. Farbig markiert sind die drei mittels GMM-Clusteranalyse detektierten Cluster. 164

44	Zuordnung der terrestrischen, herbivoren und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig mittels SVM mit linearem Kern („vanilladot“), polynomialem (quadratischem) Kern („polydot“) und Radial-Basiskern Kern („rbfdot“) im Trainings- und Testdatensatz.	168
45	Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (x) und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (y) in allen terrestrischen, sowie allen marinen Säugern (a) vor und (b) nach der „sea spray“-Korrektur.	171
46	Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (x) und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (y) in terrestrischen Herbivoren, Carnivoren und Omnivoren (a) vor und (b) nach der „sea spray“-Korrektur.	173
47	Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (x) und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (y) in wildlebenden und domestizierten, terrestrischen Säugern (a) vor und (b) nach der „sea spray“-Korrektur.	175
48	Vergleich der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte der herbivoren, carnivoren und omnivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig (a) vor und (b) nach der „sea spray“-Korrektur.	179
49	Vergleich der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte der wildlebenden und domestizierten Säuger aus Haithabu und Schleswig (a) vor und (b) nach der „sea spray“-Korrektur.	180
50	Vergleich der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte der wildlebenden und domestizierten Säuger aus Haithabu und Schleswig im Hinblick auf ihre Ernährungsweise (herbivor, carnivor, omnivor) (a) vor und (b) nach der „sea spray“-Korrektur.	181
51	Vergleich der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Grasfresser und Laubfresser aus Haithabu und Schleswig (a) vor und (b) nach der „sea spray“-Korrektur.	183
52	Vergleich der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Wiederkäuer aus Haithabu und Schleswig (a) vor und (b) nach der „sea spray“-Korrektur.	184
53	Vergleich der $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte ausgewählter herbivorer (H), carnivorer (C) und omnivorer (O) Spezies aus Haithabu und Schleswig (a) vor und (b) nach der „sea spray“-Korrektur.	186

54	Überblick zur Erklärung des „sea spray“-Einflusses auf $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	206
55	Von „SISUS“ bestimmtes Mischungspolygon mit (a) vier Nahrungskomponenten bzw. (b) fünf Nahrungskomponenten für die Individuen RM 143 und RM 214.	221
56	Von „SISUS“ bestimmtes Mischungspolygon mit (a) vier bzw. (b) fünf Nahrungskomponenten für das Individuum SC 229.	224
57	Simuliertes Mischungspolygon für das Mischungsmodell mit (a) vier bzw. (b) fünf Nahrungskomponenten.	226
58	Bivariater Plot der resultierenden drei (a) GMM-Cluster des „VEE“-Modells, sowie der (b) Zurechnungswahrscheinlichkeiten für die drei Cluster für den Fisch-Datensatz von Orton et al. (2011).	255
59	Bivariater Plot der resultierenden, optimalen fünf (a) GMM-Cluster des „VII“-Modells, sowie der (b) Zurechnungswahrscheinlichkeiten für die fünf Cluster für den Fisch-Datensatz von Orton et al. (2011).	257
60	Gegenüberstellung der (a) fünf Kontrollgruppen und des (b) Ergebnisses der GMM-Clusteranalyse für den Fisch-Datensatz aus Barrett et al. (2011).	258
61	Paarweiser, bivariater Plot der resultierenden drei GMM-Cluster des „EVV“-Modells für den drei-dimensionalen Datensatz von Linderholm et al. (2014). Geclustert wurden hierbei nur Menschen aus Resmo (Schweden).	259
62	Vergleichsorte für Haithabu und Schleswig mit farblicher Kennzeichnung der Orte, für die ein „sea spray“-Effekt approximiert werden konnte.	262
63	Vergleichsorte für Haithabu und Schleswig mit „sea spray“-Signal in $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	263
64	Vergleichsorte für Haithabu und Schleswig mit „sea spray“-Signal in $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$	266
A1	Bivariater Plot der Isotopenwerte der Fische aus Haithabu und Schleswig im Hinblick auf das jeweils mögliche (erwartete) Habitat.	311
A2	Bivariater Plot der Isotopenwerte der Fische aus Haithabu und Schleswig im Hinblick auf die untersuchten Spezies.	311

A3	Übersicht über die bei variierender Clusterzahl bestimmten BIC-Werte für den Teildatensatz der Fische aus Haithabu und Schleswig.	312
A4	Übersicht über die durch Wahl der unterschiedlichen „mclust“-Modelle (vgl. Tabelle A8) bei variierender Clusterzahl bestimmten $BIC_{M,G}$ -Werte für den Teildatensatz der Fische aus Haithabu und Schleswig.	312
A5	Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster der Kontrollgruppe („1234“) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten vier-dimensionalen Datensatzes I.	313
A6	Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster nach Entfernen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ („124“) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes I.	314
A7	Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster der Kontrollgruppe („12345“) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten fünf-dimensionalen Datensatzes II.	315
A8	Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster nach Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ („1235“) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes II.	316
A9	Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster der Kontrollgruppe („12346“) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten fünf-dimensionalen Datensatzes III.	317
A10	Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster nach Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ („1234“) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes III.	318
A11	Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster der Kontrollgruppe („12347“) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten fünf-dimensionalen Datensatzes IV.	319
A12	Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster nach Entfernen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ („2347“) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes IV.	320

A13	Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster nach Entfernen von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ („1347“) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes IV.	321
A14	Streudiagramme der verwendeten Testdatensätze (a) T1, (b) T2, (c) T3 und (d) T4.	322
A15	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten vier-dimensionalen Datensatzes I.	323
A16	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes I nach Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	324
A17	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten fünf-dimensionalen Datensatzes III.	325
A18	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes III nach Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	326
A19	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die terrestrischen, herbivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten vier-dimensionalen Datensatzes I.	327
A20	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die terrestrischen, herbivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes I nach Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	328
A21	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die terrestrischen, herbivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten fünf-dimensionalen Datensatzes III.	329
A22	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die terrestrischen, herbivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes III nach Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$	330

A23	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die Fische aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten vier-dimensionalen Datensatzes I.	331
A24	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die Fische aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes I nach Entfernen von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	332
A25	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die Fische aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes I nach Entfernen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	333
A26	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die Vögel aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten vier-dimensionalen Datensatzes I.	334
A27	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die Vögel aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes I nach Entfernen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$	335
A28	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten vier-dimensionalen Datensatzes I.	336
A29	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes I nach Entfernen von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	337
A30	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten fünf-dimensionalen Datensatzes II.	338
A31	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes II nach Entfernen von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	339

A32	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten fünf-dimensionalen Datensatzes III.	340
A33	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes III nach Entfernen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$	341
A34	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten fünf-dimensionalen Datensatzes IV.	342
A35	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes IV nach Entfernen von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$	343
A36	Dichtekurven bezüglich der $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ - bzw. $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte aller marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig zur Ermittlung der unteren marinen Grenze.	344
A37	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die mindes- tens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des fünf- dimensionalen Datensatzes II (Modell I).	345
A38	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die min- destens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des fünf-dimensionalen Datensatzes II nach „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten („SISUS“, Modell I). .	346
A39	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die min- destens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des fünf-dimensionalen Datensatzes II nach „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ - und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten („simmr“, Modell I). .	347

A40	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des fünf-dimensionalen Datensatzes II nach „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat-}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat-}}$ und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen-}}$ -Werten („MixSIAR“, Modell I).	348
A41	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des fünf-dimensionalen Datensatzes II (Modell II).	349
A42	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des fünf-dimensionalen Datensatzes II nach „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat-}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat-}}$ und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen-}}$ -Werten („SISUS“, Modell II).	350
A43	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des fünf-dimensionalen Datensatzes II nach „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat-}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat-}}$ und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen-}}$ -Werten („simmr“, Modell II).	351
A44	Paarweiser, bivariater Plot der optimalen GMM-Cluster für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des fünf-dimensionalen Datensatzes II nach „sea spray“-Korrektur in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat-}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat-}}$ und $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen-}}$ -Werten („MixSIAR“, Modell II).	352
A45	Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster nach Entfernen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ („1246“) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes III.	353
A46	Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster nach Entfernen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ („1247“) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes IV.	354
A47	Paarweiser, bivariater Plot der GMM-Cluster nach Entfernen von $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ („1234“) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle des normalisierten Datensatzes IV.	355

- A48 Berechnete Wahrscheinlichkeit, mit der die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle von Modell I innerhalb des für das Modell simulierten Mischungspolygons liegen. 356
- A49 Berechnete Wahrscheinlichkeit, mit der die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle von Modell II innerhalb des für das Modell simulierten Mischungspolygons liegen. 356

A.4 Tabellenverzeichnis

1	Übersicht über die in der vorliegenden Arbeit verwendete Isotopendaten.	39
2	Übersicht über die in anderen Mischungsmodellen verwendeten Ansätze, die in „MixSIAR“ implementiert sind.	68
3	Clusterzentren für die Clusteranalyse mittels k-means für die Fische aus Haithabu und Schleswig.	73
4	Mittelwert und Standardabweichung in den Isotopensystemen je GMM-Cluster („EII“, 3 Cluster) für die Fische aus Haithabu und Schleswig. . .	75
5	Mittelwert und Standardabweichung in den Isotopensystemen je GMM-Cluster („EII“, 4 Cluster) für die Fische aus Haithabu und Schleswig. . .	80
6	Relevanz und Redundanz für die untersuchten Datensätze der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.	87
7	„Ranking“ mittels Relevanz und Redundanz für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.	89
8	Übersicht über die Evaluationsdatensätze.	94
9	Prozentuale und absolute Anteile herbivorer, carnivorer und omnivorer, terrestrischer Säuger aus Haithabu und Schleswig in den Datensätzen I und III.	96
10	„Feature Ranking“-Ergebnisse, sowie optimaler Trace-Index für die terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig im Datensatz I bzw. III je Dimension.	99
11	„Feature Ranking“- Ergebnisse, sowie optimaler Trace-Index für die terrestrischen, herbivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig im Datensatz I bzw. III je Dimension.	101
12	„Feature Ranking“-Ergebnisse, sowie optimaler Trace-Index für die Fische aus Haithabu und Schleswig im Datensatz I je Dimension.	103

13	„Feature Ranking“-Ergebnisse, sowie optimaler Trace-Index für die Vögel aus Haithabu und Schleswig im Datensatz I je Dimension.	105
14	„Feature Ranking“-Ergebnisse, sowie optimaler Trace-Index für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig in den Datensätzen I - IV je Dimension.	108
15	Übersicht über die umgerechneten Isotopenwerte, sowie die Kohlenstoff- und Stickstoffkonzentrationen der verwendeten Nahrungsquellen.	134
16	Mittlerer, mittels „SISUS“, „simmr“ bzw. „MixSIAR“ berechneter Anteil ($\mu \pm SD$) an Protein aus den Nahrungskomponenten Rind/Schaf/Schwein, Süßwasserfische (GMM), Salzwasserfische (GMM), marine (piscivore) Säuger und Pflanzen für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.	136
17	Übersicht über die durch die Hauptkomponenten erklärte Varianz, sowie die kumulative Varianz für die Fische (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig.	157
18	Ladungen der Hauptkomponenten für die vier Isotopensysteme der Fische (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig.	158
19	Übersicht über die durch die Hauptkomponenten erklärte Varianz, sowie die kumulative Varianz für die terrestrischen, herbivoren und marinen Säuger (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig.	162
20	Ladungen der Hauptkomponenten für die vier Isotopensysteme der terrestrischen, herbivoren und marinen Säuger (Datensatz I) aus Haithabu und Schleswig.	162
21	Vergleich der beiden Verfahren zum „Feature Ranking“ am Beispiel der Datensätze I - IV der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.	197
22	Exemplarischer Vergleich der mit „SISUS“, „simmr“ und „MixSIAR“ berechneten Nahrungsanteile der aus vier bzw. fünf Nahrungskomponenten bestehenden Mischungsmodelle für die Individuen RM 143 und RM 214. .	221

23	Exemplarischer Vergleich der mit „simmr“ und „MixSIAR“ berechneten Nahrungsanteile der aus vier bzw. fünf Nahrungskomponenten bestehenden Mischungsmodelle für das Individuum SC 229.	224
24	Vergleichsorte für Haithabu und Schleswig, bei denen eine Untersuchung auf „sea spray“-Effekt möglich war.	262
A1	Übersicht über den Teildatensatz der Fische aus Haithabu und Schleswig (Datensatz I).	357
A2	Übersicht über den Teildatensatz der terrestrischen, herbivoren und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig (Datensatz I - III).	359
A3	Übersicht über den Teildatensatz der terrestrischen und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig (Datensatz I - III).	363
A4	Übersicht über den Teildatensatz der terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig (Datensatz I und III).	367
A5	Übersicht über den Teildatensatz der terrestrischen, herbivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig (Datensatz I und III).	372
A6	Übersicht über den Teildatensatz der Vögel aus Haithabu und Schleswig (Datensatz I).	375
A7	Übersicht über den Teildatensatz der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig (Datensatz I - IV).	382
A8	Übersicht über die im R-Paket „mclust“ verfügbaren Modelle.	389
A9	Clusterzuweisung für die k-means-Clusteranalyse der Fische aus Haithabu und Schleswig.	390
A10	Clusterzuweisung für die GMM-Clusteranalyse der Fische aus Haithabu und Schleswig („EII“, 3 Cluster).	391
A11	Zuordnungswahrscheinlichkeiten für die in die Cluster 1 bis 3 eingeteilten Fische aus Haithabu und Schleswig.	392
A12	Clusterzuweisung für die GMM-Clusteranalyse der Fische aus Haithabu und Schleswig mit optimaler Clusterzahl von vier Clustern („EII“, 4 Cluster).	394

A13	Zuordnungswahrscheinlichkeiten für die in die Cluster 1 bis 4 eingeteilten Fische aus Haithabu und Schleswig.	395
A14	Trainings- und Testfehler für die ersten 100 erfolgreichen Durchläufe, sowie Mittelwert (μ) und Standardabweichung (SD) für das GMM-Modell der Fische mit drei Clustern.	397
A15	Trainings- und Testfehler für die ersten 100 erfolgreichen Durchläufe, sowie Mittelwert (μ) und Standardabweichung (SD) für das GMM-Modell der Fische mit vier Clustern.	399
A16	Multivariate Ausreißer-Detektion in Datensatz I der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.	401
A17	Multivariate Ausreißer-Detektion in Datensatz II der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.	409
A18	Multivariate Ausreißer-Detektion in Datensatz III der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.	412
A19	Multivariate Ausreißer-Detektion in Datensatz IV der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.	413
A20	Übersicht über die Variablen der vier Testdatensätze.	414
A21	„Feature Ranking“- Ergebnisse der zehn zufälligen Stichproben für die Evaluationsdatensätze.	415
A22	Multivariate Ausreißer-Detektion in Datensatz I der terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig.	416
A23	Ergebnisse der GMM-Clusteranalyse der terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig für den normalisierten, vier-dimensionalen Datensatz I („1234“) verglichen mit dem normalisierten Datensatz I nach Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ („123“).	420
A24	Multivariate Ausreißer-Detektion in Datensatz III der terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig.	422

A25	Ergebnisse der GMM-Clusteranalyse der terrestrischen Säuger aus Haithabu und Schleswig für den normalisierten, fünf-dimensionalen Datensatz III („12345“) verglichen mit dem normalisierten Datensatz III nach Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ („1235“).	425
A26	Multivariate Ausreißer-Detektion in Datensatz I der terrestrischen, herbivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig.	427
A27	Ergebnisse der GMM-Clusteranalyse der terrestrischen, herbivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig für den normalisierten, vier-dimensionalen Datensatz I („1234“) verglichen mit dem normalisierten Datensatz I nach Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ („123“).	430
A28	Multivariate Ausreißer-Detektion in Datensatz III der terrestrischen, herbivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig.	432
A29	Ergebnisse der GMM-Clusteranalyse der terrestrischen, herbivoren Säuger aus Haithabu und Schleswig für den normalisierten, fünf-dimensionalen Datensatz III („12345“) verglichen mit dem normalisierten Datensatz III nach Entfernen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ („1235“).	434
A30	Multivariate Ausreißer-Detektion in Datensatz I der Fische aus Haithabu und Schleswig.	435
A31	Ergebnisse der GMM-Clusteranalyse der Fische aus Haithabu und Schleswig für den normalisierten, vier-dimensionalen Datensatz I („1234“) verglichen mit dem normalisierten Datensatz I nach Entfernen von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ („134“).	437
A32	Ergebnisse der GMM-Clusteranalyse der Fische aus Haithabu und Schleswig für den nicht-normalisierten, vier-dimensionalen Datensatz I verglichen mit dem normalisierten Datensatz I nach Entfernen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ („34“).	439
A33	Multivariate Ausreißer-Detektion in Datensatz I der Vögel aus Haithabu und Schleswig.	440

A34	Ergebnisse der GMM-Clusteranalyse der Vögel aus Haithabu und Schleswig für den normalisierten, vier-dimensionalen Datensatz I („1234“) verglichen mit dem normalisierten Datensatz I nach Entfernen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ („124“).446	
A35	Ergebnisse der GMM-Clusteranalyse der mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig für den normalisierten, fünf-dimensionalen Datensatz IV („12347“) verglichen mit dem normalisierten Datensatz IV nach Entfernen von $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ („1347“).	450
A36	Marginale und partielle Korrelationen zwischen den Isotopensystemen aus Datensatz I.	451
A37	Marginale und partielle Korrelationen zwischen den Isotopensystemen aus Datensatz II.	452
A38	Marginale und partielle Korrelationen zwischen den Isotopensystemen aus Datensatz III.	453
A39	Marginale und partielle Korrelationen zwischen den Isotopensystemen aus Datensatz IV.	454
A40	GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz I.455	
A41	Mittelwert und Standardabweichung für die GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz I.	457
A42	GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz II.457	
A43	Mittelwert und Standardabweichung für die GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz II.	458
A44	GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz III.459	

A45	Mittelwert und Standardabweichung für die GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz III.	460
A46	Aufsteigend sortierte $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Werte der terrestrischen und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig.	461
A47	Aufsteigend sortierte $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werte der terrestrischen und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig.	466
A48	Aufsteigend sortierte $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}$ -Werte der terrestrischen und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig.	472
A49	Aufsteigend sortierte $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte der terrestrischen und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig.	477
A50	Aufsteigend sortierte $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ -Werte der terrestrischen und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig.	482
A51	Aufsteigend sortierte $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werte der terrestrischen und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig.	487
A52	GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz I nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt.	488
A53	Mittelwert und Standardabweichung für die GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz I nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt.	491
A54	GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz II nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt.	491
A55	Mittelwert und Standardabweichung für die GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz II nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt.	492

A56	GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz III nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt.	493
A57	Mittelwert und Standardabweichung für die GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „VEI“-Modell für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz III nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt.	495
A58	Aufsteigend sortierte $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte der Rothirsche und Rotfüchse aus Haithabu und Schleswig.	495
A59	Tiere aus Haithabu und Schleswig sortiert nach ansteigenden $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten.	497
A60	GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „VEI“-Modell für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz I nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt.	499
A61	Mittelwert und Standardabweichung für die GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „VEI“-Modell für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz I nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt.	501
A62	GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „VEI“-Modell für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz I nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt und gegen den limnischen Einfluss.	502
A63	Mittelwert und Standardabweichung für die GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „VEI“-Modell für die terrestrischen, herbivoren Säuger und die marinen Säuger aus Datensatz I nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt und gegen den limnischen Einfluss.	504
A64	Mit Hilfe von „SISUS“ errechnete Anteile der vier Nahrungskomponenten für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig. . . .	505

A65	Mit Hilfe von „SISUS“ errechnete Anteile der fünf Nahrungskomponenten für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.	512
A66	Auflistung der mindestens adulten Individuen, die außerhalb des Mischungspolygons liegen.	518
A67	Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt mittels des mit „SISUS“ errechneten, mittleren terrestrischen Anteils in der Nahrung (Modell I) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.	519
A68	Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt mittels des mit „SISUS“ errechneten, mittleren terrestrischen Anteils in der Nahrung (Modell II) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.	526
A69	Mit Hilfe von „simmr“ errechnete Anteile der vier Nahrungskomponenten für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.	533
A70	Mit Hilfe von „simmr“ errechnete Anteile der fünf Nahrungskomponenten für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.	540
A71	Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt mittels des mit „simmr“ errechneten, mittleren terrestrischen Anteils in der Nahrung (Modell I) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.	546
A72	Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt mittels des mit „simmr“ errechneten, mittleren terrestrischen Anteils in der Nahrung (Modell II) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.	553
A73	Mit Hilfe von „MixSIAR“ errechnete Anteile der vier Nahrungskomponenten für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.	560
A74	Mit Hilfe von „MixSIAR“ errechnete Anteile der fünf Nahrungskomponenten für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.	567
A75	Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt mittels des mit „MixSIAR“ errechneten, mittleren terrestrischen Anteils in der Nahrung (Modell I) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.	573

A76	Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt mittels des mit „MixSIAR“ errechneten, mittleren terrestrischen Anteils in der Nahrung (Modell II) für die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig.	580
A77	GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „EVI“-Modell (Scrucca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II) aus Haithabu und Schleswig (Modell I).	587
A78	Mittelwert und Standardabweichung für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II, Modell I) für die GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „EVI“-Modell.	589
A79	GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „EEE“-Modell für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II) aus Haithabu und Schleswig nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt („SISUS“, Modell I).	590
A80	Mittelwert und Standardabweichung für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II, Modell I) für die GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „EEE“-Modell nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt („simmr“, Modell I).	593
A81	GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „EEI“-Modell für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II) aus Haithabu und Schleswig nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt („simmr“, Modell I).	593
A82	Mittelwert und Standardabweichung für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II, Modell I) für die GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „EEI“-Modell nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt („simmr“, Modell I).	596
A83	GMM-Clusterzuordnung mit vier Clustern und dem „EEI“-Modell für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II) aus Haithabu und Schleswig nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt („MixSIAR“, Modell I).	597

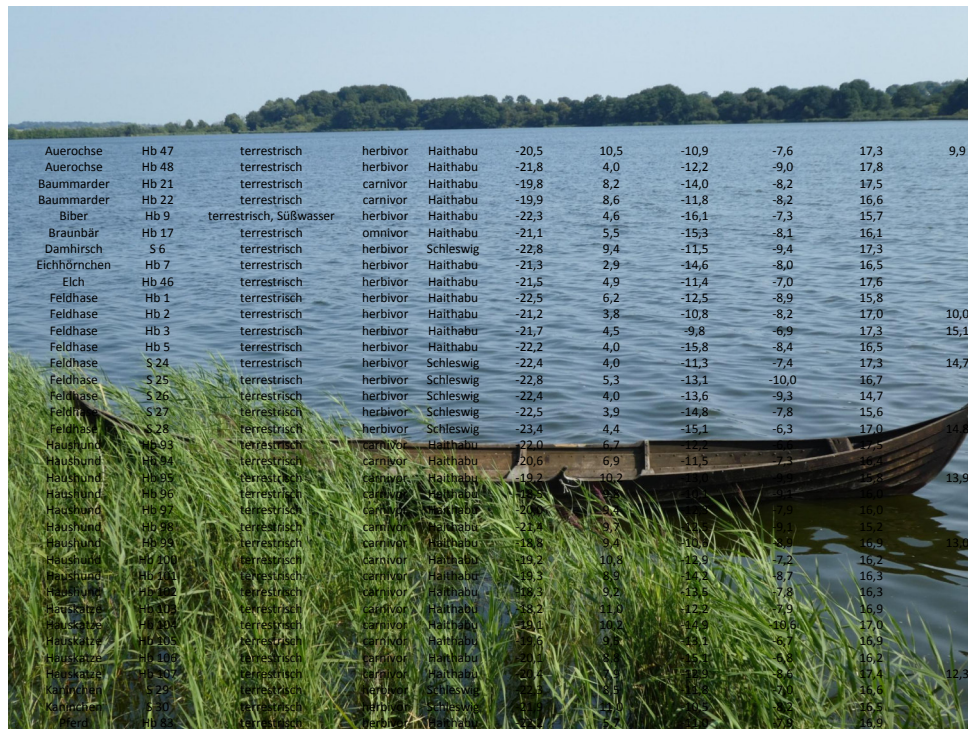
A84	Mittelwert und Standardabweichung für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II, Modell I) für die GMM-Clusterzuordnung mit vier Clustern und dem „EEI“-Modell nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt („MixSIAR“, Modell I).	599
A85	GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „VVE“-Modell (Scruc- ca et al., 2016) für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II) aus Haithabu und Schleswig (Modell II).	599
A86	Mittelwert und Standardabweichung für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II, Modell II) für die GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „VVE“-Modell.	602
A87	GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „EEE“-Modell für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II) aus Haithabu und Schleswig nach Korrektur gegen den „sea spray“ („SISUS“, Modell II).	602
A88	Mittelwert und Standardabweichung für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II, Modell II) für die GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „EEE“-Modell nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt („SISUS“, Modell II).	605
A89	GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „VVI“-Modell für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II) aus Haithabu und Schleswig nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt („simmr“, Modell II).	606
A90	Mittelwert und Standardabweichung für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II, Modell II) für die GMM-Clusterzuordnung mit zwei Clustern und dem „VVI“-Modell nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt („simmr“, Modell II).	608
A91	Mittelwert und Standardabweichung für die mindestens adulten Menschen (Datensatz II, Modell II) für die GMM-Clusterzuordnung mit einem Cluster und dem „XXX“-Modell nach Korrektur gegen den „sea spray“-Effekt („MixSIAR“, Modell II).	609

