

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades
der Fakultät für Biologie
der Ludwig-Maximilians-Universität München

LOKAL ODER EINGEWANDERT?
INTERPRETATIONSMÖGLICHKEITEN UND
GRENZEN LOKALER STRONTIUM- UND
SAUERSTOFFISOTOPENSIGNATUREN AM BEISPIEL
EINER ALTGRABUNG IN WENIGUMSTADT

Eingereicht von Marina Andrea Vohberger

Erstgutachter: Prof. Dr. Gisela Grupe

Zweitgutachter: Prof. Dr. J. Matthias Starck

Tag der Prüfung: 17.02.2011

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis	4
1 Einleitung	8
1.1 Geschichte wiederholt sich	8
1.2 Fragestellung und Zielsetzung der Arbeit	9
1.3 Archäometrie – Naturwissenschaftliche Methoden in Geisteswissenschaftlichen Fragestellungen	12
1.3.1 Geschichtlicher Hintergrund für die vorliegende Arbeit	14
1.3.2 Was ist ein Volk?	17
1.4 Menschliche Hartgewebe als Informationsarchive	19
1.4.1 Bildung und Zusammensetzung der anorganischen Matrix in Knochen und Zahnschmelz	20
1.5 Isotopenanalysen	25
1.6 Strontiumisotopenanalysen	26
1.6.1 Strontiumisotope in Gesteinen	28
1.6.2 Geologische Variation von Strontiumisotopen	30
1.6.3 Biologisch verfügbares Strontium	32
Strontiumkreislauf	34
1.7 Sauerstoffisotopenanalysen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$)	41
1.7.1 Verhältnisse stabiler Sauerstoffisotope	41
1.7.2 $\delta^{18}\text{O}$ in Knochen und Zähnen von Wirbeltieren	43
1.8 Isotopenanalyse des leichten Elements Kohlenstoff ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$)	47
1.8.1 $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aus Karbonat	47
1.8.2 Kohlenstoffquellen	48
Anorganischer Kohlenstoffkreislauf	48
Organischer Kohlenstoffkreislauf während der Photosynthese	49
Der Kohlenstoffkreislauf	50
1.9 Qualitätskriterien und Validierungsmethoden	52
1.9.1 Erhaltung und chemische Veränderung durch Bodenlagerung	52

1.9.2	UV-Fluoreszenz	53
2	Material	55
2.1	Wenigumstadt im Frühmittelalter	55
2.1.1	Gräberfeld Wenigumstadt	57
	Die Fundgeschichte	57
2.1.2	Ergebnisse aus vorangegangenen Arbeiten zu Wenigumstadt	60
	Die Demographie von Wenigumstadt	60
	Ernährungsstatus der Kinder aus Wenigumstadt	62
	Stilleffekt in den Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopen des Zahnschmelz	63
2.1.3	Auswahl der zu analysierenden Proben aus Wenigumstadt	64
	Bodenproben	66
2.1.4	Geologie der Fundstelle Wenigumstadt im Bachgau	67
2.1.5	Erwartungswerte für die Sauerstoffisotopie in Wenigumstadt	70
2.2	Überregionale Vergleichsbasis	71
2.2.1	Bestattungsplätze Vron und Neuville-sur-Escaut, Frankreich	71
	Erwartungswerte der Fundplätze in Nordfrankreich	75
2.2.2	Fundmaterial aus Böhmen	76
3	Methoden	78
3.1	Analyse der stabilen Strontiumisotope ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)	78
3.1.1	Vorbereitung der Proben für die Säulentrennung (Zahnschmelz)	78
3.1.2	Bodenproben und Schneckenhaus	79
3.1.3	Säulentrennung	80
3.1.4	Laden und Messen der Proben am Feststoffmassenspektrometer	81
3.1.5	Qualitätskriterien für die Strontiumisotopenanalysen aus Wenigumstadt	82
3.2	Analyse stabiler Isotope leichter Elemente (C, O) aus Apatit	84
3.2.1	Probenvorbereitung	84
3.2.2	Extraktion des Apatits aus Knochen und Zahnschmelz	84
	Extraktionsprotokoll	85
3.2.3	Massenspektrometrie	85
3.2.4	Umrechnung der Karbonatdaten (V-PDB) in Phosphatwerte (V-SMOW)	87
3.2.5	Rekonstruktion der Trinkwasserquelle	88
3.3	Validierungsmethoden	92
3.3.1	UV-Fluoreszenz am Knochen	92
	Probenauswahl	93

3.3.2	Bodenqualität	94
3.4	Statistische Hilfsmittel	96
3.4.1	Isoplot – Geochronologisches Tool zur Bestimmung von internen Grenzwerten	97
4	Ergebnisse	99
4.1	Wenigumstadt	99
4.1.1	Ergebnisse der Bodenbeurteilung	99
4.1.2	Makroskopische Fluoreszenzeigenschaften	101
4.1.3	Paläodemographie	102
4.1.4	Standardmessungen und Qualitätskontrollen in der Strontiumanalytik	105
SRM 1400		105
SRM 987		106
Standardabweichung (SD) und Standardfehler (SE, SE%) der Proben		106
4.1.5	Strontiumisotopendaten ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) der Wenigumstädter Bevölkerung	107
4.1.6	Definition der lokalen Strontiumsignatur von Wenigumstadt	108
Definition der lokalen Grenzwerte mittels Isoplot		108
Strontiumisotopenwerte der Bodenproben und einer Schnecke		110
4.1.7	Apatitextraktion	113
4.1.8	Sauerstoffisotope	114
4.1.9	Berechnung der Trinkwasserquelle	116
4.1.10	Kohlenstoffisotope	120
4.1.11	Vergleich der Isotopendaten zwischen den einzelnen Zahntypen	121
4.1.12	Sauerstoff- und Kohlenstoffisotope aus Knochenapatit	122
4.1.13	Gesamtergebnisliste Wenigumstadt	125
4.2	Strontium- und Sauerstoffisotopenergebnisse Vron und Neuville-sur-Escout	131
4.3	Strontiumergebnisse der Böhmisches Proben	135
5	Diskussion	137
5.1	Ergebnisse für das Gräberfeld aus Wenigumstadt	137
5.1.1	Knochenerhaltung und Auswahl der Proben	137
5.1.2	Demographie von Wenigumstadt	140
5.1.3	Bestimmung der lokalen Strontiumisotopie	142
Bodenproben		147
Vergleich der Cut-Off Values		149
Bioverfügbares Strontium		151

Nutzflächenmodell – Einzugsgebiet der lokalen Strontiumisotopie	154
Vergleich Gestein – Bodengelagertes Material	166
Vergleich der Daten mit den Ergebnissen der Sedimentproben	168
5.1.4 Lokale Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopie	170
Kohlenstoffisotopie	170
Sauerstoffisotopie	170
Rekonstruktion der Trinkwasserquelle	172
Stilleffekt im $\delta^{18}\text{O}$ des Zahnschmelzes	175
Vergleich Knochen – Zahnschmelz	179
Stilleffekt N vs. O	183
5.2 Isotopenergebnisse der Vergleichsbasis	186
5.2.1 Vron und Neuville-sur-Escaut	186
5.2.2 Ergebnisse der böhmischen Proben	190
5.3 Zuordnung der nicht-lokalen Individuen	192
5.4 Empfehlungen zur Bestimmung der Lokalen Isotopensignaturen	200
6 Zusammenfassung	202
7 Literatur	204
8 Anhang	218
8.1 Verwendete Chemikalien, Geräte und Software	218
8.2 Tabellen aus dem Methodenteil	220
8.3 Tabellen zum Themenbereich Strontiumisotope	222
8.4 Tabellen und Abbildungen aus dem Themenbereich leichte Isotope (O, C)	224
8.5 Tabellen zu den Ergebnissen der Proben aus Vron und Neuville-sur-Esaut	230
8.6 Abbildungen	231
8.7 Abbildungsverzeichnis	232
8.8 Tabellenverzeichnis	237
9 Lebenslauf	241
10 Danksagung	244

1 EINLEITUNG

1.1 GESCHICHTE WIEDERHOLT SICH

Geschichte wiederholt sich nicht, aber sie reimt sich.

Mark Twain

Historiker suchen in der Vergangenheit nach sich wiederholenden Mustern, oder zumindest, wie Mark Twain, nach Regeln und Reimen. Geschichte ist nicht zielgerichtet, führt nirgendwo hin und unterliegt keinen Regeln. Der Mensch ist versucht, rückblickend den Verlauf der Geschichte zu betrachten und zu denken, alles scheint auf diesen Zeitpunkt hinzustreben. Allerdings existieren Ähnlichkeiten nur im Rückblick und Vergangenes zielt nicht auf zukünftige Geschehnisse ab.

Und doch befinden wir uns in einem zeitlichen Ablauf, der noch nicht zu Ende ist. Wir können auf die Vergangenheit zurückblicken und versuchen, die Geschichte zu erklären und es vielleicht anders oder auch besser zu machen. Zu jedem Zeitpunkt gibt es aber unzählige Faktoren, Eigenschaften und Bedingungen, die Einfluss auf das Geschehen nehmen. Jeder einzelne Moment und jede Begebenheit hat ihr eigenes besonderes Gewicht in der Geschichte.

Am Beispiel der Völkerwanderungszeit lässt sich besonders gut eine Brücke zwischen Vergangenheit und Gegenwart schlagen. Gerade die jüngere Geschichte führt uns soziale Probleme bedingt durch Migration und Integration vor Augen, während Flüchtlingswellen und Einwanderungsproblematik zur alltäglichen Berichterstattung gehören. Die Geschichte bietet mit Sicherheit keine Lösungen für gegenwärtige Probleme an, aber wir können daraus lernen, Dinge aus neuen Blickwinkeln zu betrachten und manche Vorgänge möglicherweise klarer zu erkennen. Wanderungen bleiben bis in die heutige Zeit ein wichtiges Thema, allerdings wird in den Geschichts- und Sozialwissenschaften der Begriff Migration (von lat. *migratio*, *migrare* fortziehen, auswandern) verwendet, da in der deutschen Alltagssprache das Wort „Wanderung“ eher mit der Freizeitbeschäftigung in Verbindung gebracht wird (Quast und Knaut 2005).

1.2 FRAGESTELLUNG UND ZIELSETZUNG DER ARBEIT

Seit der erste Urmensch Afrika verlassen hat und nach Asien und Europa gewandert ist, befand sich der Mensch auf Wanderschaft. Seit dem ist Migration ein grundlegender Faktor der Ethnogenese: Kulturen, Sprachen und Völker wurden und werden durch sie gestaltet und geformt. Die archäologische Nachweisbarkeit von Wanderungen bietet daher Raum für viel Diskussion. Die Ausbreitung der verschiedenen Menschenarten kann durch Skelettfunde belegt werden. Seit der Neolithisierung Europas aber sind andere Möglichkeiten denkbar, die archäologischen Funde zu deuten. Neue Techniken, Wirtschaftsweisen und Traditionen und die damit verbundenen Veränderungen könnten entweder durch einwandernde Gruppen weitergegeben („demic diffusion“), oder aber einfach von Ort zu Ort verbreitet worden sein („acculturation“).

Wanderungen selbst können einen unterschiedlichen Charakter aufweisen. So können Bewegungen eher einer allmählichen Expansion gleichen, während der ein Großteil der Bevölkerung das ursprüngliche Siedlungsgebiet verlässt und sich anderswo ansiedelt. Dort vermischen sich die Gruppen, wobei sich die Kultur verändern kann. Andererseits können kleinere oder größere Gruppen wandern, sie in fremden Populationen wiederum aufgehen und sich anpassen (Pohl 2002).

Bereits seit dem 19. Jhdt. befasste sich die „Alterthumskunde“ mit dem Nachweis von Migrationen, um die Frage zu klären, ob die Deutschen eingewandert sind. Dies wurde schließlich soweit auf die Spitze getrieben, dass archäologische Kulturen als exakte Widerspiegelung ethnischer Gruppen angesehen wurden. Mittlerweile versucht man verstärkt, die Modelle anderer Kulturwissenschaften, wie der Ethnologie, Soziologie und Demographie zu nutzen (Quast und Knaut 2005). Hier können nun die Naturwissenschaften mit neuen Methoden die Diskussion über die Nachweisbarkeit und Rekonstruktion von Migration vorantreiben und auf eine neue Ebene heben.

Die archäologische Bearbeitung des frühmittelalterlichen Gräberfeldes Wenigumstadt wurde bereits von (Stauch 2004) vorgelegt. Sie postulierte bereits aufgrund der Grabbeigaben Zuwanderungswellen aus Nordfrankreich, Böhmen, aus dem Nordseegebiet und aus dem Mittelmeerraum. Allerdings sind solche Interpretationen nicht unumstritten, da z.B. Keramik oder Schmuck entweder Handelsware sein kann oder einfach die Technik weitergegeben worden ist. Bei Münzen ist es ähnlich, da sie als Bezahlungsmittel zwangsläufig weitergegeben worden sind und ihr Wert durch das

Metall und ihr Gewicht bestimmt wurde und nicht durch ihre Prägung auf ein bestimmtes Gebiet beschränkt worden sind.

Hier können nun naturwissenschaftliche Methoden wie die Isotopenanalysen Daten liefern, die eine solche Quelleninterpretation untermauern, verfeinern oder auch widerlegen können. Sollten sich widersprüchliche Aussagen finden, würde dies ein ganz neues Licht auf archäologische Methoden werfen und ganz neue Interpretationsansätze für alle Kulturwissenschaften aufwerfen, die sich mit dem Thema Migration auseinandersetzen. Nicht zuletzt geht es hierbei vielfach um die Frage nach der Vererbung und Weitergabe von Traditionen und Traditionselementen, wie Tracht und Alltagsgegenständen. Darüber wird eine Kultur definiert, und sollte sich nun herausstellen, dass die Kulturgegenstände unter Umständen keine Verbindung zu den Menschen erlauben, muss so manches Kulturmodell überarbeitet werden .

Im Hauptfokus dieser Arbeit steht das frühmittelalterliche Gräberfeld von Wenigumstadt, das zum Ende der Völkerwanderungszeit gegründet wurde und über 400 Jahre lang genutzt worden ist. Mittlerweile ist der Fundplatz mit 309 dokumentierten Gräbern von dem sich ausdehnenden modernen Ort Wenigumstadt überbaut und liegt im unterfränkischen Landkreis Aschaffenburg. Wenigumstadt gehört zur Gemeinde Großostheim, die sich am nordöstlichen Rand des Odenwaldes in der Region Bayerischer Untermain befindet.

In die Zeit von etwa 450 n. Chr. bis ins 9. Jhdt. hinein unterlag die Region einem vielfachen Wechsel in der politischen und kulturellen Zuordnung. Von Anfang an hatte die Region einen Grenzcharakter, zunächst in der römischen Provinz Rätien, später in dem Gebiet der Alamannia. Zunächst regierten die Merowinger, die von den Pippiniden abgelöst wurden, und schließlich erlebte die Bevölkerung auch den Aufstieg der Karolinger zur Macht bis hin zur Blütezeit des Reiches unter Karl dem Großen. Im Verlauf des 400jährigen Bestehens des Gräberfeldes könnten einige Wanderungsströme verschiedener Volksstämme durch die Region verlaufen sein. Um welche Stämme es sich dabei aber genau handelte und wann sie durch welche Gegend zogen, kann bisher nur durch Interpretation und Auslegung von wenigen Schriftquellen und vielen Fundstätten vermutet werden.

Das methodische Anliegen der vorliegenden Arbeit besteht darin, eine praktikable Lösung für die Bestimmung der lokalen Wertebereiche zu finden. Die aktuelle Forschung zielt darauf ab parallel zum Fundgut selbst begleitende biogene Vergleichsproben zu analysieren, welche die bioverfügbaren, lokalen Isotopensignaturen

bereitstellen sollen (s. auch Kapitel 1.6.3). Dazu können Knochen bodengelagerter oder moderner Kleintiere oder Schnecken verwendet werden, oder aber auch gesammelte Hölzer oder Pflanzen.

Das Problem bei einer Altgrabung, wie sie Wenigumstadt darstellt, besteht darin, dass bei der Ausgrabung selbst, solche Fragestellungen noch nicht relevant waren, weswegen auf Knochen von Kleinstsäugern nicht geachtet wurde. Genauso wurden keine entsprechenden Pflanzen- oder Holzreste aus dem Grabkontext eingesammelt. Erschwerend kommt hinzu, dass organische Beifunde, wie Käämme oder Nadeln zum Teil verschollen sind. Das Fundgebiet selbst ist mittlerweile überbaut, so dass es nicht möglich ist, nachträgliche Grabungen zu veranstalten. Dementsprechend muss bei Altgrabungen nach einer anderen Lösung gesucht werden, um den Forderungen nach einer Bestimmung der biogenen, lokalen Wertebereiche zu erfüllen.

Diese Arbeit setzt an einem wichtigen Dreh- und Angelpunkt an, der die gesamte Isotopenforschung aktuell beschäftigt. Die letzten Jahre haben gezeigt, dass eine umfassende, globale Isotopenkartierung ein unverzichtbares Werkzeug dabei ist, Mobilität, Migration und Handel in der Vergangenheit richtig einschätzen zu können, da geologische Karten für archäologische Fragestellungen unzureichend sind. Grundlage dafür aber ist die korrekte Beurteilung und Bestimmung der lokalen, bioverfügbaren Isotopensignaturen. Selten gibt es eindeutige geologische Grenzen, oftmals gibt es fließende Übergänge oder Überschneidungen, daher ist es essentiell „cut-off values“, also Grenzwerte, zu bestimmen, die auf biologisch umgewandelten Signaturen basieren.

Somit stellt die vorliegende Arbeit einen Ausschnitt der globalen Isotopenkarte zur Verfügung und etabliert gleichzeitig eine Möglichkeit, alte Datensätze neu, und Altgrabungen bestmöglich auszuwerten, ohne diese für die aktuellen Fragestellungen verloren zu geben.

1.3 ARCHÄOMETRIE – NATURWISSENSCHAFTLICHE METHODEN IN GEISTESWISSENSCHAFTLICHEN FRAGESTELLUNGEN

Die Entdeckung des Feuers, die Erfindung des Faustkeiles, der Bau fester Siedlungen, Ackerbau und Viehzucht, die ersten demokratischen Republiken in Griechenland, der Aufbau und Zusammenbruch des römischen Reiches, die Zersplitterung des Heiligen Römischen Reiches Deutscher Nationen, die Entdeckung neuer Kontinente und schließlich die Neuerrichtung eines Gesamteuropäischen Staates – dies alles sind einschneidende Ereignisse in der Geschichte. Sie sind geprägt von Neuerungen und einem Kulturwandel, der von bestimmten Bevölkerungsgruppen getragen wird, die den Wandel verbreiten. Einwanderer benutzen neue Bestattungsplätze, setzen sich durch eigene Bestattungsriten und andere Grabbeigaben (Bewaffnung, Schmuck, Tonware) von der ortsansässigen Bevölkerung ab. Dadurch wird es mit archäologischen Methoden möglich, verschiedene Bevölkerungsgruppen voneinander zu unterscheiden. Dabei ist die Geschichtsforschung auf diese kulturellen Indikatoren angewiesen, seien es materielle Hinterlassenschaften oder schriftliche Quellen. Diese Quellen unterliegen allerdings der Interpretation durch Wissenschaftler, die von heutigen Maßstäben und Kulturbegriffen geprägt sind und können für manche Zeitspannen nur ungenügend überliefert worden sein.

Hier können naturwissenschaftliche Analysen helfen, ortsfremde Individuen zu identifizieren und auf deren Herkunft und Herkunftsgeschichte hin zu deuten. Die Rekonstruktion von Mobilität stützt sich daher nicht mehr nur auf die archäologische Auswertung von Beigaben, sondern zunehmend auf menschliche und tierische Skelettreste und deren chemischer Zusammensetzung (Spurenelemente, Isotope, DNA) (Tütken 2010).

Die Isotopenanalyse an organischen Skelett- und Geweberesten hat in den letzten Jahrzehnten in Fächern wie der Archäologie und Anthropologie mehr und mehr an Einfluss gewonnen. Unzählige Arbeiten wurden zur Ernährungs- und Lebensweise (Katzenberg 2000; Sealy und van der Merwe 1992), zu Klima- und Umweltbedingungen und -entwicklungen (Hedges et al. 2004; Mannino et al. 2003; Straight et al. 2004) sowie zur Mobilitätsforschung historischer, prähistorischer und neuzeitlicher Menschen und Tiere durchgeführt (Bentley 2006; Knipper 2004; Schweissing und Grupe 2003a; Stephan 1999; Tütken et al. 2008a).

Dazu müssen sich die Isotopenzusammensetzungen in der Biosphäre systematisch durch klimatische und geologische Verhältnisse von Region zu Region unterscheiden, über bioverfügbare Signaturen in Nahrung und Trinkwasser in Geweben wie Knochen, Zähnen und Haaren eingebaut werden und dort spezifische „Isotopenfingerabdrücke“ hinterlassen.

Die Naturwissenschaften können so den Kultur- und Geisteswissenschaften helfen, zusätzliche, neue Information über die Lebens- und Ernährungsweise, die Bevölkerungs- und Kulturentwicklung, aber auch über die Herkunft von Handelswaren und Nahrungsmitteln und damit die Mobilität vergangener Populationen von Menschen und Tieren zu erhalten (Bentley 2006; Hölzl et al. 2007; Montgomery 2010; Schweissing und Grupe 2003b; Sillen et al. 1998; Tütken et al. 2008b). Die Migrationsforschung im Allgemeinen und die Analyse stabiler Isotope im Besonderen, sind in den letzten Jahren verstärkt in den Focus der Aufmerksamkeit gerückt. So wurde zum Beispiel zu diesem Thema die Exzellenzinitiative „Topoi – The Formation and Transformation of Space and Knowledge in Ancient Civilizations“ in Berlin begründet, die mehr als 200 Wissenschaftler aus den verschiedensten Disziplinen beschäftigt. Im Focus des Spezialforschungsbereiches HiMAT der Universität Innsbruck steht die Geschichte des Bergbaus und seine Auswirkungen auf Umwelt und Menschen, was unter anderem mit Isotopenanalysen erforscht werden soll.

Moderne Anwendungsgebiete von Isotopenanalysen finden sich in der Ökologie, wo sie seit langem etabliert sind, in der Forensik, aber auch in der Lebensmittelsicherung. Für Ökologen ist die Bestimmung der Migration und Habitatnutzung von Tieren von Bedeutung (Cerling u. a. 2006; Chamberlain et al. 1997; Hobson 1999; Koch et al. 1995), während mit zunehmender Globalisierung die Ermittlung der Herkunft und Authentizität von Lebensmitteln eine große Rolle spielt (Rossmann et al. 2000; Rummel et al. 2010; Voerkelius et al. 2010). In rechtsmedizinisch relevanten Arbeiten geht es z.B. um die Identifikation der geologischen Herkunft unbekannter Toter (Rauch et al. 2007; Rummel et al. 2007; Vogel et al. 1990).

1.3.1 Geschichtlicher Hintergrund für die vorliegende Arbeit

Für das frühe Mittelalter sind nur sehr wenige historische Aufzeichnungen überliefert. Dieser Mangel an Information ist wohl darauf zurückzuführen, dass römische Geschichtsschreiber den Barbaren keine allzu große Bedeutung zumaßen, außer dem Falle ihres Todes. Hinzu kommen Berichte von Geschichtsschreibern (z.B. der Mönch Paulus Diaconus (8. Jhdt.), Isidor von Sevilla (um 700 n. Chr.) in Rosen 2006), die in den einfallenden Stämmen hauptsächlich Barbaren sahen, die aus Bauern, Hirten und Jägern bestanden und über die zivilisierten Städte im Westen des römischen Reiches herfielen. Dies trägt den Unruhen und Umbrüchen in der späten antiken Welt und dem beginnenden Mittelalter Rechnung, als das weströmische Reich zerfallen war und sich in Mittel- und Südwesteuropa zahllose, oft kurzlebige Nachfolgereiche unter germanischen Herrschern bildeten (Schmoeckel 2003).

Seit 370 n. Chr. hatten Hunnen aus Asien und iranische Alanen den Ostgoten nördlich des Schwarzen Meeres und den Westgoten an der unteren Donau zugesetzt und viele vertrieben. Die Hunnen fanden in den weiten Ebenen Ungarns, dem damals noch zum Weströmischen Reich gehörigen Pannonien, als Reiternomaden ideale Lebensverhältnisse und setzten sich dort fest (Anke et al. 2008). Die meist germanischen Stämme ihrer Umgebung wurden entweder wie die Ostgoten zur Unterwerfung gezwungen, oder sie flüchteten wie die Westgoten nach Westen. Durch ihr Eindringen störten sie verschiedene Germanenvölker auf, stießen sie wie ein Queue die Billardkugeln an, die sich auf dem Tisch neu verteilen und wiederum andere Kugeln treffen und lösten damit die große Völkerwanderung aus. Zahlreiche Stämme und Volksgruppen zogen durch Europa, besetzten Gebiete, führten Krieg und bildeten neue Reiche. Allerdings sind weder Siedlungsnachweise dieser Gruppen noch ihr archäologisches Erscheinungsbild bekannt. Ein kurzes Intermezzo in der deutschen Frühgeschichte lieferten auch die Burgunder, über die nicht viel in überlieferten Quellen zu finden ist. Für die zweite Hälfte des 4. Jhdts. dürfte ihr Siedlungsgebiet in Mainfranken sowie dem Tauber- und Jagstgebiet zu lokalisieren sein, zu Beginn des 5. Jhdts. wurde dieses bis ins linksrheinische Gebiet erweitert (Marti 2005; Neubauer 2005). Der Beginn des zu untersuchenden Gräberfeldes von Wenigumstadt in der zweiten Hälfte des 5. Jahrhunderts fällt in etwa in die Regentschaft der Merowinger, ein für Europa wichtiges Geschlecht, dessen Stammväter nur legendenhaft in

Überlieferungen erwähnt werden. Childerichs Enkel Chlodwig I. regierte von 482 bis 511 n. Chr. und erhob das Frankenreich durch Siege über Syagrius, den Sohn des Aegidius, die benachbarten fränkischen Kleinkönigreiche, die Alamannen und die Westgoten sowie durch die Annahme des Christentums zu weltgeschichtlicher Bedeutung.

Dabei machten sich die Merowinger auch die gallo-römische Kultur zu Nutze und

übernahmen den spätrömischen Verwaltungsapparat. Aus den folgenden Jahrhunderten sind nur wenige chronologisch genau einzuordnende Ereignisse fassbar. Hauptsächlich dreht sich die Geschichtsschreibung darum, wer wen umbrachte oder ins Kloster schickte, um unliebsame Mitbewerber um Thron, Ansehen, Macht und Geld zu beseitigen. Die wichtigsten Namen und Ereignisse sind in Abbildung 1 zusammengefasst. Seit 687 hatten die aus den Arnulfingern und Pippiniden hervorgegangenen Karolinger praktisch vollständig die Macht in der Hand. Im Jahre 768 starb Pippin I. und teilte sein Reich unter seinen Söhnen Karl und Karlmann. Als Karlmann nach nur drei Jahren starb, wurde Karl König über das gesamte Frankenreich und sollte als Karl der Große die Weltgeschichte gestalten. 774 fügte er nach einigen siegreichen Feldzügen das Langobardenreich in Norditalien seinem Herrschaftsgebiet hinzu und führte ab sofort den Titel „König der Franken und Langobarden“ (Schmoeckel 2003).



Abbildung 1 Darstellung der wichtigsten Namen und Ereignisse vor und während der Belegungszeit der Gräberfelder in Wenigumstadt, Vron und Neuville-sur-Escaut.

Nachdem er auch nach jahrelangem Ringen die Sachsen unterworfen hatte, wurde Karl im Jahr 800 von Papst Leo III. zum Kaiser gekrönt. Sein Titel lautete nun „Karl, von Gott gekrönter, allergnädigster und erhabener, großer und friedensbringender Kaiser, der das Römische Reich regiert, und auch durch die Gnade Gottes König der Franken und der Langobarden“ (Pohl 2002; Schmoeckel 2003).

DIE ALAMANNEN

Spätestens nach der Umsiedlung der Burgunder um die Mitte des 5. Jahrhunderts lag die Region von Wenigumstadt am nördlichen Rand des Siedel- und Einflussgebiets der Alamannen. Über den Namen „Alemannen“ oder „Alamannen“, haben Wissenschaftler viel gerätselt. Aber die Wahrscheinlichkeit ist doch sehr groß, dass er ganz einfach nur „alle Männer“ bedeutet, als gemeinsamer Überbegriff für die Krieger (und später natürlich auch für die Frauen und Kinder) aus verschiedenen Stämmen. Der Name taucht zum ersten Mal im Zusammenhang mit einer Schlacht auf, als im Jahr 213 der römische Kaiser Caracalla in einem kurzen Feldzug über den obergermanischen Limes an der Spitze mehrerer Legionen die Chatten und die Alamannen besiegte (Schmoeckel 2003).

Fest steht, dass der neue Großstamm der Alamannen ein recht komplizierter Zusammenschluss aus zahlreichen germanischen Stammesteilen gewesen sein muss. Viel weniger klar ist, woher sie kamen und aus welchen Stämmen sie sich zusammengefunden haben. Die Alamannen siedelten in kleinen Dörfern von 30 bis 50 Einwohnern, drei bis vier hölzerne Wohnhäuser mit Stall samt zugehörigen Speichern und Grubenhäusern bildeten üblicherweise eine solche Ortschaft. Dabei bevorzugten sie Stellen, wo es zuvor landwirtschaftliches Gut der Römer gegeben hatte, mit bereits urbar gemachten Ackerflächen. Das Land zwischen Main und Hochrhein wurde von den Alamannen nicht gleichmäßig besiedelt. Wenn die Äcker erschöpft waren, vielleicht schon nach ein oder zwei Generationen, zog die Hof- oder Dorfgemeinschaft weiter und baute eine neue Siedlung ein Dutzend oder mehr Kilometer entfernt (Schmoeckel 2003). Über die Machtergreifung der Franken in der Alamannia ist nur sehr wenig bekannt. Fest steht, dass es um die Wende vom 5. zum 6. Jahrhundert eine oder mehrere Schlachten zwischen beiden Völkern gegeben haben muss. Nach der Schlacht von Zülpich nahm der siegreiche fränkische König Chlodwig I. den christlichen Glauben an. Damit befanden sich alle Alamannen unter fränkischer Herrschaft.

In den recht nachrichtenarmen Jahren zwischen 600 und 750 ereigneten sich wohl einige wichtige Veränderungen in der Führungsstruktur der Alamannia. Die neue Schicht der Adeligen war aus Beamtenstellen hervorgegangen, deren Ursprung sich wiederum auf Verwaltungsstrukturen des spätrömischen Reiches zurückführen lassen. So entstanden neue Titel, wie zum Beispiel der des Grafen (althochdeutsch Grafio), der auf der hohen Beamtenposition eines „comes“ (Begleiter) beruht. Er wurde von merowingischen Frankenkönigen für bestimmte Zwecke ernannt, zum Beispiel als Verwalter für königliche Ländereien. Aus diesen hohen Beamtenpositionen entstanden die Adelsfamilien, die im 7. und 8. Jahrhundert immer mehr nach Anhäufung von Landbesitz strebten. Irgendwann in dieser Zeitspanne erwarb eine Seitenlinie der Agilolfinger aus Bayern das Amt der Herzöge in der Alamannia; in welcher Weise und wann genau das geschah, ist unbekannt. Fürst Karlmann und seine Nachfolger legten die eigentliche Verwaltung des Landes in die Hand von Grafen, die meist aus anderen Teilen des Frankenreiches kamen und nur noch für kleinere Amtsbezirke zuständig waren (Schmoeckel 2003).

Im 8. Jahrhundert strömten viele Menschen aus anderen Regionen des Frankenreiches in die Alamannia. Sie wurden dort angesiedelt, um neue Dörfer in den frisch gerodeten Gegenden zu gründen. Diese Gruppen kamen von überall her, aus den romanisch sprechenden Gebieten Galliens, aus Burgund, aus Thüringen, aus Sachsen – von dort in größerem Umfang erst unter Karl dem Großen –, aus Friesland und vom Niederrhein. Ein Großteil der Einwanderer kam wahrscheinlich im Gefolge der Grafen oder anderer fränkischer Beamter, die in jenen Jahrzehnten mit Verwaltungsaufgaben in der Alamannia betraut wurden (Schmoeckel 2003).

1.3.2 Was ist ein Volk?

Ein Kernbereich der vorliegenden Arbeit widmet sich der Frage nach der Nachweisbarkeit von Mobilität bzw. der Identifikation fremder Personen bzw. Personengruppen auf dem Gräberfeld von Wenigumstadt und damit auch nach deren geographischer Herkunft sowie bedingt deren kultureller Identität bzw. ethnischer Zugehörigkeit.

Was aber ist ein Ethnos bzw. ein Volk? „Eine Gruppe von Menschen mit gemeinsamer Abstammung, Sprache und Kultur, erkennbar an Tracht und Bewaffnung, verbunden durch Recht und Tradition.“ Dies ist eine Definition nach Isidor von Sevilla (* um

560 n. Chr. in Cartagena, Spanien; † 4. April 636 n. Chr. in Sevilla), der alle Völker nach biblischem Vorbild von den Söhnen Noahs herleitete (Pohl 2002).

Volk kann auch einfach als eine unbestimmte Menschenmenge verstanden werden. Weiterhin kann man das „einfache Volk“ von einer höher gestellten Gruppe oder Führungsebene abgrenzen.

Es bleibt anzunehmen, dass die Römer, eher unbeeindruckt von Sprache, ethnischer Herkunft und Kultur, verschiedene sich derart unterscheidende Gruppen oder Gemeinschaften als eine homogene Menschengruppe angesehen haben und diese mit einem einheitlichen Volksnamen bedachten (Pohl 2002).

Was aber macht nun ein Volk aus? Ein wichtiger Punkt bei der Bildung eines Volkes ist die Tradition und deren Weitergabe, worauf letztendlich Namen und Identität beruhen. Für die Spätantike und Völkerwanderungszeit stammen die meisten überlieferten Stammes- bzw. Volksnamen aus Berichten mediterraner Autoren, sind also nicht von mitteleuropäischen Bevölkerungsgruppen selbst überliefert. Teilweise änderten sie mit der Zeit ihre Bedeutung. So bezog sich der, zunächst allgemein für rechtsrheinische Bevölkerungsgruppen verwendete, Sammelbegriff „Germanen“ ursprünglich vielleicht auf die Alamannen in der Liste der Einzelvölker. Erst im Verlauf des Frühmittelalters begannen romanisierte und gebildete Autoren „barbarischer“ Herkunft die Geschichte dieser Völker niederzuschreiben und damit auch z.T. im Nachhinein über die Legende eines gemeinsamen Ursprungs eine gemeinsame Identität zu konstruieren. Dazu zählen die Gotengeschichte des Jordanes (um 550 n. Chr.) oder auch die Langobardengeschichte des Paulus Diaconus (um 790 n. Chr.) (Pohl 2002).