A92	Zufällig erzeugter Trainingsdatensatz der terrestrischen herbivoren und marinen Säuger (Datensatz I).	609
A93	Zum zufällig erzeugten Trainingsdatensatz korrespondierender Testdatensatz der terrestrischen herbivoren und marinen Säuger (Datensatz I).	612
A94	Zuordnungswahrscheinlichkeit und Klassenzuweisung der terrestrischen herbivoren und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig mittels SVM mit linearem Kern („vanilladot“) im Testdatensatz.	613
A95	Zuordnungswahrscheinlichkeit und Klassenzuweisung der terrestrischen herbivoren und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig mittels SVM mit polynomialem (quadratischem) Kern („polydot“) im Testdatensatz.	615
A96	Zuordnungswahrscheinlichkeit und Klassenzuweisung der terrestrischen herbivoren und marinen Säuger aus Haithabu und Schleswig mittels SVM mit Gauß’scher Radialer Basisfunktion („rbfdot“) im Testdatensatz.	616
A97	Zuordnung der terrestrischen Spezies aus Haithabu und Schleswig in Habitat und Ernährungsweise.	617
A98	Modellparameter für den Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ (x) und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ (y) für die unterschiedlichen Speziesgruppen vor und nach der „sea spray“-Korrektur.	619
A99	Kendall’s Rangkorrelation zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ für die unterschiedlichen Speziesgruppen vor und nach der „sea spray“-Korrektur.	620
A100	Pearson’s Produkt-Moment-Korrelation zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ für die unterschiedlichen Speziesgruppen vor und nach der „sea spray“-Korrektur.	621
A101	Kendall’s Rangkorrelation zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ für ausgewählte Spezies vor und nach der „sea spray“-Korrektur.	622
A102	Pearson’s Produkt-Moment-Korrelation zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ für ausgewählte Spezies vor und nach der „sea spray“-Korrektur.	622

A103	$\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte vor und nach der „sea spray“-Korrektur im Karbonat und Phosphat.	623
A104	Ergebnisse des Wilcoxon Vorzeichen-Rang-Test auf statistische Unterschiede zwischen den $\Delta\delta^{18}\text{O}$ -Werte vor und nach der „sea spray“-Korrektur.	626
A105	Clusterzuweisung für die k-means-Clusteranalyse der Fische aus Haithabu und Schleswig ($k = 3$) mit farbiger Kodierung der Clusterzuweisungen für die GMM-Clusteranalyse ($G = 3$)	627
A106	Clusterzuweisung für die k-means-Clusteranalyse der Fische aus Haithabu und Schleswig ($k = 3$) mit farbiger Kodierung der Clusterzuweisungen für die GMM-Clusteranalyse ($G = 4$).	628
A107	Berechnete Wahrscheinlichkeit, mit der die mindestens adulten Menschen aus Haithabu und Schleswig im Falle von Modell I bzw. Modell II innerhalb der für die beiden Modelle simulierten Mischungspolygone liegen.	629
A108	Übersicht über den Fisch-Datensatz aus Orton et al. (2011).	637
A109	Clusterzuordnung bei der GMM-Clusteranalyse der Daten aus Orton et al. (2011) mit drei bzw. fünf Clustern.	640
A110	Zuordnungswahrscheinlichkeiten in die drei GMM-Cluster für die Daten von Orton et al. (2011) im Vergleich zu den dort berechneten Zuordnungswahrscheinlichkeiten in die Gruppe der lokalen, importieren und transbaltischen Fische.	643
A111	Zuordnungswahrscheinlichkeiten in die fünf GMM-Cluster für die Daten von Orton et al. (2011) im Vergleich zu den dort berechneten Zuordnungswahrscheinlichkeiten in die Gruppe der lokalen, importieren und transbaltischen Fische.	647
A112	Übersicht über die Kontrollgruppen der Fischdaten aus Barrett et al. (2011), sowie eines Teildatensatzes mit vorhergesagter Herkunft und zugehöriger Wahrscheinlichkeit.	650
A113	Clusterzuordnung bei der GMM-Clusteranalyse der Daten aus Barrett et al. (2011) mit fünf Clustern und zugehörige Zuordnungswahrscheinlichkeit.	657

A114	Übersicht über die Isotopendaten der Menschen aus Resmo (Linderholm et al., 2014) mit zugehöriger Phaseneinteilung, sowie Einstufung als lokal/nicht-lokal gemäß Linderholm et al. (2014).	663
A115	GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „EVV“-Modell für die Menschen aus Resmo	664
A116	Mittelwert und Standardabweichung für die GMM-Clusterzuordnung mit drei Clustern und dem „EVV“-Modell der Menschen aus Resmo.	666
A117	Clusterzuweisung für die GMM-Clusteranalyse der Menschen aus Resmo mit farbiger Kodierung der drei Zeitphasen aus Resmo.	666
A118	Approximation des „sea spray“-Effektes in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Werten der Säuger aus Tornio und Oulu.	667
A119	Approximation des „sea spray“-Effektes in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Werten der Säuger aus Stavanger.	668
A120	Approximation des „sea spray“-Effektes in den $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ -Werten der Säuger aus Ridanäs.	668
A121	Approximation des „sea spray“-Effektes in den $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten der Säuger aus Norsminde.	669
A122	Approximation des „sea spray“-Effektes in den $\delta^{34}\text{S}_{\text{Kollagen}}$ -Werten der Säuger aus Stavanger	670
A123	Approximation des limnischen Einflusses in den $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten der Säuger aus Resmo.	670
A124	Säuger aus Björned sortiert nach ansteigenden $\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Werten.	672

„Anwendung KDD-basierter Methoden zur Interpretation multi-dimensionaler Isotopen-Fingerabdrücke“



Auerchse	Hb 47	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-20,5	10,5	-10,9	-7,6	17,3	9,9
Auerchse	Hb 48	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,8	4,0	-12,2	-9,0	17,8	
Baumarder	Hb 21	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,8	8,2	-14,0	-8,2	17,5	
Baumarder	Hb 22	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,9	8,6	-11,8	-8,2	16,6	
Biber	Hb 9	terrestrisch, Süßwasser	herbivor	Haithabu	-22,3	4,6	-16,1	-7,3	15,7	
Braunbär	Hb 17	terrestrisch	omnivor	Haithabu	-21,1	5,5	-15,3	-8,1	16,1	
Damhirsch	S 6	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,8	9,4	-11,5	-9,4	17,3	
Eichhörnchen	Hb 7	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,3	2,9	-14,6	-8,0	16,5	
Eich	Hb 46	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,5	4,9	-11,4	-7,0	17,6	
Feldhase	Hb 1	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,5	6,2	-12,5	-8,9	15,8	
Feldhase	Hb 2	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,2	3,8	-10,8	-8,2	17,0	10,0
Feldhase	Hb 3	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-21,7	4,5	-9,8	-6,9	17,3	15,1
Feldhase	Hb 5	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-22,2	4,0	-15,8	-8,4	16,5	
Feldhase	S 24	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,4	4,0	-11,3	-7,4	17,3	14,7
Feldhase	S 25	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,8	5,3	-13,1	-10,0	16,7	
Feldhase	S 26	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,4	4,0	-13,6	-9,3	14,7	
Feldhase	S 27	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-22,5	3,9	-14,8	-7,8	15,6	
Feldhase	S 28	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-23,4	4,4	-15,1	-6,3	17,0	14,3
Haushund	Hb 93	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-22,0	6,7	-12,2	-8,8	17,3	
Haushund	Hb 94	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-20,6	6,9	-11,5	-7,3	16,3	
Haushund	Hb 95	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,2	10,2	-11,1	-8,1	15,3	13,9
Haushund	Hb 96	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,3	9,3	-10,9	-8,1	16,0	
Haushund	Hb 97	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-20,6	9,3	-10,9	-8,1	16,0	
Haushund	Hb 98	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-21,4	9,7	-10,9	-8,1	15,2	
Haushund	Hb 99	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-21,8	9,4	-10,9	-8,1	16,2	13,0
Haushund	Hb 100	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,2	10,6	-12,9	-7,2	16,2	
Haushund	Hb 101	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,3	6,9	-11,2	-8,7	16,3	
Haushund	Hb 102	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,3	9,2	-12,5	-7,8	16,3	
Haushund	Hb 113	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-28,2	11,0	-12,2	-7,9	16,9	
Haushund	Hb 114	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,1	10,2	-12,9	-7,8	17,0	
Haushund	Hb 115	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-19,6	9,3	-12,1	-6,7	16,9	
Haushund	Hb 116	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-21,0	8,3	-12,1	-6,8	16,2	
Haushund	Hb 117	terrestrisch	carnivor	Haithabu	-21,0	9,1	-12,1	-6,8	17,4	12,3
Kanarienvogel	S 29	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,3	8,5	-11,8	-7,0	15,6	
Kanarienvogel	S 30	terrestrisch	herbivor	Schleswig	-21,0	7,0	-11,8	-6,5	16,5	
Pferd	Hb 42	terrestrisch	herbivor	Haithabu	-19,3	10,2	-11,1	-8,1	15,9	

R-Skript zur Dissertation

eingereicht an der
Fakultät für Biologie
der Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von

Andrea Barbara Göhring

München, 19. Februar 2019

Titelbild: Schlei bei Haithabu (© A. Göhring)

Inhaltsverzeichnis

1	Einführende Worte	1
2	Einlesen des Beispieldatensatzes	3
3	Detektion und Entfernen multivariater Ausreißer	5
4	Clusteranalyse	9
4.1	k-means	9
4.2	„Gaussian Mixture Model“ (GMM)	17
5	Diskriminanzanalyse	39
6	Hauptkomponentenanalyse (PCA)	41
7	„Support Vector Machine“ (SVM)	47
8	„Feature Ranking“	65
8.1	„Adjusted Rand Index“ (ARI)	65
8.2	Entropie-basiertes „Feature Ranking“	75
9	Regressions und Korrelationsanalyse	89
9.1	Regressionsanalyse	89
9.2	Korrelationsanalyse	90
9.2.1	Marginale Korrelation	90
9.2.2	Partielle Korrelation	93
10	Mischungsmodelle	95
10.1	„SISUS“	95
10.2	„simmr“	97
10.3	„MixSIAR“	101
10.4	Simulierte Mischungspolygone	105

11 Literatur	113
A Appendix	117

1 Einführende Worte

Das vorliegende R-Skript stellt den Begleitband zur Dissertation zum Thema „Anwendung KDD-basierter Methoden zur Interpretation multi-dimensionaler Isotopen-Fingerabdrücke“ dar. Das R-Skript soll es ermöglichen, die in der Dissertation angewendeten Methoden, wie z. B. Clusteranalyse, auch auf andere (Isotopen-)Daten anzuwenden.

Die dargestellten R-Befehle sind (mit Ausnahme der Mischungsmodelle) mittels des Beispieldatensatzes der Fische aus Haithabu und Schleswig („Datensatz_Fische.csv“; Tabelle A1) lauffähig. Grau hinterlegt finden sich jeweils die R-Befehle, sowie deren mittels R erzeugte Ausgabe.

Für die verwendeten Mischungsmodelle gibt es bereits publizierte Beschreibungen (vgl. Kapitel 10.1 bis 10.3). Hier werden nur die R-Befehle abgedruckt und kommentiert. Diese sind jedoch mit entsprechenden Daten für Konsumenten, Nahrungsquellen und Tophiestufenfaktoren ebenfalls lauffähig.

Das vorliegende R-Skript wurde mit dem R-Paket „knitr“ (Version 1.20; Xie, 2018) erstellt.

2 Einlesen des Beispieldatensatzes

Um den Beispieldatensatz „Datensatz_Fische.csv“ (vgl. Tabelle A1) einzulesen, muss die „Working Directory“ von „R“ auf den Speicherort dieser Datei gelegt werden.

```
# setwd(...)

Daten <- read.table("Datensatz_Fische.csv", header = TRUE, sep = ";")
head(Daten)
```

#	Spezies	Probennr.	Habitat	Ernährung	Fundort
# 1	Brachse	35 B20p	Süßwasser, Brackwasser	omnivor	Schleswig
# 2	Brachse	36 B3Pop	Süßwasser, Brackwasser	omnivor	Schleswig
# 3	Brachse	37 B4Pop	Süßwasser, Brackwasser	omnivor	Schleswig
# 4	Brachse	38 B5C	Süßwasser, Brackwasser	omnivor	Schleswig
# 5	Dorsch	1 D1V	Brackwasser, Salzwasser	omnivor	Haithabu
# 6	Dorsch	3 D3V	Brackwasser, Salzwasser	omnivor	Haithabu

#	d13CKollagen	d15NKollagen	d13CKarbonat	d180Karbonat
# 1	-27.73	6.02	-0.64	-13.04
# 2	-25.07	6.17	-1.66	-11.68
# 3	-22.41	5.38	-1.60	-12.01
# 4	-27.37	10.72	-4.46	-15.07
# 5	-16.06	13.68	-1.82	-13.20
# 6	-16.21	15.89	-1.30	-3.76

3 Detektion und Entfernen multivariater Ausreißer

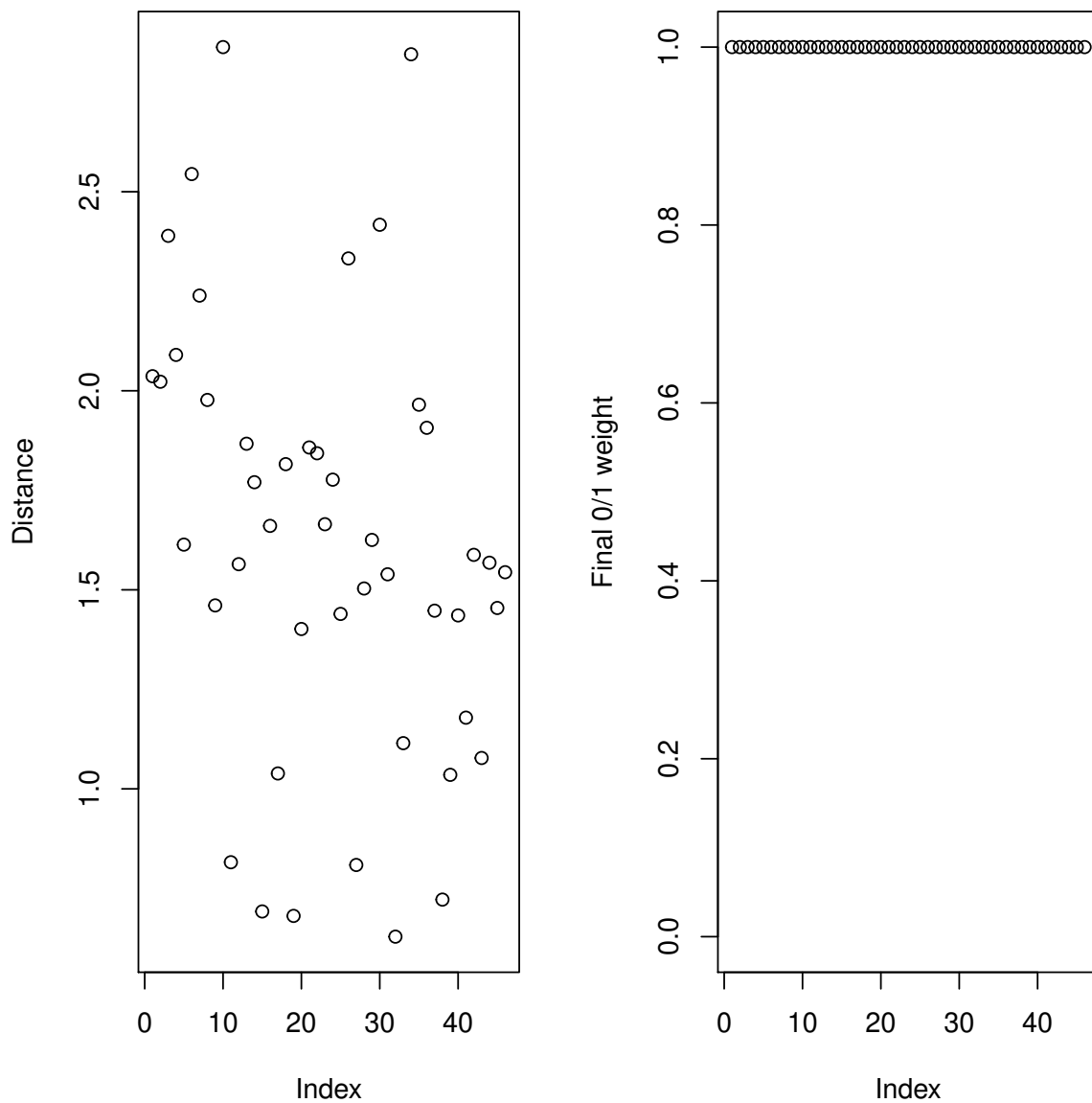
Die R-Pakete

- „mvoutlier“ (Version 2.0.9; Filzmoser & Gschwandtner, 2017)
- „dplyr“ (Version 0.7.7; Wickham et al., 2018b)

müssen installiert sein.

```
# install.packages(c("mvoutlier", "dplyr"))  
  
library(mvoutlier)  
  
library(dplyr)
```

```
# Auswahl der Spalten im Datensatz, die Isotopenwerte enthalten  
# hier: Spalte 6 - 9 (sh. head(Daten))  
  
Outlier <- sign1(Daten[, 6:9], makeplot = TRUE, qcrit = 0.975)
```



```
# Ausreißer werden mit "0" markiert
```

```
Outlier$wfinal01
```

```
# [1] 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
```

```
# [34] 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
```

```
# Der Beispieldatensatz enthält keine multivariaten Ausreißer
```

```
# Jedoch wird beispielhaft gezeigt, wie bei Vorhandensein von Ausreißern
```

```
# vorgegangen werden muss
```

```

# Erzeugen einer neuen Spalte (Ausreisser) im Datensatz
Ausreisser <- Outlier$wfinal01
Daten <- cbind(Daten, Ausreisser)

# Auswahl derjenigen Individuen, die keine Ausreißer
# (Ausreisser == "1") sind
Daten <- filter(Daten, Ausreisser == "1")
head(Daten)

```

#	Spezies	Probennr.	Habitat	Ernährung	Fundort
# 1	Brachse	35 B20p	Süßwasser, Brackwasser	omnivor	Schleswig
# 2	Brachse	36 B3Pop	Süßwasser, Brackwasser	omnivor	Schleswig
# 3	Brachse	37 B4Pop	Süßwasser, Brackwasser	omnivor	Schleswig
# 4	Brachse	38 B5C	Süßwasser, Brackwasser	omnivor	Schleswig
# 5	Dorsch	1 D1V	Brackwasser, Salzwasser	omnivor	Haithabu
# 6	Dorsch	3 D3V	Brackwasser, Salzwasser	omnivor	Haithabu

#	d13CKollagen	d15NKollagen	d13CKarbonat	d180Karbonat	Ausreisser
# 1	-27.73	6.02	-0.64	-13.04	1
# 2	-25.07	6.17	-1.66	-11.68	1
# 3	-22.41	5.38	-1.60	-12.01	1
# 4	-27.37	10.72	-4.46	-15.07	1
# 5	-16.06	13.68	-1.82	-13.20	1
# 6	-16.21	15.89	-1.30	-3.76	1

4 Clusteranalyse

4.1 k-means

1) Skalieren der Daten

Für die Clusteranalyse mittels k-means werden die Isotopendaten zunächst skaliert.

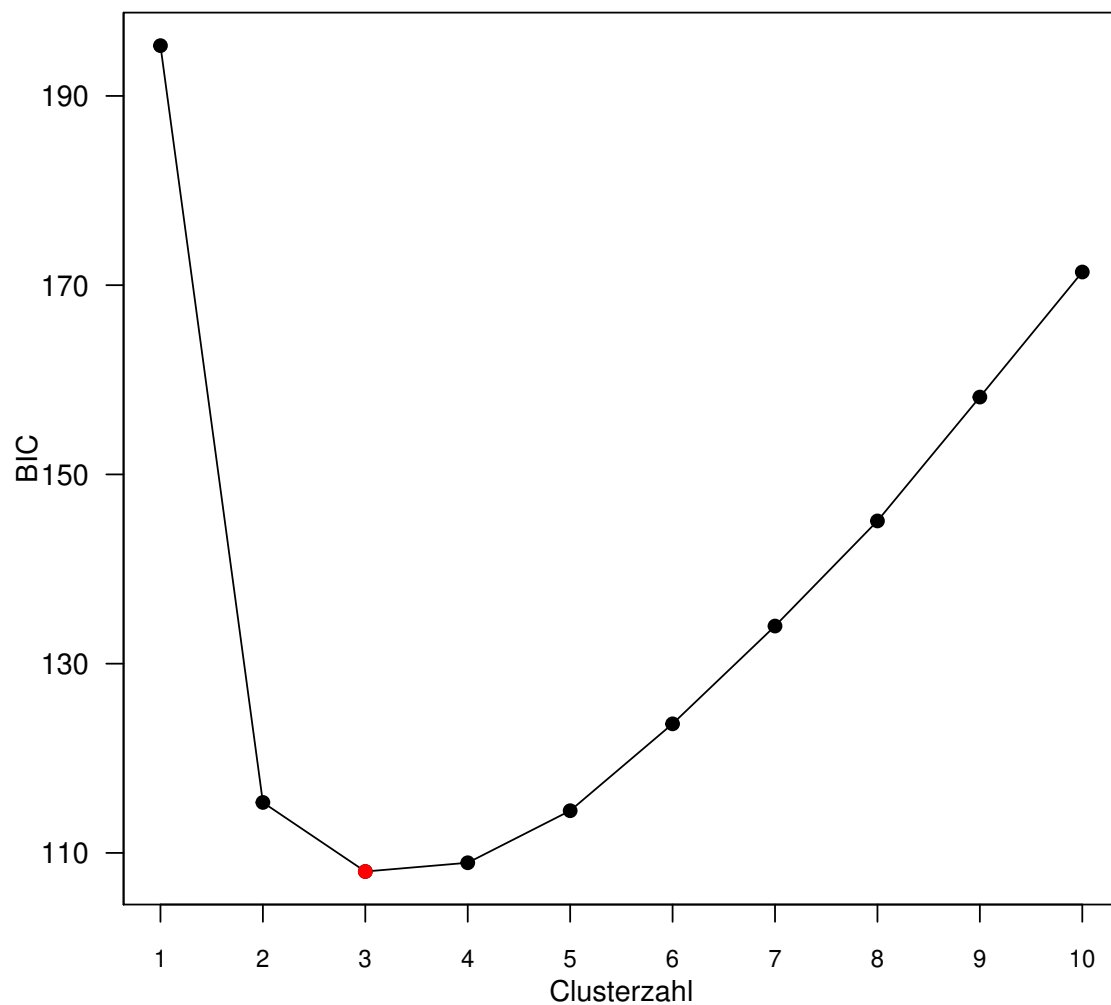
```
# Skalierung der Isotopendaten  
Isotopen_skaliert <- scale(Daten[, 6:9])
```

2) Finden der optimalen Clusterzahl mittels BIC

Anschließend kann die optimale Clusterzahl z. B. mit Hilfe des BIC untersucht werden.

```
# Bestimmen des BIC für k-means mit 1 - 10 Clustern  
logLik.kmeans <- function(object) structure(  
  -object$tot.withinss/2,  
  df = nrow(object$centers)*ncol(object$centers),  
  nobs = length(object$cluster)  
)  
  
BIC <- c()  
for(i in 1:10){  
  kc <- kmeans(Isotopen_skaliert, i, nstart = 100)  
  BIC[[i]] <- BIC(kc)  
}  
  
print(BIC)  
  
# [1] 195.3146 115.3361 108.0355 108.9598 114.4592 123.6418 133.9765  
# [8] 145.0846 158.1741 171.3912
```

```
# pdf(width = 6, height = 6, "kmeans_BIC_Plot.pdf",  
# encoding = "MacRoman")  
plot(1:10, BIC, type = "n", ann = FALSE, axes = FALSE)  
lines(1:10, BIC, col = "black")  
points(1:10, BIC, pch = 19, col = "black")  
points(match(min(BIC), BIC), min(BIC), col = "red", pch = 19)  
box()  
axis(1, at = seq(1, 10, 1), cex.axis = 0.8)  
axis(2, at = seq(10, 240, 20), las = 2)  
mtext(side = 1, line = 2, "Clusterzahl")  
mtext(side = 2, line = 2.3, "BIC")
```



```
# dev.off()
```

3) Clusteranalyse

Die Clusterzahl wird nun festgelegt, z. B. auf drei Cluster:

```
# Setze Seed
```

```
set.seed(1323)
```

```
# k-means Clusteranalyse mit drei Clustern:
```

```

# kmeans(zu clusternde Daten, Clusterzahl)
kmeans_Ergebnis <- kmeans(Isotopen_skaliert, 3)
kmeans_Ergebnis

# K-means clustering with 3 clusters of sizes 18, 10, 18
#
# Cluster means:
#   d13CKollagen d15NKollagen d13CKarbonat d180Karbonat
# 1   -1.1304947   -0.7954053   -0.9638108   -0.6187481
# 2    0.6879384    0.5649727    0.8789997   -0.7778869
# 3    0.7483067    0.4815316    0.4754777    1.0509075
#
# Clustering vector:
# [1] 1 1 1 1 2 3 3 3 2 3 3 3 2 2 2 3 3 1 3 3 1 1 1 3 1 1 1 1 3 3 3 2 2
# [34] 2 1 2 2 3 3 3 3 1 1 1 1 1
#
# Within cluster sum of squares by cluster:
# [1] 26.414874  9.837903 25.838994
# (between_SS / total_SS =  65.5 %)
#
# Available components:
#
# [1] "cluster"      "centers"      "totss"       "withinss"
# [5] "tot.withinss" "betweenss"    "size"        "iter"
# [9] "ifault"

# Clusterzentren
kmeans_Clusterzentren <- kmeans_Ergebnis$centers

```

```
# Übertragen der Clusterzuweisungen in die Datentabelle
kmeans_3_Cluster <- kmeans_Ergebnis$cluster
Daten <- cbind(Daten, kmeans_3_Cluster)
```

4) Graphische Darstellung

Die Ergebnisse der Clusteranalyse können graphisch dargestellt werden.