Moderne Historiker konnten mit Hilfe detaillierter Quellenkritik die Geschichte der „Barbarenvölker“ auf der Grundlage von zeitgenössischen Berichten rekonstruieren. Zusätzlich gibt es eine Reihe weiterer Quellen: Lobgedichte (Panegyrici), Briefe, Herrscherlisten, Predigten, Inschriften und Münzen. Die Archäologie liefert z.B. Informationen zu Tracht/Kleidung und Bewaffnung, Grabbrauch und Religion, Sozialstruktur, Siedlungswesen, Wirtschaftsweise, Handelsbeziehungen, Technologie, aber auch z.B. Beiträge zu Ereignissen, etwa über Zerstörungshorizonte (Pohl 2002).

Dies ist aber alles einer nicht immer unumstrittenen Interpretation unterworfen, gerade in Bezug zum Beispiel auf Tracht und Handelsware. Inwieweit die Archäologie tatsächlich Wanderungsereignisse und ethnische Genese nachweisen kann, muss kritisch hinterfragt werden. Sobald Kategorien und Ordnungsvorstellungen unkritisch modernen Begriffen angepasst werden, kann es zu Fehlern kommen.

1.4 MENSCHLICHE HARTGEWEBE ALS INFORMATIONSArchive

Die Element- und Isotopenzusammensetzung (C, N, S, O, Sr, Pb) von Knochen und Zähnen stellt ein wichtiges Archiv dar, das Informationen über die Lebens- und Ernährungsweise des untersuchten Tieres oder Menschen sowie die Klima- und Umweltbedingungen des jeweiligen Habitats bietet (Ambrose 1991; Koch 2007; Stephan 1999; Tütken 2003). Die chemischen Elemente bzw. deren Isotope werden überwiegend mit der Nahrung und dem Trinkwasser aufgenommen, verstoffwechselt und in die Hartgewebe (Knochen, Zähne) eingebaut. Je nach Element unterschiedlich starke, systematische Veränderungen der Isotopenzusammensetzung durch Fraktionierungsprozesse (Stoffwechsel- und Biomineralisationsereignisse) während des Aufbaus eines Gewebes lassen Rückschlüsse auf die chemische Zusammensetzung der aufgenommenen Nahrung und der verwendeten Trinkwasserquelle zu (Daux et al. 2008; DeNiro und Epstein 1978; Longinelli 1984; Richards et al. 2003; Tütken 2010; Zazzo et al. 2010). Isotopensignaturen, die nicht mit dem Habitat des Fundortes übereinstimmen, bedürfen gesonderter Interpretation, da sie Hinweise auf ein abweichendes Lebensumfeld geben. Dadurch ist es möglich Migranten zu erkennen und unter Umständen die geographische Herkunft einzelner Individuen oder ganzer Bevölkerungen festzustellen.

Voraussetzung für Isotopenanalysen ist die Kenntnis von Bildungsprozessen und Umbauraten der zu untersuchenden Materialien wie Knochen und Zähne (Tütken 2010). Unterschiedliche Gewebe durchlaufen unterschiedliche Aufbau- bzw. Umbauphasen und -zeiten, sprich sie bilden Archive für unterschiedliche Lebensphasen eines Individuums. Zähne bilden sich in den frühesten Lebensjahren und nach Abschluss der Mineralisationsphase erfahren sie keinerlei Umbau. Im Gegensatz dazu werden Knochen ein Leben lang umgebildet und speichern je nach Fraktion die letzten Lebensjahre bis -jahrzehnte.

Die im Skelett gespeicherten Isotopenzusammensetzungen können unter entsprechenden Bedingungen Jahrtausende überdauern und Informationen speichern. Die Isotopenanalyse verschiedener Skelettelemente (z.B. Zahn vs. Knochen) ermöglicht es eventuell sogar, unterschiedliche Zeitfenster im Leben eines Individuums zu untersuchen und so eine chronologische Abfolge der Wanderungsereignisse oder sogar saisonale Wanderbewegungen zu rekonstruieren. Über den genauen Herkunftsort lässt

sich dagegen oft keine genaue Aussage treffen. Dies liegt zum Einen an meist zweideutigen Ergebnissen, da verschiedene Gebieten die selben Isotopenzusammensetzungen aufweisen können, und zum Anderen daran, dass für mögliche Herkunftsgebiete keine bioverfügbaren Signaturen bekannt sind. Jedoch sollte es möglich sein, nach dem Ausschlussprinzip bestimmte Gebiete auszuschließen und andere in die engere Auswahl zu nehmen.

1.4.1 Bildung und Zusammensetzung der anorganischen Matrix in Knochen und Zahnschmelz

APATIT

Osteoblasten sondern exocytotisch Vesikel ab, die an Phospholipide und Proteine komplexartig gebundenes Kalzium sowie Phosphatasen (alkalische Phosphatase und Pyrophosphatase) enthalten. Diese „Knochenphosphatasen“ spalten offenbar von Phosphorsäureestern, die auf dem Blutweg antransportiert werden, Phosphationen ab, die sich dann in der Mineralisierungszone anreichern. Die Phosphationen und das Kalzium der Vesikel bilden intravesikulär das Kalziumphosphat $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$, aus dem in Folge größere Hydroxylapatitkristalle entstehen. Nach dem Platzen der Vesikel lagern sich die Apatitkristalle an den Kollagenfasern des neu entstandenen Knochens an und wirken für nachfolgend gebildeten Apatit als Kristallisationskeime. Schließlich werden die Kollagenfasern vollkommen von Apatitkristallen imprägniert und ummauert (Betz et al. 2001).

Der biologische Apatit ist ein unreines und schwach kristallines Kalziumphosphatsalz, das analog zum geologischen Hydroxylapatit aufgebaut ist. Er bildet den Hauptanteil der anorganischen Mineralfraktion des Knochens. Die ideale Formel des geologischen Hydroxylapatit lautet $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Im Knochen kann diese aber aufgrund homoionischer und heteroionischer Substitutionsreaktionen im Kristallgitter variieren (Herrmann et al. 1990; LeGeros 1981; Martin et al. 1998), beispielsweise durch Magnesium, Kalium, Fluor, Phosphat, Blei oder Strontium (Boskey 1999). Des Weiteren können sich Karbonatgruppen als so genanntes adsorbiertes Karbonat auf der Oberfläche der Apatitkristalle ablagern, das aber leichter löslich ist als strukturelles Karbonat und damit bei der Extraktion entfernt werden kann (Lee-Thorp et al. 1989).

Das im Apatit enthaltene strukturelle Karbonat kann ebenso wie die organische Fraktion

zur Ernährungsrekonstruktion herangezogen werden. Außerdem spiegelt Karbonat, im Gegensatz zu Kollagen, das gesamte Nahrungsspektrum inklusive Kohlenhydraten und Fetten wider, da es aus dem gelösten Bikarbonat des Blutes gebildet wird (Ambrose und Norr 1993; Lee-Thorp et al. 1989).

KNOCHEN

Knochen ist ein wichtiger Speicher für Mineralstoffe, unter anderem für Kalzium sowie für andere Spurenelemente. Er besteht aus einer organischen Fraktion (ca. 30 Gew.-%; Proteine, v. a. Kollagen) sowie einer anorganischen Fraktion (ca. 70 Gew.-%; Mineral, v. a. Hydroxylapatit) (Hillson und Antoine 2003). Kollagen wird aus Aminosäuren aufgebaut, die vor allem aus der proteinhaltigen Nahrung stammen. Es spiegelt daher (unter Berücksichtigung einer metabolischen Fraktionierung) die C-, N- und S-Isotopenzusammensetzung der Nahrung wider (Ambrose 1990; DeNiro und Epstein 1981; Nehlich und Richards 2009).

Bei der Knochenbildung werden in die Kollagenmatrix Apatitkristalle eingelagert. Sauerstoff ist überwiegend im Apatit gebunden: 92% in der Phosphatgruppe, 5% im strukturellen Karbonat und 3% in der Hydroxyl-Gruppe (Rey et al. 2009).

Knochen wird im Gegensatz zum Zahnschmelz während des gesamten Lebens ab- und aufgebaut. Dadurch wird er im Laufe der Zeit teilweise oder komplett umgebaut. Die Umbaurate hängt von Alter und Knochentyp ab. Die Umbaugeschwindigkeit verschiedener Skelettelemente nimmt beim Menschen zu: Schädel < Oberschenkel < Rippen < Beckenkamm. Spongiosa wird dabei generell schneller umgebaut als die Kompakta. Die Knochenumbauraten variieren zwischen 5 und 20 Jahren oder länger (Babraj u. a. 2005; Stenhouse und Baxter 1979; Stout und Paine 1994; Wild et al. 2000). Hodgins (2009) stellte fest, dass die Umbaurate von Apatit mit derjenigen von Kollagen (20 – 30 Jahre, Stenhouse und Baxter 1979; Ubelaker et al. 2006; Wild et al. 2000) zusammenhängt, allerdings um 50% schneller abläuft, also 10 – 15 Jahre benötigt, um Apatit einmal vollständig umgebaut zu haben. Durch den permanenten Knochenumbau gleicht sich die Isotopie sowohl des Kollagens als auch des Apatits nach einem Ortswechsel mit der Zeit an die Nahrung und das Wasser des neuen Aufenthaltsortes an und speichert somit Mittelwerte der letzten Lebensjahre bis -jahrzehnte.

ZÄHNE

Jeder Zahn des menschlichen Gebisses kann in Zahnkrone (*corona dentis*) und Wurzel (*radix dentis*) mit Wurzelspitze (*apex*) und Zahnhals (*cervix dentis*) unterscheiden. Der größte Teil des Zahnes besteht aus Zahnbein (*dentinum*), das die Pulpahöhle (*cavitas pulpa*) umschließt. Die Zahnkrone wird aus Zahnschmelz (*Enamelum*) gebildet. Die Zahnwurzel/n werden vom Zahnzement (*Cementum*) nach außen hin umgeben (Drenckhahn und Fleischhauer 1994).

Zahnschmelz ist das härteste biologisch gebildete Gewebe im menschlichen Körper, da es ein fast rein kristallines Gefüge ist (Schroeder 2000). Durch Einlagerung von Fluoridionen anstelle einzelner OH-Ionen wird die Härte und Resistenz des Schmelzes erhöht. Es ist viel stärker mineralisiert (>96 Gew.-%) als Dentin oder Knochen (ca. 70 Gew.-%) (Schroeder 2000; Drenckhahn und Fleischhauer 1994). Die mineralische Fraktion besteht wie bei Knochen aus karbonathaltigem Hydroxylapatit. Durch seinen hohen Mineralisationsgrad ist Zahnschmelz nicht nur deutlich härter, sondern auch weniger porös als Dentin und Knochen, da er deutlich größere Apatitkristalle bildet (Tütken 2010). Dadurch kann der Zahnschmelz über sehr lange Zeitspannen sehr gut erhalten bleiben, und so die darin gespeicherten Information über Jahrtausende überliefern (Fricke et al. 2008; Kohn et al. 2002; Sponheimer und Lee-Thorp 2006; Tütken et al. 2006).

Die Mineralisation der ersten Dauermolaren (M1) beginnt bereits vor der Geburt und endet mit ca. mit dem 4. Lebensjahr. Dies sind somit die ersten Zähne, die gebildet werden und so das früheste Zeitfenster der Lebenszeit eines Individuums zur Analyse bilden. Die zuletzt gebildeten Zähne sind die dritten Dauermolaren, die sogenannten Weisheitszähne, deren Bildungszeitraum sehr variabel sein kann. Beginnend zwischen dem 7. – 14. Lebensjahr kann die Mineralisation erst zwischen dem 12. und 18. Lebensjahr vollendet sein (s. Abbildung 2; Olze et al. 2003; Rozkovcová et al. 2005; Schroeder 2000) Daher eignet sich diese Zahngruppe am wenigsten für zeitlich definierte Aussagen oder Interpretationsversuche.

Die Entstehung des Zahnschmelzes basiert auf drei beim Menschen am Einzelzahn gleichzeitig ablaufenden Prozessen: 1) die Bildung einer Schmelzmatrix und der initialen Mineralisation dieser Matrix, 2) der Rückresorption dieser Matrix und 3) der sekundären Mineralisation bzw. der Reifung des kristallinen Gefüges. Die sogenannte Schmelzmatrix

ist das Primärprodukt der Ameloblasten, und Zahnschmelz ist das mineralisierte und ausgereifte Endprodukt (Schroeder 2000).

Die Schmelzbildung beginnt, sobald die Sekretion der Schmelzmatrix einsetzt, während zum gleichen Zeitpunkt bereits eine erste schablonenförmige Dentinkappe existiert, deren periphere Anteile mineralisiert sind. Die frisch ausgeschiedene Schmelzmatrix besteht vorwiegend aus nicht-kollagenen Proteinen, 1-2% Kohlenhydraten und Lipiden. Die erste, auf der Dentinschale direkt abgelagerte, etwa 3 µm dicke Schmelzschicht ist homogen strukturiert. Diese erste Schmelzschicht ist bereits hochgradig mineralisiert (Schroeder 2000).

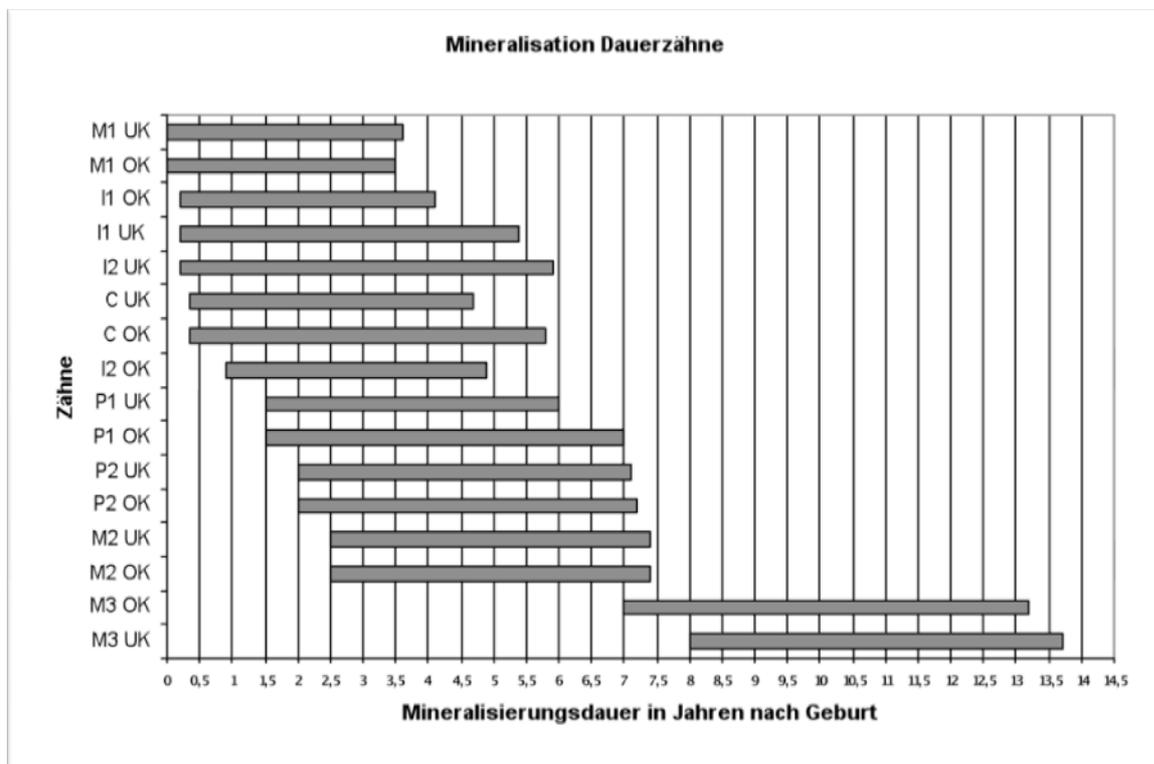


Abbildung 2 Mineralisationsdauer der einzelnen Zahntypen in Jahren nach der Geburt (Schulz 2006, nach Schroeder 2000).

Der Ameloblast bildet den Tomesschen Fortsatz, mit dessen Hilfe er die Schmelzkristallite in strukturelle Einheiten (Schmelzprismen) zusammenfassen und damit dem Schmelz ein charakteristisches Strukturgefüge geben kann. Im folgenden Reifungsprozess über mehrere Wochen bis Monate werden weitere Apatitkristalle bis zur vollständigen Mineralisation eingelagert (Schroeder 2000).

Die Isotopenanalyse verschiedener Zähne aus dem Gebiss eines Individuums ermöglicht aufgrund der unterschiedlichen Zahnbildungszeitpunkte von der Geburt bis

zum Erwachsenenstadium, Veränderungen in Nahrung und Trinkwasser sowie Ortswechsel zu rekonstruieren (Prowse et al. 2007; Schulz 2006; Schweissing und Grupe 2003a; Tütken et al. 2008a). Eine serielle Beprobung einzelner Zähne erlaubt es zusätzlich, saisonale Änderungen von Klima, Nahrung und geologischem Untergrund und damit des Aufenthaltsortes zu bestimmen. Hierdurch können saisonale oder kurzfristige Migrationsbewegungen von Individuen erkannt und z.B. Weidewirtschaft oder Transhumanz nachgewiesen werden (Balasse et al. 2002; Balter et al. 2008; Richards et al. 2008).

1.5 ISOTOPENANALYSEN

Atome (=Nuklide) mit derselben Protonenanzahl (Ordnungszahl), aber unterschiedlichen Neutronenzahlen werden „Isotope“ genannt. Da die Anzahl der Elektronen entscheidend ist für die chemischen Eigenschaften eines Atoms, haben alle Isotope eines Elements sehr ähnliche chemische Eigenschaften und unterscheiden sich lediglich in ihrer Masse (Mortimer 1996).



Element = E

Protonenzahl = Z (Ordnungszahl) = extranukleare Elektronen

Neutronenzahl = N

Protonen Z + Neutronen N = Massezahl A

Atome mit derselben Anzahl Neutronen werden „Isotone“ genannt, Atome mit derselben Massezahl „Isobare“. Isobare haben unterschiedliche Zahlen an Protonen und Neutronen, sind also Atome verschiedener Elemente, besitzen aber dieselbe Masse. Die Gesamtzahl verschiedener Atome ist etwa 1700, davon allerdings sind nur 260 stabil (Faure 1986). Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Stabilität eines Atomkernes und seiner Häufigkeit in der Natur. Offensichtlich ist Kernstabilität eher die Ausnahme als die Regel.

Die Elemente, die besonders empfänglich für natürliche Fraktionierungsereignisse sind, sind Wasserstoff, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff und Schwefel. Diese gehören zu den häufigsten Elementen auf der Erde und sind eng mit der Biosphäre, der Hydrosphäre und der Lithosphäre verbunden. Daraus resultiert eine Fülle von Möglichkeiten, aus Fraktionierungsprozessen dieser Isotope Informationen zu gewinnen, um geologische und ökologische Ereignisse und deren Zusammenhänge in verschiedensten Habitaten, Umgebungen und Milieus zu klären (Faure 1986).

In der vorliegenden Arbeit wurden die stabilen Isotopensysteme des schweren Elements Strontium und der leichten Elemente Sauerstoff und Kohlenstoff verwendet, um der Frage nach lokaler oder nicht-lokaler Provenienz einer menschlichen Population nachzugehen.

1.6 STRONTIUMISOTOPENANALYSEN

Von allen Isotopenanalysen, die gegenwärtig an archäologischem Skelettmaterial durchgeführt werden, ist die Analyse stabiler Strontiumisotope die effektivste zur Feststellung von Migrationsereignissen. Sie wird an menschlichem und tierischem historischem und prähistorischem Skelettmaterial durchgeführt (Bentley und Knipper 2005; Berger et al. 2008; Knudson et al. 2005; Montgomery et al. 2005; Nehlich et al. 2009; Price et al. 1994), kann aber auch zur Analyse von anderem organischen Material dienen, wie zum Beispiel Artefakte, Pflanzen oder Holz (Gillmaier et al. 2009; Hollauer 2010).

Zunächst wurden Strontiumisotope von Ökologen verwendet, um Stoffkreisläufe und Wanderungsbewegungen verschiedener Tierspezies zu verfolgen (Åberg 1995; Blum et al. 2000; Chamberlain et al. 1997). Ericson (1985) stellte diese Methode schließlich Archäologen vor, um sie an archäologischen Zähnen und Knochen anwenden zu können. Andere Isotopenverhältnisse werden ebenfalls zur Mobilitätsrekonstruktion herangezogen, hierbei vor allem diejenigen von Sauerstoff (s. Kapitel 1.7) und Blei (Budd et al. 1998; Carlson 1996). Hierbei hat sich Strontium aber als am vielversprechendsten herausgestellt hat. In Kombination erhöht sich jedoch für jedes dieser Isotopensysteme die Genauigkeit. Nach Ericson (1985) wurde schließlich die Strontiumisotopenanalyse vermehrt für archäologische Fragestellungen angewandt und als Methode etabliert (Dupras und Schwarcz 2001; Price et al. 1994; Sealy et al. 1991). Mittlerweile dient die Methode auch in Kombination mit paläogenetischen Studien dazu, die Entwicklung und Migration von Tierpopulationen nachzuvollziehen, zum Beispiel im Zuge der Neolithisierung (Shaw et al. 2009).

Strontiumisotope dienen als geochemische Marker dazu, archäologische Skelette einem geologischen Gebiet zuzuordnen und die Mobilität während der Lebenszeit festzustellen. Das Prinzip der Strontiumisotopenanalyse beruht darauf, dass Minerale aus erodierenden geologischen Materialien durch Böden, Grundwasser und die Nahrungskette in Knochenmaterial gelangen und eingebaut werden. Strontium ersetzt Kalzium an Kristallgitterplätzen im mineralischen Hydroxylapatit. Sowohl die organische als auch die anorganische Komponente des Knochens werden zu Lebzeiten eines Individuums ständig umgebaut, so dass die Strontiumisotopen-Verhältnisse im

Knochen die jeweils letzten Lebensjahre widerspiegeln. Je nach Art des Knochens (Spongiosa oder Kompakta), Skelettelement und Alter des Individuums vergehen zwischen zehn und 20 Jahre oder mehr bis zum vollständigen Umbau eines Knochens (s. Kapitel 1.4.1.). Der Zahnschmelz bildet sich im Gegensatz dazu in der frühen Kindheit und verändert sich im Laufe des Lebens – abgesehen von möglichen Austauschvorgängen an der Oberfläche, die ohnehin bei der Probenaufbereitung entfernt wird – nicht mehr.

Der Vergleich der Strontiumisotopen-Verhältnisse dieser beiden Skelettelemente desselben Individuums kann deshalb einen Wohnortwechsel von einer geologischen Region in eine andere anzeigen, und z. B. den Nachweis einer späten Migration erbringen. Ist nämlich nicht nur die Isotopie des Zahnschmelzes anders als die lokale Geologie des Bestattungsortes, sondern auch die des Knochens, ist das betreffende Individuum erst in den letzten Lebensjahren zugewandert (Price et al. 2003; Schweissing und Grupe 2003a). Während der Völkerwanderungszeit befanden sich die verschiedenen Volksgruppen mehrere Jahre auf Wanderschaft. Daher hat sich im Knochen eine Mischung angesammelt, die zwar den gesamten zurückgelegten Weg widerspiegelt, aber keinerlei Rückschlüsse mehr auf ein Herkunftsgebiet ermöglicht. Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Arbeit auf eine Analyse der Strontiumsignatur im Knochen verzichtet.

Ein weiteres Problem bei der Analyse von Knochenmaterial stellen Diageneseereignisse dar. Nur wenn sich die Knochenisotopie von derjenigen der örtlichen Geologie unterscheidet, kann die Signatur als natürlich angenommen werden. Ist sie dieselbe, kann dies zu einer falsch negativen Aussage führen, da die Spurenelementzusammensetzung während der Bodenlagerung verändert worden sein kann (Budd et al. 2000; Price et al. 1992; Sillen und Sealy 1995). Andererseits kann nicht davon ausgegangen werden, dass Knochen oder Dentin grundsätzlich diagenetisch verändert wurden und somit als Träger der lokalen Signatur verwendet werden könnten (Haak et al. 2008). Vielmehr dürfte es sich bei einem diagenetisch veränderten Signal um eine Mischung aus natürlichem, originärem Strontiumverhältnis und Bodensignatur handeln. In mehreren Arbeiten wurde gezeigt, dass Zahnschmelz im Allgemeinen resistenter (aber nicht unempfindlich) gegen Kontamination und ein verlässlicher Anzeiger der biogenen Strontiumisotopenverhältnisse ist (Åberg et al. 1998; Budd et al. 2000; Kohn et al. 1999; Price et al. 2003).

1.6.1 Strontiumisotope in Gesteinen

Strontium ist ein Erdalkalimetall mit einer Ladung von +2. Sein Ionenradius (1,32 Å) ist nur geringfügig größer als derjenige von Kalzium (1,18 Å), wodurch Sr^{2+} anstelle von Ca^{2+} eingebaut werden kann. Dies gilt für Feldspat, Calcit, Dolomit, Aragonit, Gips und Apatit. Apatit bildet zu einem großen Teil die Mineralfraktion im Knochen. Strontium tritt in der Natur in vier stabilen Isotopen auf, drei davon nicht-radiogen:

$${}^{84}\text{Sr} = 0,56\%$$

$${}^{86}\text{Sr} = 9,87\%$$

$${}^{87}\text{Sr} \approx 7,04\%$$

$${}^{88}\text{Sr} = 82,53\%$$

${}^{87}\text{Sr}$ ($\approx 7,04\%$) ist radiogen. Das bedeutet, dass es durch β -Zerfall im Laufe der Zeit mit einer Halbwertszeit von $4,88 \times 10^{10}$ Jahren aus ${}^{87}\text{Rb}$ entsteht (Stanley und Faure 1979). In Hinblick auf die ‚erst‘ ca. $4,6 \times 10^9$ Jahre dauernde Geschichte der Erde kann die ${}^{87}\text{Sr}$ -Konzentration für archäologische Fragestellungen somit als konstant angesehen werden.

Der Zerfall von Rb zu Sr ist abhängig von der Ausgangskonzentration im betreffenden Gestein sowie abhängig vom vergangenen Zeitintervall. Deswegen dient diese Zerfallsreihe als eine der zuverlässigsten Methoden in der Geochronologie zur Altersbestimmung. Zum einen spielt das ursprüngliche ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis eine Rolle, als das Gestein kristallisierte. Zum anderen ist das ${}^{87}\text{Rb}/{}^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis wichtig, das in den meisten Fällen direkt proportional zum Rb/Sr Verhältnis ist. Schließlich und endlich entscheidet die Zeit, die seit der Bildung vergangen ist, über die Menge an ${}^{87}\text{Rb}$, die zu ${}^{87}\text{Sr}$ zerfallen ist, und damit über das endgültige ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis (Stanley und Faure 1979). Eine generelle Gleichung für radioaktiven Zerfall ist:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

N ist die aktuelle Menge, λ die Zerfallskonstante, N_0 die Ausgangsmenge und t ist die Zeit. Für die verbliebene Menge an ${}^{87}\text{Rb}$ gilt demnach:

$${}^{87}\text{Rb} = {}^{87}\text{Rb}_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Die Zerfallskonstante λ für ${}^{87}\text{Rb}$ beträgt $1,42/10^{11}$ Jahre. Um die ${}^{87}\text{Sr}$ -Abundanz verschiedener Proben vergleichen zu können, wird sie auf diejenige des nicht-radiogenen ${}^{86}\text{Sr}$ normalisiert, wodurch Varianzen im Gesamtstrontiumgehalt ausgeglichen werden. Daraus folgt letztendlich (Bentley 2006; White 2009):

$$\frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{86}\text{Sr}} = \left(\frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{86}\text{Sr}} \right) + \frac{{}^{87}\text{Rb}}{{}^{86}\text{Sr}} (e^{\lambda t} - 1) \quad (3)$$

Vereinfacht ergibt sich eine Gleichung, die eine Gerade in einem Diagramm ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$ vs. Zeit zeigt: ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr} = a + bt$, wobei die Steigung $b = \lambda \cdot {}^{87}\text{Rb}/{}^{86}\text{Sr}$ und der Achsenabschnitt $a = ({}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr})_0$. Damit lässt sich die Strontiumevolution der Erde und ihrer Hauptsilikatreservoire (Kontinentalkruste und Erdmantel) beschreiben (Abbildung 3). Ein geschlossenes Reservoir wird sich entlang einer Geraden entwickeln und ist proportional zum Eltern-Tochter Verhältnis ${}^{87}\text{Rb}/{}^{86}\text{Sr}$.

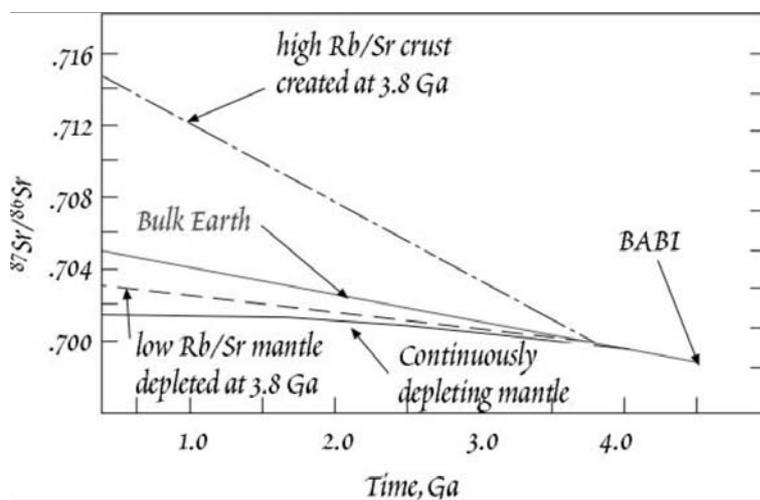


Abbildung 3 Strontiumisotopenevolution. Genese des ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisses der gesamten Erde, Entstehung der Erdkruste mit hohen Rb/Sr-Verhältnissen (vor 3,8 Mrd. Jahren), Entstehung des daraus resultierenden Erdmantels und eines Mantels, der kontinuierlich an Rb angereichert wird. 'BABI' bedeutet 'basaltic achondrite best initial' und ist das mutmaßliche Anfangs- ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis des Sonnensystems (aus White 2009).

Da die vergangene Zeit und das ursprüngliche $({}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr})_0$ unbekannt sind, benötigt man Messdaten für ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$ und ${}^{87}\text{Rb}/{}^{86}\text{Sr}$ aus zwei unterschiedlichen Mineralen, die zur selben Zeit entstanden sind. Somit hat man zwei Gleichungen und zwei Unbekannte. Die Differenz der vereinfachten Gleichung (3) für beide Minerale ergibt:

$$\Delta \frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{86}\text{Sr}} = \Delta \frac{{}^{87}\text{Rb}}{{}^{86}\text{Sr}} \lambda t \quad (4)$$

Wenn ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$ gegen $\lambda \cdot {}^{87}\text{Rb}/{}^{86}\text{Sr}$ aufgetragen wird ergibt das eine Gerade, die in der Geochronologie als „Isochrone“ bezeichnet wird. Sie hat eine Steigung (t) und den Achsenabschnitt $= ({}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr})_0$. Die Gleichung (4) zeigt, dass je älter das System ist, desto steiler fällt die Isochrone aus, da die Unterschiede in ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$ durch Unterschiede in ${}^{87}\text{Rb}/{}^{86}\text{Sr}$ über die Zeit entstehen. Das bedeutet, dass zwei Minerale, die mit unterschiedlichen ${}^{87}\text{Rb}/{}^{86}\text{Sr}$ -Verhältnissen in demselben Gestein zur selben Zeit

entstanden sind, letztendlich unterschiedliche $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Messungen liefern. Ein einzelner Stein, der aus verschiedenen Mineralen kristallisierte, erzeugt eine Anzahl von linearen Datenreihen, die durch die Isochrone beschrieben werden (Bentley 2006; White 2009). Zwei grundlegende Annahmen sind Voraussetzung für alle geologischen Anwendungen und Fragestellungen, für welche radiogene Isotope von Belang sind. Die erste ist, dass radioaktiver Zerfall unabhängig ist von allen externen Einflüssen, wie Temperatur, Druck etc. Die zweite geht davon aus, dass zwei Isotope desselben Elements chemisch identisch sind und somit das Verhältnis daraus durch chemische Prozesse nicht verändert oder fraktioniert werden kann. Keine dieser beiden Annahmen ist absolut und universell gültig. Allerdings ist dies nur unter Extrembedingungen der Fall, da zum Beispiel Temperaturen von mehreren tausend Grad (z.B. auf Sternoberflächen) nötig sind, um Zerfallsraten zu beeinflussen. Auch im chemischen Verhalten gibt es Unterschiede zwischen den Isotopen eines Elements, aber für die meisten radiogenen Isotope gilt, dass Fraktionierungen relativ klein ausfallen, durch Fraktionierungskorrekturen ausgeglichen werden können und somit als unerheblich betrachtet werden können (Faure 1986; White 2009).

1.6.2 Geologische Variation von Strontiumisotopen

Der ^{87}Sr -Gehalt eines Gesteins ist also abhängig von der Ausgangskonzentration von Rb und davon, wie lange die Kristallisation dieses Gesteins zurückliegt. In Tabelle 1 sind typische Konzentrationen und Verhältnisse in natürlichen Mineralen zusammengefasst. Rb ist ein hochlösliches, aber inkompatibles¹ Element, während Sr geringer löslich und ein nicht so inkompatibles Element ist, da es einen kleineren Ionenradius besitzt als Rb. Durch diese geochemischen Unterschiede kann das $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis entscheidend variieren. Sehr alte Gesteine (> 100mya) mit hohen Rb/Sr-Ausgangswerten zeigen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse von > 0,710, während jüngere Gesteine (< 1-10 mya) mit niedrigen Rb/Sr-Ausgangswerten normalerweise $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte von weniger als 0,704 aufweisen (Stanley und Faure 1979; Bentley 2006).

¹ Als inkompatibles Element wird ein Element bezeichnet, das aufgrund der Ionenladung oder des Ionenradius nicht in das Kristallgefüge normaler gesteinsbildender Minerale passt. Inkompatible Elemente (K, Rb, Cs, Sr, Ba, U, Th u. a.), konzentrieren sich hauptsächlich in der Schmelze, während der Entstehung von Magma oder der Kristallisation derselben im Erdmantel, wodurch die Erdkruste mit diesen Elementen im Lauf der Zeit angereichert wurde, während sie z.B. in Basalten gleichzeitig abgereichert wurden (Bentley 2006; White 2009).