Beispielhaft sei ein $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}\text{-}\delta^{15}\text{N}_{\text{Kollagen}}$ -Graph und ein $\delta^{13}\text{C}_{\text{Karbonat}}\text{-}\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Graph dargestellt.

Die R-Pakete

- „ggplot2“ (Version 3.0.0; Wickham, 2016)
- „ggpubr“ (Version 0.1.8; Kassambara, 2018)

müssen installiert sein.

```
# install.packages(c("ggplot2", "ggpubr"))
library(ggplot2)
library(ggpubr)
```

```
# Auswahl der Farbkodierung
Farben <- c("dodgerblue3", "firebrick3", "green3")

# Auswahl der Symbole
Symbole <- c(19, 15, 17)

# Erstellen der Graphen
Clusterergebnis <- data.frame(Isotopen_skaliert[, 1:4],
                               Cluster = factor(kmeans_Ergebnis$cluster))
```

```

d13CKoll_d15NKoll <- ggplot(Clusterergebnis)+
  scale_color_manual(values = Farben, name = "k-means Cluster")+
  scale_shape_manual(values = Symbole, name = "k-means Cluster")+
  geom_point(aes(x = Clusterergebnis[, 1],
                 y = Clusterergebnis[, 2],
                 colour = Cluster,
                 shape = Cluster))+
  geom_point(aes(x = kmeans_Clusterzentren[1, 1],
                 y = kmeans_Clusterzentren[1, 2]),
             color = "dodgerblue3", shape = 8)+
  geom_point(aes(x = kmeans_Clusterzentren[2, 1],
                 y = kmeans_Clusterzentren[2, 2]),
             color = "firebrick3", shape = 8)+
  geom_point(aes(x = kmeans_Clusterzentren[3, 1],
                 y = kmeans_Clusterzentren[3, 2]),
             color = "green3", shape = 8)+
  xlab(expression(paste(delta13"C"[Kollagen]~"[\211]")))+
  ylab(expression(paste(delta15"N"[Kollagen]~"[\211]")))+
  theme(plot.margin = margin(0.5, 0.5, 0.5, 0.5, "cm"))

d13CKarb_d180Karb <- ggplot(Clusterergebnis)+
  scale_color_manual(values = Farben, name = "k-means Cluster")+
  scale_shape_manual(values = Symbole, name = "k-means Cluster")+
  geom_point(aes(x = Clusterergebnis[, 3],
                 y = Clusterergebnis[, 4],
                 colour = Cluster,
                 shape = Cluster))+
  geom_point(aes(x = kmeans_Clusterzentren[1, 3],

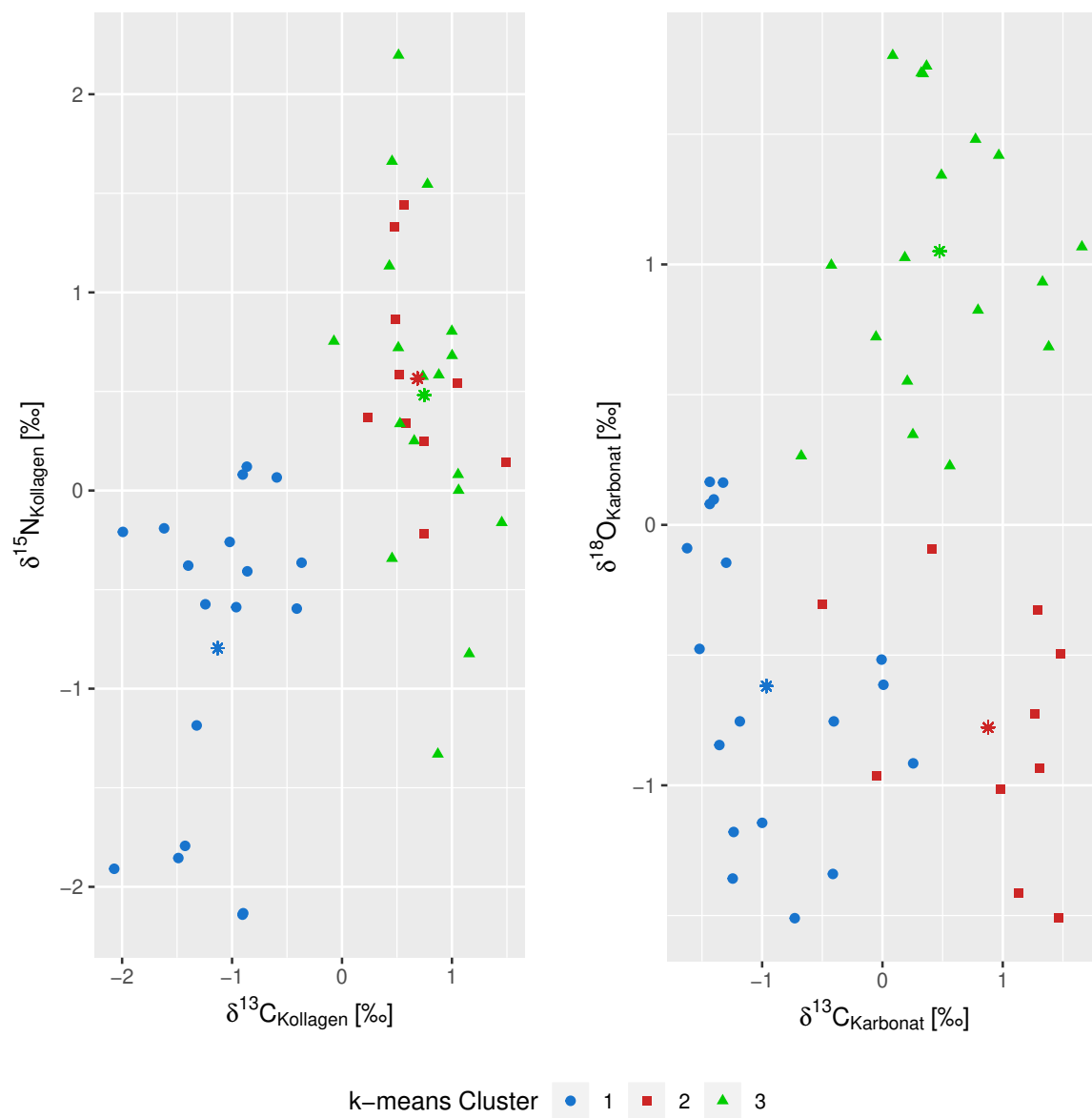
```

```

        y = kmeans_Clusterzentren[1, 4]),
        color = "dodgerblue3", shape = 8)+
geom_point(aes(x = kmeans_Clusterzentren[2, 3],
        y = kmeans_Clusterzentren[2, 4]),
        color = "firebrick3", shape = 8)+
geom_point(aes(x = kmeans_Clusterzentren[3, 3],
        y = kmeans_Clusterzentren[3, 4]),
        color = "green3", shape = 8)+
xlab(expression(paste(delta^13*"C"[Karbonat]~"\[211]")))+
ylab(expression(paste(delta^18*"O"[Karbonat]~"\[211]")))+
theme(plot.margin = margin(0.5, 0.5, 0.5, 0.5, "cm"))

# Zusammenführen der beiden einzelnen Graphen in eine Gesamtgraphik
# pdf(width = 12, height = 6, "kmeans_Plot.pdf",
# encoding = "MacRoman")
ggarrange(d13CKoll_d15NKoll, d13CKarb_d18OKarb,
        ncol = 2, nrow = 1,
        common.legend = TRUE, legend = "bottom")

```

```
# dev.off()
```

4.2 „Gaussian Mixture Model“ (GMM)

Das R-Paket

- „mclust“ (Version 5.4.1; Scrucca et al., 2016)

muss installiert sein.

```
# install.packages("mclust")
```

```
library(mclust)
```

```
# Einlesen der originalen (nicht-transformierten) Daten
```

```
mclust.options(hcUSE = "VARS")
```

```
# Übersicht über die Farbkodierung der Cluster
```

```
mclust.options("classPlotColors")
```

```
# [1] "dodgerblue2"      "red3"             "green3"
# [4] "slateblue"        "darkorange"       "skyblue1"
# [7] "violetred4"       "forestgreen"      "steelblue4"
# [10] "slategrey"        "brown"            "black"
# [13] "darkseagreen"     "darkgoldenrod3"   "olivedrab"
# [16] "royalblue"        "tomato4"          "cyan2"
# [19] "springgreen2"
```

1) Finden des optimalen Clustermodelles mittels BIC

Hierbei gilt zu beachten, dass im „mclust“-Paket das BIC so definiert ist, dass ein möglichst hoher Wert optimal ist (vgl. Scrucca et al., 2016).

```
GMM_BIC <- mclustBIC(Daten[, 6:9])
GMM_BIC
```

Bayesian Information Criterion (BIC):

#	EII	VII	EEI	VEI	EVI	VVI
# 1	-1020.0017	-1020.0017	-1019.5856	-1019.5856	-1019.5856	-1019.5856
# 2	-934.2243	-936.1192	-934.4271	-938.0628	-935.4788	-939.2755
# 3	-928.2114	-930.9668	-937.4858	-941.2978	-949.1240	-954.1142
# 4	-928.0991	-932.6159	-938.8373	-941.1813	-943.5425	-950.7692
# 5	-934.1585	-933.5647	-943.7463	-945.5910	-959.7050	-954.5538
# 6	-935.7948	-940.7120	-946.5475	-950.1340	-972.3566	-964.2881
# 7	-944.2998	-950.9053	-951.0099	-956.2175	-983.5479	-982.9160
# 8	-955.4748	-959.3481	-956.4131	-969.0800	-993.0579	-988.5917
# 9	-970.7602	-976.0112	-964.9602	-983.2341	-1012.8528	-1001.7716

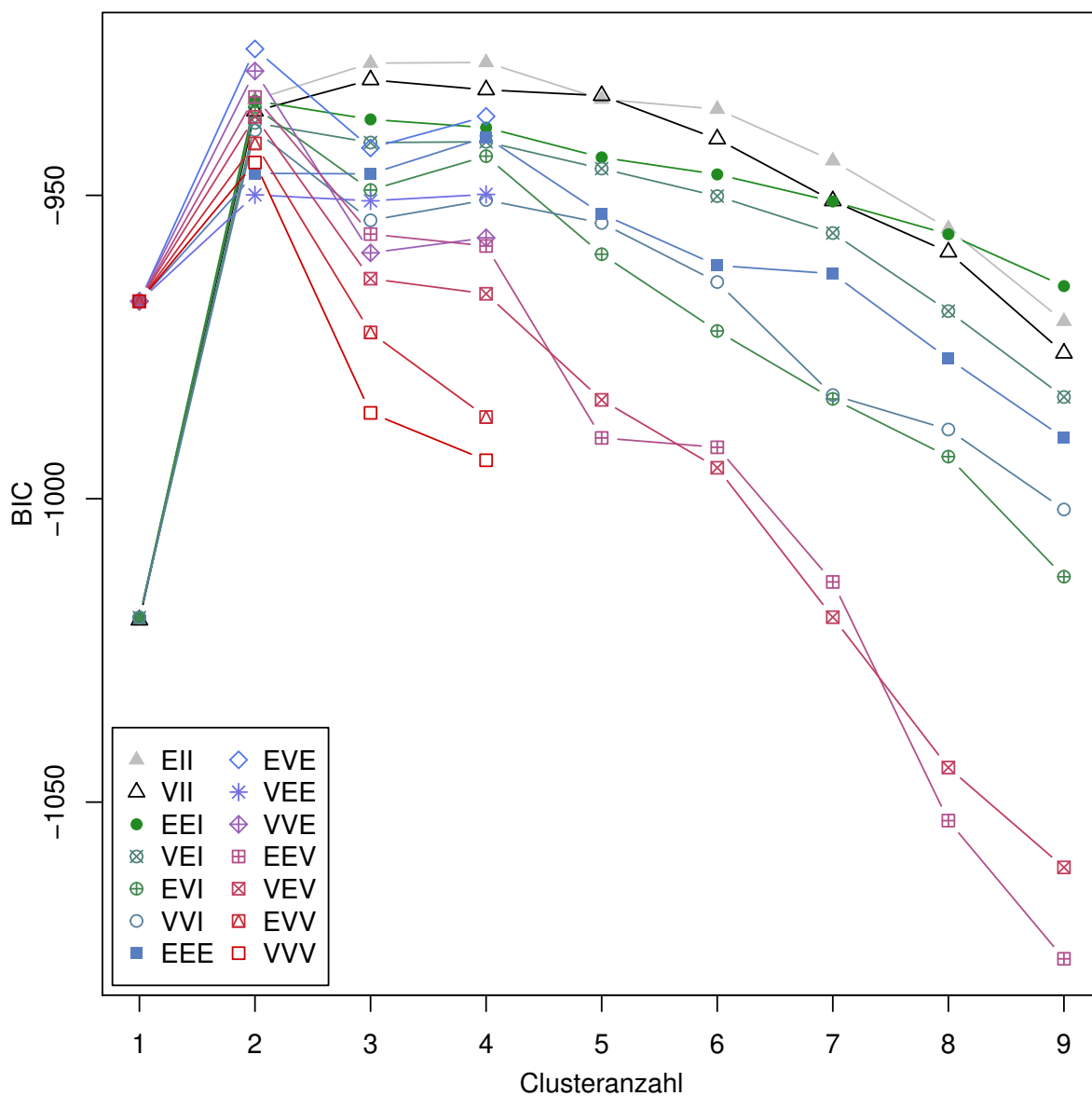
#	EEE	EVE	VEE	VVE	EEV	VEV
# 1	-967.4610	-967.4610	-967.4610	-967.4610	-967.4610	-967.4610
# 2	-946.3749	-925.8684	-949.9262	-929.5119	-933.7912	-937.0543
# 3	-946.4602	-942.1890	-950.9040	-959.4777	-956.3856	-963.7354
# 4	-940.4060	-936.9863	-949.8452	-956.9938	-958.3482	-966.2228
# 5	-953.0609	NA	NA	NA	-989.9776	-983.7066
# 6	-961.5614	NA	NA	NA	-991.5231	-994.8997
# 7	-962.9094	NA	NA	NA	-1013.7146	-1019.5182
# 8	-976.9280	NA	NA	NA	-1053.0440	-1044.3080
# 9	-989.9938	NA	NA	NA	-1075.8237	-1060.7615

#	EVV	VVV
# 1	-967.4610	-967.4610
# 2	-941.4376	-944.5805
# 3	-972.5958	-985.8519
# 4	-986.5297	-993.6580

```
# 5      NA      NA
# 6      NA      NA
# 7      NA      NA
# 8      NA      NA
# 9      NA      NA
#
# Top 3 models based on the BIC criterion:
#      EVE,2      EII,4      EII,3
# -925.8684 -928.0991 -928.2114

GMM <- Mclust(Daten[, 6:9])

# pdf(width = 6, height = 6, "GMM_BIC_Plot.pdf",
# encoding = "MacRoman")
par(mar = c(3.5, 3, 1, 1))
plot(GMM, what = "BIC", legendArgs = list(x = "bottomleft",
                                           ncol = 2, cex = 1),
      xlab = "", ylab = "")
mtext(side = 1, line = 2.2, "Clusteranzahl")
mtext(side = 2, line = 2, "BIC")
```



```
# dev.off()
```

2) Clusteranalyse

```
# GMM-Clusteranalyse mit optimaler Clusterzahl, ohne Modell-Vorgabe
```

```
GMM_Cluster_optimal <- Mclust(Daten[, 6:9])
```

```
summary(GMM_Cluster_optimal)
```

```
# -----
```

```

# Gaussian finite mixture model fitted by EM algorithm
# -----
#
# Mclust EVE (ellipsoidal, equal volume and orientation) model with 2
# components:
#
# log.likelihood  n df      BIC      ICL
#      -420.8191 46 22 -925.8684 -925.8813
#
# Clustering table:
#  1  2
# 18 28

# Clusterzuordnungen
GMM_Cluster_optimal$classification

# [1] 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2
# [34] 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1

# Zuordnungswahrscheinlichkeiten
GMM_Cluster_optimal$z

#           [,1]           [,2]
# [1,] 1.000000e+00 1.484513e-40
# [2,] 1.000000e+00 1.152258e-26
# [3,] 1.000000e+00 1.796023e-17
# [4,] 1.000000e+00 3.122025e-23
# [5,] 4.268564e-06 9.999957e-01
# [6,] 1.047054e-16 1.000000e+00
# [7,] 4.514963e-19 1.000000e+00
# [8,] 1.510164e-13 1.000000e+00

```

```
# [9,] 1.660055e-11 1.000000e+00
# [10,] 9.766734e-21 1.000000e+00
# [11,] 1.328412e-13 1.000000e+00
# [12,] 7.399168e-20 1.000000e+00
# [13,] 1.495279e-19 1.000000e+00
# [14,] 8.897608e-16 1.000000e+00
# [15,] 3.379608e-03 9.966204e-01
# [16,] 5.747756e-10 1.000000e+00
# [17,] 5.399609e-07 9.999995e-01
# [18,] 1.000000e+00 7.727219e-13
# [19,] 7.936535e-10 1.000000e+00
# [20,] 2.785226e-03 9.972148e-01
# [21,] 1.000000e+00 5.685240e-16
# [22,] 1.000000e+00 4.433959e-14
# [23,] 9.999990e-01 9.788894e-07
# [24,] 7.552446e-09 1.000000e+00
# [25,] 9.999999e-01 1.004848e-07
# [26,] 1.000000e+00 5.298758e-13
# [27,] 9.999265e-01 7.345255e-05
# [28,] 1.000000e+00 1.038074e-16
# [29,] 5.900141e-18 1.000000e+00
# [30,] 7.444150e-06 9.999926e-01
# [31,] 9.036872e-17 1.000000e+00
# [32,] 4.310574e-10 1.000000e+00
# [33,] 3.055047e-16 1.000000e+00
# [34,] 9.270898e-18 1.000000e+00
# [35,] 1.000000e+00 1.292451e-22
# [36,] 8.349917e-11 1.000000e+00
```

```
# [37,] 1.762043e-16 1.000000e+00
# [38,] 2.245318e-20 1.000000e+00
# [39,] 2.179651e-25 1.000000e+00
# [40,] 5.924153e-15 1.000000e+00
# [41,] 1.032921e-12 1.000000e+00
# [42,] 1.000000e+00 1.366779e-09
# [43,] 9.998342e-01 1.657554e-04
# [44,] 9.999920e-01 8.000303e-06
# [45,] 1.000000e+00 8.003560e-10
# [46,] 1.000000e+00 2.809256e-08

# Clusterparameter
GMM_Cluster_optimal$parameter

# $pro
# [1] 0.3914362 0.6085638
#
# $mean
#               [,1]      [,2]
# d13CKollagen -23.436419 -14.9704675
# d15NKollagen  9.099615  12.7106729
# d13CKarbonat -5.370584  0.7734926
# d180Karbonat -12.025995 -8.5557515
#
# $variance
# $variance$modelName
# [1] "EVE"
#
# $variance$d
# [1] 4
```



```

#
# $variance$G
# [1] 2
#
# $variance$sigma
# , , 1
#
#           d13CKollagen d15NKollagen d13CKarbonat d180Karbonat
# d13CKollagen    6.3798882    0.8481878   -1.0548219   -0.5540655
# d15NKollagen    0.8481878    3.6147414   -1.8494357   -0.3474466
# d13CKarbonat   -1.0548219   -1.8494357    3.5486737   -0.7750772
# d180Karbonat   -0.5540655   -0.3474466   -0.7750772    5.2676997
#
# , , 2
#
#           d13CKollagen d15NKollagen d13CKarbonat d180Karbonat
# d13CKollagen    2.4052396  -1.65502352    1.82698293   -0.2919339
# d15NKollagen   -1.6550235    4.73261565   -0.02821038    1.2721993
# d13CKarbonat    1.8269829  -0.02821038    5.70923761   -2.9303527
# d180Karbonat   -0.2919339    1.27219927   -2.93035272   10.8634425
#
#
# $variance$scale
# [1] 4.063491
#
# $variance$shape
#           [,1]      [,2]
# [1,] 1.8139561 0.199586

```

```

# [2,] 0.3789352 1.220431
# [3,] 1.0473950 1.331346
# [4,] 1.3889857 3.083653
#
# $variance$orientation
#
#           d13CKollagen d15NKollagen d13CKarbonat d180Karbonat
# d13CKollagen    0.8237167    0.06826161    0.5479821   -0.1286340
# d15NKollagen    0.3897585    0.65238955   -0.6265309    0.1730181
# d13CKarbonat   -0.3878251    0.72172372    0.3956704   -0.4149114
# d180Karbonat   -0.1384585    0.22100473    0.3880974    0.8839494
#
#
# $Vinv
# NULL

# Übertragen der Clusterzuweisungen in die Datentabelle
GMM_optimal <- GMM_Cluster_optimal$classification
Daten <- cbind(Daten, GMM_optimal)

# GMM-Clusteranalyse mit optimaler Clusterzahl, Modell: EII
GMM_Cluster_optimal_EII <- Mclust(Daten[, 6:9], modelNames = "EII")
summary(GMM_Cluster_optimal_EII)

# -----
# Gaussian finite mixture model fitted by EM algorithm
# -----
#
# Mclust EII (spherical, equal volume) model with 4 components:
#
# log.likelihood  n df          BIC          ICL