Der Erdmantel hat relativ einheitliche, niedrige Werte von 0,702 bis 0,704 in Basalten, die entlang der mittelozeanischen Rücken durchbrechen, oder auf ozeanischen Inseln wie den Hawaiianischen (White et al. 1976). Phanerozoische² marine Kalksteine und Dolomite haben mittlere ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr-Verhältnisse von ungefähr 0,707 bis 0,709, welche die Zusammensetzung des Ozeans widerspiegeln, als sie gebildet wurden. Diese Varianzen sind relativ gesehen sehr groß im Vergleich zum Messfehler moderner Massenspektrometer ($\pm 0,00001$ oder besser) (Hözl et al. 2004).

Tabelle 1 Typische Werte (geordnet nach Größe) von Strontium- und Kalziumkonzentrationen/-größenordnungen in ppm sowie Rb/Sr-Verhältnisse verschiedener natürlicher biologischer und geologischer Materialien (Bentley 2006). Dies sind ungefähre Angaben, einzelne Werte können variieren. Die meisten Werte stammen aus Capo et al. (1998), mit Ergänzungen von Aubert et al. 2002; Bashkin 2002; Burton et al. 1999; Elias et al. 1982; Kohn et al. 1999.

Material	Sr [ppm]	Ca [ppm]	Rb/Sr
Gestein			
Sandstein	20	40000	3
Granit (<Ca)	100	5000	2
Granit (>Ca)	440	25000	0,3
Basalt	500	75000	0,07
Karbonate	600	300000	0,005
Böden			
Bodenminerale	10-1000	24000	
Labile Bodenminerale	0,2-20	1000	
Bodenfeuchtigkeit	0,001-0,07	1-4	
Wasser			
Meerwasser	8	400	
Fluss	0,006-0,8	15	
Regen	0,001-0,4	1-100	
Schnee	0,00001-0,001	0,01-0,1	
Biologisch			
essbare Pflanzen	1-100	3000-6000	
Säugetierknochen	100-1000+	ca. 370000	
Säugetierzahnschmelz	50-500+	ca. 370000	

Der Zusammenfassung (Tabelle 1) ist zu entnehmen, dass, je mehr Kalzium in einem Boden vorliegt, entsprechend höhere Konzentrationen an Strontium zu erwarten sind. Danach könnte auch die Konzentration im untersuchten Skelettmaterial Rückschlüsse auf die Konzentration im Ursprungsgestein liefern, also zusätzliche Informationen zur ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr-Signatur. Allerdings beeinflusst auch die Ernährungsweise den

² Das Äon Phanerozoikum (übersetzt in etwa: Zeitalter des sichtbaren Lebens) umfasst die drei Ären Paläozoikum, Mesozoikum und Känozoikum und damit den Zeitraum von etwa 542 Millionen Jahren bis heute (s. Anhang 8.6 **Abbildung 53**).

Strontiumgehalt. So wird zum Beispiel mehr Strontium aufgenommen, je kalziumreicher die Ernährung ist. Dahingegen nimmt die Strontiummenge im Verhältnis zu Kalzium im Verlauf der Nahrungskette von den Pflanzen zu den Tieren hin ab (Elias et al. 1982), so dass der ursprüngliche Gehalt des Bodens durch Trophiestufeneffekte in der gemessenen Probe überlagert werden kann.

1.6.3 Biologisch verfügbares Strontium

Seit einigen Jahren wird kontrovers diskutiert (Bentley 2006; Bentley und Knipper 2005; Price et al. 2002; Radloff et al. 2010), ob das Strontium ohne Fraktionierung direkt im selben Verhältnis aus dem Boden in das menschliche Skelett gelangt (Grupe et al. 1997; Price et al. 2003; Schweissing und Grupe 2003a, b), oder ob Fraktionierungsereignisse wie z.B. Trophiestufeneffekte eine Rolle spielen (Fietzke et al. 2008; Halicz et al. 2008; Knudson et al. 2010; Rüggeberg et al. 2008).

Um Aussagen über potentielle Herkunftsgebiete von Zuwanderern einer Siedlung treffen zu können, ist es von Vorteil, die von den geologischen Verhältnissen abhängige räumliche Variation der Isotopie des biologisch verfügbaren Strontiums zu kennen. Obwohl das Datennetz insbesondere in den letzten Jahren durch neue archäologische und geochemisch-paläontologische Studien sowie die gezielte Untersuchung von rezentem und archäologisch überliefertem Faunenmaterial aus verschiedenen Landschaften (Bentley et al. 2003; Bentley et al. 2004; Stephan 2009) dichter wurde, besteht die Herausforderung darin, festzustellen, wie die geologische Signatur und das Isotopensignal im Zahnschmelz genau zusammenhängen. Isotopenkarten bioverfügbarer Signaturen sind immer noch eine Aufgabe der Zukunft bzw. aller in Arbeit befindlicher Studien, da geologische Karten für archäologische Fragestellungen nur bedingt verwendbar sind. Schließlich kann sich die Isotopie des biologisch verfügbaren Strontiums, das allein in die Biosphäre eintreten kann, von derjenigen der stationären, nicht-mobilen Strontiumphase im Boden unterscheiden (Horn 2005).

In geochemischen Studien wird oft das gesamte Gestein gemessen (Cortecci et al. 1979; Hoffs und Wedepohl 1968). Da die einzelnen Minerale unterschiedliche Strontiumisotopenverhältnisse aufweisen und unterschiedlich anfällig für Verwitterung sind, tragen sie in unterschiedlicher Weise zu dem biologisch verfügbaren Strontium bei. In Anbetracht der derzeit noch lückenhaften Kenntnisse über regionales bzw. lokales biologisch verfügbares Strontium wird es bis auf weiteres einfacher sein, bestimmte

Herkunfts- bzw. Aufenthaltsorte eines ortsfremden Individuums auszuschließen, als diese mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit zu bestimmen. Mit Hilfe archäologischer Hinweise und der Verbindung mit anderen Isotopensystemen lassen sich aber durchaus Vermutungen anstellen.

Price et al. (2003) fassten einige Daten aus der Literatur zusammen und verglichen die Wertebereiche von biologisch verfügbarem Strontium, die sie aus Datensätzen für Menschen (Zahnschmelz und Knochen) und Großtieren (Rindern, Schweinen, etc.) gewannen, mit denen von den zugehörigen geologischen Einheiten (Abbildung 4). Die Übereinstimmung zwischen bioverfügbarem Strontium und der geologischen Einheit besteht noch in den Löss- und Flusssedimentgebieten, wohingegen die Daten für Buntsandstein und in den Grundgebirgen stärker voneinander abweichen. Hier fallen die Werte für das biologisch verfügbare Strontium (also aus menschlichen und tierischen Hartgeweben) deutlich geringer aus, als es das geologische Grundsubstrat erwarten ließe. Price et al. (2003) fordern deshalb ein Umdenken und eine Neudefinition des Begriffs „lokale Strontiumsignatur“.

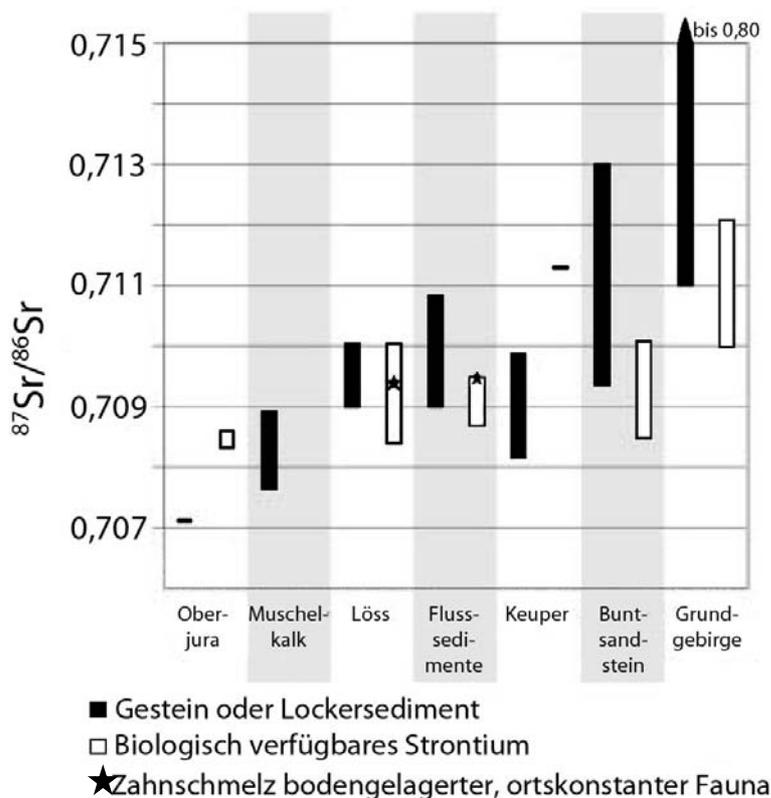


Abbildung 4 Strontiumisotopenverhältnisse der wichtigsten geologischen Einheiten Südwestdeutschlands. Die schwarzen Balken für die Gesteinwerte orientieren sich an Mittelwerten verschiedener Literaturdaten. Die Sterne stehen für Werte aus Zahnschmelz bodengelagerter, ortskonstant lebender Fauna (aus Price et al. 2003).

STRONTIUMKREISLAUF

Zunächst wird aus einem Gesteinsmineral durch Grundwasser Strontium herausgelöst, das in einen Fluss gelangt, dann in den Boden, von dort in eine Pflanze, welche wiederum vergeht, zerfällt und wieder zu Humus wird. Das erneut freigesetzte Strontium wieder durch eine Pflanze aufgenommen, die von einem Herbivoren gefressen wird und gelangt schließlich so über die Bratpfanne auf den Teller eines historischen Menschen. Bevor es im Labor aus dem Knochen herausgelöst und in einem Massenspektrometer gemessen wird, lag es für Jahrhunderte, wenn nicht Jahrtausende, im Boden und war Dekomposition und Verwitterungsereignissen ausgesetzt.

Aufgrund der unterschiedlichen Verwitterung verschiedener Minerale innerhalb eines Gesteins sollten Strontiumisotope in einem natürlichen Reservoir eher als ein Mischungssystem betrachtet werden, das inputs und outputs unterliegt. Inputs sind dabei aus der Atmosphäre und Gesteinsverwitterung zu erwarten, während outputs mittels Fließ- und Grundgewässer geschehen, wobei immer Zwischenreservoirs wie die Biosphäre und der Boden passiert werden (s. Abbildung 5).

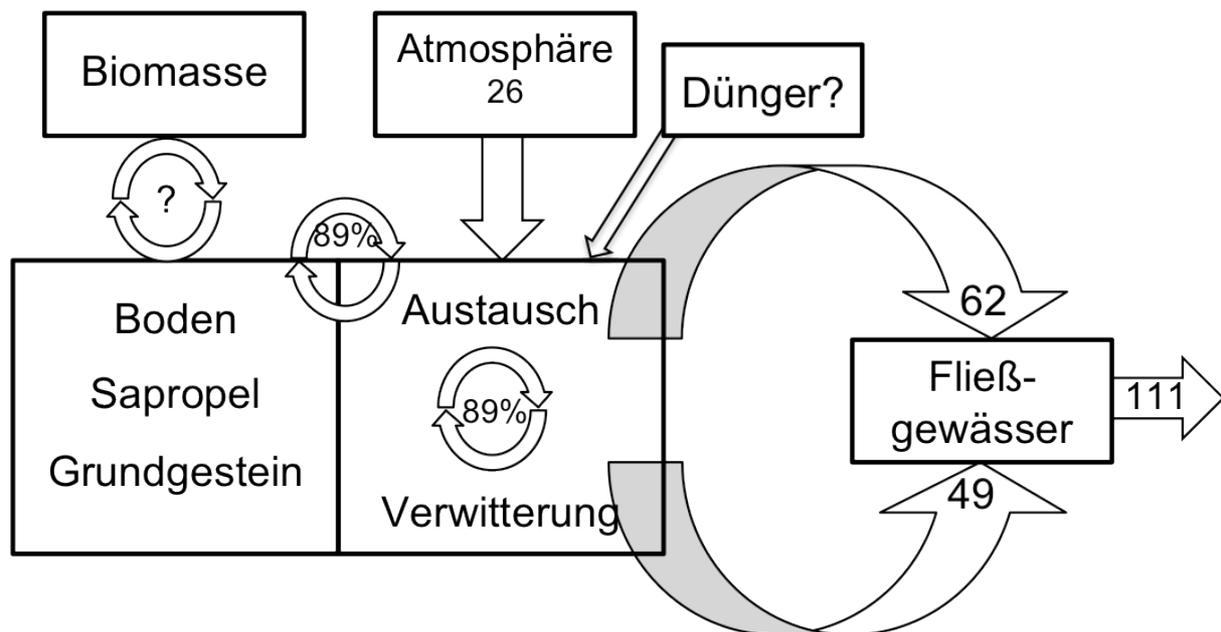


Abbildung 5 Hydrochemisches Budget für Sr (g/ha pro Jahr, Zahlen) (Beispiel am Strengbach, Vogesen aus Probst et al. 2000). Jedes System wird als Reservoir betrachtet, wobei Input und Output als g/ha pro Jahr (Zahlen) angegeben sind. Die Anteile an Inputs und Outputs durch Verwitterung und Austausch (zum Beispiel zum tiefgelegenen Sapropel oder oberen Bodenschichten) sind in Prozentzahlen angegeben (nach Probst et al. 2000, modifiziert durch Bentley 2006).

Im Verlauf der Zeit und der genannten Prozesse verändert sich das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis nicht bzw. in unbedeutendem Maße durch den Zerfall von ^{87}Rb zu ^{87}Sr , da dies mit einer Halbwertszeit von ca. 49 Mrd. Jahren geschieht. Zusätzlich sind kinetische oder

Gleichgewichtsfractionierungen von $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ bei den vorherrschenden niedrigen natürlichen Temperaturen vernachlässigbar (anders als bei den leichten Elementen H, C, N oder O), da die relativ große atomare Masse von Sr dazu führt, dass seine Isotope mittels biologisch-verfügbaren Lösungen ohne messbare Fraktionierungen aus dem Grundgestein in die Böden gelangen (Graustein und Armstrong 1983; Hurst und Davis 1981; Kawasaki et al. 2002).

Jede etwaige Fraktionierung während des Aufbereitungsprozesses jeder Probe oder der Messung selbst im Massenspektrometer wird durch die Korrektur auf das konstante Verhältnis $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ normalisiert (8,37521, pers. Mitteilung Prof. S. Hölzl, s. Kapitel 3.1.5).

Strontium im Boden stammt hauptsächlich aus verwitternden Mineralen, Grund- und Fließgewässern, atmosphärischem Niederschlag und modernen Düngern. Die Strontiumisotopenzusammensetzung von Grundwasser zeigt nicht die Signatur des Gesamtgrundgesteins an, mit dem es in Kontakt kommt, sondern nur die derjenigen Minerale, die löslich sind und mit Wasser chemisch interagieren können (Åberg et al. 1989; Bentley 2006; Horn et al. 1998). Das EU-Projekt „TRACE“ diente dazu, die Verfolgbarkeit von Nahrungsmitteln mittels Isotopenanalysen zu untersuchen. Voerkelius et al. (2010) stellten Strontiumisotopendaten für über 650 europäische Mineralwasser vor. Die Daten reichten von 0,7035 bis 0,7777. Das Projekt hatte es sich zur Aufgabe gesetzt, mit den gewonnenen Daten eine möglichst vollständige Isotopenkarte auf der Grundlage einer GIS-basierten geologischen Karte zu erstellen (Abbildung 6).

Einerseits wird klar, dass sich auch aus dieser Datenmenge keineswegs eine flächendeckende Isotopenkarte ergibt. Und zum anderen lässt sich aus einigen der Datenpunkte schließen, dass das gemessene Strontiumisotopenverhältnis nicht dem Erwartungswert entspricht. So liegt zum Beispiel mitten im Pariser Becken, das sich hauptsächlich aus quartären und tertiären Sedimentablagerungen zusammensetzt, ein blauer Datenpunkt, der für $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte steht, die zwischen 0,7110 und 0,71300 liegen.

Aus allen zuvor genannten Gründen ergibt sich, dass Böden keine eindeutig definierte $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Signatur haben, sondern einen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Bereich, der sich aus seiner Mischung aus verschiedenen Mineralen und Sedimentquellen zusammensetzt. Manche Landstriche sind relativ homogen. Gerade Böden, die aus Anschwemmungen oder Flusssedimenten bestehen, vereinen Mischungen aus Sedimenten, die flussaufwärts

verwitterten. Im Gegensatz dazu kann eine Gegend, die eine hohe geologische Diversität aufweist, kleinräumig sehr variable $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte ergeben.

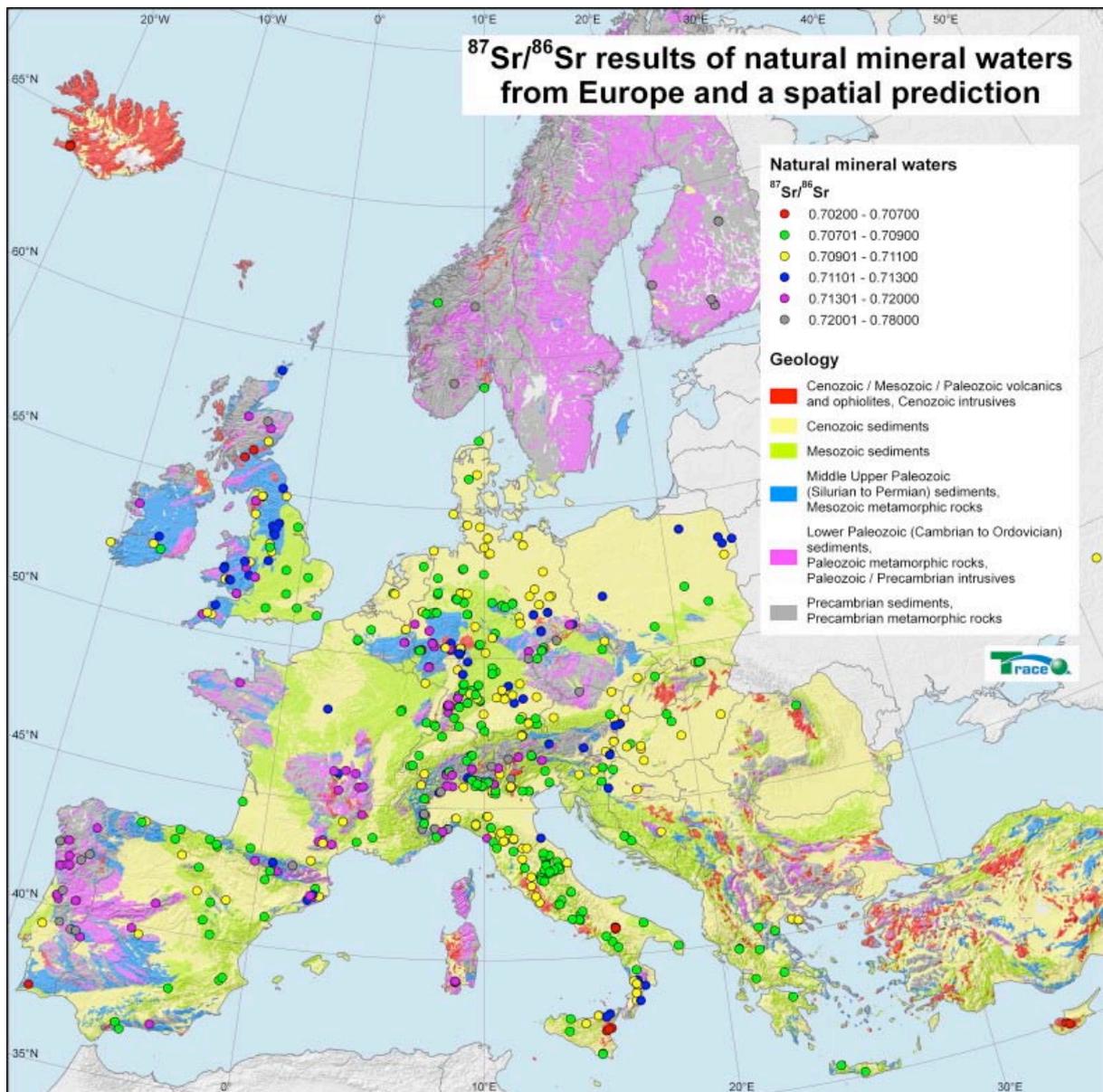


Abbildung 6 Messdaten des Trace Projektes (aus Voerkelius et al. 2010). Die farbigen Punkte markieren die Herkunftsgebiete verschiedener Mineralwasser.

Selbst oberflächlich betrachtete homogene geologische Gebiete können noch sehr variable Einzeldaten aufweisen. Die norddeutsche Tiefebene zum Beispiel erscheint sehr homogen (siehe Karte in Abbildung 7). Die Daten einiger Studien zeigen allerdings, dass die Werte zwischen 0,707 und 0,709 (Abbildung 8, Tabelle 2) variieren. Dasselbe gilt für die alten Gesteine in Skandinavien.

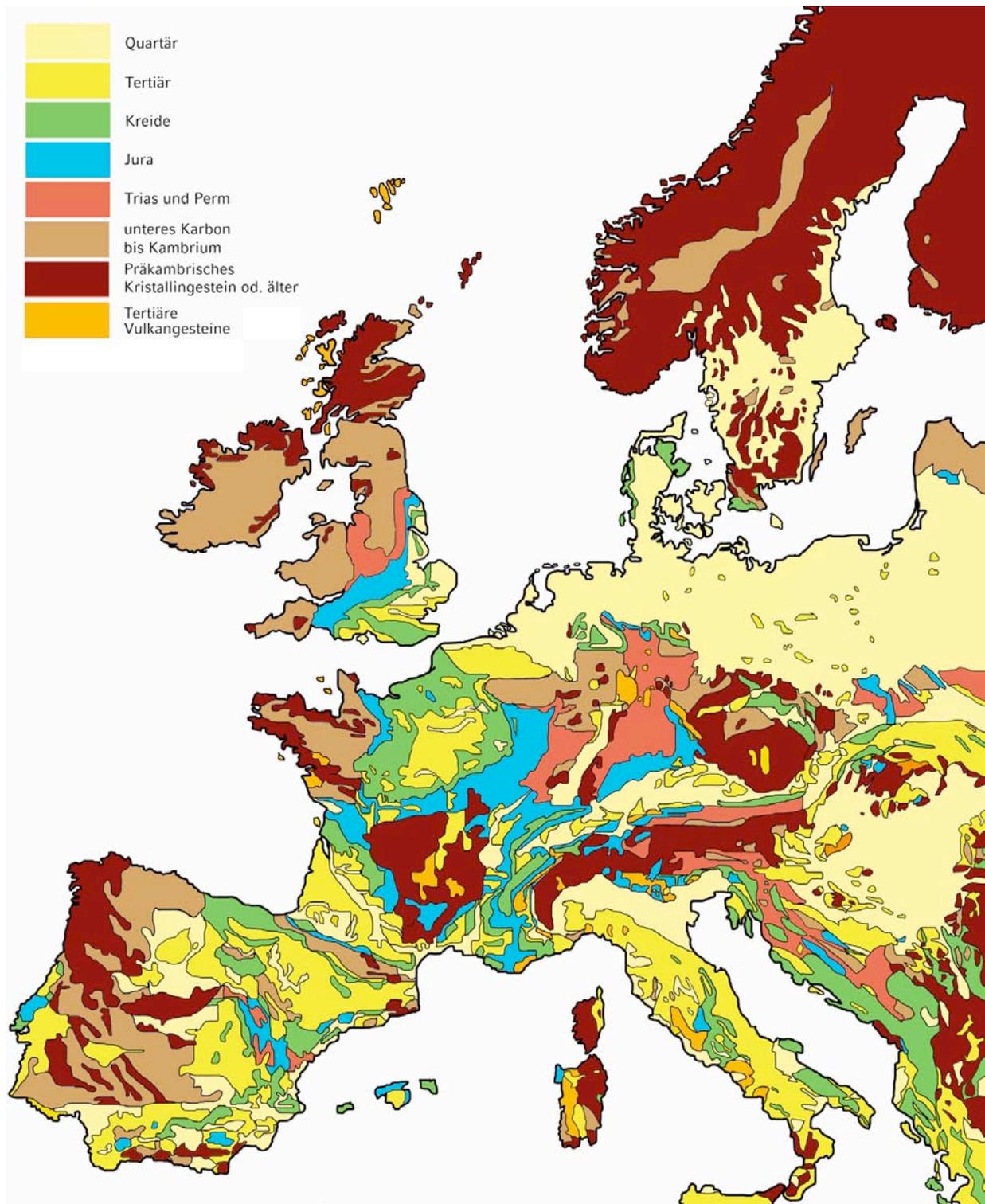


Abbildung 7 Geologische Karte Westeuropas in Farbe. Modifiziert nach Asch 2005, BGR Hannover. Masstab 1 : 5000000. Die Farben orientieren sich an der standardisierten Farbgebung für geologische Zeitalter (siehe Anhang).

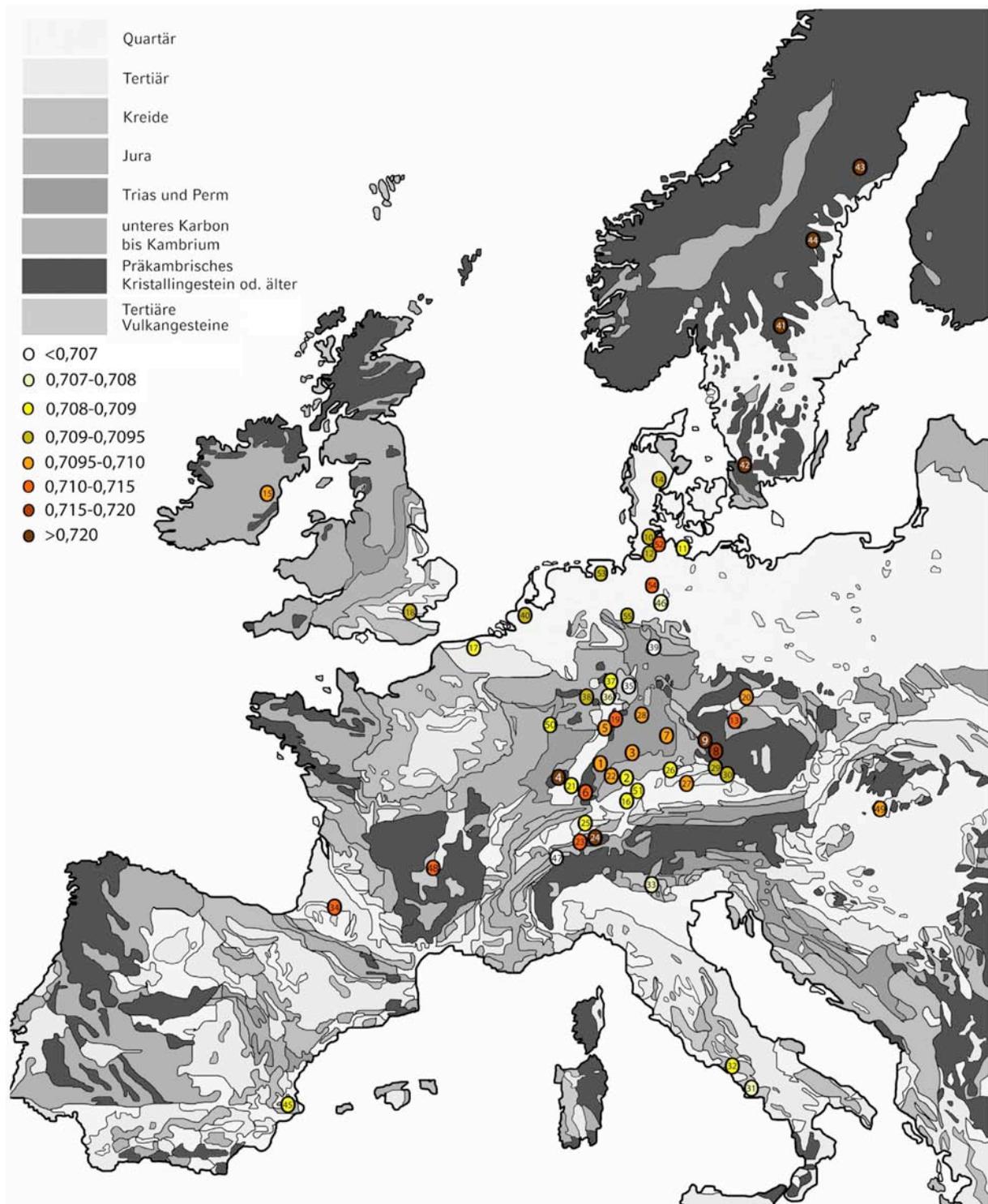


Abbildung 8 Geologische Karte Westeuropas in schwarz-weiß, mit eingetragenen Strontiummessdaten aus der Literatur (Tabelle 2). Modifiziert nach Asch 2005, BGR Hannover. Maßstab 1 : 5000000. Die Farbe der einzelnen Punkte entspricht dem Farbcode in der Legende.

Tabelle 2 Zusammenfassung der Strontiummesswerte aus der Literatur für die Angaben in der geologischen Karte (Abbildung 8).

Index	Geologische Einheit	Material	Mittelwert	Literatur
Vulkanite				
31	Neapel	Sedimente	0,7073	Hoffs und Wedepohl 1968
32	Neapel	Sedimente	0,7085	Hoffs und Wedepohl 1968
33	Adamello Massif, Norditalien	Sedimente, Gabbro	0,7044±0,0008	Cortecci et al. 1979
35	Kassel	Gesteine	0,70435±0,0007	Hoffs und Wedepohl 1968
47	Balmuccia, Italien	Gesteine	0,70353±0,0009	Hartmann und Wedepohl 1993
Löss				
1	Vaihingen	Schnecken, Mäuse	0,70986±0,0007	Bentley et al. 2003
2	Dillingen	Schnecken	0,70838	Price et al. 2002
3	Tüchelhausen	Menschen	0,70982	Grupe et al. 1997
16	Weingarten	Tierknochen	0,70885±0,0003	Gillmaier 2008
27	Wang, Altdorf	Schwein ZS	0,70997±0,0002	Bentley und Knipper 2005
26	Neuburg/ Donau	Mensch ZS	0,70890±0,0002	Schweissing 2004
49	Budapest (u.a.), Ungarn	Mensch	0,70984±0,0004	Price et al. 2004
51	Ballendorf	Haizähne	0,70849±0,00001	Vennemann und Hegner 1998
Karbonate (ohne Löss)				
15	Dublin	Pferd, Rind	0,70976±0,0004	Gillmaier 2008
17	Oudenburg, Belgien	Auerochse, Rothirsch	0,70895±0,0014	Gillmaier et al. 2009
18	Mucking, England	Rothirsch	0,70916±0,0003	Gillmaier et al. 2009
20	Mlékojedy, Tschech. Rep.	Tierzähne	0,70963±0,0006	diese Arbeit
21	Bischoffingen, Rheintal	Schwein	0,70832±0,0002	Bentley und Knipper 2005
25	Nordschweiz	Gestein	0,70882±0,001	Matter et al. 1987
40	Niederlande, Zegveld, Noordwijk	Muscheln	0,7091±0,0055	Jansen et al. 2004
45	Alicante, Cova Negra, El Salt	Schnecken, Pflanzen	0,7079-0,7086	Salazar-García et al. 2010
nordeuropäische Tiefebene, Ton, Quarz, Geschiebemergel				
10	Haithabu	Rothirsch	0,70915±0,0003	Gillmaier et al. 2009
11	Heiligenhafen	Rind	0,70894	Gillmaier et al. 2009
12	Elisenhof	Rind/ Rothirsch	0,709213±0,0032	Gillmaier 2008
14	Illerup Ådal	Holz, Pferd	0,70908±0,0003	Gillmaier 2008
46	Niedersachsen, Riedel	Gestein (Zechstein)	0,70737±0,0003	Kampschulze et al. 1998
52	Schleswig	Holz	0,71099±0,00032	Hollauer 2010
53	Ostfriesland	Holz	0,70921±0,00037	Hollauer 2010
54	Lüneburger Heide	Holz	0,71088±0,00025	Hollauer 2010

55	Wehrden, Niedersachsen	Holz	0,70919±0,00007	Hollauer 2010
	Schiefer			
36	Freilingen, Westerwald	Gestein	0,70715	Hoffs und Wedepohl 1968
37	Malberg, Westerwald	Gestein	0,7088	Hoffs und Wedepohl 1968
38	Schellkopf, Laacher See	Gestein	0,7093	Hoffs und Wedepohl 1968
	Keuper			
22	Stuttgart	Gestein, Wasser	0,70982±0,001	Ufrecht und Hölzl 2006
50	Varangéville, Frankreich	Salzlauge	0,70886±0,0006	Fontes und Matray 1993
28	Schwanfeld, Unterfranken	Schwein	0,70954±0,0001	Bentley und Knipper 2005
	Buntsandstein			
5	div. Orte, Odenwald	Schnecken	0,70985±0,0007	Bentley et al. 2003
19	Schnellerts, Odenwald	Schwein	0,710685±0,0006	Bentley und Knipper 2005
23	Nordschweiz	Gestein, Grundwasser	0,71247±0,019	Matter et al. 1987
	Grundgebirge			
4	Vogesen	Wasser, Sediment	0,7167-0,7247	Probst et al. 2000; Tricca et al. 1999
6	Titisee, Schwarzwald	Schnecken, Fisch	0,71107±0,0009	Bentley et al. 2003
7	Pommelsbrunn, Fränk. Jura	Menschen (Knochen)	0,70998	Grupe et al. 1997
8	Bayerischer Wald	Schwein ZS	0,71886±0,004	Bentley und Knipper 2005
9	Bayerischer Wald	Schwein ZS	0,72217	Bentley und Knipper 2005
29	Straubing, Azlburg	Sediment	0,70928	Grupe et al. 1997, Schweissing 2004
30	Osterhofen, Künzing	Sediment	0,70945	Grupe et al. 1997
34	Pyrenäen, Trois Seigneurs	Gestein	0,7106±0,0002	Bickle et al. 1988
39	Harz, Adelebsen	Gestein	0,70345	Hoffs und Wedepohl 1968
48	Zentralmassiv, Frankreich	Regenwasser	0,71041±0,0012	Negrel und Roy 1998
	Granit, oder älter			
13	Hostivicé, Tschechische Rep.	Tierknochen	0,71163±0,0008	Gillmaier 2008
24	Nordschweiz	Gestein	0,74635±0,041	Matter et al. 1987
41	Buskbäcken, Schweden	Sediment	0,77884±0,012	Åberg et al. 1989
42	Fårahall	Sediment	0,73903±0,003	Åberg et al. 1990
43	Svartberget	Sediment	0,7402±0,0015	Åberg et al. 1990
44	Kullarna	Sediment	0,76145±0,008	Åberg et al. 1990

1.7 SAUERSTOFFISOTOPENANALYSEN ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$)

1.7.1 Verhältnisse stabiler Sauerstoffisotope

Sauerstoff ist das häufigste Element auf der Erde und kommt in zahlreichen Verbindungen in fester, flüssiger und gasförmiger Form vor. Natürlicher Sauerstoff besteht aus drei stabilen Isotopen (Hoefs 2004):

$$^{16}\text{O} = 99,7630 \%$$

$$^{17}\text{O} = 0,0375 \%$$

$$^{18}\text{O} = 0,1995 \%$$

Für die Sauerstoffisotopenanalyse wird das Verhältnis $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ bestimmt, da der Anteil des ^{17}O an der Gesamtelementmenge am geringsten ist. Die Angabe erfolgt in Bezug auf den internationalen Standard V-PDB (Vienna PeeDee Belemnite):

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{\left(\frac{^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{Probe}}}{^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{Standard}}} - 1 \right) \times 1000}{\text{‰}}$$

$\delta^{18}\text{O}$ -Werte von Knochen und Zähnen spiegeln vor allem die Klimabedingungen zu Lebzeiten der Individuen wider. Da sich die Lufttemperatur und damit die $\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$ -Werte der Niederschläge mit orografischer Höhe und geografischer Breite ändern, ermöglicht dies die Rekonstruktion der Migration von Menschen und Tieren über größere laterale und vertikale Distanzen zwischen klimatisch unterschiedlichen Regionen oder Gebirgshöhen (Chenery et al. 2010; Evans et al. 2006; Fricke et al. 1995; Sharp und Cerling 1998).