```

```
#      -425.7632 46 20 -928.0991 -932.35
#
# Clustering table:
#  1  2  3  4
#  7 13 18  8

# Clusterzuordnungen
GMM_Cluster_optimal_EII$classification

#  [1] 1 1 1 1 4 3 3 3 4 3 3 3 4 4 2 3 3 2 3 2 2 2 2 3 2 1 2 1 3 3 3 3 4
# [34] 4 1 4 4 3 3 3 3 2 2 2 2 2

# Zuordnungswahrscheinlichkeiten
GMM_Cluster_optimal_EII$z

#           [,1]           [,2]           [,3]           [,4]
# [1,] 9.999751e-01 2.489743e-05 2.200102e-16 1.970435e-14
# [2,] 9.979790e-01 2.021037e-03 6.693109e-12 2.001355e-11
# [3,] 9.930940e-01 6.906007e-03 3.645547e-09 1.927014e-08
# [4,] 9.326369e-01 6.736307e-02 5.020734e-16 3.038763e-13
# [5,] 6.670352e-08 9.795831e-04 1.244113e-02 9.865792e-01
# [6,] 2.461332e-16 9.639008e-09 9.999990e-01 1.009808e-06
# [7,] 1.788422e-18 5.960242e-11 9.999975e-01 2.537000e-06
# [8,] 7.096602e-15 2.609030e-09 9.999978e-01 2.213233e-06
# [9,] 2.540831e-10 2.144116e-08 7.555965e-04 9.992444e-01
# [10,] 4.797492e-18 4.618798e-10 9.999968e-01 3.209515e-06
# [11,] 2.921853e-12 2.146005e-08 9.967014e-01 3.298583e-03
# [12,] 2.911358e-18 3.529696e-14 9.950645e-01 4.935455e-03
# [13,] 1.195086e-13 4.237694e-10 2.823570e-02 9.717643e-01
# [14,] 1.967863e-16 1.328373e-13 6.658588e-04 9.993341e-01
# [15,] 2.915225e-05 7.145015e-01 2.230731e-01 6.239625e-02
```

```
# [16,] 1.832139e-11 3.043658e-08 9.290936e-01 7.090638e-02
# [17,] 1.822917e-08 5.688654e-05 9.957791e-01 4.163980e-03
# [18,] 3.868702e-03 9.961313e-01 1.342356e-10 1.434832e-13
# [19,] 2.214175e-12 1.311947e-07 9.813946e-01 1.860524e-02
# [20,] 5.925634e-06 8.937551e-01 1.057855e-01 4.534838e-04
# [21,] 1.585069e-02 9.841493e-01 1.163816e-13 8.668675e-15
# [22,] 4.781858e-03 9.952181e-01 2.513192e-11 5.054670e-14
# [23,] 1.420902e-04 9.998579e-01 4.712717e-08 7.556436e-11
# [24,] 1.234377e-11 9.503778e-05 9.998466e-01 5.839656e-05
# [25,] 2.294614e-03 9.977054e-01 9.178947e-10 1.018803e-09
# [26,] 6.002058e-01 3.997942e-01 1.520031e-12 1.269416e-12
# [27,] 4.301418e-02 9.568411e-01 1.946592e-05 1.252409e-04
# [28,] 7.570989e-01 2.429011e-01 2.321158e-13 4.548524e-12
# [29,] 3.662055e-17 2.036760e-12 9.999180e-01 8.204711e-05
# [30,] 4.974428e-09 1.473384e-05 9.994492e-01 5.360250e-04
# [31,] 5.640196e-15 5.805010e-10 9.999595e-01 4.052298e-05
# [32,] 2.278912e-09 1.912998e-05 6.022663e-01 3.977145e-01
# [33,] 1.160130e-12 7.185083e-11 7.505878e-03 9.924941e-01
# [34,] 3.337252e-13 2.407696e-11 6.479901e-06 9.999935e-01
# [35,] 9.976698e-01 2.330227e-03 1.062597e-14 3.029500e-12
# [36,] 1.799937e-10 1.243186e-09 4.010188e-05 9.999599e-01
# [37,] 1.654603e-14 1.164526e-11 2.632318e-03 9.973677e-01
# [38,] 1.302793e-15 7.464618e-12 9.635825e-01 3.641755e-02
# [39,] 1.708692e-18 2.652995e-14 9.942031e-01 5.796899e-03
# [40,] 4.151804e-15 1.431769e-09 9.999521e-01 4.788794e-05
# [41,] 1.996128e-15 4.371089e-09 9.998112e-01 1.887887e-04
# [42,] 1.116974e-03 9.988830e-01 1.431239e-10 5.177560e-13
# [43,] 1.800383e-04 9.998191e-01 8.512774e-07 9.959584e-09
```

```

# [44,] 2.015935e-03 9.979840e-01 6.295606e-10 3.432497e-08
# [45,] 2.208873e-02 9.779113e-01 1.211233e-11 1.963783e-10
# [46,] 6.303860e-04 9.993696e-01 7.945865e-09 1.449502e-11

# Clusterparameter
GMM_Cluster_optimal_EII$parameter

# $pro
# [1] 0.1385800 0.2877094 0.3877864 0.1859242
#
# $mean
#
#           [,1]      [,2]      [,3]      [,4]
# d13CKollagen -24.978773 -22.03463 -14.762771 -14.836255
# d15NKollagen  6.923200  10.60949  12.617039  12.868637
# d13CKarbonat -3.149788 -6.26835  0.377426  2.485306
# d180Karbonat -13.250757 -11.17577 -6.380347 -12.845314
#
# $variance
# $variance$modelName
# [1] "EII"
#
# $variance$d
# [1] 4
#
# $variance$G
# [1] 4
#
# $variance$sigma
# , , 1
#

```

```

#           d13CKollagen d15NKollagen d13CKarbonat d180Karbonat
# d13CKollagen      3.269704      0.000000      0.000000      0.000000
# d15NKollagen      0.000000      3.269704      0.000000      0.000000
# d13CKarbonat      0.000000      0.000000      3.269704      0.000000
# d180Karbonat      0.000000      0.000000      0.000000      3.269704
#
# , , 2
#
#           d13CKollagen d15NKollagen d13CKarbonat d180Karbonat
# d13CKollagen      3.269704      0.000000      0.000000      0.000000
# d15NKollagen      0.000000      3.269704      0.000000      0.000000
# d13CKarbonat      0.000000      0.000000      3.269704      0.000000
# d180Karbonat      0.000000      0.000000      0.000000      3.269704
#
# , , 3
#
#           d13CKollagen d15NKollagen d13CKarbonat d180Karbonat
# d13CKollagen      3.269704      0.000000      0.000000      0.000000
# d15NKollagen      0.000000      3.269704      0.000000      0.000000
# d13CKarbonat      0.000000      0.000000      3.269704      0.000000
# d180Karbonat      0.000000      0.000000      0.000000      3.269704
#
# , , 4
#
#           d13CKollagen d15NKollagen d13CKarbonat d180Karbonat
# d13CKollagen      3.269704      0.000000      0.000000      0.000000
# d15NKollagen      0.000000      3.269704      0.000000      0.000000
# d13CKarbonat      0.000000      0.000000      3.269704      0.000000

```

```

# d180Karbonat      0.000000      0.000000      0.000000      3.269704
#
#
# $variance$Sigma
#           d13CKollagen d15NKollagen d13CKarbonat d180Karbonat
# d13CKollagen      3.269704      0.000000      0.000000      0.000000
# d15NKollagen      0.000000      3.269704      0.000000      0.000000
# d13CKarbonat      0.000000      0.000000      3.269704      0.000000
# d180Karbonat      0.000000      0.000000      0.000000      3.269704
#
# $variance$sigmasq
# [1] 3.269704
#
# $variance$scale
# [1] 3.269704

# Übertragen der Clusterzuweisungen in die Datentabelle
GMM_optimal_EII <- GMM_Cluster_optimal_EII$classification
Daten <- cbind(Daten, GMM_optimal_EII)

# GMM-Clusteranalyse mit vorgegebener Clusterzahl (G = 3) und
# Modell "EII"
GMM_Cluster_3_EII <- Mclust(Daten[, 6:9], G = 3, modelNames = "EII")
summary(GMM_Cluster_3_EII)

# -----
# Gaussian finite mixture model fitted by EM algorithm
# -----
#
# Mclust EII (spherical, equal volume) model with 3 components:

```

```

#
#   log.likelihood   n df         BIC         ICL
#   -435.3909 46 15 -928.2114 -930.8051
#
# Clustering table:
#   1  2  3
# 18 20  8

# Clusterzuordnungen
GMM_Cluster_3_EII$classification

# [1] 1 1 1 1 3 2 2 2 3 2 2 2 3 3 2 2 2 1 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 3
# [34] 3 1 3 3 2 2 2 2 1 1 1 1 1

# Zuordnungswahrscheinlichkeiten
GMM_Cluster_3_EII$z

#           [,1]           [,2]           [,3]
# [1,] 1.000000e+00 5.125862e-11 4.414901e-10
# [2,] 1.000000e+00 1.963966e-08 1.382931e-08
# [3,] 9.999964e-01 1.580686e-06 2.053929e-06
# [4,] 1.000000e+00 2.652741e-12 6.308368e-11
# [5,] 6.206387e-04 7.325700e-02 9.261224e-01
# [6,] 4.277687e-09 9.999861e-01 1.393378e-05
# [7,] 8.012229e-11 9.999658e-01 3.416348e-05
# [8,] 6.761650e-09 9.999687e-01 3.128988e-05
# [9,] 4.718841e-07 6.065758e-03 9.939338e-01
# [10,] 2.801276e-10 9.999638e-01 3.617409e-05
# [11,] 9.695972e-08 9.911872e-01 8.812670e-03
# [12,] 2.299298e-12 9.807913e-01 1.920869e-02
# [13,] 5.634551e-09 8.282648e-02 9.171735e-01

```



```
# [14,] 1.334836e-11 3.752780e-03 9.962472e-01
# [15,] 1.228896e-01 7.674036e-01 1.097068e-01
# [16,] 1.851461e-07 9.013303e-01 9.866947e-02
# [17,] 6.395317e-05 9.914119e-01 8.524098e-03
# [18,] 9.999999e-01 5.201538e-08 5.406395e-11
# [19,] 1.991394e-07 9.690476e-01 3.095219e-02
# [20,] 1.776066e-01 8.181763e-01 4.217098e-03
# [21,] 1.000000e+00 1.495823e-10 3.278765e-12
# [22,] 1.000000e+00 1.334354e-08 2.120340e-11
# [23,] 9.999847e-01 1.530437e-05 2.424852e-08
# [24,] 8.980077e-06 9.997407e-01 2.502761e-04
# [25,] 9.999996e-01 3.485690e-07 8.038027e-08
# [26,] 1.000000e+00 5.591747e-10 1.081929e-10
# [27,] 9.991136e-01 3.723971e-04 5.139963e-04
# [28,] 1.000000e+00 1.695457e-10 3.451512e-10
# [29,] 3.947732e-11 9.993171e-01 6.828794e-04
# [30,] 2.469683e-05 9.980333e-01 1.941972e-03
# [31,] 2.791063e-09 9.996891e-01 3.108695e-04
# [32,] 1.762522e-05 7.074188e-01 2.925636e-01
# [33,] 4.529573e-09 2.668285e-02 9.733171e-01
# [34,] 2.090371e-09 1.505934e-04 9.998494e-01
# [35,] 1.000000e+00 1.314310e-10 2.515238e-09
# [36,] 9.982325e-08 5.844254e-04 9.994155e-01
# [37,] 5.102236e-10 1.231973e-02 9.876803e-01
# [38,] 1.761801e-10 9.292710e-01 7.072899e-02
# [39,] 1.638146e-12 9.793579e-01 2.064210e-02
# [40,] 3.887115e-09 9.996603e-01 3.397215e-04
# [41,] 5.014949e-09 9.990856e-01 9.144179e-04
```

```

# [42,] 9.999999e-01 8.358511e-08 2.199479e-10
# [43,] 9.998540e-01 1.448062e-04 1.221084e-06
# [44,] 9.999983e-01 3.023161e-07 1.406896e-06
# [45,] 1.000000e+00 6.127849e-09 1.030889e-08
# [46,] 9.999977e-01 2.330205e-06 4.055365e-09

# Clusterparameter
GMM_Cluster_3_EII$parameter

# $pro
# [1] 0.3978299 0.4181953 0.1839748
#
# $mean
#
#           [,1]      [,2]      [,3]
# d13CKollagen -23.349702 -14.99451326 -14.80911
# d15NKollagen  9.161648  12.65560841  12.82719
# d13CKarbonat -5.348149  0.08836789  2.49587
# d180Karbonat -11.990234 -6.66643539 -12.80711
#
# $variance
# $variance$modelName
# [1] "EII"
#
# $variance$d
# [1] 4
#
# $variance$G
# [1] 3
#
# $variance$sigma

```

```

# , , 1
#
#           d13CKollagen d15NKollagen d13CKarbonat d180Karbonat
# d13CKollagen      4.108899      0.000000      0.000000      0.000000
# d15NKollagen      0.000000      4.108899      0.000000      0.000000
# d13CKarbonat      0.000000      0.000000      4.108899      0.000000
# d180Karbonat      0.000000      0.000000      0.000000      4.108899
#
# , , 2
#
#           d13CKollagen d15NKollagen d13CKarbonat d180Karbonat
# d13CKollagen      4.108899      0.000000      0.000000      0.000000
# d15NKollagen      0.000000      4.108899      0.000000      0.000000
# d13CKarbonat      0.000000      0.000000      4.108899      0.000000
# d180Karbonat      0.000000      0.000000      0.000000      4.108899
#
# , , 3
#
#           d13CKollagen d15NKollagen d13CKarbonat d180Karbonat
# d13CKollagen      4.108899      0.000000      0.000000      0.000000
# d15NKollagen      0.000000      4.108899      0.000000      0.000000
# d13CKarbonat      0.000000      0.000000      4.108899      0.000000
# d180Karbonat      0.000000      0.000000      0.000000      4.108899
#
#
# $variance$Sigma
#           d13CKollagen d15NKollagen d13CKarbonat d180Karbonat
# d13CKollagen      4.108899      0.000000      0.000000      0.000000

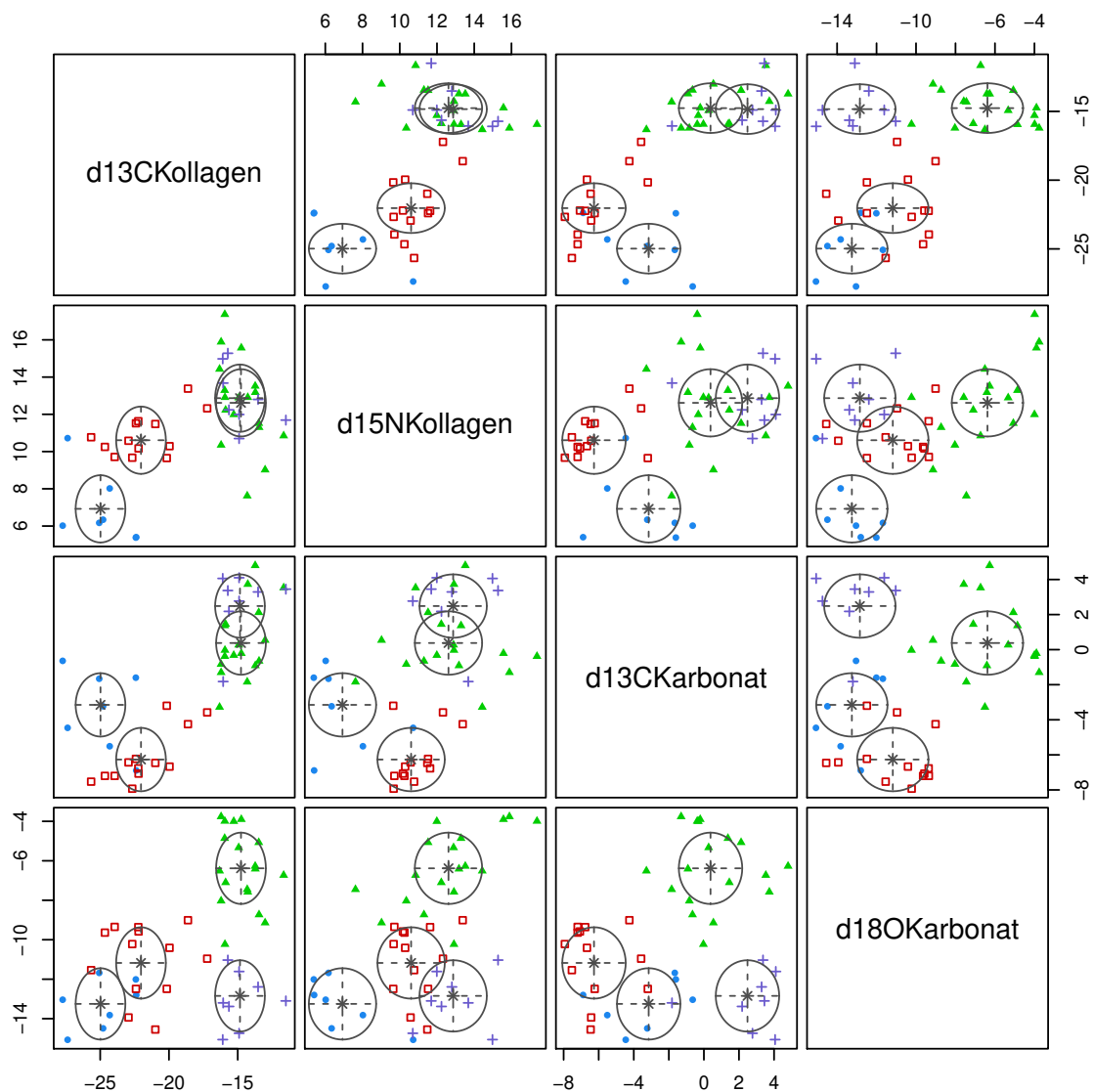
```

```
# d15NKollagen      0.000000      4.108899      0.000000      0.000000
# d13CKarbonat      0.000000      0.000000      4.108899      0.000000
# d180Karbonat      0.000000      0.000000      0.000000      4.108899
#
# $variance$sigma_sq
# [1] 4.108899
#
# $variance$scale
# [1] 4.108899
```

```
# Übertragen der Clusterzuweisungen in die Datentabelle  
GMM_3Cluster_EII <- GMM_Cluster_3_EII$classification  
Daten <- cbind(Daten, GMM_3Cluster_EII)
```

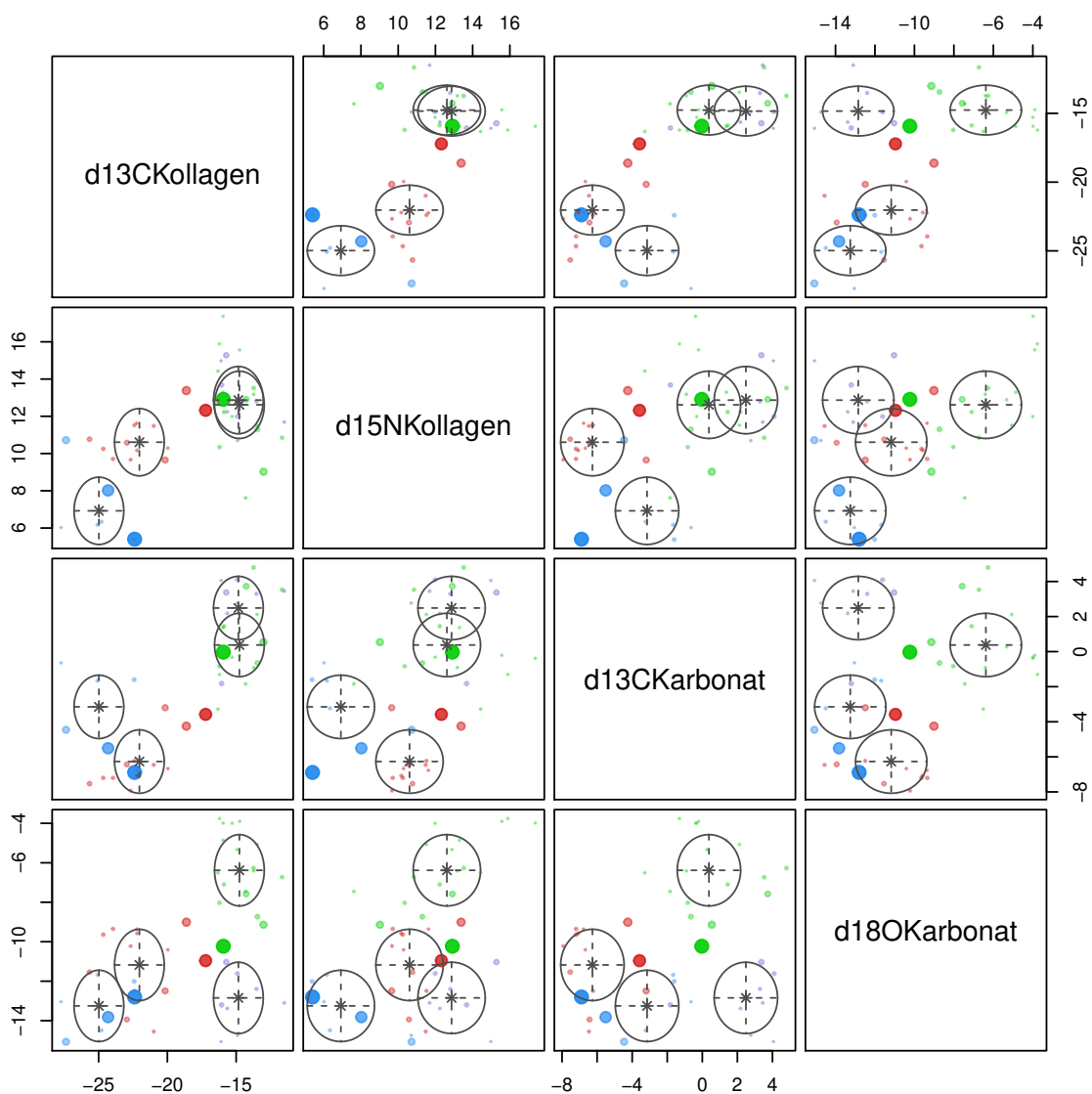
3) Graphische Darstellung

```
# Graphische Darstellung des optimalen Clusters ("EII"-Modell)  
# pdf(width = 12, height = 12, "GMM_Classification_Plot.pdf",  
# encoding = "MacRoman")  
plot(GMM_Cluster_optimal_EII, what = "classification", CEX = 0.8)
```



```
# dev.off()

# pdf(width = 12, height = 12, "GMM_Uncertainty_Plot.pdf",
# encoding = "MacRoman")
plot(GMM_Cluster_optimal_EII, what = "uncertainty", CEX = 0.8)
```



```
# dev.off()
```

5 Diskriminanzanalyse

1) Erzeugen eines Matriceintrags mit Clusterzuweisung

vgl. Kapitel 4.2

2) Trainings- und Testdatensatz

```
TrainTest <- matrix(NA, ncol = 2, nrow = 200)

colnames(TrainTest) <- c("Trainingsfehler", "Testfehler")

for (i in 1:200){
  n <- floor(2/3 * nrow(Daten))

  Training_Individuen <- sample(seq_len(nrow(Daten)), size = n)

  # Trainingsdaten: Spalten mit Isotopendaten

  Training <- Daten[Training_Individuen, 6:9]

  # Testdaten: Spalten mit Isotopendaten

  Test <- Daten[-Training_Individuen, 6:9]

  # Trainingsdaten: Spalten mit Klassenzuweisung
  # (hier: GMM-Clusterergebnis)

  Training_Label <- Daten[Training_Individuen, ]$GMM_3Cluster_EII

  # Testdaten: Spalten mit Klassenzuweisung
  # (hier: GMM-Clusterergebnis)

  Test_Label <- Daten[-Training_Individuen, ]$GMM_3Cluster_EII

  tryCatch({

    MclustDA <- MclustDA(Training, Training_Label, modelNames = "EII",
                        G = 3)

    summary <- summary(MclustDA, newdata = Test, newclass = Test_Label)

    summary$error

    summary$error.newdata

    TrainTest[i, "Trainingsfehler"] <- summary$error
```



```
TrainTest[i, "Testfehler"] <- summary$err.newdata
}, error = function(e){})
}

# In Fällen, in denen der Trainingsdatensatz nicht alle
# verfügbaren Klassen (hier: 3) beinhaltet, wird ein "NA"
# erzeugt
# Entfernen der "NA"-Einträge
TrainTest_ohneNA <- na.omit(TrainTest)

# Mittlerer Trainingsfehler der ersten 100 Einträge
mean(TrainTest_ohneNA[1:100, 1])

# [1] 0

# Mittlerer Testfehler der ersten 100 Einträge
mean(TrainTest_ohneNA[1:100, 2])

# [1] 0.0875
```

6 Hauptkomponentenanalyse (PCA)

1) Berechnung der Hautkomponenten

```
pca <- prcomp(Daten[, 6:9], scale = FALSE)
summary(pca)

# Importance of components:
#
#          PC1      PC2      PC3      PC4
# Standard deviation  6.0888 3.2273 2.13180 1.7619
# Proportion of Variance 0.6724 0.1889 0.08242 0.0563
# Cumulative Proportion 0.6724 0.8613 0.94370 1.0000

pca

# Standard deviations (1, ..., p=4):
# [1] 6.088832 3.227315 2.131796 1.761901
#
# Rotation (n x k) = (4 x 4):
#
#          PC1      PC2      PC3      PC4
# d13CKollagen 0.7207277 -0.06752277 0.03626097 0.6889684
# d15NKollagen 0.2953285 0.26595493 0.85701605 -0.3279826
# d13CKarbonat 0.5346560 -0.54266014 -0.24530028 -0.5995754
# d180Karbonat 0.3278348 0.79386940 -0.45170388 -0.2413697
```