Im Prinzip können alle Isotope der leichten Elemente C, N, H und S dazu verwendet werden, um verschiedene geographische Quellen für Nahrung und Wasser zu ermitteln. Allerdings steht in dieser Arbeit der Sauerstoff im Mittelpunkt des Interesses, da der Sauerstoff im Knochenapatit aus dem Körperwasser stammt und sich somit aus dem lokalen meteorischen Wasser rekrutiert (Longinelli 1984; Luz et al. 1984). Das Verhältnis der stabilen Sauerstoffisotope in menschlichen und tierischen Hartgeweben wird durch Fraktionierungen im Wasserkreislauf und durch Fraktionierungen innerhalb des Körpers

bestimmt. Oberflächengewässer wie z.B. Flüsse, Seen, Gletscher, das einen Zyklus aus Verdunstung, Kondensation und Niederschlag durchlaufen hat, wird meteorisches Wasser genannt. Im Wesentlichen sind die Fraktionierungen dadurch bedingt, dass auf Moleküle mit unterschiedlichen Isotopenspezies andere Partialdrücke wirken (Hoefs 2004).

Atmosphärischer Wasserdampf wird unter Nicht-Gleichgewichtsbedingungen durch Verdunstung aus den Ozeanen gebildet. Das Wasser, das dabei verdampft, ist mit ^{16}O bzw. H angereichert, da H_2^{16}O einen höheren Dampfdruck besitzt als H_2^{18}O bzw. HDO . Während der Verdunstung werden also die schweren Isotope in der flüssigen Phase angereichert.

Da Fraktionierungen temperaturabhängig sind, entsteht bei höheren Temperaturen über den Ozeanen Wasserdampf, der stärker mit dem schweren Isotop ^{18}O angereichert ist. Im Anschluss daran nimmt das Ausgangsverhältnis der Sauerstoffisotope im Niederschlag über Land durch folgende in Kombination wirkende Effekte ab:

- 1) zunehmende Distanz von der Küste (Kontinentaleffekt),
- 2) zunehmende Höhenlage (Höheneffekt),
- 3) abnehmende Niederschlagstemperatur (Temperatureffekt),
- 4) und zunehmender Breitengrad (Breiteneffekt)

(Ayliffe und Chivas 1990; Fry 2006; Hoefs 2004).

Zusätzlich beeinflussen Saisonalität und relative Humidität die Niederschlagsisotopie (Hoefs 2004; Rozanski et al. 1992).

Mit zunehmender Entfernung von der Küste erniedrigt sich das $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnis im Niederschlag, da bei jedem Abregnen mehr ^{18}O mit dem Regen das System verlässt. Die Abreicherung im zurückbleibenden Wasserdampf beträgt etwa 2,8‰/1000km. Je größer die Entfernung des Niederschlags zur Küste ist, desto stärker nimmt der Anteil von ^{16}O zu und der von ^{18}O ab. Die Stärke der Fraktionierung hängt wiederum von der Temperatur ab (Stephan 1999).

Das Abregnen an Gebirgen fördert die Abkühlung des aufsteigenden Wasserdampfes, was zu weiteren Regenfällen und einer weiteren Abreicherung von ^{18}O führt (0,44‰/1000m) (Förstel und Hützen 1983). Im Mittelmeerraum wurde ein Höheneffekt von 0,2 bis 0,4‰/100 m festgestellt (Koeniger et al. 2009; Leontiadis et al. 1996).

Saisonale Varianzen in den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten der Niederschläge ergeben sich ebenfalls durch unterschiedliche Temperaturen. Bei niedrigen Temperaturen im Winter sind die

Fraktionierungen beim Verdampfen des Wassers aus den Ozeanen groß, d.h. der Wasserdampf besitzt dann und im nachfolgenden atmosphärischen Wasserzyklus wenig ^{18}O . Bei höheren Temperaturen im Sommerhalbjahr ist die Fraktionierung der Isotope weniger stark ausgeprägt und die Sauerstoffisotopie in den Niederschlägen entsprechend höher (Hoefs 2004; Stephan 1999). In der Antarktis beträgt der $\delta^{18}\text{O}$ /Temperaturgradient $0,80\text{‰}/^{\circ}\text{C}$, an Orten mit einer mittleren Jahrestemperatur von unter 10°C ist ein Gradient von ca. $0,67\text{‰}/^{\circ}\text{C}$ zu erwarten und bei einer Jahresdurchschnittstemperatur von über 10°C liegt der Gradient nur noch bei $0,22\text{‰}/^{\circ}\text{C}$. Im Schnitt entspricht das etwa einer mittleren Zunahme von $0,5\text{‰}$ pro 1°C (Aggarwal et al. 2010). Vom Äquator zu den Polen hin ist der sogenannte Breiteneffekt zu beobachten. $\delta^{18}\text{O}$ -Werte werden in den Niederschlägen erniedrigt. Je höher der Breitengrad, desto niedriger die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte. Die Abnahme der schweren ^{18}O -Isotope in den Niederschlägen verläuft jedoch nicht linear. Auch hierbei spielt die Temperatur eine Rolle. Die polaren Regionen liegen am Ende dieser Verteilung und der $\delta^{18}\text{O}$ -Gradient wird dort aufgrund abnehmender Kondensationstemperaturen sehr steil. An antarktischen Stationen beträgt er um ca. -2‰ ($\delta^{18}\text{O}$)/ $^{\circ}\text{C}$. In Europa und kontinentalen Stationen in Nordamerika liegt er im Bereich von $-0,6\text{‰}$ ($\delta^{18}\text{O}$)/ $^{\circ}\text{C}$ (Fricke und O'Neil 1999; von Grafenstein et al. 1996). In niedrigen Breiten (zwischen ca. 30°S und 30°N), aus denen ca. 65% des globalen atmosphärischen Wasserdampfes aus der Verdampfung über den Ozeanen stammen, werden sehr niedrige Gradienten beobachtet (Rozanski und Araguás-Araguás 1995; Stephan 1999).

1.7.2 $\delta^{18}\text{O}$ in Knochen und Zähnen von Wirbeltieren

Homoiotherme Säuger haben eine konstante, von der Umgebung unabhängige Körpertemperatur von $37\pm 2^{\circ}\text{C}$. Deswegen ist die temperaturabhängige Fraktionierung der Sauerstoffisotope bei der Bildung des Knochens aus ihrem Körperwasser (KW) konstant und es kann aus der Sauerstoffisotopenzusammensetzung des Knochenapatits auf die des Trinkwassers bzw. des meteorischen Wassers (MW) geschlossen werden (Longinelli 1984; Luz et al. 1984; Luz und Kolodny 1985). Damit können auch mögliche Unterschiede in der Sauerstoffisotopie zwischen der lokalen Trinkwasserquelle bzw. deren Konsumenten und potentiellen Migrant*innen festgestellt

werden. Unter Umständen kann sogar deren ursprüngliches Heimathabitat rekonstruiert werden, wenn Vergleiche mit anderen Trinkwasserquellen gezogen werden können. Dazu muss aus den gemessenen $\delta^{18}\text{O}$ -Werten des Skelettmaterials mithilfe empirisch ermittelter Regressionsgeraden die Sauerstoffisotopie der genutzten Trinkwasserquelle berechnet werden.

Dies ist möglich, weil die meisten Großsäuger ihren Sauerstoff hauptsächlich aus dem Trinkwasser beziehen und die Bildung des Knochenapatits aufgrund des raschen, enzymatisch katalysierten Sauerstoffaustausches zwischen Körperwasser und Karbonat des Blutes im Sauerstoffisotopengleichgewicht mit dem Körperwasser stattfindet (Bocherens et al. 1996; D'Angela und Lonignelli 1990; Kohn et al. 1996; Luz und Kolodny 1985). Bei aquatischen Wirbeltieren entspricht die Sauerstoffisotopie des Körperwassers dem $\delta^{18}\text{O}$ des Umgebungswassers (Kolodny et al. 1983; Kolodny und Raab 1988), während das Körperwasser von Landwirbeltieren eine Mischung aus dem direkt aufgenommenen Wasser (Trinkwasser + Wasser aus Pflanzen + atmosphärischer Wasserdampf) und metabolischem Wasser, das aus der Verstoffwechslung/ Oxidation der Nahrung freigesetzt wird, enthält (Kohn 1996; Luz et al. 1984).

Der aus der Luft über die Lunge aufgenommene Sauerstoff besitzt eine etwas andere Isotopie als der atmosphärische Sauerstoff, da in der Lunge Fraktionierungen zwischen dem O_2 -Gas und dem im Blut gelösten Sauerstoff stattfinden können. Atmosphärische ^{18}O -Werte sind konstant (Dole et al. 1954; Kroopnick und Craig 1972). Dieser Luftsauerstoff wird z.B. in Hämoglobin eingebaut und weiter zu H_2O und CO_2 umgesetzt.

Sauerstoff gelangt außerdem mit der Nahrung in den Körper, in Form fester, organischer Moleküle (Luz et al. 1984; Luz und Kolodny 1985), die durch den aeroben Stoffwechsel zu CO_2 und H_2O oxidieren (Campbell 1997). Über die Stoffwechselprodukte und das aufgenommene H_2O findet ein Austausch des aufgenommenen Sauerstoffs und der Körperflüssigkeit statt. Kohlendioxid tauscht seinen Sauerstoff wesentlich schneller mit dem Körperwasser aus als das Wasser (Luz et al. 1984).

Wright und Schwarcz (1998) postulierten einen Stilleffekt im $\delta^{18}\text{O}$ -Wert innerhalb eines Gebisses von frühmineralisierten zu spätmineralisierten Zähnen. Muttermilch wird aus körpereigenem Material gebildet, wodurch sich ein sogenannter Trophiestufeneffekt bildet. Sie wird mit dem schweren Isotop ^{18}O angereichert und die daraus resultierenden $\delta^{18}\text{O}$ -Werte steigen gegenüber dem Oberflächenwasser an (ca. 0,7‰) (Katzenberg 2000; Wright und Schwarcz 1999).

Sauerstoff verlässt den Körper als Urin, Schweiß, ausgeatmeter Wasserdampf und CO_2 . Die ausgeschiedene Wassermenge ist größer als die aufgenommene, da durch Stoffwechselfvorgänge Wasser im Körper gebildet wird. Dieses besitzt dieselbe Sauerstoffisotopie wie das Körperwasser.

Es gibt eine taxonspezifische Korrelationen zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$ des aufgenommenen Wassers und $\delta^{18}\text{O}_{\text{KW}}$, die abhängig von der Körpergröße und der Physiologie des Tieres sind (Bryant und Froelich 1995; Kohn 1996). Insbesondere für große Tiere (>100kg Körpermasse) und obligate Trinker zeigt dieser lineare Zusammenhang zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{KW}}$ eine hohe Korrelation (Ayliffe et al. 1992; Bryant und Froelich 1995).

Die Sauerstoffisotopie der Trinkwasserquellen variiert nicht nur entsprechend der saisonalen Klimaschwankungen, sondern wird auch stark von den hydrologischen Eigenschaften des Einzugsgebietes, Grundwasserzuflüssen sowie Verdunstungseffekten beeinflusst (Gat 1996).

Die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte des in Pflanzen enthaltenen Wassers entsprechen ungefähr denen des Oberflächenwassers. Durch Evapotranspiration kann es zu einer starken ^{18}O -Anreicherung im Blattwasser von Pflanzen v.a. in ariden Gebieten kommen (Ayliffe and Chivas 1990; Epstein et al. 1977; Yakir 1992). Dies kann sich bei Tieren, die viel Wasser aus pflanzlicher Blattnahrung beziehen, modifizierend auf das $\delta^{18}\text{O}_{\text{KW}}$ auswirken (Luz und Kolodny 1985). Generell treten artabhängige biologische Fraktionierungseffekte der Sauerstoffisotopie bedingt durch Physiologie, Körpergröße und Metabolismus auf (Bryant und Froehlich 1995; Kohn 1996; Luz et al. 1984). Deshalb muss für jede Tierart (oder zumindest Gattung) an rezenten Individuen eine empirische Kalibrationsgerade zwischen der Sauerstoffisotopie des Umgebungs- bzw. Trinkwassers ($\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$) und dem Knochenkarbonat ($\delta^{18}\text{O}_{\text{K}}$) ermittelt werden (vgl. Kapitel 3.2.5). Die $\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$ -Werte des meteorischen Wassers, insbesondere in Europa oder Nordamerika, sind durch langjährige Messungen relativ gut bekannt (West et al. 2010) oder lassen sich modellieren (OPIC; Bowen 2010).

Aus Tütken et al. (2004) stammt die folgende Isolinienkarte (Abbildung 9), die den Verlauf der $\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$ -Werte (in V-SMOW) in Deutschland zeigt. Insgesamt umspannen die Werte dabei 4,3‰.

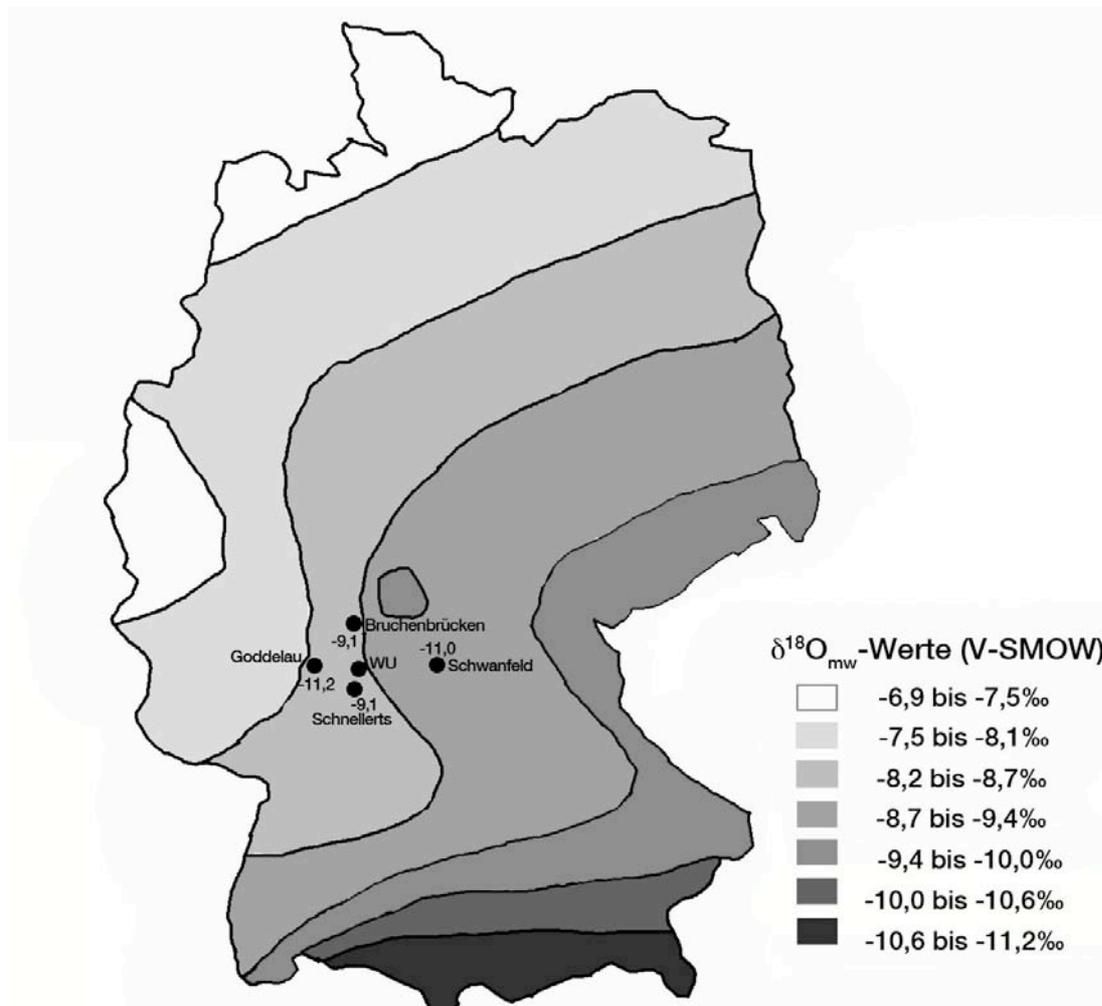


Abbildung 9 Konturlinien der extrapolierten $\delta^{18}\text{O}_{\text{mw}}$ -Werte des Jahresniederschlags in Deutschland (verändert nach Tütken et al. 2004). Die eingetragenen Wertepunkte stammen aus Bentley und Knipper (2005), die Sauerstoff aus Karbonat von Schweinezähnen extrahierten und in $\delta^{18}\text{O}_{\text{mw}}$ -Werte in V-SMOW umrechneten. Schnellerts ist eine mittelalterliche Fundstelle, während die anderen drei (Goddelau, Bruchenbrücken und Schwanfeld) in das Neolithikum (LBK) datieren. WU bezeichnet den Ort Wenigumstadt.

1.8 ISOTOPENANALYSE DES LEICHTEN ELEMENTS KOHLENSTOFF ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$)

1.8.1 $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aus Karbonat

Nach dem Sauerstoff ist Kohlenstoff (C) dem Gewicht nach das bedeutendste Element in der Biosphäre. Jedes lebende Gewebe basiert auf Kohlenstoffverbindungen. Es kommt in einer großen Vielfalt in den unterschiedlichsten Verbindungen auf der Erde vor, von stark reduzierten organischen Bindungen in der Biosphäre bis hin zu stark oxidierten anorganischen Gemischen wie CO_2 und Karbonaten. Kohlenstoff existiert in zwei stabilen Isotopen:

$$^{12}\text{C} = 98,89\%$$

$$^{13}\text{C} = 1,11\%$$

(Mortimer 1996).

^{12}C ist laut Definition der Bezugspunkt für die Einheit der Atommasse (Mortimer 1996, Hoefs 2004). Neben diesen beiden stabilen Isotopen gibt es noch mehrere instabile Isotope (^{10}C , ^{11}C , ^{15}C , ^{16}C), die allerdings nur synthetisch hergestellt werden können. Das bekannteste instabile Isotop ist ^{14}C mit einer Halbwertszeit von 5730 Jahren. Es entsteht durch natürliche Kernreaktionen in der Atmosphäre aus ^{14}N und wird zur Altersbestimmung von organischen Materialien benutzt (Radiocarbonmethode) (Mortimer 1996).

Während $\delta^{13}\text{C}$ aus Kollagen die Eiweißkomponente der Nahrung repräsentiert, stammt der Kohlenstoff der Karbonatfraktion aus allen Nahrungskomponenten, also auch aus Energieträgern wie Kohlenhydraten und Fetten (Ambrose und Norr 1993). Analysen der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aus Karbonat sind also nicht nur als mögliche Alternative relevant, wenn Knochenfunde beispielsweise über zu wenig intaktes Kollagen verfügen, sondern können auch zusätzliche Informationen liefern, so dass häufig $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aus Kollagen und Karbonat gemeinsam untersucht werden (z.B. Harrison und Katzenberg 2003, Lee-Thorp und Sponheimer 2003). Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte des Karbonats sind gegenüber denen des Kollagens bei Herbivoren im Mittel um ca. 7‰ und bei Karnivoren um etwa 3‰ angereichert (Sullivan und Krüger 1983), wodurch Rückschlüsse auf Trophiestufen möglich sind. Demnach ist die Differenz der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aus Kollagen und Karbonat bei

Karnivoren niedriger als bei Herbivoren. Dies lässt sich dadurch erklären, dass der Fettgehalt von Tieren wesentlich höher ist als der von Pflanzen und die isotopisch leichteren Fette zu einer Abreicherung der Werte im karnivoren Apatit führen. Der aus den Pflanzen stammende Kohlenstoff wird mit einem Fraktionierungsfaktor von +12‰ (14‰ in Cerling und Harris 1999) in den Apatit des Herbivoren integriert, der Kohlenstoff aus Kollagen und Fett des Herbivoren wird wiederum mit einem Fraktionierungsfaktor von +8‰ in den Apatit des Karnivoren übertragen (Sullivan und Krüger 1981). Bei diesen Werten handelt es sich jedoch um Mittelwerte, die speziesspezifische Abweichungen zeigen können. Durch den Vergleich der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von Karbonat und Kollagen kann auf den Fett- und Proteingehalt der jeweiligen Nahrung geschlossen werden (Ambrose 1993; Harrison und Katzenberg 2003).

1.8.2 Kohlenstoffquellen

Für Kohlenstoff gibt es zwei große terrestrische Reservoirs, zum einen die organische Materie und zum anderen Karbonatablagerungen. In jedem von ihnen laufen jeweils verschiedene Reaktionsmechanismen ab:

- 1) Austauschreaktionen im isotopischen Gleichgewicht innerhalb des anorganischen Kohlenstoffsystems „atmosphärisches CO_2 – gelöstes Bikarbonat – festes Karbonat“ führen zu einer Anreicherung des ^{13}C in Karbonaten.
- 2) Kinetische Isotopeneffekte während der Photosynthese reichern das leichte Isotop ^{12}C im gebildeten organischen Material an. (Hoefs 2004)

ANORGANISCHER KOHLENSTOFFKREISLAUF

Der anorganische Kohlenstoffkreislauf kommt durch verschiedene Gleichgewichtsreaktionen zustande:



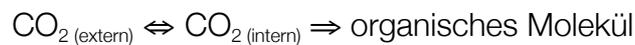
Das Karbonat-Ion (CO_3^{2-}) kann sich mit verschiedenen zweiwertigen Kationen verbinden und feste Minerale, Calcite und Aragonite bilden, wobei das häufigste Kalziumkarbonat ist:



Je nach Temperatur und pH-Wert führen diese Gleichgewichtsreaktionen zu einer Fraktionierung, die lokale Unterschiede in der Verteilung der Kohlenstoffisotope bedingt (Hoefs 2004).

ORGANISCHER KOHLENSTOFFKREISLAUF WÄHREND DER PHOTOSYNTHESE

Die wichtigsten Fraktionierungspunkte während der Kohlenstofffixierung sind (1) die Aufnahme von außen und intrazelluläre Verteilung von CO₂ und (2) die Biosynthese von zellulären Komponenten. Ein vereinfachtes Modell von Diffusion und Fixierung stellt sich wie folgt dar (Hoefs 2004; Park und Epstein 1960):



Dabei zeigt sich, dass die Diffusionsprozesse reversibel sind, während die enzymatische Kohlenstofffixierung irreversibel ist. Die Fraktionierung ist abhängig vom Partialdruck des CO₂ im System. Stünde der Pflanze eine unendliche Menge an CO₂ zur Verfügung, würde die enzymatische Fraktionierung den ¹³C-Gehalt im photosynthetischen Kohlenstoff bestimmen. Sobald die zur Verfügung stehende Konzentration an CO₂ der limitierende Faktor ist, bestimmt die Diffusion von CO₂ in die Pflanzenzelle die Geschwindigkeit und die Isotopenfraktionierung nimmt ab (Hoefs 2004).

Atmosphärisches CO₂ strömt durch die Stomata, löst sich im Blattwasser und tritt in die äußere Schicht der photosynthetisch aktiven Zellen ein (Mesophyll). Dieses CO₂ wird von dem Enzym Rubisco (Ribulosebisphosphatcarboxylase/ -Oxygenase) fixiert und dann in zwei Moleküle Phosphoglycerat (PGA; mit drei Kohlenstoffatomen) umgewandelt. Pflanzen, die diesem Photosyntheseweg folgen werden deswegen C₃-Pflanzen genannt. Der Großteil des PGA wird zu Ribulosebisphosphat recycelt, der Rest wird zur Herstellung von Kohlenhydraten verwendet. Freier Austausch zwischen externem CO₂ und dem im Mesophyll vorhandenen CO₂ verringert die Effizienz des kohlenstofffixierenden Prozesses, was die ¹³C-Abreicherung in C₃-Pflanzen zur Folge hat. C₄-Pflanzen bauen über Carboxylierung von Phosphoenolpyruvat (PEP) durch das Enzym PEP-Carboxylase CO₂ ein, wodurch das Molekül Oxalacetat mit vier C-Atomen gebildet wird, daher der Name C₄-Pflanzen (Campbell 1997; Nultsch 1986). C₄-Pflanzen sind vor allem tropische Spezies und Salzgräser. Demzufolge zeigen C₃- und C₄-Pflanzen verschieden starke Abreicherungen von ¹³C in ihren δ¹³C-Werten. C₃-Pflanzen weisen im Schnitt δ¹³C-Werte von etwa -26 ‰ auf, bei C₄-Pflanzen sind es -12 ‰

(Ambrose 1993; Ambrose und Norr 1993; Peterson und Fry 1987). Für die Konsumenten gelten dann $\delta^{13}\text{C}$ -Werte für C_3 -Pflanzennahrung von etwa -14 bis -12‰ und für C_4 -Pflanzennahrung von etwa 0 bis 2‰ (Passey und Cerling 2002). Daher kann in der Kohlenstoffisotopensignatur eines Individuums ein Bezug zum Habitat, in dem es gelebt und sich ernährt hat, hergestellt werden. So können verschiedene ökologische Habitate voneinander unterschieden werden. Anwendung findet dies in der Unterscheidung von Grasfressern und Blätterfressern oder von offenem Gelände und Waldlandschaften (Cerling und Harris 1999; Schoeninger et al. 2003).

DER KOHLENSTOFFKREISLAUF

Zwischen der Atmosphäre und jeweils dem terrestrischen Ökosystem und der Ozeanoberfläche besteht ein aktiver Austausch von CO_2 (Abbildung 10). Der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert des atmosphärischen CO_2 nimmt durch den Einfluss fossiler Brennstoffe über den Input von angereicherterem CO_2 ab. Während der letzten 30 Jahre hatte dies einen Effekt von 1‰ (Peterson und Fry 1987).

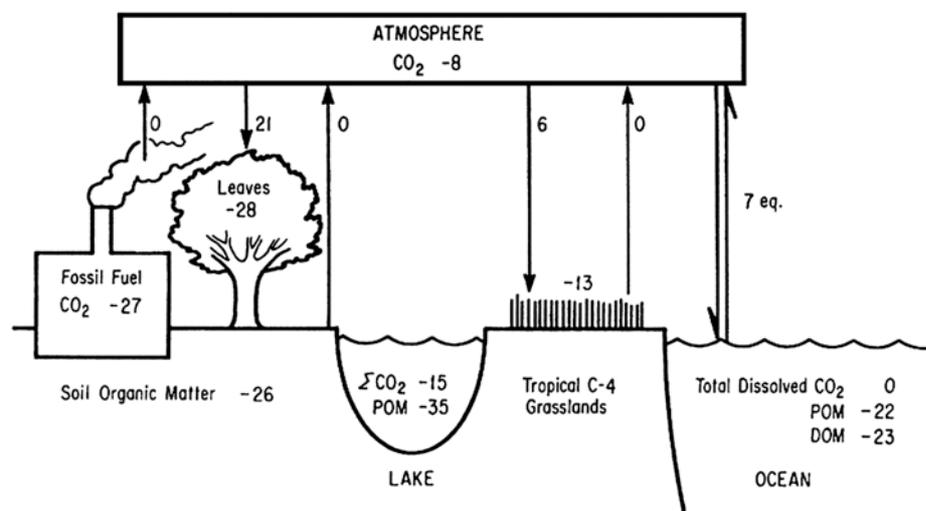


Abbildung 10 $\delta^{13}\text{C}$ -Verteilung in verschiedenen Habitaten. Einfache Pfeile zeigen CO_2 -Flüsse. Doppelpfeile stehen für Gleichgewichtsfractionierungen. Zahlen stehen für $\delta^{13}\text{C}$ -Werte (‰). Zahlen bei Pfeilen zeigen Fractionierungen an (‰) während des Kohlenstofftransports (aus Peterson und Fry 1987).

Die dominierenden C_3 -Landpflanzen verursachen einen Fraktionierungseffekt von ca. 21‰ zwischen der Atmosphäre (-7‰) und der Pflanzenbiomasse (-28‰). In C_4 -Pflanzen beträgt die Fraktionierung nur etwa 6‰. Die organischen Bodenkomponenten enthalten wesentlich mehr Kohlenstoff als die Atmosphäre und als die lebende Pflanzenbiomasse und sind im Allgemeinen mit ^{13}C im Vergleich zur Vegetation angereichert.

Zwischen der Atmosphäre (-7‰) und der Ozeanoberfläche (0‰) findet eine Gleichgewichtsreaktion statt. Bei der Aufnahme von gelöstem, anorganischem Kohlenstoff durch Photosynthese in Plankton treten verstärkt Fraktionierungseffekte auf, wodurch Algen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von etwa -19 bis -24‰ aufweisen.

Der ^{13}C -Gehalt des Kohlenstoffkreislaufs im Süßwasser variiert stark, abhängig von der CO_2 -Quelle aus der es stammt, aus Gesteinsverwitterung, Mineralquellen, aus der Atmosphäre oder aus veratmeter organischer Materie. Bei starker Respiration kann gelöster anorganischer Kohlenstoff $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von ca. -20‰ annehmen und Algen, die noch weiter fraktionieren während der Kohlenstoffaufnahme, können bis zu -45‰ aufweisen (Fry 2006; Hoefs 2004).

1.9 QUALITÄTSKRITERIEN UND VALIDIERUNGSMETHODEN

Die Element- und Isotopenzusammensetzung von Skelettüberresten kann durch Bodenlagerung und Diagenese stark verändert werden (Hedges 2002; Iacumin et al. 1996a; Kohn et al. 1999; Lee-Thorp 2008; Stanton Thomas und Carlson 2004; Tütken 2003; Tütken et al. 2008c). Substitution von Ionen zu Lebzeiten sind die Regel im Kristallgitter des Bioapatits, zum Beispiel der Einbau einer Karbonatgruppe anstelle von Phosphat (4-6%) (LeGeros et al. 1967; LeGeros 1981). Solche Ionensubstitutionen können aber auch post mortem während diagenetischer Prozesse im Liegemilieu auftreten. Zum einen kann chemischer Austausch dazu führen, dass Karbonat- oder Phosphatgruppen ausgetauscht, und/oder seltene Erden, Uran (U), Fluor (F) oder Strontium (Sr) angereichert werden (Kohn et al. 1999; Nelson et al. 1986; Schoeninger und DeNiro 1982; Tuross et al. 1989). Zum anderen kann die ursprüngliche Zusammensetzung des Bioapatits durch Sekundärmineralisation verändert werden, die durch Wasser-Molekül-Interaktionen dazu führt, dass Elemente wie Eisen (Fe), Mangan (Mn), Aluminium (Al), Silicium (Si), Barium (Ba) oder Kupfer (Cu) angereichert werden (Kohn et al. 1999; Sponheimer und Lee-Thorp 1999).

Dies kann die Rekonstruktion von zu Lebzeiten eingelagerten Isotopensignaturen erheblich stören oder überlagern und muss bei der Spurenelement- und Isotopenanalyse fossiler Skelettreste berücksichtigt werden. Daher ist es sehr wichtig, den Grad der chemischen Veränderung der Skelettgewebe zu bestimmen und Qualitätskriterien für die Erhaltung der biogenen Isotopensignaturen zu definieren (Budd et al. 2000; Fabig 2002; Hoppe et al. 2003; Iacumin et al. 1996a; Nelson et al. 1986; Tütken et al. 2008c). Nur entsprechend gut erhaltene Gewebe- und Skelettreste sollten analysiert und interpretiert werden (Tütken 2010).

1.9.1 Erhaltung und chemische Veränderung durch Bodenlagerung

Knochen und Dentin haben einen höheren organischen Anteil (~30 Gew.-% vs. Zahnschmelz <1 Gew.-%), kleinere Kristalle und eine höhere Porosität als Zahnschmelz (Lowenstam und Weiner 1989). Aufgrund dieser Materialeigenschaften ist Zahnschmelz gegenüber Knochen und Zahnbein als Probenmaterial zu bevorzugen, da er am besten

die biogene Element- und Isotopenzusammensetzung konserviert (Ayliffe et al. 1994; Fricke et al. 2008; Koch et al. 1997; Kohn et al. 1999; Sponheimer und Lee-Thorp 2006; Wang und Cerling 1994). Daher sollte nach Möglichkeit nur Zahnschmelz für Isotopen- und Spurenelementanalysen genutzt werden, da hier eine Kontamination durch das Liegemilieu verhältnismäßig gering ausfallen sollte (Iacumin et al. 1996a).

Eine wichtige Komponente bei der Dekomposition bodengelagerter Skelettelemente ist das Liegemilieu selbst. Die chemischen und biologischen Eigenschaften eines Bodens haben einen entscheidenden Einfluss auf den Grad der Skeletterhaltung. Nielsen-Marsh et al. (2007) unterscheiden dabei zum Beispiel benignen von korrosivem Boden.

1.9.2 UV-Fluoreszenz

Da die Qualität der extrahierten Apatitfraktion aus Knochen nicht direkt beurteilt werden kann, muss eine andere Methode herangezogen werden. Diese kann den Erhaltungsgrad der organischen Fraktion bewerten, welche leichter und schneller diagenetisch verändert werden kann. Fabig und Herrmann (2002) zeigten, dass eine schlechte histologische Erhaltung von Knochen positiv mit einer veränderten Spurenelementkonzentration (Sr, Ba), die nicht mehr natürlichen Verhältnissen entspricht, korreliert. Anhand von Probenmaterial aus verschiedenen Gräberfeldern konnten sie erhöhte Strontium- und Bariumkonzentrationen bei denjenigen Proben feststellen, die histologisch eine schlechte Erhaltung aufwiesen.