2) Graphische Darstellung

Die R-Pakete

- „devtools“ (Version 2.0.1; Wickham et al., 2018a)
- „ggbiplot“ (Version 0.55; Vu, 2011)

müssen installiert sein.

```
# install.packages("devtools")

library(devtools)

# install_github("vqv/ggbiplot")

library(ggbiplot)

# Habitat

# pdf(width = 6, height = 6, "PCA_Fische_Habitat_PC1_PC2.pdf",
# encoding = "MacRoman")

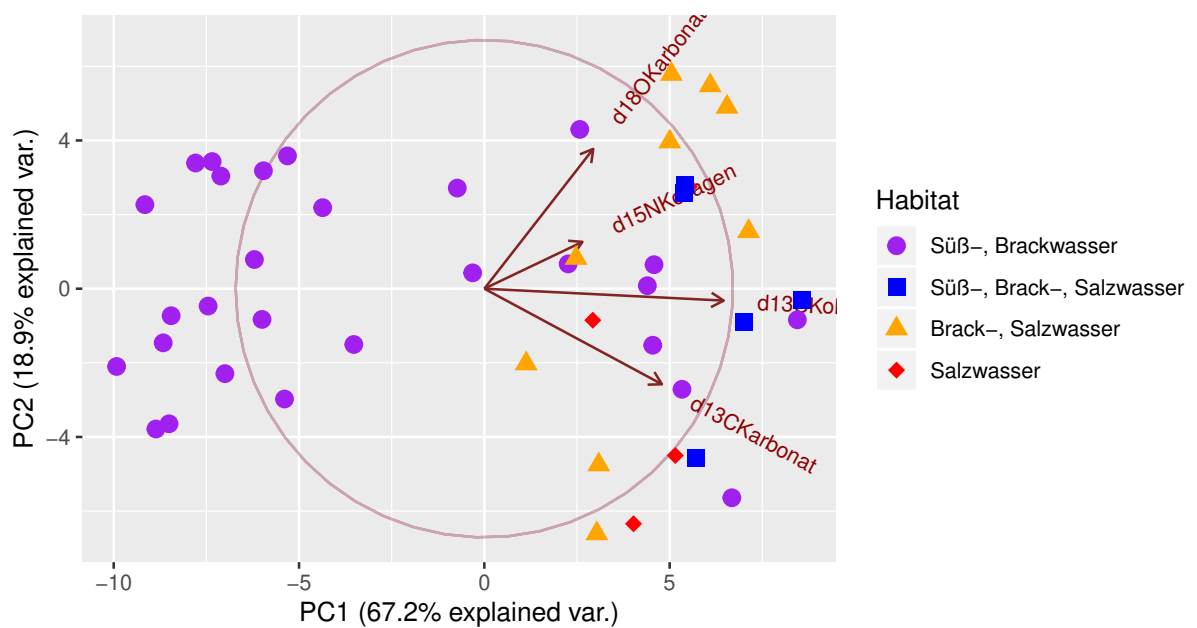
ggbiplot(pca, choices = c(1, 2), obs.scale = 1, var.scale = 1,
         groups = Daten[, 3], ellipse = FALSE, circle = TRUE) +
  scale_color_manual(values = c("orange", "red", "purple", "blue"),
                    name = "Habitat",
                    breaks = c("Süßwasser, Brackwasser",
                              "Süßwasser, Brackwasser, Salzwasser",
                              "Brackwasser, Salzwasser",
                              "Salzwasser"),
                    labels = c("Süß-, Brackwasser",
                              "Süß-, Brack-, Salzwasser",
                              "Brack-, Salzwasser",
                              "Salzwasser")) +
  scale_shape_manual(values = c(17, 18, 19, 15),
                    name = "Habitat",
                    breaks = c("Süßwasser, Brackwasser",
                              "Süßwasser, Brackwasser, Salzwasser",
                              "Brackwasser, Salzwasser",
                              "Salzwasser"),
```

```

labels = c("Süß-, Brackwasser",
           "Süß-, Brack-, Salzwasser",
           "Brack-, Salzwasser",
           "Salzwasser"))+

geom_point(aes(colour = Daten[, 3], shape = Daten[, 3]),
           size = 3)

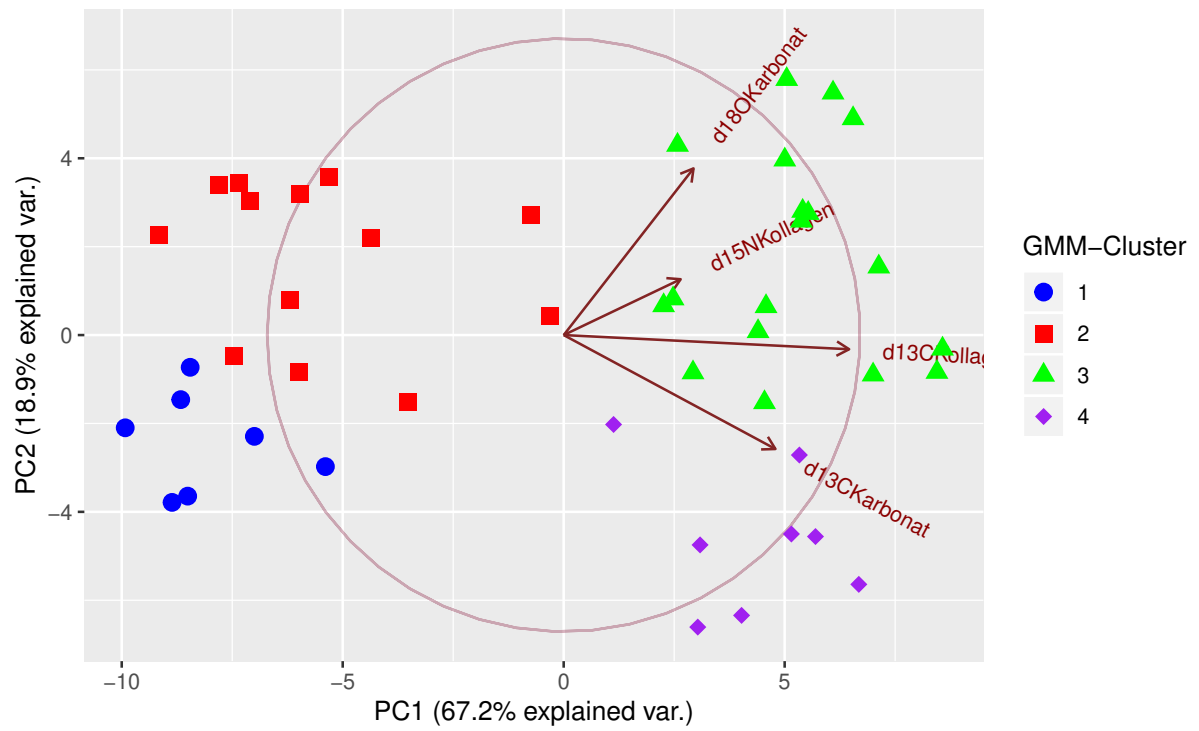
```



```
# dev.off()
```

```
# Illustration der GMM-Cluster (sh. Kapitel 4.2)
# Umkodieren der GMM-Ergebnisse als Variable vom Typ "character"
GMM_optimal_EII_character <- as.character(Daten$GMM_optimal_EII)

# pdf(width=6,height=6,"PCA_Fische_GMM_PC1_PC2.pdf",encoding="MacRoman")
ggbiplot(pca, choices = c(1, 2), obs.scale = 1, var.scale = 1,
         groups = GMM_optimal_EII_character, ellipse = FALSE,
         circle = TRUE) +
  scale_color_manual(values = c("blue", "red", "green", "purple"),
                    name = "GMM-Cluster",
                    breaks = c("1", "2", "3", "4"),
                    labels = c("1", "2", "3", "4"))+
  scale_shape_manual(values = c(19, 15, 17, 18),
                    name = "GMM-Cluster",
                    breaks = c("1", "2", "3", "4"),
                    labels = c("1", "2", "3", "4"))+
  geom_point(aes(colour = GMM_optimal_EII_character,
                 shape = GMM_optimal_EII_character),
            size = 3)
```



```
# dev.off()
```


7 „Support Vector Machine“ (SVM)

Das R-Paket

- „kernlab“ (Version 0.9-27; Karatzoglou et al., 2004)

muss installiert sein.

```
# install.packages("kernlab")  
library(kernlab)
```

1) Erzeugen des Trainings- und Testdatensatzes

```
set.seed(183)  
Training_Individuen_2 <- sample(seq_len(nrow(Daten)),  
                               size = 2/3*nrow(Daten))  
Training_2 <- Daten[Training_Individuen_2, c(6:9, 3)]  
Test_2 <- Daten[-Training_Individuen_2, c(6:9, 3)]
```

2) Erstellen der SVM

```
# Wahl des Kerns: vanilladot  
# Trainingsdatensatz  
vanilladot <- ksvm(Training_2[, 5]~., data = Training_2[, 1:4],  
                  type = "C-svc", kernel = "vanilladot",  
                  C = 1, prob.model = TRUE)  
  
# Setting default kernel parameters  
vanilladot
```



```
# Support Vector Machine object of class "ksvm"
#
# SV type: C-svc (classification)
# parameter : cost C = 1
#
# Linear (vanilla) kernel function.
#
# Number of Support Vectors : 23
#
# Objective Function Value : -5.291 -9.6064 -7.2209 -5.351 -3.4656 -7.5268
# Training error : 0.333333
# Probability model included.

# Klassifikation des Trainingsdatensatzes mit Hilfe der SVM
fitted(vanilladot)

# [1] Süßwasser, Brackwasser Brackwasser, Salzwasser
# [3] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# [5] Brackwasser, Salzwasser Salzwasser
# [7] Brackwasser, Salzwasser Süßwasser, Brackwasser
# [9] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# [11] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# [13] Salzwasser Süßwasser, Brackwasser
# [15] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# [17] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# [19] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# [21] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# [23] Süßwasser, Brackwasser Brackwasser, Salzwasser
# [25] Süßwasser, Brackwasser Brackwasser, Salzwasser
# [27] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
```

```
# [29] Salzwasser          Süßwasser, Brackwasser
# 4 Levels: Brackwasser, Salzwasser ... Süßwasser, Brackwasser, Salzwasser

# Testdatensatz

predict <- predict(vanilladot, Test_2[, 1:4], type="probabilities")
predict

#      Brackwasser, Salzwasser Salzwasser Süßwasser, Brackwasser
# [1,]          0.09868128  0.1901700          0.5612434
# [2,]          0.09981582  0.1459870          0.6484030
# [3,]          0.21860881  0.1654738          0.4002956
# [4,]          0.19923239  0.1660192          0.3840837
# [5,]          0.24534142  0.1566435          0.3624619
# [6,]          0.12066318  0.1395107          0.5993036
# [7,]          0.16790477  0.1516777          0.4902001
# [8,]          0.30419815  0.1402498          0.2706214
# [9,]          0.27082432  0.1393173          0.3016128
# [10,]         0.16951672  0.1717726          0.3944774
# [11,]         0.30327544  0.1346298          0.2795759
# [12,]         0.07347992  0.1705856          0.6465542
# [13,]         0.33593179  0.1363229          0.2607378
# [14,]         0.11710100  0.1481745          0.5720113
# [15,]         0.14557898  0.1588959          0.5098707
# [16,]         0.12117258  0.1539392          0.5903868
#      Süßwasser, Brackwasser, Salzwasser
# [1,]                                0.1499053
# [2,]                                0.1057941
# [3,]                                0.2156218
# [4,]                                0.2506647
# [5,]                                0.2355532
```

```
# [6,] 0.1405225
# [7,] 0.1902174
# [8,] 0.2849306
# [9,] 0.2882456
# [10,] 0.2642333
# [11,] 0.2825188
# [12,] 0.1093802
# [13,] 0.2670075
# [14,] 0.1627132
# [15,] 0.1856545
# [16,] 0.1345014

# Wahl des Kerns: polydot (quadratisch)
# Trainingsdatensatz
polydot <- ksvm(Training_2[, 5]~., data = Training_2[, 1:4],
               type="C-svc", kernel = "polydot"(degree = 2),
               C = 1, prob.model = TRUE)

polydot

# Support Vector Machine object of class "ksvm"
#
# SV type: C-svc (classification)
# parameter : cost C = 1
#
# Polynomial kernel function.
# Hyperparameters : degree = 2 scale = 1 offset = 1
#
# Number of Support Vectors : 20
#
# Objective Function Value : -1.9128 -1.1074 -1.95 -2.3777 -1.7616 -4.0998
```

```
# Training error : 0.033333
# Probability model included.

# Klassifikation des Trainingsdatensatzes mit Hilfe der SVM
fitted(polydot)

# [1] Süßwasser, Brackwasser
# [2] Brackwasser, Salzwasser
# [3] Süßwasser, Brackwasser
# [4] Brackwasser, Salzwasser
# [5] Brackwasser, Salzwasser
# [6] Brackwasser, Salzwasser
# [7] Brackwasser, Salzwasser
# [8] Salzwasser
# [9] Süßwasser, Brackwasser
# [10] Süßwasser, Brackwasser
# [11] Süßwasser, Brackwasser
# [12] Süßwasser, Brackwasser, Salzwasser
# [13] Salzwasser
# [14] Brackwasser, Salzwasser
# [15] Süßwasser, Brackwasser
# [16] Süßwasser, Brackwasser
# [17] Süßwasser, Brackwasser
# [18] Süßwasser, Brackwasser
# [19] Süßwasser, Brackwasser
# [20] Salzwasser
# [21] Süßwasser, Brackwasser, Salzwasser
# [22] Süßwasser, Brackwasser
# [23] Süßwasser, Brackwasser
# [24] Brackwasser, Salzwasser
```

```

# [25] Süßwasser, Brackwasser
# [26] Süßwasser, Brackwasser
# [27] Süßwasser, Brackwasser, Salzwasser
# [28] Süßwasser, Brackwasser
# [29] Süßwasser, Brackwasser
# [30] Süßwasser, Brackwasser
# 4 Levels: Brackwasser, Salzwasser ... Süßwasser, Brackwasser, Salzwasser

# Testdatensatz

predict <- predict(polydot, Test_2[, 1:4], type = "probabilities")
predict

#      Brackwasser, Salzwasser Salzwasser Süßwasser, Brackwasser
# [1,]      0.21444619 0.18178994      0.2889860
# [2,]      0.13752244 0.16748265      0.3953212
# [3,]      0.29367220 0.17964740      0.3015591
# [4,]      0.23936941 0.17903599      0.3447806
# [5,]      0.31139991 0.17937464      0.2867902
# [6,]      0.03995794 0.12191429      0.6238380
# [7,]      0.14108248 0.18659062      0.4206650
# [8,]      0.45093710 0.15231282      0.1918770
# [9,]      0.13683064 0.15136727      0.4806653
# [10,]     0.22645815 0.17925838      0.3202907
# [11,]     0.27295037 0.16040804      0.3137448
# [12,]     0.19567816 0.17396526      0.3045028
# [13,]     0.03487571 0.09129298      0.6957582
# [14,]     0.07384516 0.15947215      0.5318751
# [15,]     0.15082213 0.18844733      0.4064729
# [16,]     0.14703329 0.17859364      0.3890766
#      Süßwasser, Brackwasser, Salzwasser

```

```
# [1,] 0.3147779
# [2,] 0.2996737
# [3,] 0.2251213
# [4,] 0.2368140
# [5,] 0.2224352
# [6,] 0.2142897
# [7,] 0.2516619
# [8,] 0.2048730
# [9,] 0.2311368
# [10,] 0.2739927
# [11,] 0.2528968
# [12,] 0.3258538
# [13,] 0.1780731
# [14,] 0.2348076
# [15,] 0.2542576
# [16,] 0.2852964

# Wahl des Kerns: rbfdot
# Trainingsdatensatz
rbfdot<-ksvm(Training_2[, 5]~., data = Training_2[, 1:4],
             type = "C-svc", kernel = "rbfdot",
             C = 1, prob.model = TRUE)
rbfdot

# Support Vector Machine object of class "ksvm"
#
# SV type: C-svc (classification)
# parameter : cost C = 1
#
# Gaussian Radial Basis kernel function.
```

```

# Hyperparameter : sigma = 0.267008952646232
#
# Number of Support Vectors : 24
#
# Objective Function Value : -5.2904 -8.39 -6.4943 -5.5285 -4.7595 -7.3926
# Training error : 0.3
# Probability model included.

# Klassifikation des Trainingsdatensatzes mit Hilfe der SVM
fitted(rbfdot)

# [1] Süßwasser, Brackwasser Brackwasser, Salzwasser
# [3] Süßwasser, Brackwasser Brackwasser, Salzwasser
# [5] Süßwasser, Brackwasser Brackwasser, Salzwasser
# [7] Brackwasser, Salzwasser Süßwasser, Brackwasser
# [9] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# [11] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# [13] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# [15] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# [17] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# [19] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# [21] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# [23] Süßwasser, Brackwasser Brackwasser, Salzwasser
# [25] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# [27] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# [29] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# 4 Levels: Brackwasser, Salzwasser ... Süßwasser, Brackwasser, Salzwasser

# Testdatensatz
predict <- predict(rbfdot, Test_2[, 1:4], type="probabilities")
predict

```

#	Brackwasser, Salzwasser	Salzwasser	Süßwasser, Brackwasser
# [1,]	0.1942135	0.1839954	0.3475950
# [2,]	0.1978125	0.1833141	0.3435042
# [3,]	0.2638478	0.1669982	0.3205859
# [4,]	0.1603589	0.1761390	0.4182485
# [5,]	0.3161627	0.1570909	0.2876131
# [6,]	0.1871056	0.1855229	0.3499109
# [7,]	0.2040063	0.1811237	0.3433546
# [8,]	0.4668980	0.1490813	0.1332477
# [9,]	0.2148486	0.1566733	0.3962541
# [10,]	0.1837123	0.1794415	0.3823933
# [11,]	0.3842708	0.1572714	0.1950653
# [12,]	0.1844050	0.1862743	0.3500954
# [13,]	0.1609875	0.1590457	0.4526871
# [14,]	0.1839828	0.1860447	0.3520514
# [15,]	0.1866558	0.1854690	0.3504011
# [16,]	0.1844033	0.1874096	0.3440817
#	Süßwasser, Brackwasser, Salzwasser		
# [1,]		0.2741960	
# [2,]		0.2753692	
# [3,]		0.2485681	
# [4,]		0.2452535	
# [5,]		0.2391333	
# [6,]		0.2774607	
# [7,]		0.2715154	
# [8,]		0.2507730	
# [9,]		0.2322240	
# [10,]		0.2544529	


```
# [11,] 0.2633925
# [12,] 0.2792253
# [13,] 0.2272797
# [14,] 0.2779210
# [15,] 0.2774740
# [16,] 0.2841054
```

3) Graphische Darstellung

```
# Graphische Darstellung am Beispiel "rbfdot"
rbfdot<-ksvm(Training_2[, 5]~., data = Training_2[, 1:4],
             type = "C-svc", kernel = "rbfdot",
             C = 1, prob.model = TRUE)
predict <- predict(rbfdot, Test_2[, 1:4])
predict

# [1] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# [3] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# [5] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# [7] Süßwasser, Brackwasser Brackwasser, Salzwasser
# [9] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# [11] Brackwasser, Salzwasser Süßwasser, Brackwasser
# [13] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# [15] Süßwasser, Brackwasser Süßwasser, Brackwasser
# 4 Levels: Brackwasser, Salzwasser ... Süßwasser, Brackwasser, Salzwasser

# tatsächliche Klassenzuordnung des Trainingsdatensatzes
train_SuessBrackSalz <- subset(Training_2, subset = Training_2$Habitat==
                              "Süßwasser, Brackwasser, Salzwasser")
train_SuessBrack <- subset(Training_2, subset = Training_2$Habitat==
```

```
        "Süßwasser, Brackwasser")
train_BrackSalz <- subset(Training_2, subset = Training_2$Habitat==
        "Brackwasser, Salzwasser")
train_Salz <- subset(Training_2, subset = Training_2$Habitat==
        "Salzwasser")
# tatsächliche Klassenzuordnung des Testdatensatzes
test_SuessBrackSalz <- subset(Test_2, subset = Test_2$Habitat==
        "Süßwasser, Brackwasser, Salzwasser")
test_SuessBrack <- subset(Test_2, subset = Test_2$Habitat==
        "Süßwasser, Brackwasser")
test_BrackSalz <- subset(Test_2, subset = Test_2$Habitat==
        "Brackwasser, Salzwasser")
test_Salz <- subset(Test_2, subset = Test_2$Habitat==
        "Salzwasser")
```

```
# Gemäß SVM vorhergesagte Klassenzuordnung des Trainingsdatensatzes
predict_SuessBrackSalz <- subset(Test_2,
                                subset = predict=="Süßwasser,
                                Brackwasser, Salzwasser")
predict_SuessBrack <- subset(Test_2,
                              subset = predict=="Süßwasser, Brackwasser")
predict_BrackSalz <- subset(Test_2,
                             subset = predict=="Brackwasser, Salzwasser")
predict_Salz <- subset(Test_2,
                       subset = predict=="Salzwasser")

# pdf(width = 6, height = 6, "SVM_rbfdot_d13CKolld15NKoll.pdf",
# encoding="MacRoman")
par(mar = c(3.5, 3.5, 1, 1))
plot(Test_2[, 1], Test_2[, 2], type = "n",
      xlim = c(-30,-10), ylim = c(5, 16),
      ann = FALSE, axes = FALSE)
points(test_SuessBrackSalz[, 1], test_SuessBrackSalz[, 2],
       pch = 0, col = "blue")
points(test_SuessBrack[, 1], test_SuessBrack[, 2],
       pch = 2, col = "purple")
points(test_BrackSalz[, 1], test_BrackSalz[, 2],
       pch = 5, col = "orange")
points(test_Salz[, 1], test_Salz[, 2],
       pch = 6, col = "red")
points(train_SuessBrackSalz[, 1], train_SuessBrackSalz[, 2],
       pch = 0, col = "blue")
points(train_SuessBrack[, 1], train_SuessBrack[, 2],
```

```

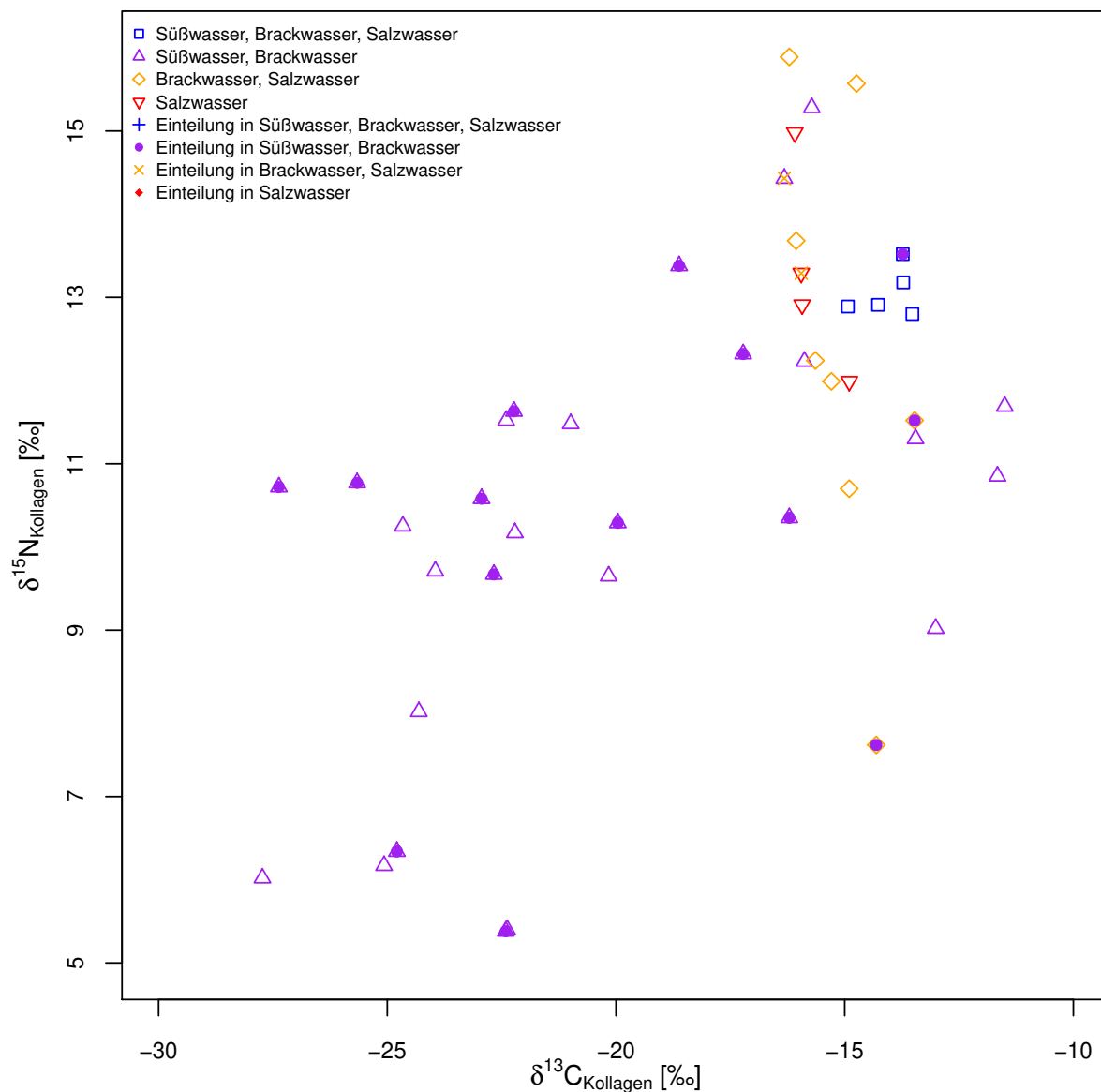
    pch = 2, col = "purple")
points(train_BrackSalz[, 1], train_BrackSalz[, 2],
       pch = 5, col = "orange")
points(train_Salz[, 1], train_Salz[, 2],
       pch = 6, col = "red")
points(predict_SuessBrackSalz[, 1], predict_SuessBrackSalz[, 2],
       pch = 3, col = "blue")
points(predict_SuessBrack[, 1], predict_SuessBrack[, 2],
       pch = 16, col = "purple")
points(predict_BrackSalz[, 1], predict_BrackSalz[, 2],
       pch = 4, col = "orange")
points(predict_Salz[, 1], predict_Salz[, 2],
       pch = 18, col = "red")
box()
axis(1, at = seq(-30, -10, 5), cex.axis = 0.8)
axis(2, at = seq(5, 15, 2), cex.axis = 0.8)
mtext(side = 1, line = 2.1,
      expression(paste(delta^13*"C"[Kollagen]~"[\211]")))
mtext(side = 2, line = 2.1,
      expression(paste(delta^15*"N"[Kollagen]~"[\211]")))
legend("topleft",
      legend = c("Süßwasser, Brackwasser, Salzwasser",
                  "Süßwasser, Brackwasser",
                  "Brackwasser, Salzwasser",
                  "Salzwasser",
                  "Einteilung in Süßwasser, Brackwasser, Salzwasser",
                  "Einteilung in Süßwasser, Brackwasser",
                  "Einteilung in Brackwasser, Salzwasser",