Fluoreszenz ist die kurzzeitige, spontane Emission von Licht. Dabei werden die Elektronen in einem Molekül durch Energiezufuhr, zum Beispiel in Gestalt elektromagnetischer Strahlung (wie UV-Licht), in höhere Energieniveaus angeregt, die sie unter Aussendung von sichtbarem Licht wieder verlassen. Typische physikalische Systeme, bei denen Fluoreszenz auftritt, sogenannte Fluorophore, sind Atome, Moleküle und Ionen. Fluoreszenz ist eine Form der Lumineszenz (kaltes Leuchten) und ist dadurch gekennzeichnet, dass sie nach dem Ende der Bestrahlung sehr schnell vorbei ist. Die abgegebene elektromagnetische Strahlung ist die reflektierte Reststrahlung, deren Farbe der Komplementärfarbe des absorbierten Lichts entspricht und die meist im sichtbaren Bereich des Lichtspektrums liegt.

Hoke (2008) zeigte, dass Querschnitte rezenter Knochen bei Bestrahlung mit UV-Licht in einem satten hellblauen Farbton fluoreszieren, während archäologisches Knochenmaterial andere Fluoreszenzfarben zeigen kann oder gar nicht mehr

fluoresziert. Hoke (2008) und Harbeck (2006) führen das Auftreten hellblauer Fluoreszenz auf die intakte Mineral-Protein-Kompositstruktur zurück. Die Farbe Dunkelblau scheint dabei grundsätzlich mit der hellblauen vergleichbar, da möglicherweise die Anwesenheit von Eisenionen im Kristallgitter, welche punktuell fluoreszenzlöschend wirken und damit den Gesamtfluoreszenzeindruck dunkler erscheinen lassen, die Ursache dafür sein kann. Die Ursache der Fluoreszenz ist nicht genau bekannt, jedoch wird vermutet, dass sowohl die organische Komponente Kollagen als auch die mineralische Matrix zur Fluoreszenzentstehung beitragen, da beide Einzelphasen bei isolierter Betrachtung ebenso blaue Fluoreszenzeigenschaften aufweisen (Bachman und Ellis 1965; Harbeck 2006).

Hoke (2008) untersuchte die UV-Fluoreszenz hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit als einfaches und schnelles Screening-Verfahren, um im Vorhinein schlecht erhaltene Knochen von gut erhaltenen unterscheiden zu können. Bereits 1958 postulierten Berg und Specht eine Abnahme der Fluoreszenz mit der Liegedauer, jedoch können auch alte Proben mit einer Liegezeit von weit über 1000 Jahren noch hellblau fluoreszieren. Harbeck (2006) und Hoke (2008) stellen vielmehr einen Zusammenhang zwischen den Fluoreszenzeigenschaften und dem individuellen Erhaltungszustand von Knochen her. Hoke (2008) wies nach, dass alle histologischen Parameter hochsignifikant mit dem Hellblauindex und der beobachteten Verteilung der Fluoreszenzfarben korrelieren, was den von Harbeck (2006) gemachten Beobachtungen entspricht und die Lumineszenzeigenschaften eines Knochenquerschnitts als Diageneseindikator für den histologischen Erhaltungsgrad zu qualifizieren scheinen. So überwiegt bei schlechter mikrostruktureller Erhaltung das Auftreten keiner oder komplett andersfarbiger Fluoreszenz, die typischerweise gelb oder braun ist. Eine gute histologische Erhaltung dagegen ist mit hellblauen Lumineszenzerscheinungen assoziiert. Tritt hier eine weitere Fluoreszenzfarbe auf, so handelt es sich um Dunkelblau. Proben mit intermediärem Erhaltungszustand zeigen gemischte Fluoreszenzfarben, sprich der Knochenquerschnitt kann neben Blau auch mehr oder weniger dominante Anteile anderer Farben aufweisen.

2 MATERIAL

2.1 WENIGUMSTADT IM FRÜHMITTELALTER

Wenigumstadt (Abbildung 11) liegt weit im Norden des alamannischen Siedelgebietes. Dieser Landstrich trug den römischen Namen „Agri decumates“ oder Dekumatland.

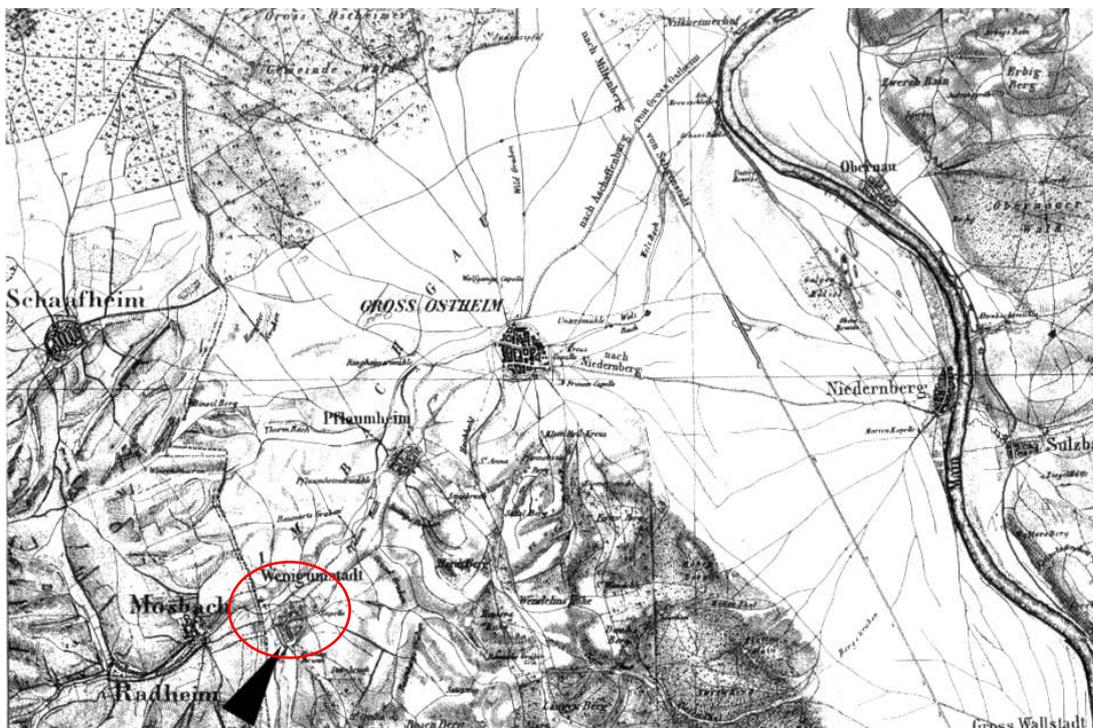


Abbildung 11 Die Lage Wenigumstadts und des frühmittelalterlichen Bestattungsplatzes (Pfeil).
Maßstab etwa 1:50000 (aus Stauch 2004)

Es handelte sich dabei um den rechtsrheinischen Streifen der Provinz Obergermanien bis zur Grenze der Provinz Rätien, die von der heutigen Stadt Lorch bei Schwäbisch Gmünd zum Westende des Bodensees verlief. Nach Norden reichte das Dekumatland bis zur Mündung des Neckars in den Rhein. Genau genommen liegt Wenigumstadt in einem ehemaligen Grenzgebiet, das in der Nähe der obergermanisch-rätische Limes verlief (Abbildung 12), zunächst im 3. Jhdt. entlang dem Main. Später (Anfang 5. Jhdt.) wurde der Limes als Grenze an den Rhein und entlang der Linie Bodensee-Iller-Donau zurückverlegt (Schmoeckel 2003).

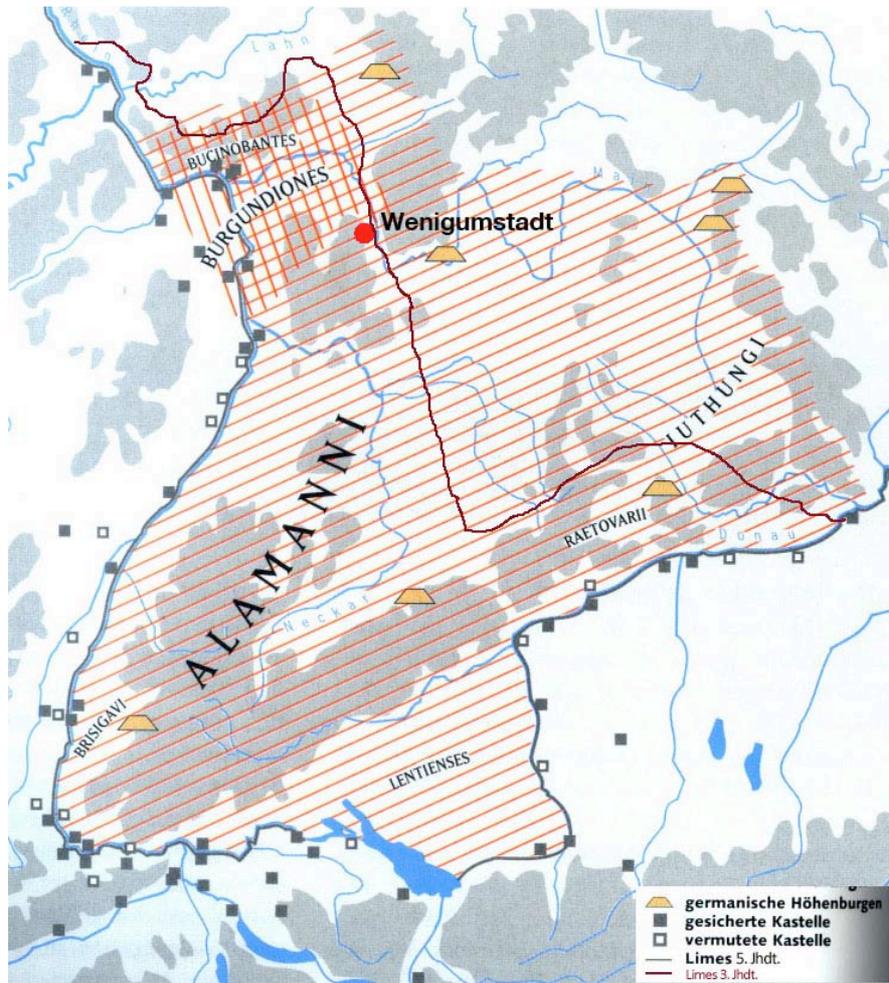


Abbildung 12 Lage Wenigumstadts in Bezug zum obergermanisch-rätischen Limes im 3. Jhdt. n.Chr. (dunkelrot) und im 5. Jhdt. n. Chr. (grau, entlang dem Rhein) (modifiziert nach Schach-Döriges 2001).

Gerade die Alamannen, die mit dafür verantwortlich waren, dass diese Grenze aufgegeben wurde, sicherten aber später im 5. Jhdt. wieder die Grenze zu Rätien. So wurde das Gebiet im Zuge des Zusammenbruchs des Römischen Reiches im Jahr 476 endgültig alamannisch. Die Gegend um Wenigumstadt wurde in einer Zeit der Umbrüche besiedelt. Es befand sich sozusagen in einem germanischen Schmelztiegel. Nahe eines alten Handelsweges entlang des Odenwaldes, in unmittelbarer Nachbarschaft zu der alten römischen Grenze, dann an der Grenze der Alamannia und in erreichbarer Nähe der Bischofsstädte Mainz und Worms, scheint sich eine günstige Siedlungsstelle gefunden zu haben. Der fruchtbare Boden bot sich zur Urbarmachung an, das nahegelegene Gewässer diente als Wasserquelle und der Main als mögliche Wasserstraße war auch nicht allzu weit.

2.1.1 Gräberfeld Wenigumstadt

DIE FUNDGESCHICHTE

Baron Elmer von Haxthausen, Hauptmann a.D., öffnete 1898 und 1899 die ersten Gräber. Die geborgenen Beigaben des frühmittelalterlichen Gräberfeldes verkaufte er zusammen mit vorgeschichtlichen Funden an das „Königliche Conservatorium der Prähistorischen Sammlung des Staates zu München“ – die heutige Archäologische Staatssammlung –, die in ihren Akten auch die handschriftlichen Grabungsberichte aufbewahrt (Stauch 2004).

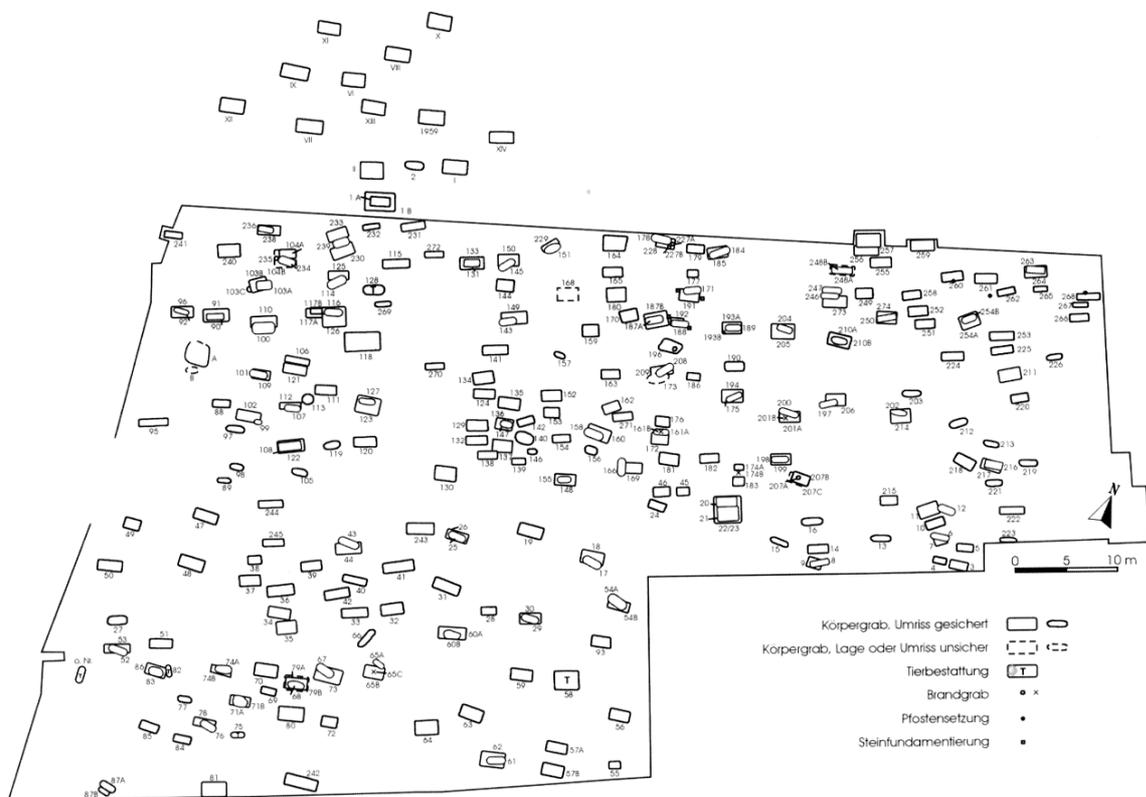


Abbildung 13 Gesamtplan der Befunde auf dem Gräberfeld Wenigumstadt (modifiziert nach Stauch 2004).

Glücklicherweise widmete v. Haxthausen in diesem Grabungsbericht auch den „fränkischen Leichen“ (in Stauch 2004) eine sorgfältige Beschreibung, wodurch es möglich ist, das Inventar der durch ihn in den Jahren 1898/99 angeschnittenen Bestattungen (Gräber I – XIV) weitgehend zu rekonstruieren. Seine Eintragung der Gräber in eine Flurkarte ermöglicht es außerdem, sie zu den modern untersuchten Flächen in einen räumlichen Bezug zu setzen: Es zeigt sich, dass sie mit Ausnahme der verstreut liegenden Gräber III – V unmittelbar an den Nordrand des modern ergrabenen Gräberfeldes anschließen. Ohne v. Haxthausens Untersuchung wären diese

Bestattungen unbeobachtet zerstört worden, da sie bereits zu seiner Zeit nur knapp südlich einer von Norden in den Hang reichenden Lehmgrube lagen. Allerdings sind für alle diese Altgrabungen keine Skelettreste überliefert, sie sind verschollen.

Zwischen den Jahren 1971 und 1982 wurden bei weiteren Ausgrabungen 292 Bestattungen dokumentiert. Zusammen mit den 17 Gräbern, die aus den Altgrabungen v. Haxthausens stammen, ergibt sich eine Gesamtzahl von 309 menschlichen Bestattungen (Tabelle 3). Stauch (2004) vermutet einen Erfassungsgrad von 40%. Die überlieferten Skelette liegen in der Bayerischen Staatssammlung für Anthropologie und Paläoanatomie und wurden von Herrn Dr. P. Schröter morphologisch befundet.

Nach Stauch (2004) entspricht die Lage des Gräberfeldes auf Scheitel und Hängen eines vom Odenwald ins Pflaumbachtal hineinreichenden Geländesporns dem klassischen Lagetypus merowingischer Reihengräberfelder. Eine zugehörige Siedlung ist unbekannt, jedoch wird sie von Stauch nordöstlich oder nordwestlich der Geländezunge im Talbereich des Pflaumbaches vermutet und damit unterhalb des modernen Ortes Wenigumstadt.

Insgesamt umfassen die Ausgrabungsflächen etwa 5400 m², allerdings scheint das Gräberfeld nicht vollständig erfasst worden zu sein. Im Osten vermutet die Archäologin (Stauch 2004) aufgrund der linearen Begrenzung der Belegung einen Rand des Gräberfeldes; ebenso im Westen, wo Suchschnitte keine weiteren Bestattungen mehr zu Tage förderten. Im Norden und im Süden scheinen sich weitere Gräber befunden zu haben, welche aber z.B. im Norden durch die Aushebung einer Lehmgrube zerstört wurden. Stauch schätzt, dass etwa 40% des tatsächlichen Bestattungsareals ergraben wurden. In ihrer Dissertation arbeitete Stauch 15 Belegungsphasen heraus, die von der Mitte des 5. Jhdts. bis in die 2. Hälfte des 9. Jhdts. reichen. Die Grabinventare wurden über ein externes System von U. Koch datiert (in Stauch 2004), das auf süddeutschen Grabfunden basiert. Stauch (2004) übernimmt die von Koch herausgearbeiteten 10 Phasen (Abkürzung „SD“ für „süddeutsch“) für Wenigumstadt. Die letzten fünf Phasen fügt Stauch an (Abkürzung „WU“ für Wenigumstadt) und benennt Phase 10 von SD in WU um. Die Anlage des Gräberfeldes, obwohl es sich um ein „merowingisches Reihengräberfeld“ handelt, scheint nicht hauptsächlich in Reihen nebeneinander liegender Gräber erfolgt zu sein (Stauch 2004). Lediglich im Belegungsareal der SD-Phasen 9 und 10 scheint dies ansatzweise erkennbar zu sein. Ansonsten herrscht eine lockere Verteilung der Gräber vor.

Tabelle 3 Zusammenstellung der dokumentierten Gräber aus Wenigumstadt, sortiert nach den einzelnen Phasen nach der Chronologie von Stauch (2004) (n = 309). Getrennt aufgeführt sind diejenigen Gräber, die mittels Isotopenanalysen untersucht wurden.

Phase	Zeit	Anzahl	Gräber, nicht analysiert	Gräber, analysiert	Bestattungsform, Beigaben
SD 1	430 - 460	8	I, 1B, 103C, 117A, 230	141, 231, 232	Kleingräber, Rillenbecher, Trinkgeschirr
SD 2	460 - 480	4	126	33, 42, 115	Kammergräber, Trinkgeschirr, Glasschalen
SD 3	480 - 510	6	70, 73, 79B	34, 40, 106	Klein- und Kammergräber, Trinkgeschirr, Gefäße am Fussende
SD 4	510 - 530	0	Für diese Phase sind keine Gräber belegt. Stauch (2004) geht von einem Hiatus aus.		
SD 5	530 - 555	3	-	26, 31, 41	Langgräber, im Bett bestattet, Speisebeigaben, kein Trinkgeschirr
SD 6	555 - 580	3	65C	44, 243	Langgräber, Speisebeigaben, kein Trinkgeschirr
SD 7	580 - 600	19	36, 47, 69, 74B, 120	28, 35, 37, 38, 39, 48, 78, 81, 99, 102, 112, 122, 242, 244	letzte Langgräber, Kammergräber, Trinkbecher, Kanne, Messer, am Gürtelgehänge getragene rundstabile Eisenringe, angedeutete Gräberreihen
SD 8	600 - 620	23	IV, 51, 62, 71B, 72, 117B, 123, 130	32, 49, 50, 59, 63, 60A, 64, 65B, 79A, 88, 109, 111, 118, 121A, 121B	Holzammern mit zusätzlichem Sarg oder Totenbett, Sax mit Beimesser, zwei Pferdebestattungen
SD 9	620 - 650	23	V, 56, 57B, 91, 93, 144, 149, 168, 238	1A, 30, 55, 57A, 103B, 125, 135, 136, 137, 148, 152, 153, 160, 233	vierteilige Gürtelgarnituren, scheibengedrehte Keramik
WU 10	650 - 670	26	w1898, 1959, 1965, 45, 46, 103A, 165, 172, 196, 209	18, 24, 68, 80, 86, 96, 104A, 159, 170, 176, 177, 179, 180, 181, 191, 228	vierteilige Gürtel, Brustgehänge mit Metallbesätzen- und riemenzungen, Trinkgeschirr, Speisebeigabe
WU 11	670 - 700	21	XIII, 104B, 183, 190, 193A, 161B, 235	9, 23, 161A, 174A, 185, 186, 188, 194, 199, 201A, 205, 206, 210A, 212	Kammergräber, Brandbestattungen, vierteilige Gürtelgarnituren, kleine Hakensporen, Knickwandtöpfe, ovale Eisenschnallen, Langsaxe, Messer
WU 12	700 - 725	31	XI, 11, 27, 173, 204, 207C, 210B, 214, 248B, 257, 258, 273, 274, 227A, 227B, 237	10, 22, 61, 66, 110, 166, 197, 198, 200, 240, 249, 254A, 255, 256, 259	Kammergräber, Brandbestattungen, Pressblechfibeln, Ketten, Schnallen mit rechteckigem Laschenbeschlag, Schildbuckel, Sacknadeln aus Bein, Eisen oder Bronze
WU 13	725 - 750	45	XII, 43, 90, 100, 114, 116, 150, 187A, 224, 252, 254B, 260, 261, 264, 271	7, 21, 53, 87A, 89, 95, 108, 119, 129, 134, 145, 162, 163, 171, 178, 184, 202, 208, 211, 215, 217, 218, 220, 225, 229, 239, 241, 250, 251, 253	schmale Kammergräber, breite Kistengräber, steingeschützte Sarggräber, Brandbestattungen, Schnallen mit rechteckigem Laschenbeschlag, D-förmige Eisenschnalle, erste vollkommen beigabenlose Gräber
WU 14	750 - Ende 8. Jhdt.	40	84B, 151, 207A, 213, 219, 223, 248A, 262, 266, 267, 268, 270	3, 4, 5, 14, 20, 25, 84A, 85, 124, 127, 132, 138, 140, 143, 147, 154, 155, 158, 203, 207B, 212, 216, 221, 226, 246, 247, 263, 265	extrem schmale Kammergräber, schmale Kistengräber, Sargbestattungen, rillenverzierte Messer, eiserne Sargbeschläge
WU 15	Ende 8. Jhdt. - 2. Hälfte 9. Jhdt.	27	29, 54A, 76A, 83, 92, 97, 105, 107, 236	6, 8, 12, 13, 15, 17, 52, 60B, 65A, 67, 71A, 77, 98, 101, 131, 189, 222, 234	Sargbestattungen, einfache Bestattungen, beigabenlos, beide Arme angewinkelt im Becken
nd	-	30	II, III, VI, VII, VIII, IX, X, XIA, XIV, 75, 82, 113, 146, 164, 182, 269, 272, 273, 274	2, 76B, 87B, 139, 142, 156, 157, 169, 175A, 188B	-

2.1.2 Ergebnisse aus vorangegangenen Arbeiten zu Wenigumstadt

DIE DEMOGRAPHIE VON WENIGUMSTADT

Cipriano-Bechtle hat in ihrer Diplomarbeit (1994) das histologische Alter von 124 ausgewählten Individuen des Wenigumstädter Kollektivs anhand der Zahnzementringanalyse (TCA: tooth cementum annulation) bestimmt. Diese Methode beruht auf der Auszählung der Zuwachsringe im Zahnzement der Wurzel, die im Sommer- und Winterrhythmus angelegt werden, wie Wada et al. (1978) an Affenzähnen (*macaca fuscata*) erstmals zeigen konnten. Zur Berechnung des Sterbealters wurde zu der festgestellten Zahnzementringanzahl das durchschnittliche, geschlechtsspezifische Zahndurchbruchsalter der Prämolaren nach Adler (1967) addiert (Cipriano-Bechtle 1994). Großkopf (1990) konnte zeigen, dass sich diese Methode mit einer Abweichung von $\pm 3,2$ Jahren zur morphologischen Analyse gut zur biologischen Altersbestimmung mit einer hohen Genauigkeit und Reproduzierbarkeit nutzen lässt. Seitdem wird sie verwendet, um die Übereinstimmung von chronologischem und morphologischem Alter zu überprüfen (Kagerer und Grupe 2001; Lippitsch 2007; Wittwer-Backofen et al. 2004).

Zur besseren Charakterisierung der Lebendbevölkerung stellte Cipriano-Bechtle (1994) weitere paläodemographische Berechnungen an. Dabei wurde zum Beispiel ein Frauenüberschuss bei einem Maskulinitätsindex von 84,7 berechnet. Des Weiteren erstellte sie Sterbetafeln für die gesamte Wenigumstädter Gesellschaft anhand der 124 histologisch altersbestimmten Individuen und 42 zusätzlicher Kinder der Altersklassen Infans I (0-6a) und Infans II (7-12a). Die dabei berechnete mittlere Lebenserwartung zum Zeitpunkt der Geburt lag bei 34 Jahren.

Mit 309 belegten Bestattungen lies sich bei einem vermuteten Erfassungsgrad von ca. 40% (Stauch 2004) die Gesamtzahl der ehemals vorhandenen Bestattungen auf ca. 770 beziffern.

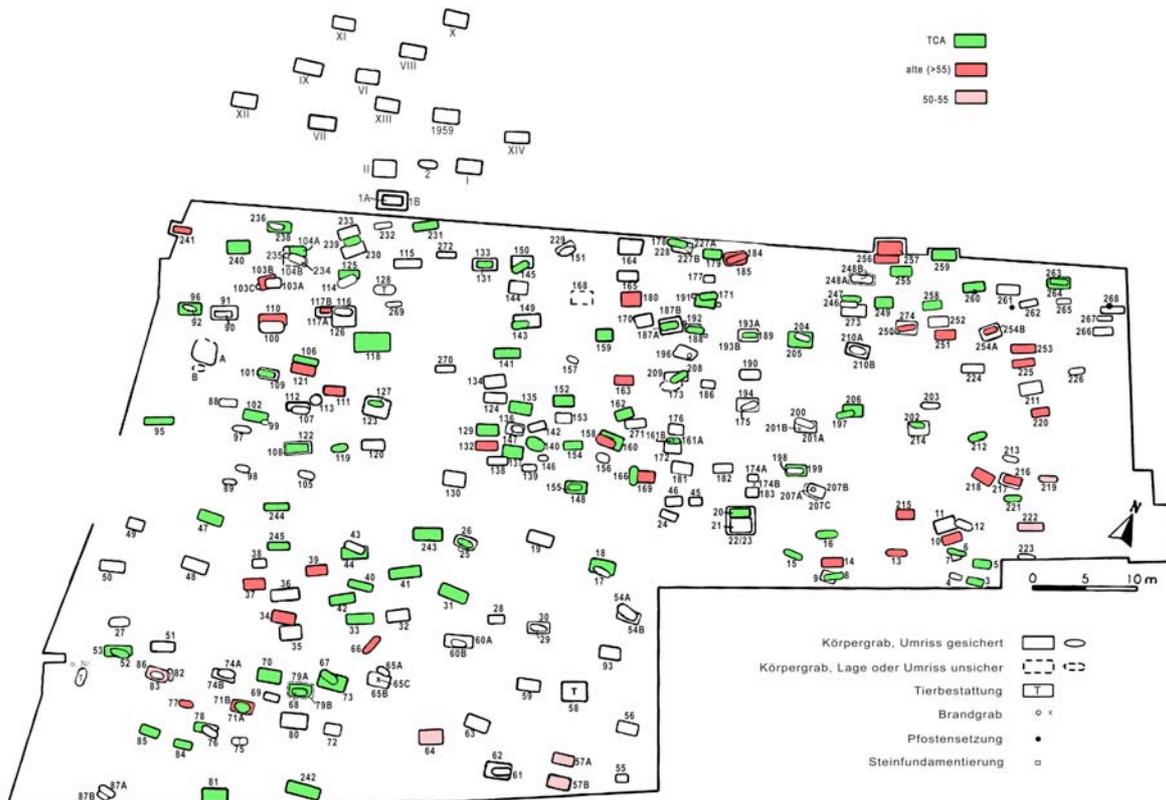


Abbildung 14 Gesamtgrabplan von Wenigumstadt mit alterbestimmten Individuen nach TCA. Rot hervorgehoben sind die älteren Individuen über 55 Jahre, hellrot diejenigen zwischen 50 und 55.

Nach der durch Cipriano-Bechtle (1994) errechneten Lebenserwartung von 34 Jahren für die Wenigumstädter Sterbegemeinschaft (bei ca. 400 Jahren Laufzeit des Gräberfeldes) rechnete Stauch (2004) mit einer durchschnittlichen Bevölkerungsdichte von etwa 72 gleichzeitig lebenden Individuen.

$$P = \frac{(D \times e^o)}{t} \times 1,1$$

D = Gesamtzahl der Skelette

e^o = Lebenserwartung zum Zeitpunkt der Geburt

t = Belegungszeitraum des Gräberfeldes

(Acsádi und Nemeskéri 1970)

Der Faktor von 1,1 wird mit dem Ergebnis multipliziert, da davon ausgegangen wird, dass ca. 10% der tatsächlichen Personen in der Lebendengemeinschaft nicht auf dem Bestattungsareal niedergelegt wurden, z.B. zu früh geborene oder früh verstorbene Säuglinge oder Bewohner der Siedlung, die sich auf Wanderschaft befanden.

Die Lebenserwartung von 34 Jahren für die Wenigumstädter Bevölkerung liegt im oberen Bereich der Spanne für die mittlere Lebenserwartung in Europa von 25 – 35 Jahren, die im Mittelalter der Norm entsprach (Nentwig 2005). Diese Spanne wird von Nentwig im Mittel für das gesamte Mittelalter angegeben. Im Hochmittelalter herrschten ungesündere Lebensbedingungen in den Städten, die die Lebenserwartung verringerten. Für die bäuerliche Gesellschaft, die im frühen Mittelalter für den Großteil der Bevölkerung die Lebensumstände bestimmte, darf eine höhere Lebenserwartung angenommen werden. Gründe dafür liegen hauptsächlich in der Reduktion der Sterberate durch eine bessere Ernährungssituation und medizinische Versorgung. Es spricht für die Gesellschaft in Wenigumstadt, dass sie sich wohl verstärkt um ihre Alten und Kranken gekümmert hat, so dass diese länger lebten.

Cipriano-Bechtle (1994) konnte histologisch einen höheren Anteil an alten Menschen (>60a, 19,4%) in der Gesamtpopulation feststellen, als die rein morphologische Analyse bestimmt hatte (3,2%), da in den späten Altersklassen das Alter generell unterschätzt worden war.

Falls die Unterschätzung des tatsächlichen Alters durch rein morphologische Analysen systematisch ist und dies bei anderen Gräberfeldern ebenfalls festgestellt werden würde, müsste insgesamt die Annahme einer geringen Lebenserwartung, wie Nentwig (2005) sie nennt, nochmals überdacht werden. Wenigumstadt wäre dann keine Ausnahme sondern die Regel.

ERNÄHRUNGSSTATUS DER KINDER AUS WENIGUMSTADT

Dittmann (1999) untersuchte in ihrer Diplomarbeit die Lebensbedingungen der Kinder in Wenigumstadt. Sie bestimmte das Sterbealter der Kinder und untersuchte Anzeichen von (Mangel-)Erkrankungen an deren Skeletten und den Ernährungsstatus anhand von Isotopenanalysen der leichten Elemente Stickstoff und Kohlenstoff aus Knochenkollagen. Die Bestimmung der Verhältnisse stabiler Stickstoffisotope ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) und Kohlenstoffisotope ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) aus organischen Geweben lässt Rückschlüsse auf das Nahrungsverhalten des untersuchten Organismus zu. Stickstoff und Kohlenstoff werden als Bausteine in Aminosäuren in der Nahrungskette immer wieder verwertet. Dabei reichert sich das schwere Isotop ^{15}N bzw. ^{13}C in den Geweben der Konsumenten an. Tiere weisen im Kollagen um 3 bis 5‰ höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte und 1 bis 2‰ höhere $\delta^{13}\text{C}$ -Werte auf als die von ihnen gefressene Nahrung (Ambrose 2000; Schoeninger und DeNiro 1984). Dies wird als Trophiestufeneffekt bezeichnet, wobei sich dies

hauptsächlich auf Stickstoff bezieht, da der Effekt im Kohlenstoff sehr gering ausfällt und daher eher zu vernachlässigen ist. Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte von Kindern (Infans I) sind ebenfalls erhöht, was als der sogenannte Stilleffekt bekannt ist (Katzenberg et al. 2000). Bei der Produktion von Muttermilch wird körpereigener Stickstoff wiederverwendet, wodurch ein körperinterner Trophiestufeneffekt erzeugt wird. Die Säuglinge zeigen dann im Mittel 1,6 bis 2,4‰ erhöhte $\delta^{15}\text{N}$ -Werte gegenüber ihren Müttern (Katzenberg 1993; Tuross und Fogel 1994). Die Werte erreichen deswegen im Mittel nicht die mindestens 3‰ für einen vollen Trophiestufeneffekt, weil Neugeborene noch im Isotopengleichgewicht mit der Mutter sind, und der Stilleffekt erst nach etwa 3 Monaten einsetzt (Fogel et al. 1989). Dadurch werden die Signaturen über die Zeit gemischt.

Nach dem Abstillen kehrt sich der Effekt wieder um und die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte gleichen sich wieder denen der Erwachsenen an. Katzenberg et al. (1996) stellten fest, dass ab einem Alter von etwa einem Jahr die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte sinken, ab diesem Zeitpunkt also zumindest andere Nahrung zugefüttert wurde. In anderen Studien lag dieser Zeitpunkt ebenfalls um diesen Zeitpunkt oder bis etwa eineinhalb Jahre (Herring et al. 1998; Katzenberg et al. 2000; Schurr 1997).