```

```

"Einteilung in Salzwasser"),
col = c("blue", "purple", "orange", "red",
        "blue", "purple", "orange", "red"),
pch = c(0, 2, 5, 6, 3, 16, 4, 18), bty = "n", cex = 0.7)

```



```

# dev.off()

# pdf(width = 6, height = 6, "SVM_rbf_dot_d13CKarbd18OKarb.pdf",
# encoding = "MacRoman")

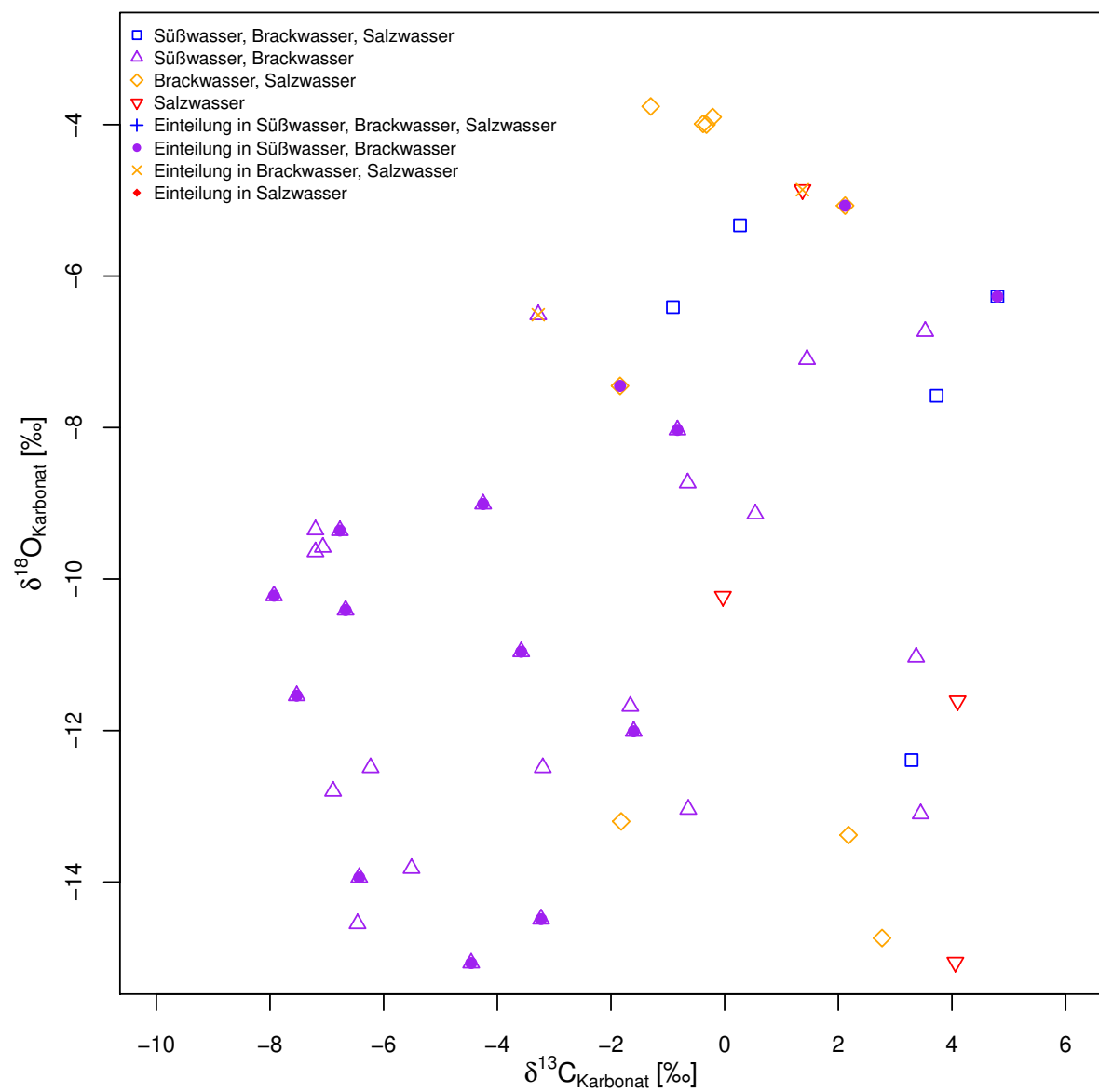
```

```
par(mar = c(3.5, 3.5, 1, 1))
plot(Test_2[, 3], Test_2[, 4], type = "n",
      xlim = c(-10, 6), ylim = c(-15,-3),
      ann = FALSE, axes = FALSE)
points(test_SuessBrackSalz[, 3], test_SuessBrackSalz[, 4],
       pch = 0, col = "blue")
points(test_SuessBrack[, 3], test_SuessBrack[, 4],
       pch = 2, col = "purple")
points(test_BrackSalz[, 3], test_BrackSalz[, 4],
       pch = 5, col = "orange")
points(test_Salz[, 3], test_Salz[, 4],
       pch = 6, col = "red")
points(train_SuessBrackSalz[, 3], train_SuessBrackSalz[, 4],
       pch = 0, col = "blue")
points(train_SuessBrack[, 3], train_SuessBrack[, 4],
       pch = 2, col = "purple")
points(train_BrackSalz[, 3], train_BrackSalz[, 4],
       pch = 5, col = "orange")
points(train_Salz[, 3], train_Salz[, 4],
       pch = 6, col = "red")
points(predict_SuessBrackSalz[, 3], predict_SuessBrackSalz[, 4],
       pch = 3, col = "blue")
points(predict_SuessBrack[, 3], predict_SuessBrack[, 4],
       pch = 16, col = "purple")
points(predict_BrackSalz[, 3], predict_BrackSalz[, 4],
       pch = 4, col = "orange")
points(predict_Salz[, 3], predict_Salz[, 4],
       pch = 18, col = "red")
```

```

box()
axis(1, at = seq(-10, 6, 2), cex.axis = 0.8)
axis(2, at = seq(-14, -4, 2), cex.axis = 0.8)
mtext(side = 1, line = 2.1,
      expression(paste(delta^13*"C"[Karbonat]~"[\211]")))
mtext(side = 2, line = 2.1,
      expression(paste(delta^18*"O"[Karbonat]~"[\211]")))
legend("topleft",
      legend = c("Süßwasser, Brackwasser, Salzwasser",
                  "Süßwasser, Brackwasser",
                  "Brackwasser, Salzwasser",
                  "Salzwasser",
                  "Einteilung in Süßwasser, Brackwasser, Salzwasser",
                  "Einteilung in Süßwasser, Brackwasser",
                  "Einteilung in Brackwasser, Salzwasser",
                  "Einteilung in Salzwasser"),
      col = c("blue", "purple", "orange", "red",
              "blue", "purple", "orange", "red"),
      pch = c(0, 2, 5, 6, 3, 16, 4, 18), bty = "n", cex = 0.7)

```



```
# dev.off()
```


8 „Feature Ranking“

8.1 „Adjusted Rand Index“ (ARI)

Das R-Paket

- „mclust“ (Version 5.4.1; Scrucca et al., 2016)

muss installiert sein (vgl. Kapitel 4.2).

```
# install.packages("mclust")  
library(mclust)  
mclust.options(hcUse = "VARS")
```

1) Detektion und Entfernen multivariater Ausreißer

vgl. Kapitel 3

2) Normalisieren der Daten

```
norm <- function(x) {  
  (x - min(x, na.rm = TRUE))/(max(x, na.rm = TRUE) -  
                               min(x, na.rm = TRUE))  
}  
Daten_norm <- as.data.frame(lapply(Daten[, 6:9], norm))
```

3) GMM-Clusteranalyse der einzelnen Merkmalskombinationen

vgl. hierzu auch Kapitel 4.2

```

# alle Dimensionen
alle <- Mclust(Daten_norm[, c(1, 2, 3, 4)])
summary(alle)

# -----
# Gaussian finite mixture model fitted by EM algorithm
# -----
#
# Mclust EVE (ellipsoidal, equal volume and orientation) model with 2
# components:
#
# log.likelihood  n df      BIC      ICL
#      48.92404 46 22 13.61797 13.60538
#
# Clustering table:
#  1  2
# 18 28

# ohne d13CKollagen
ohned13CKoll <- Mclust(Daten_norm[, c(2, 3, 4)])
summary(ohned13CKoll)

# -----
# Gaussian finite mixture model fitted by EM algorithm
# -----
#
# Mclust VII (spherical, varying volume) model with 4 components:
#
# log.likelihood  n df      BIC      ICL
#      22.73675 46 19 -27.27068 -32.23148

```

```

#
# Clustering table:
#  1  2  3  4
# 18 16  7  5

# ohne d15NKollagen
ohned15NKoll <- Mclust(Daten_norm[, c(1, 3, 4)])
summary(ohned15NKoll)

# -----
# Gaussian finite mixture model fitted by EM algorithm
# -----
#
# Mclust EVI (diagonal, equal volume, varying shape) model with 2
# components:
#
# log.likelihood  n df      BIC      ICL
#      20.88173 46 12 -4.180243 -5.060804
#
# Clustering table:
#  1  2
# 20 26

# ohne d13CKarbonat
ohned13CKarb <- Mclust(Daten_norm[, c(1, 2, 4)])
summary(ohned13CKarb)

# -----
# Gaussian finite mixture model fitted by EM algorithm
# -----
#

```

```

# Mclust EVI (diagonal, equal volume, varying shape) model with 2
# components:
#
#   log.likelihood  n df      BIC      ICL
#         21.66144 46 12 -2.620824 -2.846349
#
# Clustering table:
#   1  2
# 18 28

# ohne d18OKarbonat
ohned180Karb <- Mclust(Daten_norm[, c(1, 2, 3)])
summary(ohned180Karb)

# -----
# Gaussian finite mixture model fitted by EM algorithm
# -----
#
# Mclust EVE (ellipsoidal, equal volume and orientation) model with 2
# components:
#
#   log.likelihood  n df      BIC      ICL
#         43.64922 46 15 29.86881 29.84276
#
# Clustering table:
#   1  2
# 18 28

# nur d13CKollagen
nurd13CKoll <- Mclust(Daten_norm[, 1])
summary(nurd13CKoll)

```

```

# -----
# Gaussian finite mixture model fitted by EM algorithm
# -----
#
# Mclust E (univariate, equal variance) model with 2 components:
#
# log.likelihood  n df      BIC      ICL
#      5.490379 46  4 -4.333808 -5.44327
#
# Clustering table:
#  1  2
# 18 28

# nur d15NKollagen
nurd15NKoll <- Mclust(Daten_norm[, 2])
summary(nurd15NKoll)

# -----
# Gaussian finite mixture model fitted by EM algorithm
# -----
#
# Mclust X (univariate normal) model with 1 component:
#
# log.likelihood  n df      BIC      ICL
#      2.727351 46  2 -2.202581 -2.202581
#
# Clustering table:
#  1
# 46

```

```

# nur d13CKarbonat

nurd13CKarb <- Mclust(Daten_norm[, 3])
summary(nurd13CKarb)

# -----
# Gaussian finite mixture model fitted by EM algorithm
# -----
#
# Mclust V (univariate, unequal variance) model with 2 components:
#
#   log.likelihood  n df      BIC      ICL
#   -0.4132348 46  5 -19.96968 -21.60182
#
# Clustering table:
#   1  2
# 11 35

# nur d180Karbonat

nurd180Karb <- Mclust(Daten_norm[, 4])
summary(nurd180Karb)

# -----
# Gaussian finite mixture model fitted by EM algorithm
# -----
#
# Mclust X (univariate normal) model with 1 component:
#
#   log.likelihood  n df      BIC      ICL
#   -9.669572 46  2 -26.99643 -26.99643
#

```

```
# Clustering table:
```

```
# 1
```

```
# 46
```

3) Berechnen des „Adjusted Rand Index“ (ARI)

```
# d13CKollagen
```

```
# Relevanz
```

```
d13CKoll_Rel <- adjustedRandIndex(nurd13CKoll$classification,  
                                 alle$classification)
```

```
# Redundanz
```

```
d13CKoll_Red <- adjustedRandIndex(ohned13CKoll$classification,  
                                 alle$classification)
```

```
# d15NKollagen
```

```
# Relevanz
```

```
d15NKoll_Rel <- adjustedRandIndex(nurd15NKoll$classification,  
                                 alle$classification)
```

```
# Redundanz
```

```
d15NKoll_Red <- adjustedRandIndex(ohned15NKoll$classification,  
                                 alle$classification)
```

```
# d13CKarbonat
```

```
# Relevanz
```

```
d13CKarb_Rel <- adjustedRandIndex(nurd13CKarb$classification,  
                                 alle$classification)
```

```
# Redundanz
```

```
d13CKarb_Red <- adjustedRandIndex(ohned13CKarb$classification,  
                                 alle$classification)
```



```

# d180Karbonat

# Relevanz
d180Karb_Rel <- adjustedRandIndex(nurd180Karb$classification,
                                alle$classification)

# Redundanz
d180Karb_Red <- adjustedRandIndex(ohned180Karb$classification,
                                alle$classification)

# Relevanz und Redundanz
Relevanz <- c(d13CKoll_Rel, d15NKoll_Rel, d13CKarb_Rel, d180Karb_Rel)
Redundanz <- c(d13CKoll_Red, d15NKoll_Red, d13CKarb_Red, d180Karb_Red)
ARI <- cbind(Relevanz, Redundanz)
rownames(ARI) <- c("d13CKollagen", "d15NKollagen", "d13CKarbonat",
                  "d180Karbonat")

ARI

#           Relevanz Redundanz
# d13CKollagen 1.0000000 0.3174904
# d15NKollagen 0.0000000 0.8299731
# d13CKarbonat 0.4689165 1.0000000
# d180Karbonat 0.0000000 1.0000000

```

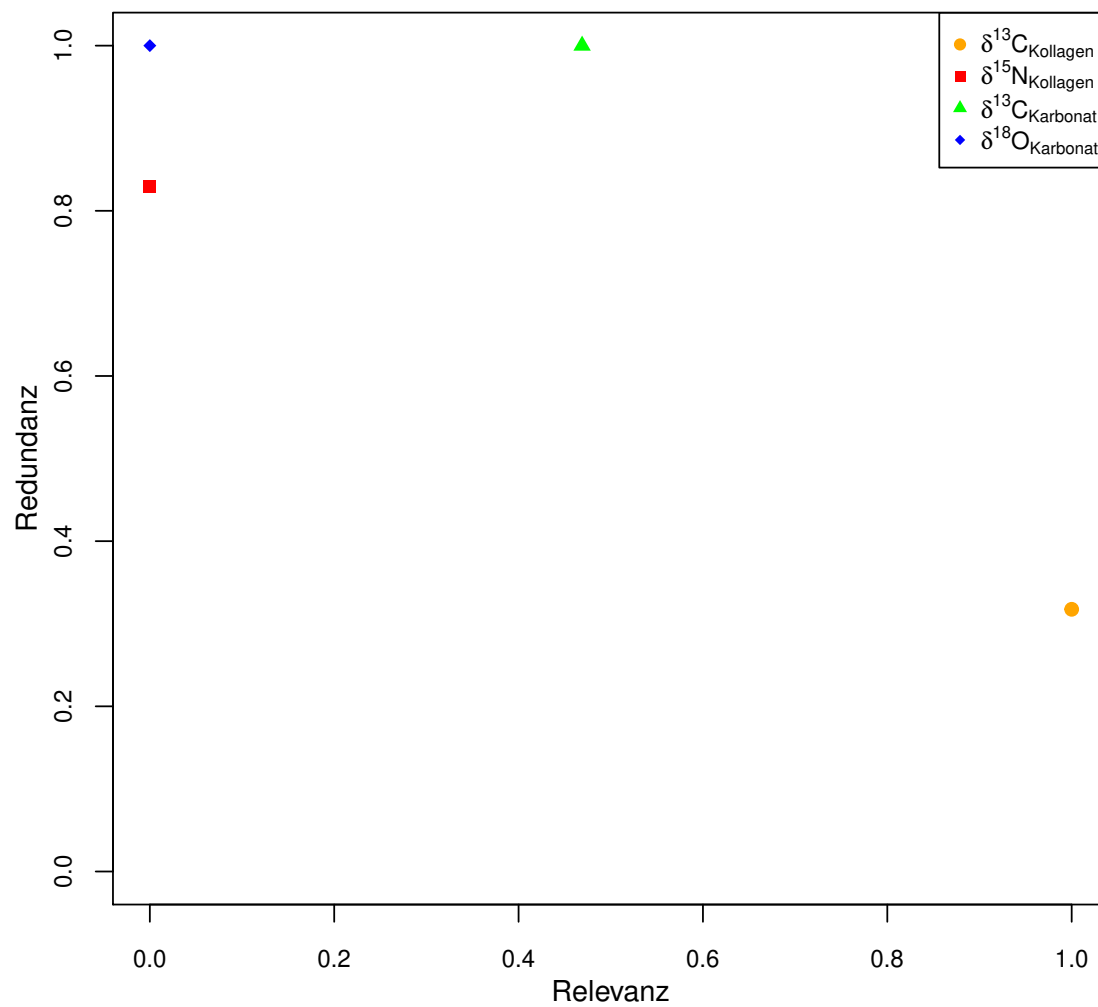
3) Graphische Darstellung der Relevanz und Redundanz

```

# pdf(width = 6, height = 6, "ARI_Plot.pdf",
# encoding = "MacRoman")
plot(c(0, 1), c(0, 1), type = "n", ann = FALSE, axes = FALSE)
box()
axis(1, seq(0, 1, 0.2), cex.axis = 0.8)

```

```
axis(2, seq(0, 1, 0.2), cex.axis = 0.8)
mtext(side = 1, line = 2, "Relevanz")
mtext(side = 2, line = 2, "Redundanz")
points(ARI[, 1], ARI[, 2],
       col = c("orange", "red", "green", "blue"),
       pch = c(19, 15, 17, 18))
legend("topright", cex = 0.8,
       legend = c(expression(paste(delta13*"C"[Kollagen])),
                  expression(paste(delta15*"N"[Kollagen])),
                  expression(paste(delta13*"C"[Karbonat])),
                  expression(paste(delta18*"O"[Karbonat]))),
       col = c("orange", "red", "green", "blue"),
       pch = c(19, 15, 17, 18))
```



```
# dev.off()
```

8.2 Entropie-basiertes „Feature Ranking“

Das R-Paket

- „clusterSim“ (Version 0.47-1; Walesiak & Dudek, 2017)

muss installiert sein.

```
# install.packages("clusterSim")  
library(clusterSim)
```

1) Detektion und Entfernen multivariater Ausreißer

vgl. Kapitel 3

2) Normalisieren der Daten

```
norm <- function(x) {  
  (x - min(x, na.rm = TRUE))/(max(x, na.rm = TRUE) -  
                               min(x, na.rm = TRUE))  
}  
Daten_norm <- as.data.frame(lapply(Daten[, 6:9], norm))
```

3) Bilden von Distanzmatrizen D_{ij}

```
Dij1 <- as.matrix(dist(Daten_norm[, 1],  
                       method = "euclidean",  
                       diag = FALSE, upper = TRUE))  
Dij2 <- as.matrix(dist(Daten_norm[, 2],  
                       method = "euclidean",  
                       diag = FALSE, upper = TRUE))
```

```
Dij3 <- as.matrix(dist(Daten_norm[, 3],  
                        method = "euclidean",  
                        diag = FALSE, upper = TRUE))  
  
Dij4 <- as.matrix(dist(Daten_norm[, 4],  
                        method = "euclidean",  
                        diag = FALSE, upper = TRUE))  
  
Dij12 <- as.matrix(dist(Daten_norm[, c(1, 2)],  
                        method = "euclidean",  
                        diag = FALSE, upper = TRUE))  
  
Dij13 <- as.matrix(dist(Daten_norm[, c(1, 3)],  
                        method = "euclidean",  
                        diag = FALSE, upper = TRUE))  
  
Dij14 <- as.matrix(dist(Daten_norm[, c(1, 4)],  
                        method = "euclidean",  
                        diag = FALSE, upper = TRUE))  
  
Dij23 <- as.matrix(dist(Daten_norm[, c(2, 3)],  
                        method = "euclidean",  
                        diag = FALSE, upper = TRUE))  
  
Dij24 <- as.matrix(dist(Daten_norm[, c(2, 4)],  
                        method = "euclidean",  
                        diag = FALSE, upper = TRUE))  
  
Dij34 <- as.matrix(dist(Daten_norm[, c(3, 4)],  
                        method = "euclidean",  
                        diag = FALSE, upper = TRUE))  
  
Dij123 <- as.matrix(dist(Daten_norm[, c(1, 2, 3)],  
                        method = "euclidean",  
                        diag = FALSE, upper = TRUE))  
  
Dij124 <- as.matrix(dist(Daten_norm[, c(1, 2, 4)],
```

```
        method = "euclidean",
        diag = FALSE, upper = TRUE))
Dij134 <- as.matrix(dist(Daten_norm[, c(1, 3, 4)],
        method = "euclidean",
        diag = FALSE, upper = TRUE))
Dij234 <- as.matrix(dist(Daten_norm[, c(2, 3, 4)],
        method = "euclidean",
        diag = FALSE, upper = TRUE))
Dij1234 <- as.matrix(dist(Daten_norm[, c(1, 2, 3, 4)],
        method = "euclidean",
        diag = FALSE, upper = TRUE))
```

4) Normalisieren der Distanzmatrizen

```
Dij1norm <- data.Normalization(Dij1, type = "n4",
        normalization = "column")
Dij2norm <- data.Normalization(Dij2, type = "n4",
        normalization = "column")
Dij3norm <- data.Normalization(Dij3, type = "n4",
        normalization = "column")
Dij4norm <- data.Normalization(Dij4, type = "n4",
        normalization = "column")
Dij12norm <- data.Normalization(Dij12, type = "n4",
        normalization = "column")
Dij13norm <- data.Normalization(Dij13, type = "n4",
        normalization = "column")
Dij14norm <- data.Normalization(Dij14, type = "n4",
        normalization = "column")
```

```

Dij23norm <- data.Normalization(Dij23, type = "n4",
                                normalization = "column")
Dij24norm <- data.Normalization(Dij24, type = "n4",
                                normalization = "column")
Dij34norm <- data.Normalization(Dij34, type = "n4",
                                normalization = "column")
Dij123norm <- data.Normalization(Dij123, type = "n4",
                                 normalization = "column")
Dij124norm <- data.Normalization(Dij124, type = "n4",
                                 normalization = "column")
Dij134norm <- data.Normalization(Dij134, type = "n4",
                                 normalization = "column")
Dij234norm <- data.Normalization(Dij234, type = "n4",
                                 normalization = "column")
Dij1234norm <- data.Normalization(Dij1234, type = "n4",
                                  normalization = "column")

```

5) Berechnen der Entropiewerte

```

Entropieformel <- function(x = 0){
  ifelse(x > 0 & x < 1, -x * log2(x), 0)
}

Entropie<-function(x){
  sum(Entropieformel(x))
}

E1 <- Entropie(Dij1norm)
E2 <- Entropie(Dij2norm)
E3 <- Entropie(Dij3norm)

```

```
E4 <- Entropie(Dij4norm)
E12 <- Entropie(Dij12norm)
E13 <- Entropie(Dij13norm)
E14 <- Entropie(Dij14norm)
E23 <- Entropie(Dij23norm)
E24 <- Entropie(Dij24norm)
E34 <- Entropie(Dij34norm)
E123 <- Entropie(Dij123norm)
E124 <- Entropie(Dij124norm)
E134 <- Entropie(Dij134norm)
E234 <- Entropie(Dij234norm)
E1234 <- Entropie(Dij1234norm)
```

6) Graphische Darstellung der Entropiewerte

```
Entropie <- c(E1, E2, E3, E4, E12, E13, E14, E23, E24,
             E34, E123, E124, E134, E234, E1234)

min_1 <- min(E1, E2, E3, E4)
min_1

# [1] 723.7762

min_2 <- min(E12, E13, E14, E23, E24, E34)
min_2

# [1] 748.3893

min_3 <- min(E123, E124, E134, E234)
min_3
```



```
# [1] 754.6528

max_1 <- max(E1, E2, E3, E4)
max_1

# [1] 814.9278

max_2 <- max(E12, E13, E14, E23, E24, E34)
max_2

# [1] 848.8793

max_3 <- max(E123, E124, E134, E234)
max_3

# [1] 825.7409

# pdf(width = 6, height = 6, "Entropie_Plot.pdf",
# encoding = "MacRoman")

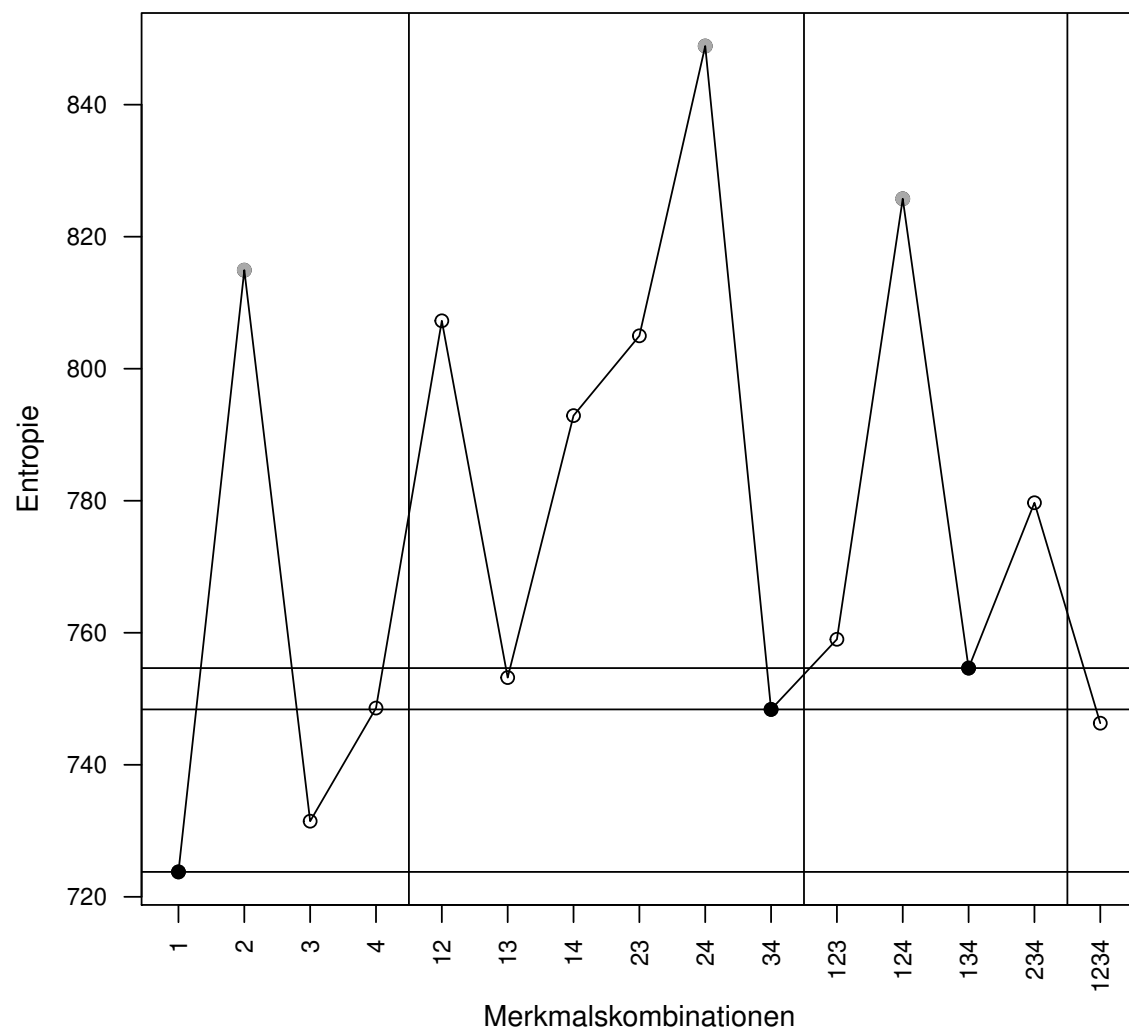
plot(Entropie, ann = FALSE, axes = FALSE)
box()
axis(1, at = seq(1:15), labels = c("1", "2", "3", "4", "12", "13",
                                   "14", "23", "24", "34", "123", "124",
                                   "134", "234", "1234"),
     cex.axis = 0.8, las = 2)
axis(2, at = seq(720, 840, 20), cex.axis = 0.8, las = 2)
mtext(side = 1, line=2.7, "Merkmalskombinationen")
mtext(side = 2, line=2.8, "Entropie")
abline(v = 4.5)
abline(v = 10.5)
abline(v = 14.5)
points(match(min_1, Entropie), min_1, pch = 19, col = "black")
```

```

points(match(min_2, Entropie), min_2, pch = 19, col = "black")
points(match(min_3, Entropie), min_3, pch = 19, col = "black")
abline(h = min_1, col = "black", lwd = 1)
abline(h = min_2, col = "black", lwd = 1)
abline(h = min_3, col = "black", lwd = 1)

points(match(max_1, Entropie), max_1, pch = 19, col = "darkgrey")
points(match(max_2, Entropie), max_2, pch = 19, col = "darkgrey")
points(match(max_3, Entropie), max_3, pch = 19, col = "darkgrey")
lines(Entropie)

```



```
# dev.off()
```

7) Trace-Index

Die R-Pakete

- „clusterCrit“ (Version 1.2.8; Desgraupes, 2018)
- „mclust“ (Version 5.4.1; Scrucca et al., 2016)

müssen installiert sein.

```
# install.packages(c("clusterCrit", "mclust"))  
library(clusterCrit)  
library(mclust)  
mclust.options(hcUse="VARS")
```

1) Berechnen des Trace-Index

```
GMM1 <- Mclust(Daten_norm[,1])  
matrix <- data.matrix(Daten_norm[,1], rownames.force = NA)  
crit1 <- intCriteria(matrix, as.integer(GMM1$classification), "all")  
  
GMM2 <- Mclust(Daten_norm[,2])  
matrix <- data.matrix(Daten_norm[,2], rownames.force = NA)  
crit2 <- intCriteria(matrix, as.integer(GMM2$classification), "all")  
  
GMM3 <- Mclust(Daten_norm[,3])  
matrix <- data.matrix(Daten_norm[,3], rownames.force = NA)  
crit3 <- intCriteria(matrix, as.integer(GMM3$classification), "all")
```

```
GMM4 <- Mclust(Daten_norm[,4])
matrix <- data.matrix(Daten_norm[,4], rownames.force = NA)
crit4 <- intCriteria(matrix, as.integer(GMM4$classification), "all")

GMM12 <- Mclust(Daten_norm[, c(1, 2)])
matrix <- data.matrix(Daten_norm[, c(1, 2)], rownames.force = NA)
crit12 <- intCriteria(matrix, as.integer(GMM12$classification), "all")

GMM13 <- Mclust(Daten_norm[, c(1, 3)])
matrix <- data.matrix(Daten_norm[, c(1, 3)], rownames.force = NA)
crit13 <- intCriteria(matrix, as.integer(GMM13$classification), "all")

GMM14 <- Mclust(Daten_norm[, c(1, 4)])
matrix <- data.matrix(Daten_norm[, c(1, 4)], rownames.force = NA)
crit14 <- intCriteria(matrix, as.integer(GMM14$classification), "all")

GMM23 <- Mclust(Daten_norm[, c(2, 3)])
matrix <- data.matrix(Daten_norm[, c(2, 3)], rownames.force = NA)
crit23 <- intCriteria(matrix, as.integer(GMM23$classification), "all")

GMM24 <- Mclust(Daten_norm[, c(2, 4)])
matrix <- data.matrix(Daten_norm[, c(2, 4)], rownames.force = NA)
crit24 <- intCriteria(matrix, as.integer(GMM24$classification), "all")

GMM34 <- Mclust(Daten_norm[, c(3, 4)])
matrix <- data.matrix(Daten_norm[, c(3, 4)], rownames.force = NA)
crit34 <- intCriteria(matrix, as.integer(GMM34$classification), "all")
```

```

GMM123 <- Mclust(Daten_norm[, c(1, 2, 3)])
matrix <- data.matrix(Daten_norm[, c(1, 2, 3)], rownames.force = NA)
crit123 <- intCriteria(matrix, as.integer(GMM123$classification), "all")

GMM124 <- Mclust(Daten_norm[, c(1, 2, 4)])
matrix <- data.matrix(Daten_norm[, c(1, 2, 4)], rownames.force = NA)
crit124 <- intCriteria(matrix, as.integer(GMM124$classification), "all")

GMM134 <- Mclust(Daten_norm[, c(1, 3, 4)])
matrix <- data.matrix(Daten_norm[, c(1, 3, 4)], rownames.force = NA)
crit134 <- intCriteria(matrix, as.integer(GMM134$classification), "all")

GMM234 <- Mclust(Daten_norm[, c(2, 3, 4)])
matrix <- data.matrix(Daten_norm[, c(2, 3, 4)], rownames.force = NA)
crit234 <- intCriteria(matrix, as.integer(GMM234$classification), "all")

GMM1234 <- Mclust(Daten_norm[, c(1, 2, 3, 4)])
matrix <- data.matrix(Daten_norm[, c(1, 2, 3, 4)], rownames.force = NA)
crit1234 <- intCriteria(matrix, as.integer(GMM1234$classification), "all")

# Vektor der Trace-Indizes je Merkmalskombination
tracewib<-c(crit1$trace_wib, crit2$trace_wib, crit3$trace_wib,
            crit4$trace_wib, crit12$trace_wib, crit13$trace_wib,
            crit14$trace_wib, crit23$trace_wib, crit24$trace_wib,
            crit34$trace_wib, crit123$trace_wib, crit124$trace_wib,
            crit134$trace_wib, crit234$trace_wib, crit1234$trace_wib)

```

2) Graphische Darstellung des Trace-Index

```
max_1 <- max(crit1$trace_wib, crit2$trace_wib, crit3$trace_wib,
             crit4$trace_wib)
max_1

# [1] 5.243777

max_2 <- max(crit12$trace_wib, crit13$trace_wib,
             crit14$trace_wib, crit23$trace_wib, crit24$trace_wib,
             crit34$trace_wib)
max_2

# [1] 26.17956

max_3 <- max(crit123$trace_wib, crit124$trace_wib,
             crit134$trace_wib, crit234$trace_wib)
max_3

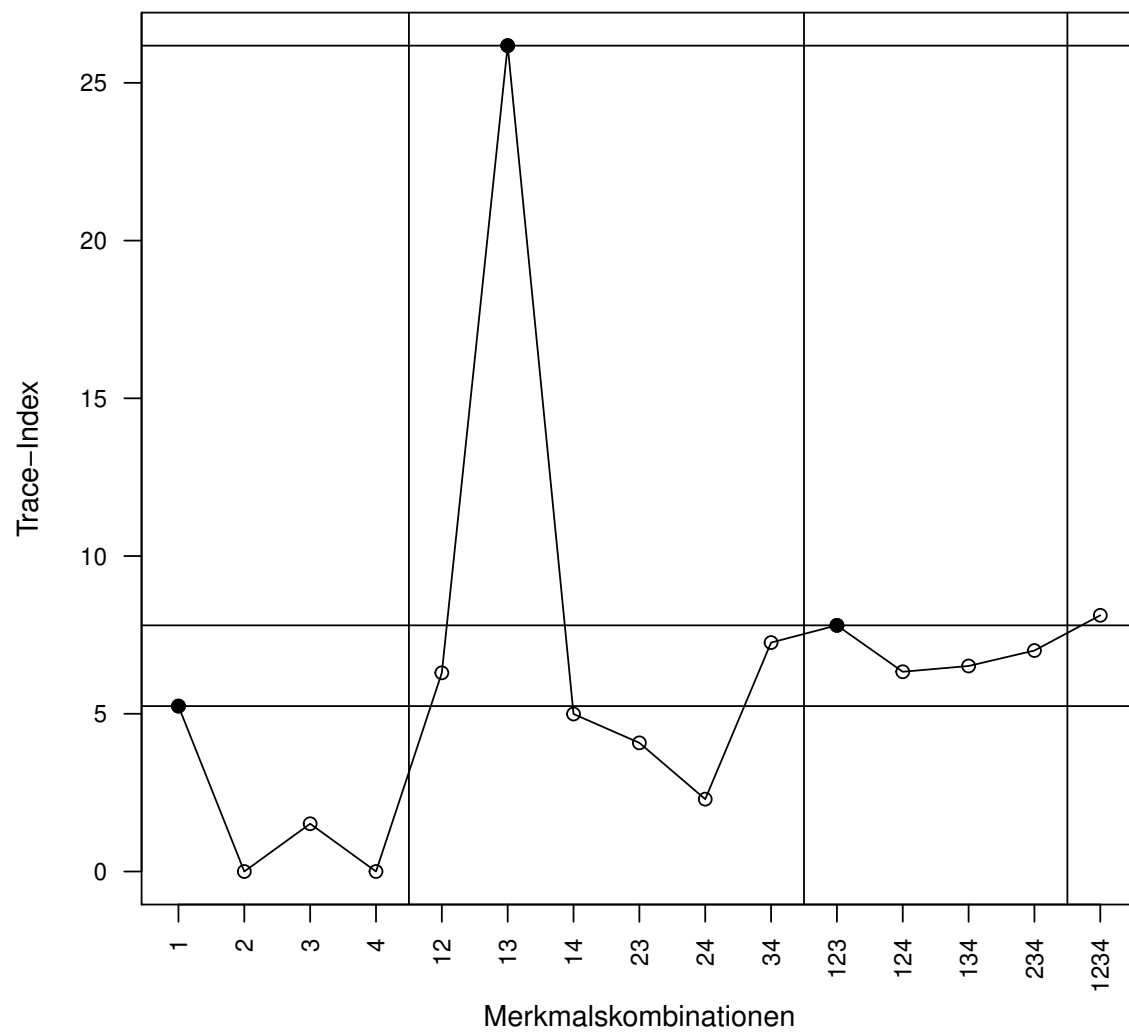
# [1] 7.802783

# pdf(width = 6, height = 4, "Trace_Plot.pdf", encoding = "MacRoman")
plot(tracewib, ann=FALSE, axes=FALSE)
lines(tracewib)
box()
axis(1, at = seq(1:15), labels = c("1", "2", "3", "4", "12", "13", "14",
                                   "23", "24", "34", "123", "124", "134",
                                   "234", "1234"),
     cex.axis = 0.8, las = 2)
axis(2, at = seq(0, 30, 5), cex.axis = 0.8, las = 2)
mtext(side = 1, line = 2.7, "Merkmalskombinationen")
```

```
mtext(side = 2, line = 2.8, "Trace-Index")
abline(v = 4.5)
abline(v = 10.5)
abline(v = 14.5)

points(match(max_1, tracewib), max_1, pch = 19, col = "black")
points(match(max_2, tracewib), max_2, pch = 19, col = "black")
points(match(max_3, tracewib), max_3, pch = 19, col = "black")

abline(h = max_1, col = "black", lwd = 1)
abline(h = max_2, col = "black", lwd = 1)
abline(h = max_3, col = "black", lwd = 1)
```



```
#dev.off()
```


9 Regressions und Korrelationsanalyse

9.1 Regressionsanalyse

```
# Beispielhafte Regressionsanalyse für den (linearen) Zusammenhang
# zwischen d13CKollagen (x) und d15NKollagen (y)
# lm(y ~ x)
Regression <- lm(Daten[, 7] ~ Daten[, 6])
summary(Regression)

#
# Call:
# lm(formula = Daten[, 7] ~ Daten[, 6])
#
# Residuals:
#      Min       1Q   Median       3Q      Max
# -5.0432 -1.6021  0.2276  1.5114  5.2671
#
# Coefficients:
#
#              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
# (Intercept) 17.58163     1.41822   12.397 5.95e-16 ***
# Daten[, 6]   0.34371     0.07531    4.564 4.01e-05 ***
# ---
# Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
#
# Residual standard error: 2.303 on 44 degrees of freedom
# Multiple R-squared:  0.3213, Adjusted R-squared:  0.3059
# F-statistic: 20.83 on 1 and 44 DF,  p-value: 4.009e-05
```

9.2 Korrelationsanalyse

9.2.1 Marginale Korrelation

```
cor(Daten_norm)

#           d13CKollagen d15NKollagen d13CKarbonat d180Karbonat
# d13CKollagen    1.0000000    0.5668361    0.7544161    0.4889518
# d15NKollagen    0.5668361    1.0000000    0.3734669    0.4529403
# d13CKarbonat    0.7544161    0.3734669    1.0000000    0.2237485
# d180Karbonat    0.4889518    0.4529403    0.2237485    1.0000000

cor.test(Daten_norm[, 1], Daten_norm[, 2])

#
# Pearson's product-moment correlation
#
# data:  Daten_norm[, 1] and Daten_norm[, 2]
# t = 4.564, df = 44, p-value = 4.009e-05
# alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
# 95 percent confidence interval:
#  0.3310055 0.7360209
# sample estimates:
#           cor
# 0.5668361

cor.test(Daten_norm[, 1], Daten_norm[, 3])

#
# Pearson's product-moment correlation
#
# data:  Daten_norm[, 1] and Daten_norm[, 3]
```

```
# t = 7.6238, df = 44, p-value = 1.408e-09
# alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
# 95 percent confidence interval:
#  0.5942654 0.8570216
# sample estimates:
#      cor
# 0.7544161

cor.test(Daten_norm[, 1], Daten_norm[, 4])

#
# Pearson's product-moment correlation
#
# data:  Daten_norm[, 1] and Daten_norm[, 4]
# t = 3.7181, df = 44, p-value = 0.0005647
# alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
# 95 percent confidence interval:
#  0.2315155 0.6823902
# sample estimates:
#      cor
# 0.4889518

cor.test(Daten_norm[, 2], Daten_norm[, 3])

#
# Pearson's product-moment correlation
#
# data:  Daten_norm[, 2] and Daten_norm[, 3]
# t = 2.6705, df = 44, p-value = 0.01057
# alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
# 95 percent confidence interval:
```

```
# 0.09328225 0.59884064
# sample estimates:
#      cor
# 0.3734669

cor.test(Daten_norm[, 2], Daten_norm[, 4])

#
# Pearson's product-moment correlation
#
# data:  Daten_norm[, 2] and Daten_norm[, 4]
# t = 3.37, df = 44, p-value = 0.001573
# alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
# 95 percent confidence interval:
# 0.1872653 0.6568682
# sample estimates:
#      cor
# 0.4529403

cor.test(Daten_norm[, 3], Daten_norm[, 4])

#
# Pearson's product-moment correlation
#
# data:  Daten_norm[, 3] and Daten_norm[, 4]
# t = 1.5228, df = 44, p-value = 0.135
# alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
# 95 percent confidence interval:
# -0.0711725 0.4826937
# sample estimates:
#      cor
# 0.2237485
```

9.2.2 Partielle Korrelation

Das R-Paket

- „ppcor“ (Version 1.1; Kim, 2015)

muss installiert sein.

```
# install.packages("ppcor")
library(ppcor)
```

```
pcor(Daten_norm[, 1:4])

# $estimate
#           d13CKollagen d15NKollagen d13CKarbonat d180Karbonat
# d13CKollagen    1.0000000    0.33376337    0.72814948    0.3833139
# d15NKollagen    0.3337634    1.00000000   -0.04068818    0.2277675
# d13CKarbonat    0.7281495   -0.04068818    1.00000000   -0.2373228
# d180Karbonat    0.3833139    0.22776747   -0.23732284    1.0000000
#
# $p.value
#           d13CKollagen d15NKollagen d13CKarbonat d180Karbonat
# d13CKollagen 0.000000e+00    0.02682051 2.124657e-08    0.01021838
# d15NKollagen 2.682051e-02    0.00000000 7.931414e-01    0.13702348
# d13CKarbonat 2.124657e-08    0.79314139 0.000000e+00    0.12086418
# d180Karbonat 1.021838e-02    0.13702348 1.208642e-01    0.00000000
#
# $statistic
#           d13CKollagen d15NKollagen d13CKarbonat d180Karbonat
# d13CKollagen    0.000000    2.2946142    6.8847703    2.689594
# d15NKollagen    2.294614    0.0000000   -0.2639081    1.515948
```

```
# d13CKarbonat      6.884770   -0.2639081    0.0000000   -1.583260
# d18OKarbonat      2.689594    1.5159478   -1.5832602    0.000000
#
# $n
# [1] 46
#
# $gp
# [1] 2
#
# $method
# [1] "pearson"
```

10 Mischungsmodelle

10.1 „SISUS“

Für nähere Erklärungen zu dem R-Skript für „SISUS“ sei auf Erhardt (2014) und die unter <https://statacumen.com/sisus/> verfügbare Anleitung (inkl. Beispieldaten) verwiesen.

1) Installation von „SISUS“

Das R-Paket

- „sisus“ (Version 3.9-14; Erhardt, 2014)

muss installiert sein.

Die aktuellste Version des R-Paketes „sisus“ (3.9-14) ist derzeit nicht direkt über CRAN verfügbar. Tatsächlich enthält die dort verfügbare, ältere „SISUS“-Version (3.9-13) wohl einen Fehler (persönliche Mitteilung: Dr. Erik Barry Erhardt), wodurch eine Berechnung mit weniger als drei Isotopensystemen nicht möglich ist.

Die aktuelle Version kann über <https://statacumen.com/sisus/> heruntergeladen werden (sisus_3.9-14.tar.gz).

Nach **vorausgegangener** Installation von Perl und den R-Paketen „RColorBrewer“ (Version 1.1-2; Neuwirth, 2014), „coda“ (Version 0.19-2; Plummer et al., 2006), „gdata“ (Version 2.18.0; Warnes et al., 2017), „gtools“ (Version 3.8.1; Warnes et al., 2018), „moments“ (Version 0.14; Komsta & Novomestky, 2015), „polyapost“ (Version 1.5; Meeden et al., 2017), sowie „rcdd“ (Version 1.2; Geyer & Meeden, 2017) kann das SISUS-Paket über

```
install.packages("/Users/.../sisus_3.9-14.tar.gz")
```

installiert werden. Ab diesem Zeitpunkt kann die aktuelle SISUS-Version - wie jedes andere R-Paket auch - über


```
library(sisus)
```

geladen werden.

2) Berechnen des Mischungsmodelles

Das Einlesen der Daten von Konsumenten, Nahrungsquellen, sowie Konzentrationen (und ggf. Umrechnungsfaktoren) erfolgt über ein unter <https://statacumen.com/sisus/> verfügbares Excel-Dokument und dem R-Befehl

```
sisus.run(Tabellenname)
```

10.2 „simmr“

Für nähere Erklärungen zu dem R-Skript für „simmr“ sei auf Parnell (2016) und die unter <https://cran.r-project.org/web/packages/simmr/vignettes/simmr.html> verfügbare Anleitung (inkl. Beispieldaten) verwiesen.