Dittmann (1999) stellte bei 24 untersuchten Kindern die höchsten $\delta^{15}\text{N}$ -Werte bei den Einjährigen fest (im Mittel 11,79‰). In den Altersstufen danach sinken die Werte, im Alter von zwei Jahren um 1,52‰ und im Alter von drei Jahren um 2,55‰ im Vergleich zu den Einjährigen. Sie postuliert also den Beginn der Entwöhnung etwa in einem Alter von einem Jahr, während eine vollständige Nahrungsumstellung im Alter von drei Jahren festgestellt werden kann. Sie konnte keine geschlechtsspezifischen Unterschiede dokumentieren, die eventuell darauf hindeuten hätten können, dass ein Geschlecht, üblicherweise die männlichen Nachkommen, bevorzugt behandelt worden wäre.

STILLEFFEKT IN DEN SAUERSTOFF- UND KOHLENSTOFFISOTOPEN DES ZAHNSCHMELZ

Wright und Schwarcz (1998) postulierten einen Stilleffekt in den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten von Zahnschmelzapatit von Dauerzähnen beim Erwachsenen (s. Kapitel 1.7.2). Dazu untersuchte Schulz (2006) in ihrer Diplomarbeit ontogenetische Trends stabiler Kohlenstoff- und Sauerstoffisotope im menschlichen Zahnschmelz, um einen Entwöhnungszeitraum von der Muttermilch festzustellen. Schulz verwendete vollständige Gebisse zweier erwachsener (WU 155 und 67) und zweier infantiler Skelette (WU 26 und 142).

Zunächst verglich Schulz die rechte und linke Kieferhälfte und konnte keine signifikanten Unterschiede feststellen. Die Ergebnisse der Kohlenstoffisotope zeigen, dass meist nur geringe Unterschiede zwischen der rechten und der linken Kieferhälfte zu messen waren. Im Schnitt lag der Unterschied zwischen den beiden Kieferhälften bei $\delta^{13}\text{C} = 0,3\text{‰}$. Auch bei $\delta^{18}\text{O}$ ergaben sich im Schnitt nur geringe Unterschiede von $0,27\text{‰}$. Ausnahme bildeten allerdings der M1 ($-0,95\text{‰}$) und M2 ($-0,97\text{‰}$) des Unterkiefers. Dies ist relevant für die vorliegende Arbeit, da hier hauptsächlich der Zahnschmelz des 1. und des 2. Dauermolaren verwendet wurde.

Die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte liegen in einem Bereich von $-5,2$ bis $-7,5\text{‰}$, das heißt, die Spannweite der Messergebnisse liegt bei $2,3\text{‰}$. Diese sehr weite Streuung lässt darauf schließen, dass es im Laufe des gesamten Mineralisierungszeitraumes zu deutlichen Veränderungen in der Sauerstoffisotopensignatur der Zähne kommt. Allerdings zeigen die beiden Probenreihen mit Dauerzähnen gegenläufige Trends.

Die Milchzahngebisse (WU 26 und WU 142) weisen eine deutlichere Tendenz auf. Hier liegt die Anreicherung mit dem schweren Isotop (^{18}O) im Bereich von $1,5\text{‰}$, vom Zahn mit der kürzesten Mineralisierungsdauer nach der Geburt (i1 OK, $\delta^{18}\text{O} = -7,94\text{‰}$) bis zum Zahn mit der längsten Mineralisierungszeit nach der Geburt (m2 OK, $\delta^{18}\text{O} = -6,41\text{‰}$). Allerdings dokumentieren diese erhöhten $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Milchgebiss nicht das Abstillen, sondern das Einsetzen der Ernährung mit Muttermilch. Die jüngsten Milchzähne beginnen nämlich bereits während der Schwangerschaft mit der Mineralisation.

Zusammenfassend zeigen diese Ergebnisse, dass nicht nur ein genauer Abstillzeitpunkt nicht auszumachen ist, sondern dass auch der Stilleffekt in den Dauerzähnen schwächer ausfällt, als erwartet. Die Analyse der Milchzähne zeigt einen deutlichen Anreicherungseffekt, so dass darauf verzichtet werden sollte, diese Zähne als Probenmaterial zu benutzen.

2.1.3 Auswahl der zu analysierenden Proben aus Wenigumstadt

Bei der Auswahl der zu analysierenden Proben bietet es sich an, sich an den archäologischen Ergebnissen zu orientieren, da hier bereits Hinweise auf Einwanderer gegeben sind. Weniger Sinn macht es, teure Strontiumisotopenanalysen ohne Indikation durchzuführen, weswegen auch nicht alle Individuen des Gräberfeldes in die

Strontiumisotopenanalyse mit einbezogen wurden. Demzufolge fiel die primäre Wahl auf Individuen, deren Beigaben von Stauch (2004) als fremd bezeichnet wurden. Allerdings hatten nicht alle dieser Individuen einen erhaltenen Zahn, bzw. überhaupt einen Schädel. Im nächsten Schritt wurden Individuen ausgewählt, die mit den vorher genannten Gräbern in einem Bezug zu stehen scheinen, sei es zeitlich, räumlich oder durch die Beigaben, wie zum Beispiel in den aufgeführten Gräberketten oder -reihen. Des Weiteren wurden auch einige Individuen ausgewählt, denen keinerlei Beigaben mitgegeben worden waren. Wie bereits erwähnt, ging mit zunehmender Christianisierung der Beigabenbrauch zurück und wertvolle Hinweise gingen so verloren. Allerdings ist natürlich auch in den späteren Phasen mit Migration zu rechnen. Um die gesamte Bevölkerungsgeschichte beleuchten zu können, ist es unumgänglich, auch hier Analysen durchzuführen. Hierbei reicht es allerdings, eine Auswahl zu treffen, um die gesamte Bevölkerung zu repräsentieren und nicht auf die individuelle Ebene zu gehen, da keine Diskussion im archäologischen Zusammenhang möglich wäre. So ergab sich eine Probenzahl von 145 für Strontiumisotopenanalysen. Schließlich wurden Sauerstoffisotopenanalysen aus Zahnschmelzapatit (n=182) durchgeführt. Außerdem wurden 25 Individuen aufgrund der Sauerstoff- und Strontiumisotopendaten zusätzlich auf ihre Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopie im Knochen hin untersucht (s. Tabelle 4).

Tabelle 4 Ausgewählte Proben für die Apatitextraktion aus Knochen. Die Proben wurden nach den Ergebnissen aus dem Zahnschmelz ausgewählt. Gleichzeitig wurde von diesen Probenstücken eine UV-Fluoreszenzanalyse durchgeführt, außer an den kursiv geschriebenen Proben.

WU 3	WU 39	WU 84	WU 121B	<i>WU 186</i>
WU 8	WU 48	WU 102	WU 140	WU 198
WU 17	WU 52	WU 106	WU 166	WU 201A
<i>WU 28</i>	WU 76B	WU 111	<i>WU 174</i>	WU 216
WU 38	WU 78	WU 121A	<i>WU 177</i>	WU 242

Um die Qualität der Knochenproben zu überprüfen, wurde eine UV-Fluoreszenzanalyse durchgeführt. Der Vergleich der Isotopensignaturen aus Zahnschmelz und Knochen erlaubt bei lokalen Individuen die Bestimmung eines eventuellen Stilleffektes (s. Kapitel 1.7.2) und bei nicht-lokalen Individuen die Feststellung einer frühen oder späten Migration.

BODENPROBEN

Eine besondere Fragestellung der Arbeit ist die Festlegung der lokalen Isotopensignatur, deswegen wurden Bodenproben analysiert. Aus jedem Grab wurde während der Grabung eine Bodenprobe entnommen. Es wurden exemplarisch und zufällig zehn Proben ausgewählt, die über das gesamte Gräberfeldareal verteilt liegen (s. Abbildung 15). In einem Grab wurde eine Schnecke geborgen, deren Schale ebenfalls untersucht wurde. Mehrere Autoren (Bentley 2006, Bentley und Knipper 2005, Price et al. 2002) fordern, Kleinsäugetiere oder Schnecken zu untersuchen, um so die bioverfügbare Strontium-Signatur des lokalen Bodens zu erhalten. Da es sich bei Wenigumstadt um eine Altgrabung handelt, bestand hier keine Möglichkeit mehr, nach solchen Knochen explizit zu suchen. Im Grabungsbericht finden sich vereinzelt Hinweise auf Tierknochen in Gräbern, wie zum Beispiel Schwein oder Katze. Zwei Pferdeskelette sind erhalten geblieben, allerdings gibt es keine Schädel und damit keine Zähne, die als Probenmaterial geeignet gewesen wären.

Aus diesem Grund muss zur Feststellung der lokalen Isotopie auf die Bodenproben und die Ergebnisse der Analysen des menschlichen Probenmaterials zurückgegriffen werden.

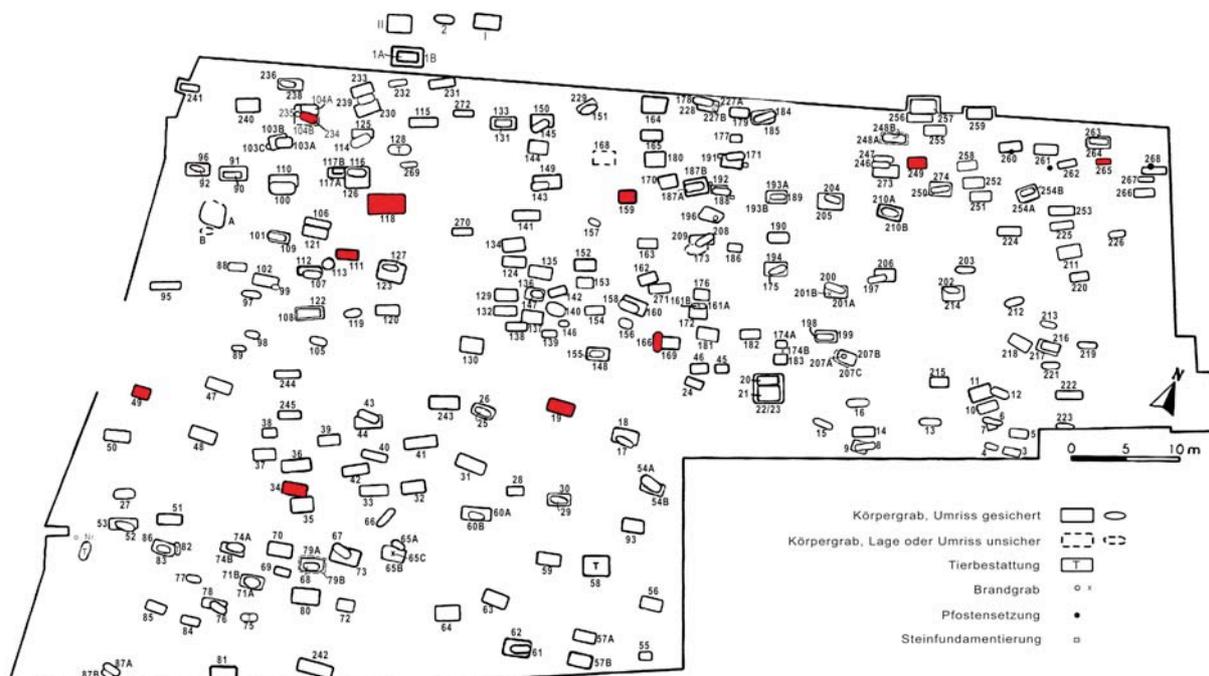


Abbildung 15 Markierte Bodenproben im Grabplan von Wenigumstadt. Farblich markiert sind diejenigen Gräber, an deren Bodenproben Strontiumisotopenanalysen durchgeführt wurden.

2.1.4 Geologie der Fundstelle Wenigumstadt im Bachgau

Wenigumstadt liegt an der Ostgrenze des kristallinen Odenwalds, etwa 7km westlich des Mains im Bachgau, der den südöstlichen Teil des Untermaingebietes bildet. Der flach wellige Bachgau gehört zum Reinheimer Hügelland, dessen bis zu neun Meter mächtige Lösslehmböden meist als Braunerden, podsolige Braunerden und Parabraunerden ausgebildet sind (Abbildung 16).

Der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe zufolge verfügen die Ackerflächen im Reinheimer Hügelland über günstige Produktionsvoraussetzungen. Klimatisch liegt die Region zwischen der warmen Untermainebene und dem relativ kühlfeuchten Odenwald. Die Niederschlagsjahressumme im langjährigen Mittel beträgt 650mm. Die mittlere Jahrestemperatur liegt bei 8,8°C.

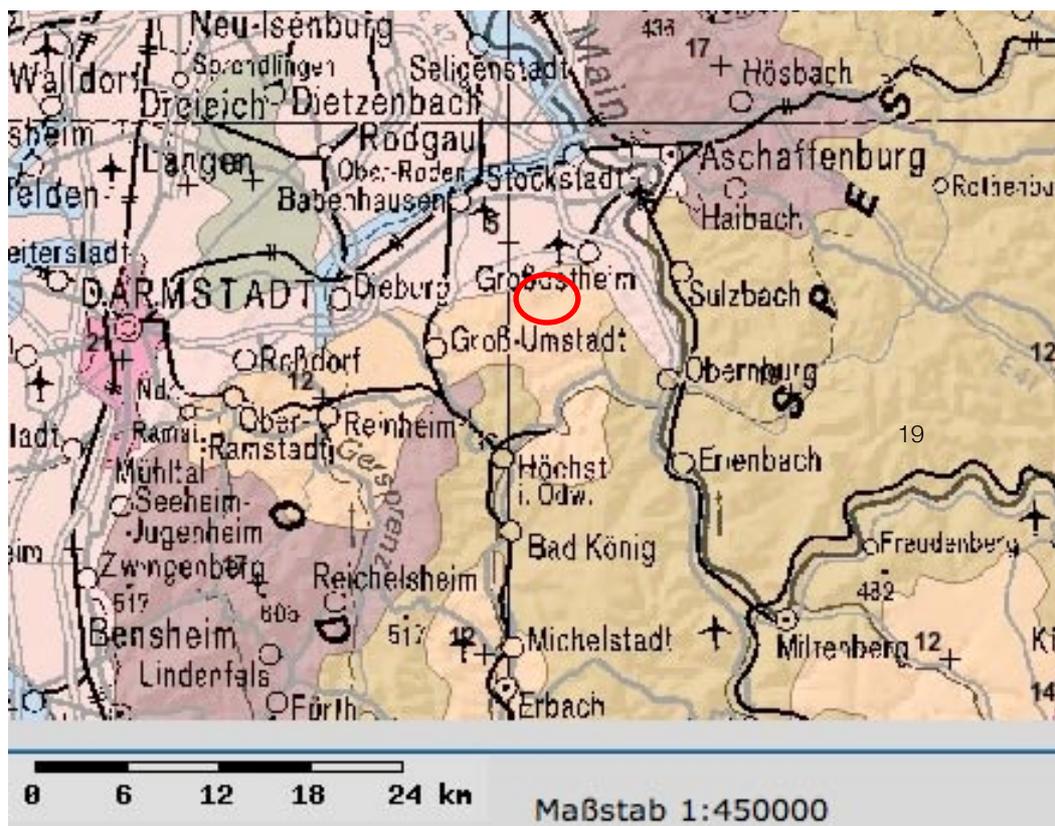


Abbildung 16 Ausschnitt für den Bereich um Wenigumstadt (roter Kreis) aus der Bodenübersichtskarte (BÜK5000) der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Bodenkundlicher Kartenserver). Legende siehe Abbildung 17.

Wenigumstadt selbst liegt im Bereich brauner Lössböden, einschließlich Sandlöss und lössähnlicher Sedimente (Abbildung 17, Legende Nr. 12). Direkt nördlich schließen Böden der Flussterrassen und Hochflutsedimente an (Abbildung 17, Legende Nr. 5), die auf alte Flussläufe hindeuten. Hier verlief ein alter Mainlauf entlang der Linie Großostheim-Schaafheim, bevor sich am Ende des Tertiärs die Wasserscheide durch die Entstehung des Oberrheingrabens nach Südosten verschob und dadurch die Flussverläufe geändert wurden.

1	Wattböden
2	Marschböden
3	Hoch- und Niedermoorböden
4	Böden der Flussauen
5	Böden der Flussterrassen und Hochflutsedimente
6	Böden der Niederungen und Urstromtäler
7	Böden der lössvermischten Tertiärablagerungen
8	Böden aus Geschiebelehm und Geschiebemergel
9	Böden aus Geschiebelehm und Geschiebemergel mit sandiger Deckschicht
10	Trockene Sandböden
11	Schwarze Lössböden
12	Braune Lössböden, einschließlich Sandlöss und lössähnliche Sedimente
13	Staunasse Lössböden
14	Böden aus Kalk, Mergel- und Dolomitgestein
15	Böden aus Mergel- und Tongesteinen
16	Böden aus basischen und intermediären magmatischen und metamorphen Gesteinen
17	Böden aus sauren und intermediären magmatischen und metamorphen Gesteinen
18	Böden aus Ton- und Schluffschiefern
19	Böden aus kalkfreien Sedimentgesteinen und Quarziten
20	Böden des Hochgebirges
21	Siedlungsflächen
22	Bergbauflächen
23	Gewässerflächen

Abbildung 17 Legende zur Bodenübersichtskarte BÜK5000 der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (siehe Abbildung 16). Rot markiert ist der vorherrschende Bodentyp in Wenigumstadt.

Südöstlich besteht der Boden aus kalkfreien Sedimentgesteinen und Quarziten (Legende Nr. 19), während die Böden südwestlich aus sauren und intermediären magmatischen und metamorphen Gesteinen (Legende Nr. 17) bestehen.

Typisch für das Reinheimer Hügelland sind die stellenweise anstehenden variskischen Magmatite und Metamorphite. Der Odenwald im Süden wird aus einer Schichtenfolge des Unteren Buntsandsteins aufgebaut (Trias, 220 Mio. Jahre). An manchen Stellen liegen tertiäre basaltische Vulkanite unter (Hoselmann 2008).

Die Untermain-Mittelterrassen-Formation (Raum Aschaffenburg) besteht im Wesentlichen aus fluviatilen kiesigen Sanden, in die untergeordnet limnisch-fluviatile,

zum Teil humose Ton- und Schlufflagen eingeschaltet sind. Die Kiese bestehen hauptsächlich aus Sandstein des Buntsandsteins, Quarz, Quarzit, Hornstein, Lydit sowie Grauwacke und vereinzelt Basalt. Kalksteine des Muschelkalks treten in der Geröllfraktion nicht auf. Die Sedimente lagern häufig diskordant auf fluviatilen unterpleistozänen Ablagerungen der Untermain-Hauptterrassen-Formation oder Gesteinen tertiären Alters (Hoselmann 2008).

Der Kartenausschnitt in Abbildung 18 zeigt die unterliegende Geologie in der näheren Umgebung von Wenigumstadt. Im Norden schließt an die eiszeitlichen Mergel-, Sand-, Lehm- Kiessedimente eine Schicht Unterer Bundsandstein an, der in etwa 249 bis 251 Millionen Jahre alt ist und in der Untertrias kristallisierte.

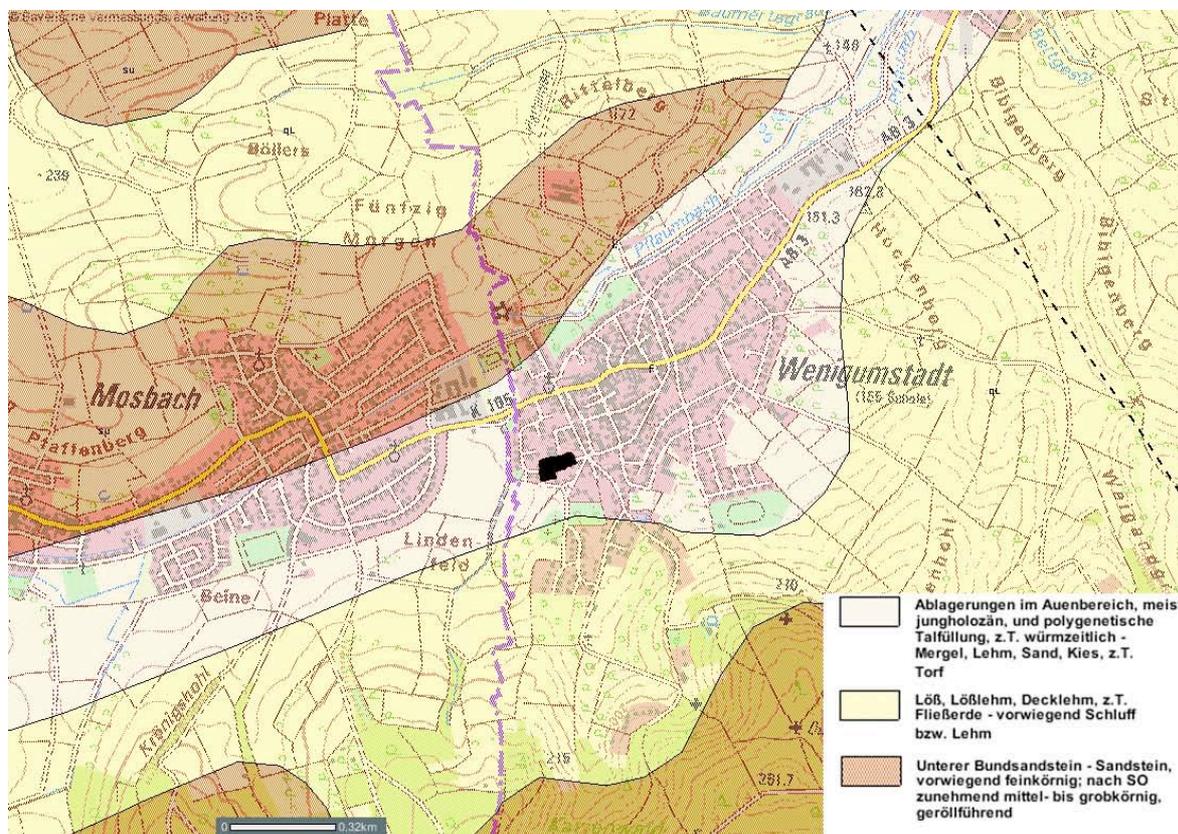


Abbildung 18 Nähere geologische Umgebung Wenigumstadts. Kartenausschnitt aus dem GeoFachdatenAtlas im Bodeninformationssystem Bayerns des Bayerischen Landesamt für Umwelt (www.bis.bayern.de). Grundlage bildet die Geologische Karte 1:500000, hier in einem Maßstab von 1:13000.

Das biologisch verfügbare Strontium in Flusstälern hängt von den Gesteinen in den Einzugsbieten der jeweiligen Wasserläufe und ihrer Nebenflüsse ab. Im Oberrheingraben und an der Donau erbrachten Messungen an rezenter Fauna und bodengelagerten Knochen und Zähnen von Menschen und Tieren Werte zwischen 0,7082 und 0,7097.

Diese Daten liegen deutlich unter denen für Grundgebirgsregionen, sind aber nicht von den bekannten Lösswerten zu unterscheiden. Die Flusssedimente selbst können $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse bis ca. 0,710 erreichen, während das heutige Flusswasser zwischen 0,708 und 0,7085 liegt. Signifikant niedrigere Strontiumisotopenverhältnisse (0,7071) als für die Flusstäler wurden für die Kalke des Oberen Jura der Schwäbischen Alb gemessen (Horn et al. 1985).

2.1.5 Erwartungswerte für die Sauerstoffisotopie in Wenigumstadt

Zum Vergleich werden die modernen Niederschlagswerte ($\delta^{18}\text{O}_{\text{mw}}$ V-SMOW) benötigt. Dazu gibt man die Koordinaten und die Höhenlage des betreffenden Ortes auf www.waterisotopes.org in den Online Isotopes in Precipitation Calculator (OIPC) (Bowen 2010) ein. Für Wenigumstadt ist das $49^{\circ}53'27,3''\text{N}$, $9^{\circ}02'20,6''\text{O}$, 165m. Danach erhält man die monatlichen Niederschlagswerte im Jahresverlauf und das Jahresmittel (s. Tabelle 5). In Wenigumstadt ermittelt der OIPC einen $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von -8,2‰.

Tabelle 5 $\delta^{18}\text{O}$ -Werte (‰, in V-SMOW) für Wenigumstadt ($49^{\circ}53'27,3''\text{N}$, $9^{\circ}02'20,6''\text{O}$, 165m) im Jahresverlauf (modern) (aus OIPC; Bowen 2010). Im Jahresmittel ergibt sich ein Wert von 8,2‰.

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
$\delta^{18}\text{O}$ (‰, V-SMOW)	-10,6	-10,4	-8,9	-9,0	-7,4	-7,0	-5,9	-6,2	-7,2	-8,4	-10,2	-10,7

2.2 ÜBERREGIONALE VERGLEICHSBASIS

In der vorliegenden Arbeit wurden Ergebnisse als Vergleichsbasis von anderen Fundplätzen aus verschiedenen Gründen miteinbezogen.

Die Fundplätze von Vron und Neuville-sur-Escout haben einen zeitlichen Bezug zum Gräberfeld von Wenigumstadt. Sie stammen ebenfalls aus der Völkerwanderungszeit und datieren zum Teil früher als Wenigumstadt bzw. laufen parallel zu diesem.

Weiterhin können die Strontium- und Sauerstoffdaten als Vergleich dienen, um sie mit den Daten aus Wenigumstadt zu vergleichen, da Stauch (2004) eine mögliche Zuwanderung aus Nordfrankreich postuliert. Darüber hinaus konnten hier ebenfalls von allen Individuen Sauerstoffdaten aus Zahnschmelz und Knochen erhoben werden, um späte Migration zu identifizieren bzw. einen Hinweis auf den Stilleffekt zu erhalten.

Aus Böhmen standen einige Proben von Menschen und Tieren zur Verfügung. Hier dienen nur Strontiumisotopendaten als Vergleich. Stauch (2004) postuliert ebenfalls aus dem böhmischen Raum eine mögliche Zuwanderung.

Eine weitere Besonderheit bei den böhmischen Daten stellt die Vergleichsmöglichkeit mit Daten aus Tierproben dar. Hier kann die Möglichkeit einer Bestimmung der lokalen Isotopie mithilfe tierischer Daten ausgelotet werden, die für Wenigumstadt leider nicht möglich war.

2.2.1 Bestattungsplätze Vron und Neuville-sur-Escout, Frankreich

Die Fundplätze Vron und Neuville-sur-Escout liegen in der Region Nord-Pas-De-Calais-Somme, im Norden Frankreichs (Abbildung 19). Die archäologische und anthropologische Bearbeitung stammt aus einer Arbeit von Blondiaux (1993), die er an der Universität Charles de Gaulle in Lille verteidigte. Die beiden Bestattungsplätze liegen etwa 130 km voneinander entfernt, wobei Vron ca. 15 km von der Küste entfernt liegt. Blondiaux (1993) postuliert zwei Migrationsereignisse: die Einwanderung von nordgermanischen Söldnern, die während der Völkerwanderungszeit in Vron bestattet wurden, und die von alamannischen Gruppen in Neuville-sur-Escout zum Beginn des Frühmittelalters.



Abbildung 19 Lage der Fundplätze Vron und Neuville-sur-Escout in Nordfrankreich (Kartenausschnitt aus Google Earth, letzter Zugriff 10.10.2010).

VRON (CA. 370-700 N. CHR.)

Lage : 50°20'06.70''N/ 1°45'33.36''E, Höhenlage 17m

Die Ausgrabungen in Vron begannen bereits 1969 und waren 1984 beendet. Insgesamt wurden 325 Bestattungen erfasst, vermutlich war das Gräberfeld aber noch viel größer. Das Gräberfeld ist in chronologisch in drei Phasen unterteilt, eine spätrömische (ca. 370 bis 450), eine völkerwanderungszeitliche (ca. 450 bis 500) und eine frühmittelalterliche (ca. 500 bis 700) Phase. Damit liegen sie zeitlich vor dem bzw. die späten Phasen parallel zu dem Gräberfeld von Wenigumstadt. Die Grabbeigaben der spätrömischen Phase in Vron, darunter Waffen und Fibeln, weisen Parallelen zu germanischen Funden auf.

Dabei ist laut Archäologen die Frage, ob es sich dabei um einen Friedhof für germanische Söldner gehandelt hat oder ob dort „germanisierte“ lokale Soldaten bestattet wurden. Auch weibliche Gräber enthielten Schmuck, der auf einen germanischen Ursprung hindeutet.

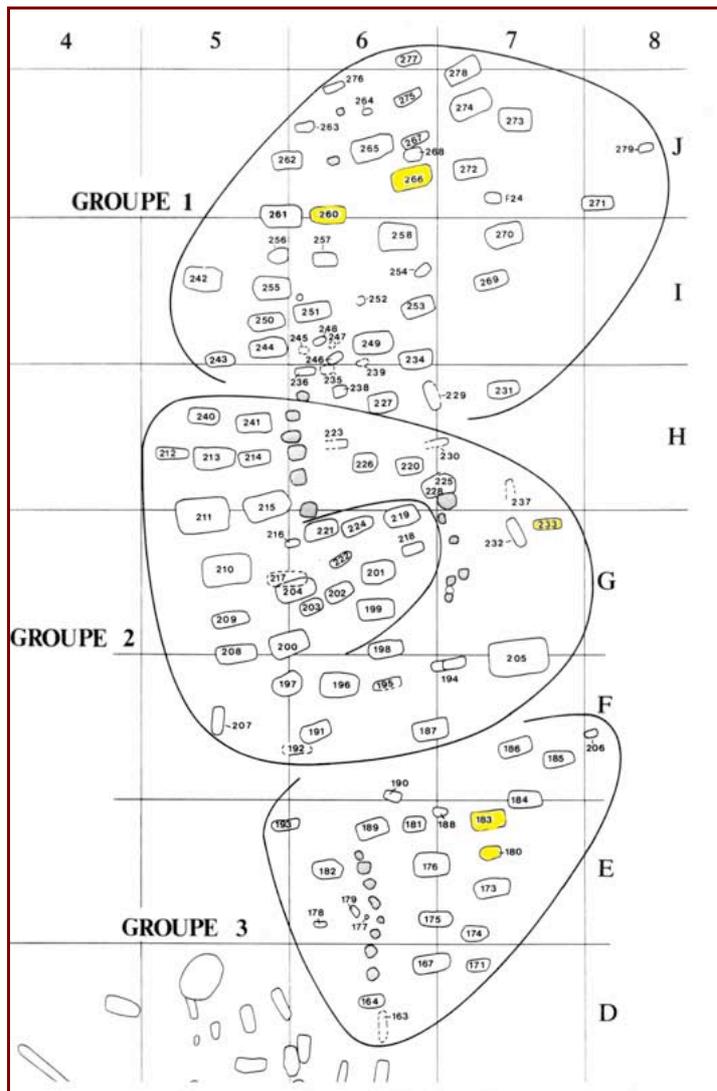


Abbildung 20 Gräberfeldplan der spätrömischen Phase des Fundplatzes in Vron. Die fünf untersuchten Gräber dieser Phase sind gelb markiert (mit freundlicher Genehmigung von J. Blondiaux).

In der zweiten, frühmittelalterlichen Phase ab der zweiten Hälfte des 5. Jhdts. tauchen auch angelsächsische Fundstücke in den Grabinventaren auf. In den jüngsten Gräbern dominieren fränkische Fundstücke, die bereits aus anderen merowingischen Nekropolen im Norden Galliens bekannt sind. Zusätzlich führte der Bearbeiter morphometrische Analysen durch und konnte die Bestatteten der spätrömischen und der zweiten Phase morphologisch mit den nordischen Bewohnern von Haithabu³ (ca. 800 bis 1066) in Zusammenhang bringen. Die Individuen der dritten Phase nähern sich morphologisch jedoch eher anderen Nekropolen in Nordgallien an, hier insbesondere die Frauen. In der spätrömischen Phase wurden 112 Individuen in 110 Gräbern bestattet. Sie zeichnet sich durch den Fund von Münzen der Kaiser Valentinian II. (371-

³ Haithabu war ein wichtiger wikingerzeitlicher Handels- und Warenumschlagsplatz im nordeuropäischen Raum (Maixner 2010).

392) und Theodosius I. (347-395) aus. Das Gräberfeld der frühen Phase ist in drei Gruppen unterteilt. Fünf der untersuchten Individuen stammen aus der ersten Phase, während eine Frau aus Grab 146 aus der späteren zweiten Phase (Ende 5. Jhdt.) stammt (Blondiaux 1993).

Ausgewählte Proben :

- Grab 146 (Zahn 4/4, Frau)
- Grab 180 (Zahn 4/8, Mann)
- Grab 183 (Zahn 1/4, Frau, 16-17a)
- Grab 233 (Zahn 4/6, Mann)
- Grab 260 (Zahn 4/3, Mann)
- Grab 266 (Zahn 2/4, Frau)

NEUVILLE-SUR-ESCAUT (CA. 500-530 N. CHR.)

Lage : 50°20' 06.70'' N/ 3°20'34.25''E, Höhenlage 43m

Das Gräberfeld von Neuville-Sur-Escaut wurde in den Jahren 1973 bis 1981 ergraben. Insgesamt wurden 85 Körper- und zehn Brandgräber gefunden. Die in dieser Arbeit untersuchten vier Gräber stammen aus einer späteren Phase des Gräberfeldes, vermutlich aus der Zeit ab der zweiten Hälfte des 5. bis zur Mitte des 6. Jahrhunderts. Die Grabbeigaben (Waffen, Schmuck und Trachtelemente) zeigen laut Archäologen Parallelen zu germanischen Stücken aus Württemberg und Thüringen.

Morphometrische Analysen führten Blondiaux (1993) zu dem Schluss, dass es sich um Alamannen aus Mitteldeutschland handelt. Sie setzen sich morphologisch von den Individuen aus Vron und aus Norddeutschland ab und ordnen sich mit Individuen aus alamannischen und sächsischen Gräberfeldern in eine Gruppe (Blondiaux 1993).

Ausgewählte Proben:

- Grab 20 (Zahn 1/4, Frau, erwachsen)
- Grab 22 (Zahn 3/4, Mann, adult, Körperhöhe ca. 158 cm)
- Grab 60 (Zahn 4/3, Mann, adult, Körperhöhe ca. 172 cm)
- Grab 65 (Zahn 2/6, Mann, adult, Körperhöhe ca. 170 cm)

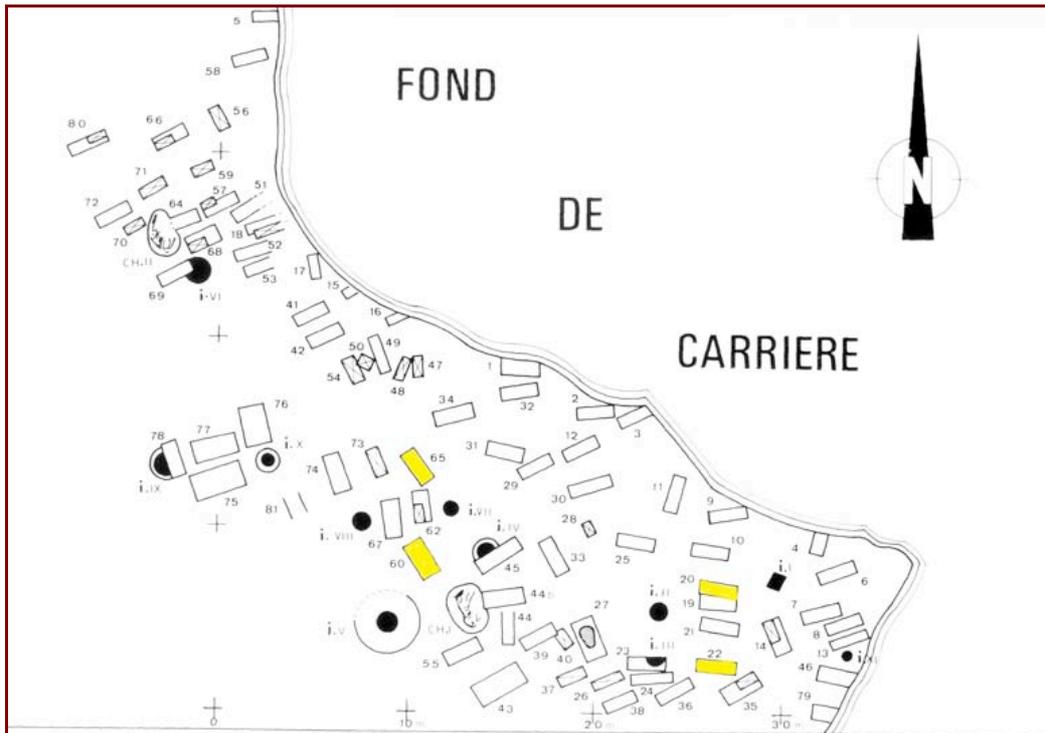


Abbildung 21 Gräberfeldplan des Fundplatzes Neuville-sur-Escaut. Die vier untersuchten Gräber sind gelb markiert (mit freundlicher Genehmigung von J. Blondiaux).

ERWARTUNGSWERTE DER FUNDPLÄTZE IN NORDFRANKREICH

Nordfrankreich bildet zusammen mit dem Süden Englands das anglofranzösische Becken, dem weiter südlich das jüngere, oligozäne Pariser Becken folgt. Dieses ist geprägt von Kalken, die zum Teil von tertiären Ablagerungen überdeckt sind. Vron und Neuville-sur-Escaut liegen auf relativ homogenen, etwas älteren kreidezeitlichen Gesteinen, die von karbonathaltigen Schichten überlagert, und durch marine Ablagerungen geformt sind. In Vron ist aufgrund der Nähe des Ärmelkanals ein gewisser Einfluss von Meerwasser (modern etwa $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,7092$) (Faure 1986) möglich. Insgesamt dürften lokale $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte von etwa 0,7080 bis 0,710 zu erwarten sein (s. Kapitel 1.6.3).

Laut dem OIPC (Bowen 2010) sind für Vron $\delta^{18}\text{O}_{\text{mw}}$ -Werte (V-SMOW) im Jahresmittel von -7,7‰ zu erwarten. Im Jahresverlauf schwanken die Werte von -5,4‰ bis -9,5‰. Für Neuville-sur-Escaut berechnet der OIPC ein Jahresmittel von $\delta^{18}\text{O}_{\text{mw}} = -7,8‰$ (V-SMOW). Die saisonalen Schwankungen reichen von -5,6‰ im Sommer bis -9,8‰ im Winter.

2.2.2 Fundmaterial aus Böhmen

Aus dem Archäologischen Institut der Tschechischen Akademie der Wissenschaften in Prag wurden von Dr. Vladimír Salač neun Menschenproben und 14 Tierproben zur Analyse übersandt. Sämtliche Proben bestanden aus Zähnen. Die Tierzähne wurden inklusive Kiefer geliefert. Deswegen war es möglich bei zwei Pferden auch Analysen des Knochens durchzuführen. Bei den Menschen handelt es sich um Individuen aus verschiedenen Epochen der Eisenzeit, aus dem Latène, über die Zeitenwende bis in die Römische Kaiserzeit (RKZ). Genauere Informationen zu den Gräbern wurden von den Ausgräbern nicht publiziert, weswegen keine genaueren Angaben zu den Grabinventaren gemacht werden kann. Die Tierproben stammen aus der Ortschaft Mlékojedy, aus einer Grabungsstätte die in die ältere RKZ datiert (1. Jh. n. Chr.).

Tabelle 6 Materialliste der Proben aus Böhmen.

Probe	Art	Ort	Zeitstellung	
Ao2296	Mensch	Bezno	1. Jh. n. Chr.	ältere RKZ
Ao3122	Mensch	Pha-Podbaba	1. Jh. n. Chr.	ältere RKZ
Ao5641	Mensch	Poplze-Viničky	1. Hälfte 1. Jh. n. Chr.	ältere RKZ
Ao7617	Mensch	Beroun-Závodí	um 400 n. Chr.	jüngere RKZ
Ao10771	Mensch	Mělník	1. Hälfte 3. Jh. v. Chr.	Latène B1
H9	Mensch	Tišice	um 30 v. Chr. bis 30 n. Chr.	RKZ A - B1a
H10	Mensch	Tišice	um 30 v. Chr. bis 30 n. Chr.	RKZ A - B1a
H17	Mensch	Tišice	um 30 v. Chr. bis 30 n. Chr.	RKZ A - B1a
H44	Mensch	Mělník	4. Jh. v. Chr.	Latène B1
Zoo6A	Schwein	Mlékojedy	1. Jh. n. Chr.	ältere RKZ
Zoo7A	Schwein	Mlékojedy	1. Jh. n. Chr.	ältere RKZ
Zoo8A	Schwein	Mlékojedy	1. Jh. n. Chr.	ältere RKZ
Zoo9A	Schwein	Mlékojedy	1. Jh. n. Chr.	ältere RKZ
Zoo10A	Schwein	Mlékojedy	1. Jh. n. Chr.	ältere RKZ
Zoo11A	Pferd	Mlékojedy	1. Jh. n. Chr.	ältere RKZ
Zoo12A	Pferd	Mlékojedy	1. Jh. n. Chr.	ältere RKZ
Zoo13A	Rind	Mlékojedy	1. Jh. n. Chr.	ältere RKZ
Zoo14A	Schwein	Mlékojedy	1. Jh. n. Chr.	ältere RKZ
Zoo15A	Rind	Mlékojedy	1. Jh. n. Chr.	ältere RKZ
Zoo16A	Hase	Mlékojedy	1. Jh. n. Chr.	ältere RKZ
Zoo17A	Ziege/Schaf	Mlékojedy	1. Jh. n. Chr.	ältere RKZ
Zoo18A	Feldhamster	Mlékojedy	1. Jh. n. Chr.	ältere RKZ
Zoo19A	Feldhamster	Mlékojedy	1. Jh. n. Chr.	ältere RKZ

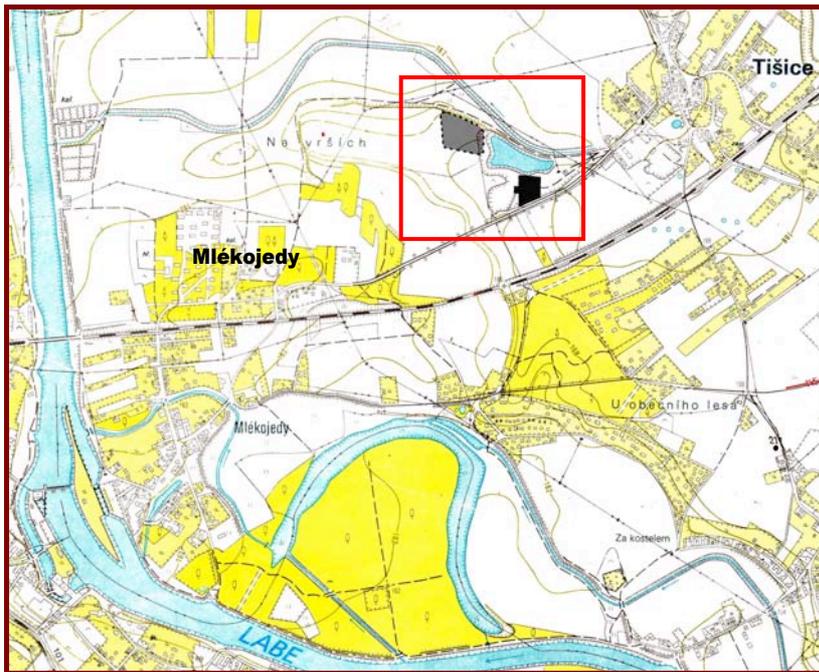


Abbildung 22 Lage der Ausgrabungsstätte von Tišice und Mlékojedy. Da das Grabungsareal auf zwei Flächen aufgeteilt ist (rotes Rechteck) und dazwischen eine Bezirksgrenze verläuft, tragen die Fundstellen verschiedene Bezeichnungen, obwohl sie zum gleichen Grabungskomplex gehören.

Die direkte Umgebung von Mlékojedy und Tišice, von woher sämtliche Tierfunde stammen, liegt im Einzugsbereich der Elbe. Der Uferbereich ist von Überschwemmungen gekennzeichnet und teilweise liegen in der Nachbarschaft abgeschnittene Flussarme. Dadurch ist der Boden vor allem durch das Flusssediment geprägt, aber auch durch carbonathaltige, jüngere Böden aus dem Untergrund. Dies deckt in etwa den Wertebereich zwischen 0,7090 und 0,7100 ab. Entfernt man sich von der Elbe Richtung Nordosten, nähert sich das Gelände den Mittelgebirgen, und das Grundgestein ändert sich in (Bunt-) Sandstein, der wesentlich älter ist und daher erfahrungsgemäß höhere $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte aufweisen sollte als carbonathaltige Böden. Die Ortschaften Beroun, Tišice, Mělník und Poplze-Viničky befinden sich auf Quadersandstein bzw. Pläner, welcher aus der Kreide stammt. Ein Fund (Ao7617) stammt aus der Gegend von Beroun, südwestlich von Prag. Dort befindet sich eine Scholle mit altem Gestein, eine Mischung aus Gneiss und Sandstein, die hohe $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte erwarten lässt.

Alle Informationen zu den Gräbern wurden freundlicherweise von Dr. Vladimír Salač vom Archäologischen Institut der Tschechischen Akademie der Wissenschaften in Prag bereitgestellt. Die anthropologische Bestimmung stammt von Petra Stránská (Archäolog. Institut der Tschech. Akademie der Wissenschaften in Prag).

3 METHODEN

Sämtliche verwendeten Chemikalien, Geräte, Laborwaren und Software sind in Anhang 8.1 (Tabelle 48 und Tabelle 49) gesondert aufgeführt.

3.1 ANALYSE DER STABILEN STRONTIUMISOTOPE ($^{87}\text{SR}/^{86}\text{SR}$)

3.1.1 Vorbereitung der Proben für die Säulentrennung (Zahnschmelz)

Die Aufreinigung der Proben erfolgte nach folgendem Schema für Spurenelemente (nach Grupe 1992):

1. Die Zähne wurden im Ultraschallbad in einem Becherglas gefüllt mit Aqua deion. bei 35kHz gewaschen. Das Wasser wurde dabei sooft gewechselt, bis das Wasser klar blieb. Die Proben wurden zum Trocknen auf ein Vlies gelegt (zwei bis drei Tage).
2. Der Zahnschmelz wurde mechanisch vom Dentin mit einem Metallmörser getrennt.
3. Der Zahnschmelz wurde mit konzentrierter HCOOH zweimal für fünf Minuten in einem Becherglas im Ultraschallbad bei 35kHz angeätzt. Das Anätzen mit einer starken, ungepufferten Säure ist notwendig, um Kontaminationen durch Karbonate und diagenetisch verändertem Material zu entfernen, das sich an der Oberfläche angelagert haben könnte (Price et al. 1992). Dann wurden die Proben mit Aqua deion. gespült, bis sie einen pH-Wert von 5,5 erreichten, um leicht lösliche Rekristallisationsprodukte zu entfernen.
4. Nun erfolgte die Veraschung der organischen Matrix in einem Muffelofen bei 500°C für 12 Stunden. Dadurch wird die organische Fraktion (Kollagene und nicht-kollagene Proteine) aus den Proben entfernt.
5. Von den so gereinigten Proben wurden jeweils 15-30 (max. 50) mg mit der Feinwaage in 3mL Teflongefäße abgewogen.

6. Für die Lösung in Säure wurde zu den Proben ca. 1mL konzentrierte HNO_3 (Supra-Qualität) pipettiert. Die Teflongefäße wurden dann fest verschlossen bei 120°C für ca. 24h auf eine säureresistente Heizplatte gestellt.
7. Die Säure wurde anschließend auf der Heizplatte im Abzug bei 120°C abgeraucht.
8. Die Proben wurden jeweils in 1mL 6,5N HNO_3 (Ultra-Qualität) aufgenommen und waren so fertig für die Säulentrennung.
9. Zur Überprüfung der Probenaufbereitung wurde ein Knochenstandard (National Bureau of Standards and Technology/USA NBS 1400 bone ash) derselben Prozedur unterzogen wie die zu untersuchenden Proben. Dieser wurde zunächst bei 50°C im Trockenschrank erwärmt, anschließend für zehn Minuten geschüttelt und davon etwa 20 bis 30mg in Teflonbecher eingewogen und aufgeschlossen.

3.1.2 Bodenproben und Schneckenhaus

Eine Möglichkeit, um einen besseren Eindruck von der lokalen Isotopie zu bekommen, ist neben der Verwendung von kleinräumig lebenden Säugern die Messung von Bodenproben. Leider standen keine Faunenüberreste zur Verfügung, aber glücklicherweise wurde aus jedem Grab eine Sedimentprobe entnommen. Im Grab 234 wurde ein Schneckenhaus im Grabkontext gefunden. Dieses wurde untersucht und die zugehörige Bodenprobe ebenfalls. Zusätzlich wurden neun weitere Bodenproben aus den restlichen ausgesucht.

Schweissing und Grupe (2003a) unterzogen Bodenproben aus Neuburg/Donau verschiedenen Leaching-Reihen, um die beste Methode zur Säurelösung von Sedimenten zu erhalten.

Sie testeten HClO , HCOOH , HNO_3 , HCl und schließlich noch HF (alle konzentriert). HF löst auch die Silikate aus dem Boden (Horn et al. 1994). Schweissing und Grupe (2003a) konnten keinen signifikanten Unterschied zwischen den mit verschiedenen Säuren behandelten Proben feststellen, die größte Abweichung betrug 0,000034. Daher wurde auf die restlichen Säuren verzichtet und die Proben lediglich in HNO_3 und HCl gelöst.

Deshalb wurde je Probe 1g zuerst in ca. 5mL konzentrierter HCl (Supra-Qualität) gelöst, 24h auf der Heizplatte bei 120°C belassen und anschließend auf der Heizplatte bei

100°C abgeraucht. Die Proben wurden danach in ca. 5mL konzentrierter HNO₃ (Supra-Qualität) gelöst, 24h auf der Heizplatte bei 120°C belassen und anschließend wiederum abgeraucht. Für die Säulentrennung wurden die Proben in 2mL 6,5N HNO₃ (Ultra-Qualität) gelöst.

Vom Schneckenhaus wurden zwei Stücke von etwa 20mg abgetrennt. Je eines wurde in 2mL 6N bzw. 1N HCl** (Supra-Qualität) gelöst, für 24h auf die Heizplatte bei 120°C gestellt, dann abgeraucht und für die Säulentrennung in 2mL 6,5N HNO₃*** (Ultra-Qualität) gelöst.

3.1.3 Säulentrennung

Die Säulentrennung dient der Aufreinigung von Strontium aus den Proben und zur Abtrennung störender Elemente, insbesondere von Rubidium (Rb), aber auch Barium (Ba), Kalzium (Ca) und Blei (Pb). Bei ⁸⁷Rb und ⁸⁷Sr handelt es sich um Isobare, also Atome unterschiedlicher Elemente mit identischer Masse, die in einem Massenspektrometer, das nach Masse trennt, nicht voneinander unterscheidbar sind. Die Trennung der nach der Extraktion der anorganischen Matrix des Zahnschmelzes erhaltenen Elemente erfolgt mittels Extraktionschromatographie, durch eine nach Pin et al. (2003) modifizierte Methode. Die Eluierung der unterschiedlichen Elemente wird durch eine Änderung des pH-Wertes der mobilen Phase erzielt. Diese werden bedingt durch die divergierenden Säurestärken aus ihrer Verbindung zum Kunstharz verdrängt. In Hinblick auf die Trennung der Isobaren liegt der Vorteil der hier verwendeten Säulentrennung darin, dass Rubidium an das eingesetzte Kunstharz nicht bindet und gleich zu Beginn entfernt wird.

Die verwendeten Säulen wurden aus einem Schrumpfschlauch hergestellt. In die fertige Säulenfritte wurde ein Filter eingesetzt, der vor allem dazu diente, das Kunstharz (Sr-spec resin) einfüllen zu können, ohne dass dieses wieder herausläuft. Gleichzeitig musste der Filter feinporig genug sein, so dass kein Harzmaterial hindurch passt, sowie groß genug, um durchlässig für die Probe zu sein.

Zunächst wurden die Säulen für die Säulentrennung vorbereitet. Dazu wurden diese mit H₂O** befüllt, um ihre Durchlässigkeit zu überprüfen. Schließlich wurde das Säulenmaterial (Sr-spec resin) in die Säule pipettiert. Sobald sich das Material gesetzt hatte, wurden die Säulen mit ca. 1000µl 6,5N HNO₃*** gewaschen, um möglicherweise

vorhandene Verunreinigungen durch Spurenelemente zu entfernen. Anschließend wurde das Material mit 6N HCl^{***} (ca. 1000µl) behandelt, um enthaltenes Blei zu beseitigen. Darauf folgte ein weiterer Waschschriff mit H₂O^{***}. Nun wurden die Säulen mit 100µl 6,5N HNO₃^{***} konditioniert, dem Laufmedium. Nach dem Durchlauf wurde von jeder Probe auf je eine Säule 300µl aufgetragen. Es folgte ein schrittweises Auftragen von 700µL 6,5N HNO₃^{***}, um die Probe in die Säule einzuspülen, während die Sr²⁺-Ionen an das Kationenaustauscherharz binden, während Rubidium ausgewaschen wird. Das aufgereinigte Strontium wurde mit 300µl 0,005N HNO₃^{***} eluiert und in Teflonbechern aufgefangen. Die Säure wurde anschließend unter einem säurefesten Laborabzug auf einer Heizplatte verdampft.

3.1.4 Laden und Messen der Proben am Feststoffmassenspektrometer

Das Massenspektrometer dient zur Bestimmung der vorhandenen Isotope in einer Probe und der Feststellung in welchem Mengenverhältnis sie vorliegen. Die Isotope werden dabei durch ihr unterschiedliches Verhältnis von Masse zu Ladung und deren Bewegung im magnetischen und elektrischen Feld voneinander getrennt und durch elektrische Methoden detektiert (Faure 1986). Prinzipiell besteht ein Massenspektrometer aus vier Grundeinheiten: dem Inlet-System (bei Gas-Messungen; wie zum Beispiel bei der Ermittlung der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte), der Ionenquelle, dem Massen-Analysator und dem Ionendetektor. In dieser Arbeit wurden die Proben an einem Feststoffmassenspektrometer der Firma Finnigan mit fixem Multikollektor MAT 261 (MC-TIMS) gemessen.

Die schweren Isotope müssen als feste Stoffe direkt von einem aufgeheizten Filament in einem Feststoffmassenspektrometer gemessen werden.

MC-TIMS liefern Isotopenmessungen mit höchst möglicher Messsensitivität und -präzision. Deswegen werden diese Geräte auch zur Bestimmung von Atomgewichten herangezogen. Der relative Messfehler liegt bei MC-TIMS im Bereich von 10^{-5} , also im fünften Nachkommabereich. Diese Werte sind geringer als die relative natürliche Variabilität der Isotopenverhältnisse.

Bei der Doppelfilamenttechnik wird die Probe auf dem Evaporationsfilament kontinuierlich bei relativ niedrigen Temperaturen verdampft, während das dazugehörige Ionisierungsfilament auf wesentlich höheren Temperaturen geheizt wird und so die

hochenergetische Ionisierungsarbeit leistet. Bei der Singlefilamenttechnik, die hier angewendet wurde, wird direkt das Probenfilament auf hohe Temperaturen geheizt. Die Birk'sche Lösung, die als Grundlage auf die Bändchen aufgebracht wurde, bewirkt dabei einen konstanten Teilchenstrom. Die entstandenen Sr^{2+} -Ionen werden durch eine angelegte elektrische Spannung (bis zu 10kV) in Richtung eines Spaltes beschleunigt (Hoefs 2004). Nachdem die Ionen den Spalt mit hoher Geschwindigkeit passiert haben, müssen sie durch das Magnetfeld. Das Ionentrennsystem besteht dabei aus einem einfach fokussierenden magnetischen Feld, das von einem starken Elektromagneten erzeugt wird. Das Magnetfeld zwingt geladene Teilchen auf eine Kreisbahn, deren Radius vom Verhältnis Ladung zu Masse (q/m) abhängt. Dabei fliegen nur Ionen mit dem gleichen Wert für q/m auf der gleichen Kreisbahn (Mortimer 1996), da nur sie die gleiche Ladung und die gleiche Energie besitzen. Die Ablenkung, d.h. der Radius der Ionen, ist dabei direkt proportional zu \sqrt{m} und somit werden schwerere Isotope schwächer abgelenkt als leichtere. Schließlich werden die Ionen in einem variabel oder fest konfigurierten Auffangsystem gezählt, das mit fünf Faraday Cups (=Faraday Käfige) ausgestattet ist. Diese sind über hochohmige Widerstände (10^{10} bis 10^{12} Ohm) auf Masse gelegt und registrieren positive Ionen. Treffen die Kationen auf dem Cup auf, dann werden sie dort neutralisiert. Das entstehende Elektronendefizit, sorgt für einen Stromfluss von 10^{-13} bis 10^{-14} Ampere. Dieser Spannungsunterschied wird durch einen Gleichstromverstärker verstärkt, an ein computergestütztes Registrierungssystem weitergeleitet und schließlich in analoge Signale umgewandelt. Die vom Detektor gemessene Intensität des Ionenstrahls ist dabei direkt proportional zur relativen Menge des zugehörigen Isotops in der Probe, d.h. je stärker das Signal einer Masse, desto häufiger ist das Isotop in der Probe enthalten. Die Ionenerzeugung, Massentrennung und Detektierung müssen im Hochvakuum erfolgen. Das Vakuum im Analysatorsystem liegt ca. bei 1×10^{-9} bar und das an der Ionenquelle bei 2×10^{-7} und 4×10^{-8} bar (Hoefs 2004).

3.1.5 Qualitätskriterien für die Strontiumisotopenanalysen aus Wenigumstadt

Für die Qualitätskontrolle bei der Strontiumisotopenanalytik gibt es mehrere notwendige Schritte. Für die Absicherung des Aufschlussweges wird parallel zu den eigentlichen Proben immer ein Standard (SRM 1400) mitgeführt, um mögliche Fehlerquellen

während des Probenaufschlusses und der Säulentrennung zu kontrollieren. Bei dem Standard NBS 1400 handelt es sich um Knochenmehl, das gut homogenisiert wurde. Er wird vom National Institut of Standards & Technology (NIST) hergestellt, unter der Bezeichnung „Standard Reference Material 1400“ für Spurenelementanalysen vertrieben. Die Konzentrationen verschiedener Spurenelemente ist bekannt, die Isotopie nicht. Strontium ist in einer Konzentration von $249 \pm 7 \mu\text{g/g}$ enthalten (Reed 1992). Für die Kontrolle der Messung dient der laborinterne Vergleich.

Der nächste Kontrollschritt erfolgt während der Messung selbst. In jedem Magazin, das 13 Messplätze zur Verfügung hat, wird grundsätzlich ein Standard (SRM 987) mitgemessen. Dadurch werden die Einstellungen am Massenspektrometer überprüft um auszuschließen, dass durch falsche Kalibrierungen das Messergebnis verfälscht werden kann. Auch dieser Standard stammt vom NIST und ist als Strontium Carbonate für Strontiumisotopenanalysen ausgewiesen (Wise und Watters 2007). Die Isotopien fallen wie folgt aus:

$$^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 8,37861 \pm 0,00325$$

$$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,71034 \pm 0,00026$$

$$^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,05655 \pm 0,00014$$

Die dritte Kontrolle erfolgt während der Messung. Ein Messergebnis setzt sich insgesamt aus 33 Einzelmessungen zusammen, die in 3 Blocks gemessen werden. Für jeden Block wird zunächst separat der Messfehler und die Standardabweichung berechnet. Fällt eine Einzelmessung extrem heraus, wird sie ausgeschlossen. Daher ist es möglich, dass weniger als 33 Einzelmessungen in das Messergebnis einfließen. Die Einzelmessungen werden am Ende zusammengefasst und so ergeben sich eine Standardabweichung (SD), ein Standardfehler (SE) und ein Standardfehler in Prozent (SE%) für die Gesamtmessung. Der Standardfehler in Prozent sollte unter 0,005 liegen, was in etwa einer Abweichung von 50ppm entspricht. Bis 0,01 können die Daten verwendet werden, darüber müssen sie aber verworfen werden.

3.2 ANALYSE STABILER ISOTOPE LEICHTER ELEMENTE (C, O) AUS APATIT

3.2.1 Probenvorbereitung

Vor Beginn der Extraktion wurden die Proben einer Reinigung unterzogen. Grobe Verschmutzungen durch Erde wurden zunächst mit Hilfe einer Bürste unter fließendem Wasser mechanisch von den Knochenstücken bzw. Zähnen entfernt. Anschließend wurden die jeweiligen Proben in einem Becherglas mit deionisiertem Wasser im Ultraschallbad solange gereinigt, bis keine sichtbaren Schmutzpartikel mehr herausgelöst wurden. Das Wasser wurde alle fünf Minuten ausgewechselt. Es folgte eine Trocknungszeit von etwa zwei bis drei Tagen bei Raumtemperatur auf Vlies, nach der das Material mit Hilfe von Mörser und Pistill zu Mehl zermahlen wurde.

Sämtliche für die Extraktionen verwendeten Glaswaren und Teflongefäße wurden in einem Säurebad gereinigt. Dazu wurden sie für vier Stunden mit konzentrierter HNO_3 ausgedampft, anschließend kurz mit Aqua deion. gespült und für weitere vier Stunden mit diesem ausgedampft. Nicht-säureresistente Gefäße aus Polyethylen und Pipetten wurden mittels 0,2% HNO_3 (erhitzt auf 60°C) in einem Ultraschallbad 45min lang gereinigt und für sechs Stunden in der Säure belassen. Danach wurde mehrfach mit Aqua deion. gespült. Nach der Reinigung wurden alle Gerätschaften bei 50°C getrocknet.

3.2.2 Extraktion des Apatits aus Knochen und Zahnschmelz

Die Methode zur Extraktion von biologischem Apatit beruht auf einer von Lee-Thorp et al. (1989) beschriebenen Methode. Um den anorganischen Anteil aus Knochen bzw. Zahnschmelz zu extrahieren, wird zunächst durch Zugabe einer starken Lauge die organische Fraktion abgetrennt. Durch Zugabe einer schwachen Säure sollen sekundäre, diagenetisch adsorbierte Karbonate entfernt werden, welche die Messung im Massenspektrometer durch abweichende Isotopensignaturen verfälschen könnten.

EXTRAKTIONSPROTOKOLL

Mit Hilfe einer Feinwaage wurden von jeder Probe etwa 100mg des Probenmehls in Teflonröhrchen eingewogen. Die Proben wurden mit 5mL 4% NaOCl-Lösung versetzt, mittels Vortex-Mixer kurz durchmischt und anschließend auf einem Schüttler inkubiert. Die Behandlung mit NaOCl führte zur Oxidation der organischen Fraktion, die sich unter Gasbildung herauslöste. Bei starker Gasbildung musste die NaOCl-Lösung ausgetauscht werden. Dazu wurden die Proben fünf Minuten bei 5000rpm zentrifugiert, der Überstand abgesaugt und die Pellets in frisch zugegebener Natriumhypochlorit-Lösung resuspendiert. Dies wurde so oft wiederholt, bis keine Gasentwicklung mehr zu beobachten war.

Danach wurde die NaOCl-Lösung abgesaugt und verworfen. Die Probenpellets wurden mehrfach mit Aqua deion. gewaschen, bis sie einen pH-Wert von 5,5 erreicht haben.

Anschließend wurden die Proben jeweils mit 5mL 1M Ca-Acetat-Essigsäure-Puffer (pH 4,75) versetzt, gemischt und für einen halben Tag auf den Schüttler gestellt. Durch die leichte Säure wurde adsorbiertes Karbonat entfernt, um ausschließlich das strukturelle Karbonat zu erhalten. Danach folgte erneutes Waschen bis zur Neutralität. Anschließend wurden die Proben in Rollrandgläschen lyophilisiert.

Nach einigen Tagen wurde das erhaltene Apatitpulver als Ausbeute abgewogen, in Eppendorfgefäße transferiert und mit geöffnetem Deckel bei 50°C mehrere Stunden im Trockenschrank getrocknet, wodurch störender Hintergrund durch Wasser bei der Massenspektrometrie verringert werden sollte.

3.2.3 Massenspektrometrie

Isotope leichter Elemente werden in einem Gasquellen-IRMS (isotope ratio mass spectrometer) gemessen, mit einem relativen Messfehler von 10^{-2} .

Für die Messung wird zunächst eine geringe Menge an Probe durch Verdampfen in einen gasförmigen Zustand überführt. Die Probe oder ein Standard-Referenz-Gas (z.B. H_2 , CO_2 oder N_2) wird unter Hochvakuum in eine ionisierende Faser eingebracht, wodurch ein positiv geladener Ionenstrahl erzeugt wird.

Das Prinzip der Isotopentrennung folgt der Beschreibung unter 3.1.4.

Dabei wird die Relation von schwerem zu leichtem Isotop in der δ -Notation, gemessen in Promille, nach folgender Regel ausgedrückt:

$$\delta = \frac{(\delta_{\text{Probe}} - \delta_{\text{Standard}})}{\delta_{\text{Standard}}} \times 1000 \text{ [‰]}$$

Dabei gilt: je positiver ein Wert, desto stärker ist die untersuchte Probe mit dem jeweils schwereren Isotop angereichert. Der Standard hierfür ist der V-PDB. Die Messung der Isotopensignaturen von Karbonat erfolgte am Institut für Geologie und Mineralogie der Universität Erlangen-Nürnberg durch Prof. Dr. M. Joachimski.

3.2.4 Umrechnung der Karbonatdaten (V-PDB) in Phosphatwerte (V-SMOW)

Sauerstoff kann an drei verschiedenen Positionen im Hydroxylapatit $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$ sitzen: in den Phosphationen (PO_3^{4-}), in den Karbonatgruppen (CO_3^{2-}) und den Hydroxylionen (OH). Karbonatgruppen können anstelle von Hydroxyl- wie auch für Phosphatgruppen eingebaut werden (LeGeros und LeGeros 1984; Le Geros 1981). Und obwohl $^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ und $^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ aus dem Zahnschmelz stark korrelieren ($r_2 = 0,98$; Bryant et al. 1996; Iacumin et al. 1996a), stützen sich die meisten Studien auf die Sauerstoffisotopenzusammensetzung aus dem Phosphat, aufgrund der Annahme, dass die P-O-Bindungen stärker sind als die C-O-Bindungen. Dies zeigen schon die aufwendigeren und schärferen Aufschlussmethoden um eine adäquate Menge Sauerstoff in Form von CO_2 für die massenspektrometrische Messung freizusetzen (Stuart-Williams und Schwarcz 1995). Einige theoretische sowie empirische Studien zeigen, dass Sauerstoff aus der Phosphatfraktion aus Knochen weniger anfällig für diagenetische Prozesse ist, als derjenige aus der Karbonatfraktion (Lee-Thorp und van der Merwe 1991; Wang und Cerling 1994). Die schwächere Bindung des Karbonats im Kristallgitter, kann leicht substituiert werden. Je mehr CaCO_3 (als Kristall und gelöst als HCO_3^-) im Umgebungsmilieu vorhanden ist, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit einer Substitution mit entsprechenden CO_3^{2-} -Ionen.

Andere Studien zeigen die Verlässlichkeit von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ aus Zahnschmelz, da dieser sehr viel dichter und kristalliner aufgebaut ist als Knochen und weniger organische Matrix enthält (Lee-Thorp und van der Merwe 1987; Lee-Thorp und van der Merwe 1991; Wright und Schwarcz 1998).

Nach anfänglichen Zweifeln, dass die aufgestellten Theorien über den Einfluss von klimatischen und ökologischen Bedingungen auf die Sauerstoffisotopien auch für die Karbonatfraktion gelten und nicht nur für die Phosphatfraktion, für die sie formuliert wurden, konnten mehrere Studien (Iacumin et al. 1996a; Koch et al. 1989; Land et al. 1980) diesen Bezug herstellen. Sie zeigten, dass $\delta^{18}\text{O}$ aus modernem Knochenkarbonat stark mit Längengrad und relativer atmosphärischer Humidität korreliert, bzw. Unterschiede innerhalb eines Zahnes auf saisonale $\delta^{18}\text{O}$ -Schwankungen der Trinkwasserquelle zurückzuführen sind. Diese Schwankungen lassen sich dadurch glätten, indem man den gesamten Zahnschmelz zur Analyse verwendet und somit

einen Durchschnittswert erlangt, der dem des Gesamtjahresdurchschnittes entspricht (Stephan 1999).

Die Schwierigkeit besteht nun darin, dass man $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aus Karbonat und Phosphat nicht direkt vergleichen kann. Zum einen werden die Analysen gegen verschiedene Standards gemessen. Im Fall von Karbonat (C, O) ist das V-PDB (Vienna PDB: *Belemnitella americana* aus der kreidezeitlichen PeeDee Formation in South Carolina) und für Phosphat (O) ist das V-SMOW (Vienna SMOW: Standard Mean Ocean Water) (Hoefs 2004). Demzufolge benötigt man eine erste Umrechnung von $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ in $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ (1). Dafür bietet Hoefs (2004) eine Übersicht über die üblichen Standards, ihre festgelegten Werte und Umrechnungsformeln. Coplen et al. (1983) bieten eine alternative Umrechnungsformel (2), die im Schnitt zu 0,15‰ unterschiedlichen Werten führt. Die Formel von Hoefs (2004) ist gebräuchlicher, und somit werden die Daten zwischen den Studien vergleichbarer, deshalb wird diese Formel (1) bevorzugt:

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}} = 1,03728 \times \delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}} + 30,86 \quad (1)$$

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}} = 1,03091 \times \delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}} + 30,91 \quad (2)$$

lacumin et al. (1996a) errechneten einen mittleren Unterschied von ca. 9,2‰ zwischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{P}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{K}}$ (beide gegen V-SMOW), bei Longinelli und Nuti (1973a) sind es 9,0‰. Um nun $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ -Werte aus dem Knochenkarbonat mit Literaturdaten vergleichen zu können, die aus Phosphat gewonnen wurden, errechneten lacumin et al. (1996a) aus empirischen Daten eine Gleichung (3), die Karbonatdaten in Phosphatdaten umrechnet.