Das R-Paket

- „simmr“ (Version 0.3; Parnell, 2016)

muss installiert sein.

```
# install.packages(simmr)
library(simmr)
```

1) Einlesen der Daten

```
Konsumenten <- read.table("consumers.csv", header = TRUE, sep = ";")
Quellen <- read.table("sources.csv", header = TRUE, sep = ";")
Konzentration <- read.table("concentration.csv", header = TRUE, sep = ";")

mix <- matrix(c(consumerdata[, 1], consumerdata[, 2]),
              ncol = 2, nrow = 306)
colnames(mix) <- c("d13C", "d15N")
sourcesnames <- c("Quelle 1", "Quelle 2",
                 "Quelle 3", "Quelle 4")
sourcesmean <- matrix(c(sourcedata[, 2], sourcedata[, 4]),
                     ncol = 2, nrow = 4)
sourcesstd <- matrix(c(sourcedata[, 3], sourcedata[, 5]),
                    ncol = 2, nrow = 4)
conc <- matrix(c(concdata[, 1], concdata[, 2]),
```

```

ncol = 2, nrow = 4)

simmr_input <- simmr_load(mixtures = mix, source_names = sourcesnames,
                          source_means = sourcesmean, source_sds = sourcesd,
                          concentration_means = conc)

```

2) Graphische Darstellung der eingelesenen Daten

```

# pdf(width = 6,height = 6, "simmr_Input.pdf",
# encoding = "MacRoman")
plot(simmr_input,
     xlab = expression(paste(delta^13*"C"[Kollagen]~"[\211]")),
     ylab = expression(paste(delta^15*"N"[Kollagen]~"[\211]")))
# dev.off()

```

3) Berechnen des Mischungsmodelles

```

simmr_output <- simmr_mcmc(simmr_input,
                           mcmc.control = list(iter = 10000, burn = 1000,
                                                thin = 10, n.chain = 4))

# Ausgabe der Ergebnisse
summary(simmr_output, type = c("diagnostics", "quantiles", "statistics",
                              "correlations"))

```

3) Graphische Darstellung der Ergebnisse

```
# pdf(width = 8, height = 6, "simmr_Proportions_Plot.pdf",
# encoding = "MacRoman")

compare_sources(simmr_output)

# dev.off()

# pdf(width = 6,height=6, "simmr_Histogramm_Plot.pdf",
# encoding = "MacRoman")

plot(simmr_output, type = "histogram")

# dev.off()

# pdf(width = 6,height=6, "simmr_Dichte_Plot.pdf",
# encoding = "MacRoman")

plot(simmr_output, type = "density")

# dev.off()

# pdf(width = 6,height=6, "simmr_Matrix_Plot.pdf",
# encoding = "MacRoman")

plot(simmr_output, type = "matrix")

# dev.off()

# pdf(width = 6,height=6, "simmr_Boxplot_Plot.pdf",
# encoding = "MacRoman")

plot(simmr_output, type = "boxplot")

# dev.off()

# pdf(width = 6,height=6, "simmr_Konvergenz_Plot.pdf",
```

```
# encoding = "MacRoman")  
plot(simmr_output, type = "convergence")  
# dev.off()
```

10.3 „MixSIAR“

Für nähere Erklärungen zu dem R-Skript für „MixSIAR“ sei auf die unter <https://github.com/brianstock/MixSIAR> verfügbare Anleitung (Stock & Semmens, 2016, inkl. Beispieldaten) verwiesen.

Das R-Paket

- „MixSIAR“ (Version 3.1.10; Stock & Semmens, 2016)

muss installiert sein.

1) Installation von „MixSIAR“

Nach **vorausgegangener** Installation der R-Pakete „gWidgets“ (Version 0.0-54; Verzani, 2014), „RGtk2“ (Version 2.20.35; Lawrence, 2010) und gWidgetsRGtk2“ (Version 0.0-86; Lawrence & Verzani, 2018) kann „MixSIAR“ installiert werden.

```
install.packages(c("gWidgets", "RGtk2", "gWidgetsRGtk2"))  
  
# Installation von GTK+ (GUI-Toolkit; GUI $=$ "Graphical User  
# Interface")  
  
library(RGtk2)  
  
# Neustart von R erforderlich  
  
install.packages("MixSIAR", dependencies=TRUE)  
  
library(MixSIAR)
```

Das Einlesen der Daten, sowie die Berechnung des Mischungsmodelles kann über

```
mixsiar_gui()
```

erfolgen. Durch diesen R-Befehl öffnet sich das MixSIAR GUI als separates Fenster. Alternativ wird nachfolgend das Einlesen und Berechnen mittels R-Befehlen erklärt.

2) Einlesen der Daten

```
mix<-load_mix_data(filename = "consumer_RUN.csv",
                  iso_names = c("d13C", "d15N"),
                  # NULL wenn kein Faktor aufgenommen wird
                  factors = "Nummer",
                  # TRUE: zufälliger Effekt, FALSE: fester Effekt
                  fac_random = FALSE,
                  fac_nested = FALSE,
                  cont_effects = NULL)

source <- load_source_data(filename = "sources_RUN.csv",
                          source_factors = NULL,
                          # Konzentrationsabhängigkeit
                          # TRUE: ja, FALSE: nein
                          conc_dep = TRUE,
                          data_type = "means", mix)

discr <- load_discr_data(filename = "discrimination_RUN.csv", mix)
```

3) Graphische Darstellung der Daten

```
plot_data(filename = "isospace_plot", plot_save_pdf = TRUE,
          plot_save_png=FALSE, mix, source,discr)

# Berechnen der normalisierten Oberfläche (für 2 Isotopensysteme)
if(mix$n.iso==2) calc_area(source = source, mix = mix, discr = discr)
```

```
# Prior-Plot
plot_prior(alpha.prior = 1, source)
```

4) Berechnen des Mischungsmodelles

```
model_filename <- "MixSIAR_model.txt"

resid_err <- FALSE # alternativ: TRUE (wenn FALSE, dann entspricht das
# "MixSIAR"-Modell dem "MixSIR"-Modell)

process_err <- TRUE # alternativ: FALSE

write_JAGS_model(model_filename, resid_err, process_err, mix, source)

# Überprüfen der Ergebnisse mit kürzerem Durchlauf

jags.test <- run_model(run = "test", mix, source, discr, model_filename,
                      alpha.prior = 1, resid_err, process_err)

# Modell-Berechnung

jags <- run_model(run = "short", mix, source, discr, model_filename,
                 alpha.prior = 1, resid_err, process_err)
```

5) Graphische Darstellung der Ergebnisse

```
# Auswahl der gewünschten Ausgabe über TRUE/FALSE

output_JAGS(jags, mix, source,
            output_options = list(summary_save = TRUE,
                                  summary_name = "summary_statistics",
                                  sup_post = FALSE,
                                  plot_post_save_pdf = TRUE,
                                  plot_post_name = "posterior_density",
                                  sup_pairs = FALSE,
```



```
plot_pairs_save_pdf = TRUE,  
plot_pairs_name = "pairs_plot",  
sup_xy = TRUE,  
plot_xy_save_pdf = TRUE,  
plot_xy_name = "xy_plot",  
gelman = TRUE, heidel = TRUE,  
geweke = TRUE,  
diag_save = TRUE,  
diag_name = "diagnostics",  
indiv_effect = FALSE,  
plot_post_save_png = FALSE,  
plot_pairs_save_png = FALSE,  
plot_xy_save_png = FALSE))
```

10.4 Simulierte Mischungspolygone

Nachfolgend findet sich das R-Skript von Smith et al. (2013)

(sh. auch <http://www.famer.unsw.edu.au/downloads.html>) mit einigen Erläuterungen.

Die R-Pakete

- „sp“ (Version 1.3-1; Pebesma & Bivand, 2005)
- „splancs“ (Version 2.01-40; Rowlingson & Diggle, 2017)

müssen installiert sein.

```
# install.packages(c("sp", "splancs"))  
rm(list = ls(all = TRUE))  
graphics.off()  
library(sp)  
library(splancs)
```

1) Einlesen der Daten

```
# Quellen: der d13C-Wert muss vor dem d15N-Wert stehen  
sources <- read.table("source.csv", header = T, sep = ";")  
  
# Konsumenten: ein Fehler von "0" führt zu einer Fehlermeldung  
mixture <- read.table("mixing.csv", header = T, sep = ";")  
TEF <- read.table("TEF.csv", header = T, sep = ";")  
  
# Anzahl an Wiederholungen  
its <- 1500  
  
# Wahl der minimalen und maximalen Grenzen für d13C und d15N  
# es sollten Werte außerhalb des 95 %-Bereiches gewählt werden  
min_C <- -35  
max_C <- -10
```

```

min_N <- 0
max_N <- 20

# Auflösung der Abbildung (beeinflusst Rechengeschwindigkeit)
res <- 250

```

2) Berechnen des Mischungsmodelles

```

step_C <- (max_C - min_C)/(res - 1)
step_N <- (max_N - min_N)/(res - 1)
C_g <- seq(min_C, max_C, by = step_C)
N_g <- seq(min_N, max_N, by = step_N)

# Erzeugen eines Rasters von Werten
mgrid <- function(a,b) {
  list(
    x = outer(b*0, a, FUN = "+"),
    y = outer(b, a*0, FUN = "+")
  )
}

m <- mgrid(C_g, N_g)

# Erzeugen von Dateien, um Daten zu speichern
Par_values <- array(0, c(its, (nrow(sources)*4+3)))
p <- array(0, c(its, (nrow(mixture))))
mix_reg <- array(0, c(res, res))

# Schleife mit "its" Wiederholungen zur Berechnung der Isotopensignaturen
# der Quellen
for (i in 1:its) {
  v <- array(0, c(nrow(sources), 2))
  f <- array(0, c(nrow(TEF), 2))

  for (j in 1:nrow(sources)) {

```

```

v[j,1] <- rnorm(1, mean = sources[j, 1], sd = sources[j, 2])
v[j,2] <- rnorm(1, mean = sources[j, 3], sd = sources[j, 4])
f[j,1] <- rnorm(1, mean = TEF[j, 1], sd = TEF[j, 2])
f[j,2] <- rnorm(1, mean = TEF[j, 3], sd = TEF[j, 4])
}

V <- v + f

# Erzeugen einer zwei-dimensionalen konvexen Hülle
hull <- chull(V)
hull_a <- append(hull, hull[1])

# Überprüfen, ob Punkte in das Polygon fallen
P <- point.in.polygon(mixture[, 1], mixture[, 2], V[hull_a, 1],
                      V[hull_a, 2])

P_n <- as.numeric(P)
p[i,] <- P_n

# Berechnen der Polygonfläche
poly_a <- areapl(V[hull_a,])
m$y_f <- m$y[res:1,]

# Berechnen, ob ein Datenpunkt im Polygon liegt
m_r <- point.in.polygon(m$x, m$y_f, V[hull_a, 1], V[hull_a, 2])
m_r_s <- matrix(m_r, nrow = res, byrow = F)
m_r_s[m_r_s > 1] <- 1
mix_reg <- mix_reg + m_r_s
vals <- c(v[, 1], v[, 2], f[, 1], f[, 2], 0, 0, 0)
Par_values[i,] <- vals
Par_values[i, ncol(Par_values)-2] <- poly_a
Par_values[i, ncol(Par_values)-1] <- i
Par_values[i, ncol(Par_values)] <- var(Par_values[1:i,
                                                ncol(Par_values)-2])

```

```

if (i %% 10 == 0) cat(paste("iteration", i, "\n"))
}

```

3) Graphische Darstellung der Ergebnisse

```

# Varianz der Polygonfläche während der Simulation
Iterations <- Par_values[, ncol(Par_values)-1]
Variance <- Par_values[, ncol(Par_values)]
plot(Iterations, Variance, type = "n") #plots
lines(Iterations, Variance, lty = 1, lwd = 1.5, col = "blue")

# Anteil der Wiederholungen, für die ein Konsument innerhalb des
# Mischungspolygons fällt
p[p > 1] <- 1
Probabilities <- colSums(p)/its
print(Probabilities)
windows()
barplot(Probabilities, xlab="Konsument",
        ylab="Wahrscheinlichkeit, dass Konsument im Polygon liegt",
        ylim=c(0,1), names.arg = seq(1, nrow(mixture), by = 1))

# Simuliertes Mischungspolygon
mix_reg <- mix_reg/its
mix_reg[mix_reg==0] <- NA
mix_regt <- t(mix_reg[ncol(mix_reg):1,])
windows()
image(C_g, N_g, mix_regt, col=colorRampPalette(c("blue", "light blue",
                                                  "green", "light green",
                                                  "yellow", "red"))(100),

```

```

      xlab="d13C", ylab="d15N", useRaster = TRUE)
cont <- c(0.05, seq(0.1, 1, by=0.1))
contour(C_g, N_g, mix_regt, levels = cont, add = TRUE, drawlabels = FALSE,
        lwd = 1.9)
sources_TEF <- sources + TEF
points(sources_TEF[, 1], sources_TEF[, 3], col = "white", pch = 4,
       lwd = 2, cex = 1.5)
points(mixture, pch = 19, cex = 1.3)
dev.copy2pdf(file="Mix_Region.pdf")

# Farbskala für die Abbildung
windows()
cust_color <- colorRampPalette(c("blue", "light blue",
                                "green", "light green",
                                "yellow", "red"))

z <- matrix(1:100, nrow = 1)
x <- 1
y <- seq(0, 1, len = 100)
image(x, y, z, col = colorRampPalette(c("blue", "light blue",
                                         "green", "light green",
                                         "yellow", "red"))(100),
      xaxt = "n", xlab = "", ylab = "", useRaster = TRUE, bty = "n",
      las = 1)

# Simuliertes Mischungspolygon (schwarz-weiß)
windows()
plot(C_g, N_g, type = "n", xlab = "d13C", ylab = "d15N")
cont <- c(0.05, seq(0.1, 1, by = 0.1))

```

```

contour(C_g, N_g, mix_regt, levels = cont, add = TRUE, drawlabels = FALSE,
        lwd = 1.9)
sources_TEF <- sources + TEF
points(sources_TEF[, 1], sources_TEF[, 3], col = "black", pch = 4,
        lwd = 2, cex = 1.5)
points(mixture, pch = 19, cex = 1.3)

# Biplot mit eingezeichneter 95 %-Konturlinie
windows()
plot(C_g, N_g, type = "n", xlab = "d13C", ylab = "d15N")
cont <- c(0.05)
contour(C_g, N_g, mix_regt, levels = cont, add = TRUE, drawlabels = FALSE,
        lwd = 1.9)
sources_TEF <- sources + TEF
points(sources_TEF[, 1], sources_TEF[, 3], col = "black",
        pch = 15, lwd = 2, cex = 1.5)
arrows(sources_TEF[, 1]-sources_TEF[, 2], sources_TEF[, 3],
        sources_TEF[, 1]+sources_TEF[, 2], sources_TEF[, 3],
        length = 0, angle = 90, code = 3)
arrows(sources_TEF[, 1], sources_TEF[, 3] - sources_TEF[, 4],
        sources_TEF[, 1], sources_TEF[, 3] + sources_TEF[, 4],
        length = 0, angle = 90, code=3)
points(mixture, pch = 1, cex = 1.3)

# Bezeichnung der Quellen anpassen!
labels <- c("Quelle 1", "Quelle 2", "Quelle 3", "Quelle 4",
            "...")
text(sources_TEF[, 1], sources_TEF[, 3], labels = labels, pos = 3)

```

4) Abspeichern der Ergebnisse

```
p_a <- rbind(p, Probabilities)
write.table(p_a, file = "Consumer_Probabilities_Test.csv",
            sep = ",", row.names = FALSE)
col_names <- c(rep("d13C", nrow(sources)),
               rep("d15N", nrow(sources)),
               rep("13C_TEF", nrow(sources)),
               rep("15N_TEF", nrow(sources)),
               "Poly_Area", "Iteration", "Variance")
col_nums <- c(rep(1:nrow(sources), 4), 0, 0, 0)
col_n <- paste(col_names, col_nums)
write.table(Par_values, file = "Parameter_Values_Test.csv",
            sep = ";", row.names = FALSE, col.names = col_n)
```


11 Literatur

- Desgraupes, B. (2018). *clusterCrit: Clustering Indices*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=clusterCrit>.
- Erhardt, E. B. (2014). *SISUS: Stable Isotope Sourcing using Sampling*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=sisus>.
- Filzmoser, P., Gschwandtner, M. (2017). *mvoutlier: Multivariate outlier detection based on robust methods*. URL: <http://CRAN.R-project.org/package=mvoutlier>.
- Geyer, C. J., Meeden, G. D. (2017). *rcdd: Computational Geometry*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=rcdd>.
- Karatzoglou, A., Smola, A., Hornik, K., Zeileis, A. (2004). „kernlab - An S4 Package for Kernel Methods in R“. *Journal of Statistical Software* 11.9, S. 1–20.
- Kassambara, A. (2018). *ggpubr: 'ggplot2' Based Publication Ready Plots*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=ggpubr>.
- Kim, S. (2015). „ppcor: An R Package for a Fast Calculation to Semi-partial Correlation Coefficients“. *Communications for statistical applications and methods* 22.6, S. 665–674.
- Komsta, L., Novomestky, F. (2015). *moments: Moments, cumulants, skewness, kurtosis and related tests*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=moments>.
- Lawrence, M. (2010). „RGtk2: A Graphical User Interface Toolkit for R“. *Journal of Statistical Software* 37.8, S. 1–52.
- Lawrence, M., Verzani, J. (2018). *gWidgetsRGtk2: Toolkit Implementation of gWidgets for RGtk2*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=gWidgetsRGtk2>.
- Meeden, G., Lazar, R., Geyer, C. J. (2017). *polyapost: Simulating from the Polya Posterior*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=polyapost>.
- Neuwirth, E. (2014). *RColorBrewer: ColorBrewer palettes*. URL: <http://cran.r-project.org/packages/RColorBrewer>.
- Parnell, A. (2016). *simmr: A Stable Isotope Mixing Model*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=simmr>.

- Pebesma, E. J., Bivand, R. S. (2005). „Classes and methods for spatial data in R: the sp Package“. *R News* 5.2, S. 9–13.
- Plummer, M., Best, N., Cowles, K., Vines, K. (2006). „CODA: Convergence Diagnosis and Output Analysis for MCMC“. *R News* 6, S. 7–11.
- Rowlingson, B., Diggle, P. (2017). *splancs: Spatial and Space-Time Point Pattern Analysis*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=splancs>.
- Scrucca, L., Fop, M., Murphy, T. B., Raftery, A. E. (2016). „mclust 5: Clustering, Classification and Density Estimation Using Gaussian Finite Mixture Models“. *The R journal* 8.1, S. 289–317.
- Smith, J. A., Mazumder, D., Suthers, I. M., Taylor, M. D. (2013). „To fit or not to fit: evaluating stable isotope mixing models using simulated mixing polygons“. *Methods in Ecology and Evolution* 4.7, S. 612–618.
- Stock, B. C., Semmens, B. X. (2016). „Unifying error structures in commonly used biotracer mixing models“. *Ecology* 97.10, S. 2562–2569.
- Verzani, J. (2014). *gWidgets: gWidgets API for building toolkit-independent, interactive GUIs*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=gWidgets>.
- Vu, V. Q. (2011). *ggbiplot: A ggplot2 based biplot*. URL: <http://github.com/vqv/ggbiplot>.
- Walesiak, M., Dudek, A. (2017). *clusterSim: Searching for Optimal Clustering Procedure for a Data Set*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=clusterSim>.
- Warnes, G. R., Bolker, B., Gorjanc, G., Grothendieck, G., Korosec, A., Lumley, T., MaxQueen, D., Magnusson, A., Rogers, J. (2017). *gdata: Various R Programming Tools for Data Manipulation*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=gdata>.
- Warnes, G. R., Bolker, B., Lumley, T. (2018). *gtools: Various R Programming Tools*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=gtools>.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: elegant graphics for data analysis*. New York: Springer.
- Wickham, H., Hester, J., Chang, W. (2018a). *devtools: Tools to Make Developing R Packages Easier*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=devtools>.

- Wickham, H., François, R., Henry, L., Müller, K. (2018b). *dplyr: A Grammar of Data Manipulation*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>.
- Xie, Y. (2018). *knitr: A General-Purpose Package for Dynamic Report Generation in R*. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=knitr>.

A Appendix

Tabelle A1: Übersicht über den Teildatensatz der Fische aus Haithabu und Schleswig (Datensatz I).

Spezies	Probennr.	Habitat	Ernährung	Fundort	d13CKollagen	d15NKollagen	d13CKarbonat	d18OKarbonat
Brachse	35 B2Op	Süß-, Brackwasser	omnivor	Schleswig	-27,73	6,02	-0,64	-13,04
Brachse	36 B3Pop	Süß-, Brackwasser	omnivor	Schleswig	-25,07	6,17	-1,66	-11,68
Brachse	37 B4Pop	Süß-, Brackwasser	omnivor	Schleswig	-22,41	5,38	-1,60	-12,01
Brachse	38 B5C	Süß-, Brackwasser	omnivor	Schleswig	-27,37	10,72	-4,46	-15,07
Dorsch	1 D1V	Brackwasser, Salzwasser	omnivor	Haithabu	-16,06	13,68	-1,82	-13,20
Dorsch	3 D3V	Brackwasser, Salzwasser	omnivor	Haithabu	-16,21	15,89	-1,30	-3,76
Dorsch	4 D4V	Brackwasser, Salzwasser	omnivor	Haithabu	-14,74	15,57	-0,21	-3,90
Dorsch	5 D5V	Brackwasser, Salzwasser	omnivor	Haithabu	-15,29	11,99	-0,32	-4,00
Dorsch	40 D2V	Brackwasser, Salzwasser	omnivor	Schleswig	-15,64	12,24	2,18	-13,38
Dorsch	42 D4V	Brackwasser, Salzwasser	omnivor	Schleswig	-15,94	17,37	-0,38	-3,99
Flussbarsch	6 FB1C	Süß-, Brackwasser	carnivor	Haithabu	-15,88	12,23	1,45	-7,10
Flussbarsch	7 FB2C	Süß-, Brackwasser	carnivor	Haithabu	-11,66	10,85	3,53	-6,73
Flussbarsch	8 FB3C	Süß-, Brackwasser	carnivor	Haithabu	-15,72	15,28	3,37	-11,03
Flussbarsch	9 FB4C	Süß-, Brackwasser	carnivor	Haithabu	-11,50	11,69	3,45	-13,10
Flussbarsch	44 FB1C	Süß-, Brackwasser	carnivor	Schleswig	-17,22	12,32	-3,58	-10,96
Flussbarsch	45 FB2C	Süß-, Brackwasser	carnivor	Schleswig	-13,01	9,02	0,54	-9,14
Flussbarsch	46 FB3Op	Süß-, Brackwasser	carnivor	Schleswig	-16,21	10,35	-0,83	-8,03
Flussbarsch	47 FB4Pop	Süß-, Brackwasser	carnivor	Schleswig	-23,95	9,71	-7,20	-9,35
Flussbarsch	48 FB5Pop	Süß-, Brackwasser	carnivor	Schleswig	-13,45	11,30	-0,65	-8,73
Hecht	10 H1C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Haithabu	-18,62	13,38	-4,25	-9,01
Hecht	11 H2C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Haithabu	-25,66	10,77	-7,53	-11,54
Hecht	12 H3C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Haithabu	-24,66	10,25	-7,20	-9,64
Hecht	13 H4C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Haithabu	-22,23	11,63	-6,77	-9,36
Hecht	14 H5C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Haithabu	-16,32	14,43	-3,28	-6,51
Hecht	49 H1C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Schleswig	-22,40	11,52	-6,23	-12,49

Fortsetzung von Tabelle A1

Spezies	Probennr.	Habitat	Ernährung	Fundort	d13CKollagen	d15NKollagen	d13CKarbonat	d18OKarbonat
Hecht	51 H3C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Schleswig	-22,38	5,40	-6,89	-12,80
Hecht	52 H4C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Schleswig	-20,16	9,65	-3,20	-12,49
Hecht	53 H5De	Süß-, Brackwasser	piscivor	Schleswig	-24,31	8,02	-5,51	-13,82
Hornhecht	54 HH1De	Brackwasser, Salzwasser	piscivor	Schleswig	-13,47	11,52	2,12	-5,07
Hornhecht	58 HH5De	Brackwasser, Salzwasser	piscivor	Schleswig	-14,31	7,62	-1,84	-7,45
Schellfisch	59 SF1C	Salzwasser	carnivor	Schleswig	-15,95	13,29	1,37	-4,86
Schellfisch	60 SF2C	Salzwasser	carnivor	Schleswig	-15,93	12,91	-0,03	-10,23
Schellfisch	61 SF3C	Salzwasser	carnivor	Schleswig	-14,90	11,99	4,10	-11,61
Schellfisch	63 SF5C	Salzwasser	carnivor	Schleswig	-16,09	14,98	4,06	-15,06
Schleie	64 SLOp	Süß-, Brackwasser	omnivor	Schleswig	-24,79	6,34	-3,23	-14,49
Scholle	65 SOC	Brackwasser, Salzwasser	carnivor	Schleswig	-14,90	10,70	2,77	-14,74
Stör	66 ST1Rü	Süß-, Brack-, Salzwasser	carnivor	Schleswig	-13,52	12,80	3,29	-12,39
Stör	67 ST2Rü	Süß-, Brack-, Salzwasser	carnivor	Schleswig	-14,27	12,91	3,73	-7,58
Stör	68 ST3Rü	Süß-, Brack-, Salzwasser	carnivor	Schleswig	-13,73	13,52	4,80	-6,27
Stör	69 ST4Rü	Süß-, Brack-, Salzwasser	carnivor	Schleswig	-14,93	12,89	0,27	-5,33
Stör	67 ST5Rü	Süß-, Brack-, Salzwasser	carnivor	Schleswig	-13,72	13,18	-0,91	-6,41
Zander	15 Z1C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Haithabu	-22,67	9,67	-7,93	-10,22
Zander	16 Z2C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Haithabu	-19,96	10,29	-6,67	-10,41
Zander	17 Z3C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Haithabu	-20,99	11,48	-6,46	-14,55
Zander	18 Z4C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Haithabu	-22,94	10,58	-6,43	-13,94
Zander	19 Z5C	Süß-, Brackwasser	piscivor	Haithabu	-22,21	10,17	-7,07	-9,58