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat-SMOW}} = 0,98 \times \delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat-SMOW}} - 8,5 \quad (3)$$

3.2.5 Rekonstruktion der Trinkwasserquelle

Da $\delta^{18}\text{O}$ aufgrund seiner Temperatursensitivität maßgeblich von paläoklimatischen Parametern bestimmt wird, stellt es als so genanntes Paläothermometer einen der wichtigsten Klimaindikatoren dar (Hoefs 2004; Stephan 2000; Tütken 2003; Wiedemann et al. 1999). Die mittlere Lufttemperatur korreliert positiv mit dem

Sauerstoffisotopenverhältnis im Niederschlag (Dansgaard 1964; Rozanski et al. 1992). Deshalb können aus $\delta^{18}\text{O}$ -Werten der Säugerknochen bzw. aus den mittels der Kalibrationsgleichungen ermittelten $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Werten des Trinkwassers für den terrestrischen Bereich entsprechende mittlere Lufttemperaturen bzw. deren Änderung berechnet werden (Fricke et al. 1995; Longinelli 1984; Longinelli und Nuti 1973b; Shemesh et al. 1983; Stephan 1999; Tütken et al. 2004). Dies ermöglicht die Nutzung der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte als Klimaproxy für langfristige Klimaänderungen (Koch et al. 1989; Kohn et al. 1998).

Diese Eigenschaft des Sauerstoffes aus Knochenapatit wird als Indikator für die ökologisch definierte Herkunft von Individuen herangezogen, da sich mit dessen Hilfe Migranten identifizieren lassen (Chenery et al. 2010; Daux et al. 2005; Evans et al. 2006; Fricke et al. 1995; Luz et al. 1984). Vorausgesetzt ein Individuum trinkt immer nur lokales Wasser, kann aus der $\delta^{18}\text{O}$ -Verteilung geschlossen werden, ob es sich zeitlebens an einem Ort aufgehalten oder ob es einen Residenzwechsel vollzogen hat. Sind die lokalen Sauerstoffisotopen eines Habitats, in dem eine Fundstelle liegt, bekannt, können mit Hilfe der ermittelten $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aus dem Apatit eingewanderte, ortsfremde Individuen identifiziert werden. Unter Umständen lassen sich sogar mögliche ökologische Herkunftshabitate eingrenzen.

Innerhalb von Kontrollgruppen, deren Werte den lokalen Bereich repräsentieren sollten, variierten die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte um 1‰ zwischen den einzelnen Individuen (Longinelli 1984 für Tiere; Prowse et al. 2007; White et al. 1998; White et al. 2000).

Einige Studien (Ayliffe et al. 1992 (Elefanten); D'Angela und Longinelli 1990 (Rinder); Iacumin et al. 1996a (Menschen, Wild); Longinelli 1984 (Menschen, Schweine, Ratten); Stephan 1999 (Rehe, Schafe/ Ziegen); Yoshida und Miyasaki 1991 (Wale)) beschäftigten sich damit, für verschiedene Tierarten speziesspezifisch den linearen Zusammenhang von $\delta^{18}\text{O}_{\text{KW}}$ und $\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$ zu kalibrieren. Bryant und Froelich (1995) vertreten eher die Meinung, dass die Kalibrationsgeraden nicht tierartenspezifisch sind, sondern sie eher Gruppen von Individuen gleicher Körpergröße bzw. Körpermasse beschreiben.

Longinelli (1984) stellte eine solche Gleichung (4) für Menschen anhand empirischer moderner Daten auf, wodurch $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aus Knochenphosphat vs. V-SMOW in $\delta^{18}\text{O}$ des konsumierten meteorischen Wassers umgerechnet werden können (5).

$$\delta^{18}O_{\text{Phosphat}} = \delta^{18}O_{\text{mw}} \times 0,64 + 22,37 \quad (4)$$

umgewandelt:

$$\delta^{18}O_{\text{mw}} = \frac{\delta^{18}O_{\text{Phosphat}} - 22,37}{0,64} \quad (5)$$

Die Beziehung der Sauerstoffisotopie zum meteorischen Wasser folgt einer Funktion nach dem Muster $\alpha + \beta$, wobei α die Steigung ist von $\delta^{18}O_{\text{KW}}/\delta^{18}O_{\text{MW}}$ und normalerweise ≤ 1 (bei Longinelli 1984 = 0,64). β ist dabei ein Offset von $\delta^{18}O_{\text{KW}}$ zu $\delta^{18}O_{\text{MW}}$, bedingt durch Anreicherung von ^{18}O durch Evaporationsverlust von Wasser und der Verstoffwechselung von atmosphärischem O_2 ($\delta^{18}O_{\text{O}_2} = 23,5\text{‰}$) (White et al. 1998).

Da große Landwirbeltiere geringere Stoffwechselraten (geringere Raten von konsumierter Nahrung : Körpermasse) haben als kleine Tiere, wird α größer (~ 1) (Bryant und Froelich 1995; Kohn 1996; Kohn et al. 1996). White et al. (1998) sehen im Menschen ein größeres Landsäugetier und fordern wie Luz et al. (1984) einen Faktor näher an 1, zum Beispiel 0,78. Bryant und Froelich (1995) kombinierten verschiedene Berechnungen (Levinson et al. 1987; Longinelli 1984; Luz et al. 1984) zu einem $\alpha = 0,51$. Dabei steigt $\delta^{18}O_{\text{KW}}$ um ungefähr 1‰ bei einem Anstieg von 2‰ in $\delta^{18}O_{\text{MW}}$.

Eine alternative Berechnung bieten Daux et al. (2008). Diese Autoren untersuchten selbst $\delta^{18}O_{\text{Phosphat}}$ aus menschlichen Zähnen und stellten für ihre Daten eine Kalibrierungsgerade (6) auf. Sie betonen, dass diese Gleichung für Menschen gilt, die ähnliche Ernährungsgewohnheiten hatten wie heute (20-30% Fleisch-Fisch, 30-40% Gemüse und Früchte, 30-50% Getreide-Hülsenfrüchte).

$$\delta^{18}O_{\text{mw}} = 1,73 \times \delta^{18}O_{\text{Phosphat}} - 37,25 \quad (6)$$

Des weiteren berechneten Daux et al. (2008) mit einer Kovarianzanalyse, dass sich die Modelle von Longinelli (1984), Luz et al. (1984; Knochen), Levinson et al. (1987; Zahnschmelz) und ihr eigenes auf einem Signifikanzniveau von 0,01 nicht unterscheiden. Daher kombinierten sie die Messdaten dieser vier Studien und berechneten eine neue Kalibrationsgerade (7), die sich dadurch auf mehr empirische

Datensätze bezieht als die vorangegangenen und die Daten aus Zahnschmelz (M1, M2) und Knochen beinhaltet (Abbildung 23).

$$\delta^{18}O_{mw} = 1,54(\pm 0,09) \times \delta^{18}O_{Phosphat} - 33,72(\pm 1,51) \quad (7)$$

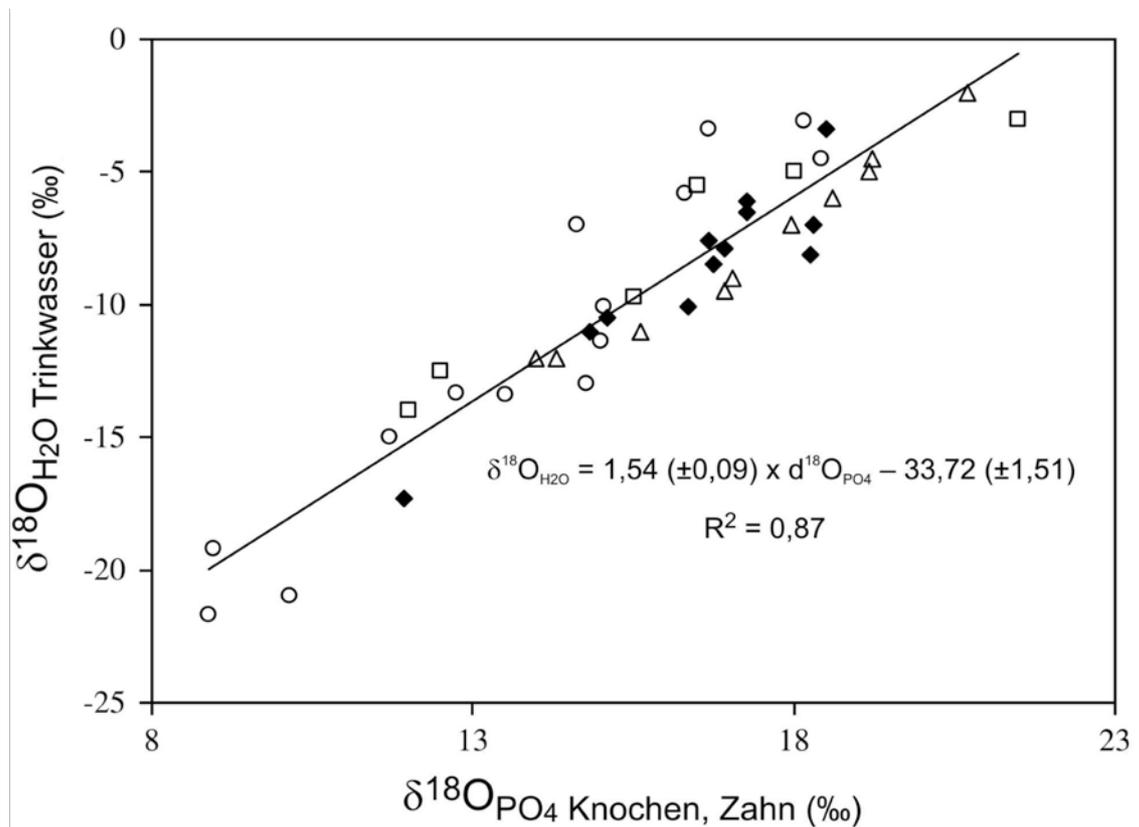


Abbildung 23 Lineare Regression zwischen der Sauerstoffisotopie des Trinkwassers ($\delta^{18}O_{MW}$) und dem Phosphat des Apatits ($\delta^{18}O_{PO_4}$) moderner Menschen nach Daux u. a. (2008). Die Regression basiert auf einer Verknüpfung verschiedener für den Menschen vorliegenden Datensätzen: schwarze Rauten (Daux et al. 2008), offene Dreiecke (Longinelli 1984), offene Kreise (Levinson et al. 1987) und offene Quadrate (Luz et al. 1984).

Die so erhaltenen $\delta^{18}O_{MW}$ -Werte (in V-SMOW) (nach Gleichung 5 bzw. 7) können nun mit modernen Niederschlagswerten verglichen werden, wie sie zum Beispiel durch den OIPC (Online Isotopes in Precipitation Calculator; Bowen 2010; Bowen und Revenaugh 2003; Bowen et al. 2005) errechnet werden.

3.3 VALIDIERUNGSMETHODEN

Wie bereits in Kapitel 1.9 dargelegt, kann die Validität der Isotopendaten aus Knochen nicht direkt überprüft werden. Aus diesem Grund muss eine histologische Qualitätssicherung vorgenommen werden. Fabig und Herrmann (2002) konnten zeigen, dass der histologische Erhaltungsgrad und die Isotopenkonzentration positiv miteinander korrelieren.

3.3.1 UV-Fluoreszenz am Knochen

Für die Fluoreszenzanalyse sind am besten Stücke aus dem Femur geeignet, da hier die Kompakta die größte Stärke aufweist. Dazu wurde ein etwa 1 cm dickes Stück aus dem oberen Drittel der anterioren Seite herausgesägt. Zur Vorbereitung mussten die ausgesägten Proben zunächst mit Hilfe einer Tellerschleifmaschine angeschliffen werden, um eventuelle Unebenheiten und Verunreinigungen der Querschnittsflächen zu beseitigen. Danach konnte bereits mit der Beurteilung der Fluoreszenzeigenschaften begonnen werden. Dazu war es zweckmäßig, für die Anfertigung der Bilder einen Fototisch in einem vollständig abdunkelbaren Raum zu verwenden, auf dessen Kamerahalterung eine handelsübliche Digitalkamera mit hochwertiger Farbdarstellung und guten Nachtaufnahmeeigenschaften montiert wurde. Die tragbare UV-Lampe wurde so auf dem Tisch platziert, dass nach Möglichkeit eine senkrechte Bestrahlung der Proben sowie gleichzeitig eine möglichst senkrechte Aufnahme der Bilder gewährleistet war. Jede Probe wurde neben immer denselben, als Positiv- und Negativkontrolle verwendeten, rezenten und archäologischen Femurquerschnitten optisch beurteilt und fotografiert. Angeregt wird mit langwelligem UV-Licht bei 366nm. Die Bearbeitung der gewonnenen Bilder erfolgt mit Hilfe der Software Adobe Photoshop. Entsprechend der Arbeit von Harbeck (2006) wird zur Bewertung und Einteilung der beobachteten Fluoreszenzfarben der Proben ein Index verwendet, ähnlich jenem zur Einschätzung des histologischen Erhaltungsgrades (OHI = Oxford histologischer Index; Hedges et al. 1995). Dieser sieht eine Einteilung in fünf Stufen vor und orientiert sich dabei an der hellblauen Fluoreszenz der Positivkontrolle, welche als

ursprünglich angesehen und somit mit Stufe 5 belegt wird. Stufe 0 dagegen entspricht der völligen Abwesenheit jeglicher beobachtbarer hellblauen Farbe.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Beurteilung auf drei Stufen beschränkt, wobei „3“ dem besten Erhaltungsgrad entspricht, und „1“ dem schlechtesten. Die verwendete Einteilung ist in Tabelle 7 dargestellt. Diese Einteilung ist ausreichend, da lediglich keine oder andersfarbige Fluoreszenz mit einem schlechten Erhaltungszustands der Probe signifikant korreliert (Hoke et al. im Druck).

Tabelle 7 Verwendeter Hellblauindex zur Beurteilung der hellblauen Fluoreszenz des Probenquerschnitts (nach Hoke et al. im Druck)

Index-Wert	Beschreibung	Bewertung
1	Keine hellblaue Fluoreszenz, keine oder andere Fluoreszenz	schlecht
2	Gemischte hellblaue und andere Fluoreszenz	gut
3	Hellblaue Fluoreszenz des gesamten Querschnitts	Sehr gut

PROBENAUSWAHL

Da es für die Apatitextraktion kaum möglich ist, die Qualität zu überprüfen (außer mit sehr aufwendigen Methoden wie FTIR und XDR, s. Kapitel 1.9), sollten insbesondere Knochenproben vor der Extraktion einer Kontrolle unterzogen werden. Hierfür bietet sich die UV-Fluoreszenz als einfache und schnelle Methode an. Für den Vergleich der Sauerstoffisotope aus Knochen und Zahnschmelz sollten 25 Proben (s. Tabelle 8) herangezogen werden. Deren UV-Fluoreszenz sollte nach Möglichkeit untersucht werden, um die Qualität der ausgewählten Knochenproben zu bestimmen.

Vier der ausgewählten Proben waren allerdings Kinder, deren Knochen sehr dünn waren und so die Fluoreszenz nicht zu bestimmen war.

Tabelle 8 Ausgewählte Proben für Apatitextraktion aus Knochen. Proben in kursiv waren Kinder und hatten keine Oberschenkelknochen.

WU 3	WU 39	WU 84	WU 121B	<i>WU 186</i>
WU 8	WU 48	WU 102	WU 140	WU 198
WU 17	WU 52	WU 106	WU 166	WU 201A
<i>WU 28</i>	WU 76B	WU 111	<i>WU 174</i>	WU 216
WU 38	WU 78	WU 121A	<i>WU 177</i>	WU 242

3.3.2 Bodenqualität

Die Bodenkunde, oder Pedologie (griech. pédon = Boden) befasst sich hauptsächlich mit der Bodenvielfalt und seiner Verteilung, wobei fünf Faktoren für die Charakterisierung entscheidend sind: Ausgangsmaterial, Klima, Topographie, Organismen und Zeit. Die reinen Landvermesser benötigen für die Kartierung vor allem die Beschreibung und Klassifizierung des Bodens (Fitzpatrick 2008). Für diese Charakterisierung gibt es nationale und internationale Bodenklassifizierungssysteme. Diese Klassifizierung dient auch dazu, die Qualität von Böden zu beurteilen. In der Landwirtschaft wird so der mögliche Ertrag von Ackerböden vorhergesagt, um Quadratmeterpreise und Steuersätze festzulegen. Andererseits sagen diese Bodeneigenschaften aber auch etwas darüber aus, wie aktiv ein Boden ist, also wie stark mit einer diagenetischen Veränderung des Skelettmaterials zu rechnen ist.

Edmond Locard formulierte 1910 das Prinzip, wonach bei jeder Berührung zweier Objekte ein Austausch von Stoffen stattfindet, der nicht nur in eine Richtung verläuft, sondern dass sich immer auf allen beteiligten Komponenten Spuren der jeweils anderen wiederfinden. Dieses Prinzip wird heute die „Locard'sche Regel“ genannt, die eine der wichtigsten in der modernen Forensik und Spurenkunde ist (Fitzpatrick 2008).

Die hier verwendeten Sedimentproben stammen aus einer Unterbodenschicht. Diese kann im Gegensatz zu einer Oberbodenschicht nur durch tiefes Graben erreicht werden. Die oberste Schicht des Bodens ist heute zumeist durch anthropogenen Einfluss, wie Pflüge, Straßenarbeiten oder Dünger verändert. Die unteren Schichten jedoch sind größtenteils vor diesen Eingriffen geschützt.

Zur Charakterisierung der Bodenproben aus Wenigumstadt werden die Farbe, der pH-Wert, die Konsistenz und Textur beurteilt, sowie der Gehalt an Segregations- und Schlufffragmenten beurteilt (Zusammenstellung nach Hoke (unveröffentlichtes Material), modifiziert nach Fitzpatrick 2008).

FARBE

Die Farbe sollte an trockenen und feuchten Proben anhand der „Munsell Bodenfarbentabelle“ beurteilt werden. Die Bodenfarbe liefert einen Anhaltspunkt für den Redoxstatus, da sie mit der Durchlüftung und dem Organikgehalt korreliert. Dabei werden drei Parameter verwendet: Hue (Farbton), Value (Helligkeit) und Chroma (Intensität). Rote bis gelbe Farben zeigen oxidierende Bedingungen an, während dunkles Grau und blaue

Farbschattierungen reduzierende und wassergesättigte Böden offenbaren. Der Eisenoxidgehalt kann die Bodenchemie beeinflussen, z.B. steigt die Phosphatadsorption von roten zu gelben Böden an.

KONSISTENZ

Die Bodenkonsistenz ist ein Maß für die Festigkeit und Bindigkeit eines Bodens. Diese kann schlicht durch Zerreiben und Zerdrücken in der Hand untersucht und durch den benötigten Kraftaufwand bestimmt werden. Die möglichen Formen sind locker, weich, fest, sehr hart und rigide. Die Konsistenz eines Bodens hat Auswirkungen auf seine Wasserdurchlässigkeit und die Wurzelpermeabilität (s. Anhang 8.2, Tabelle 50).

TEXTUR

Die Bodentextur gibt den Gehalt an Sand (2-0,02mm), Silt (0,02-0,002mm) und Lehm (<0,002mm) in Boden an. Durch folgende Prozedur kann die Textur bestimmt werden:

Man nehme eine Bodenprobe, die gut in die Handfläche passt, ohne Kies oder Steine, und feuchte sie langsam an, bis sie an den Fingern klebt aber nicht zu breiig ist. Dies ist die normale Wasserkapazität des Bodens. Der Klumpen wird solange befeuchtet, während man ihn knetet, bis er sich nicht mehr verändert. Dann versucht man kontinuierlich zwischen Daumen und Zeigefinger ein Band zu formen, bis es abreißt.

Das Verhalten der Probe beim Bearbeiten und die Länge des produzierten Bandes charakterisieren zehn Texturgrade (s. Anhang 8.2, Tabelle 51) des Bodens. Daraus lässt sich auf die Wasser- und Nährstoffrückhaltung oder die Versickerkapazität schließen. Grobkörniger Sand hat größere Poren als feinere Böden, weshalb sie typischerweise schneller entwässern und Wasser und Nährstoffe nur unzureichend zurückhalten können. Lehmige Sande halten mehr Wasser und Nährstoffe, während Lehm die höchste Wasserkapazität und Nährstoffrückhaltung besitzt.

SEGREGATIONS- UND SCHLUFFFRAGMENTE

Segregationen sind Ansammlungen von mineralischen Partikeln wie Eisenoxiden, Kalziumkarbonaten und Gips. Gips bildet Kristalle aus, die durch ihr Glänzen ins Auge fallen. Ob eine Bodenprobe CaCO_3 enthält, kann durch den sogenannten „fizz test“ ermittelt werden. Dazu wird 1M HCl auf die Probe aufgeträufelt. Falls CaCO_3 vorhanden ist, verursacht die Reaktion zwischen der Säure und dem Bodenkarbonat ein starkes Schäumen.

3.4 STATISTISCHE HILFSMITTEL

In Tabelle 9 sind die in dieser Arbeit verwendeten statistischen Tests aufgeführt. Die Theorie dahinter stammt aus Sachs (1969), Florentz (1974) und Lorenz (1996). Zur Berechnung der Tests wurde die Software PASWStatistics 18.0 verwendet.

Tabelle 9 Übersicht über die anzuwendenden statistischen Tests. Aufgezählt sind Bedingungen, welche die Daten erfüllen müssen, die zu testenden Nullhypothesen und was gezeigt werden soll (Sachs 1969; Florentz 1974; Lorenz 1996).

Test	Bedingung	Nullhypothese H_0	Zu zeigen
t-Test	Bei 2 Gruppen Normalverteilung	„Wahre Mittelwerte gleich“	„im Mittel verschieden“
F-Test (ANOVA)	Bei ≥ 3 Gruppen Metrische Daten, Homogenität, Normalverteilung	„Wahre Mittelwerte gleich“	„im Mittel verschieden“
Wilcoxon- Rangsummen-Test (auch Mann-Whitney-U- Test)	Bei 2 Gruppen Ordinale Daten	„Wahre Verteilungen gleich“	stammen nicht aus derselben Gesamtheit
Kruskal-Wallis-Test	Bei ≥ 3 Gruppen Ordinale Daten	„Wahre Verteilungen gleich“	stammen nicht aus derselben Gesamtheit
Kolmogorov-Smirnov- Anpassungstest (keine Varianzanalyse)	Zwei Zufallsvariablen/ Einstichproben- verteilung	„Die Daten sind normalverteilt“	„nicht normalverteilt“
Levene-Test der Varianzgleichheit (Homoskedastizität)	Zwei oder mehr Gruppen	„Die Varianzen sind gleich“	„mindestens ein Gruppenpaar hat ungleiche Varianzen“
Korrelation nach Pearson	Normalverteilung Messdaten		
Korrelation nach Spearman	Rangkoeffizient		

3.4.1 Isoplot – Geochronologisches Tool zur Bestimmung von internen Grenzwerten

Isoplot/Ex 3.71 wurde als Excel-basiertes Makro entwickelt (Kenneth R. Ludwig, Berkeley Geochronology Center). Ursprünglich dient es in der Geochronologie dazu, Isochrone zu berechnen und darzustellen. Generell kann es zur Darstellung aller radiogenen Isotope verwendet werden, also zum Beispiel auch Thorium, Argon und eben auch Strontium. Das kostenlose Software-Paket kann direkt bei dem Entwickler (kludwig@bgc.org) angefordert werden oder bei SourceForge.net (letzter Zugriff 28.09.2010) direkt heruntergeladen werden.

Der Funktionsumfang Isoplots ist im User Manual (Ludwig 2003) dokumentiert. Für die vorliegende Arbeit ist diese Software von Interesse, da mit ihrer Hilfe die Berechnung und Darstellung von robusten Mittelwerten (evtl. mit gewichteten Fehlern) von Strontiumverhältnissen komfortabel in einem EXCEL Dokument durchgeführt werden kann. Zusätzlich zum Mittelwert werden Grenzwerte aus den Daten berechnet, die dazu dienen den lokalen Wertebereich einzugrenzen. Dies ist ein „interner“ cut-off, da sich die Grenzen aus den Daten selbst berechnen und nicht durch externe Referenzwerte gebildet werden.

Nach Eingabe der gemessenen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Verhältnisse und der zugehörigen Messfehler führt Isoplot einen Test auf „Ausreißer“, genannt „ σ -outlier-Test“, durch. Dabei wird aus allen eingegebenen Daten der Mittelwert (\bar{x}) sowie die dazugehörige Standardabweichung (s) berechnet. Daten die jenseits von $\bar{x} \pm 2s$ liegen, werden als Ausreißer definiert und für die weitere Auswertung nicht weiter berücksichtigt. Dieser Test auf Ausreißer wird viermal hintereinander durchgeführt.

Dies wird „ σ -outlier“-Test genannt, wobei der σ -Testwert (zu Beginn „2“) verwendet wird. Danach steht ein Mittelwert inklusive Standardabweichung zur Verfügung aus einer bestimmten Datenmenge (n_x).

Diese Datenmenge bestimmt die Freiheitsgrade ($n_x - 1$) und den zugehörigen Student T-Faktor auf dem 95%-igen Konfidenzintervall.

Nun besteht die Möglichkeit, diese internen cut-off values unter Umständen noch zu verfeinern, also die Grenzen nicht aus der zweifachen (σ -Testwert), sondern z.B. aus der 1,7-fachen Standardabweichung zu berechnen, sofern der Student-T- 2σ -Fehler nicht größer ist als die Standardabweichung (Ludwig 2003).

Der nächste mögliche Wert für den σ -Ausreißer Test wird über folgende Formel berechnet:

$$\sigma_x = \sigma_{x-1} - \sigma\text{-Fehler}\% \times \text{Student's } T \text{ Faktor}$$

Der einfache σ -Fehler in Prozent berechnet sich wie folgt:

$$\sigma\% = \frac{STABW}{MW} \times 100$$

Der Student T-Faktor wird mit dem einfachen σ -Fehler in % multipliziert und vom ersten σ -Testwert abgezogen. So können neue, interne cut-off values berechnet werden, die noch etwas enger gefasst sind. Dabei muss immer beachtet werden, dass die Grenzen nicht zu eng gesetzt werden und auf eine sinnvolle Berechnung geachtet wird.

Das Ergebnis ist letztendlich ein gewichteter Mittelwert, der auf Daten basiert, die viermal von Ausreißern bereinigt wurden. Es wird also einem bestimmten Datenbereich ein größeres Gewicht zugeordnet als den Randwerten. Gleichzeitig werden die berechneten Mittelwerte miteinander verglichen und auf Homogenität getestet, um die Zugehörigkeit zur selben Grundgesamtheit zu überprüfen.

4 ERGEBNISSE

4.1 WENIGUMSTADT

4.1.1 Ergebnisse der Bodenbeurteilung

Die Einordnung der Bodenart erfolgte nach den Kriterien von Fitzpatrick (2008) (Tabelle 10). Die erste Betrachtung zeigte feine, glänzende Partikel in den Bodenproben. Dies deutet auf die Anwesenheit von Gips (Kalziumsulfat $\text{Ca}(\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) und Silikaten hin.

Die Farbeinordnung ergab Hue 10YR für alle Proben, mit der Variation von 5/4, 6/3 und 6/4. Dies entspricht einem gelb-roten Farbton, mit einem Helligkeitswert von 5 bis 6, und einem Sättigungsgrad von 3 bis 4 (s. Kapitel 3.3.2). Der pH-Wert für alle Proben schwankte zwischen 7,5 und 7,8, liegt also im neutralen bis leicht basischen Bereich, was für gute Knochenhaltung eine optimale Voraussetzung ist.

Tabelle 10 Ergebnisse der Beurteilung der Bodenproben aus dem Gräberfeld Wenigumstadt

Probe	Farbe (trocken)	pH	Konsistenz	Textur	Schluff-fragmente	Fizz-Test
19	10YR 6/4		4	loam		
234	10YR 6/3		4	loam		
111	10YR 6/4		4	sandy clay loam		
118	10YR 6/3		4	sandy clay loam		
166	10YR 5/4	7,5-7,8	4	sandy clay loam	glänzende Partikel, feine Sandkörner	sehr stark schäumend
265	10YR 5/4		4	sandy clay loam	sichtbar	
34	10YR 6/3		4	clay loam		
49	10YR 6/3		4	clay loam		
159	10YR 5/4		4	clay loam		
249	10YR 6/4		4	clay loam		

Bei der Untersuchung der Textur konnten drei Typen beschrieben und vergeben werden. Die Beschreibungen waren wie folgt:

Typ 1) schlammig, leicht schmierig, formbare Kugel, 2-3cm Bänder

Typ 2) weniger schlammig, etwas sandig, gut formbar, 3-5cm Bänder

Typ 3) lehmig, sehr gut formbar, nicht schlammig, nicht sandig, 4-5cm Bänder

Typ 1 entspricht dem Bodentyp „Lehm“ (L), Typ 2 ist „sandiger Lehmtone“ (SCL) und beide fallen in die Bodentypgruppe Lehm. Typ 3 stimmt mit den Eigenschaften für den Bodentyp „Lehmtone“ (CL) (s. Anhang 8.2, Tabelle 51). Diese Bodentypen zeigen keine Einschränkung von Wurzelwachstum und der Boden weist eine mäßige Empfänglichkeit für mechanische Verdichtung auf.

Die Konsistenzprüfung der Proben ergab einen Härtegrad von 4, sprich „sehr hart“. Für das Wurzelwachstum der meisten Pflanzen bedeutet das, dass es eingeschränkt sein kann und auch die Bewässerung kann durch diese Konsistenz beeinträchtigt werden.

Die Zugabe von 1M HCl („fizz-Test“) führte bei allen Proben zu starkem Schäumen, was durch die Anwesenheit von Kalziumkarbonat (CaCO_3) zurückzuführen ist. Da die Reaktion sehr stark ausfiel, dürfte eine hohe Konzentration von CaCO_3 im Boden von Wenigumstadt vorhanden sein.

4.1.2 Makroskopische Fluoreszenzeigenschaften

Die Einteilung der Knochenproben gemäß ihrer Fluoreszenzeigenschaften (s. Abbildung 24) in den Hellblauindex ergibt für 47,6% (n = 10) einen UV-Index-Wert von 3. Diese Proben fluoreszierten einheitlich in Hellblau, bzw. eine Probe in Dunkelblau. Bei 38,1% (n = 8) wurde ein UV-Index-Wert von 2 vergeben. Dies entspricht einer Fluoreszenz von Hellblau mit gelben Arealen. Vollständig gelb bzw. andersfarbig fluoreszierten nur drei Proben (WU 49, WU 78, WU 84) und damit ein Anteil von 14,3% mit einem UV-Index-Wert von 1. Nach den Kriterien von Hoke (2008) kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse der letztgenannten Proben nicht mehr biogenen Verhältnissen entsprechen.

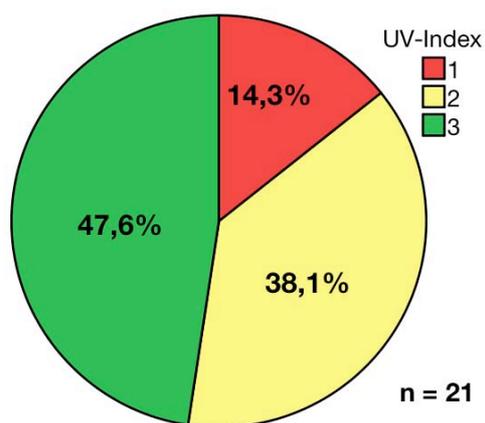


Abbildung 24 Darstellung der Verteilung der UV-Indices. 47,6% zeigten einen Index-Wert von 3 und damit einen eher gutem Erhaltungszustand mit einer Fluoreszenz in Hellblau bis Dunkelblau. 38,1% fluoreszierten hellblau mit gelben Flecken, was einem guten Erhaltungszustand entspricht, während nur 14,3% mit gelber Fluoreszenz als tendenziell schlecht erhalten zu gelten haben.

Tabelle 11 UV-Indices für die einzelnen Proben

Probe	UV	Probe	UV	Probe	UV
WU 3	2	WU 76B	2	WU 121B	3
WU 8	1	WU 78	3	WU 140	2
WU 16	3	WU 84	3	WU 166	3
WU 38	2	WU 102	2	WU 198	1
WU 39	3	WU 106	2	WU 201A	3
WU 48	3	WU 111	1	WU 216	3
WU 52	2	WU 121A	3	WU 242	2

4.1.3 Paläodemographie

Stauch (2004) berechnete basierend auf den Daten von Cipriano-Bechtle et al. (1996) sowie unter der Annahme, dass nur 40% des Gräberfeldes erfasst wurden, etwa 72 im Durchschnitt gleichzeitig lebende Personen in der Siedlung von Wenigumstadt. Stauch geht von einer Gesamtbevölkerung von ca. 770 Personen im Laufe der 400 Jahre aus. Allerdings lässt dies außer Acht, dass zu Anfang natürlich sehr viel weniger Personen bei der Gründung anwesend waren. Da hier davon auszugehen ist, dass so gut wie alle Gräber dieser frühen Phasen erhalten bzw. bekannt sind, bietet es sich an, die Bevölkerungszahl für jede Phase einzeln zu berechnen. Zunächst soll hier auch davon ausgegangen werden, dass das gesamte Gräberfeld erfasst worden ist.

$$P = \frac{(D \times e^0)}{t} \times 1,1$$

D = Gesamtzahl der Skelette

e^0 = Lebenserwartung zum Zeitpunkt der Geburt

t = Belegungszeitraum des Gräberfeldes (Herrmann et al. 1990)

1,1 Faktor um fehlende Gräber auszugleichen

Bei 279 Gräbern, die einer Phase zugeordnet werden können (Tabelle 12), ergibt sich so eine Gesamtbevölkerungszahl von etwa 380 Personen im Laufe der 400 Jahre. In Abbildung 25 ist die Anzahl der Gräber in den einzelnen Phasen dargestellt. Dabei wurden 30 Gräber, die nicht datiert werden konnten, auf die Phasen 9 bis 12 verteilt, da hier scheinbar Lücken zu sehen sind, betrachtet man nur die blau markierten Säulen. Es könnte sich natürlich auch um einen Einbruch in der Bevölkerung handeln, der durch einen verstärkten Zustrom in der WU-Phase 13, also in der ersten Hälfte des 8. Jhdts. wieder aufgehoben wurde. Stauch (2004) ordnet die 30 nicht datierbaren Gräber infolge ihrer Position im Gräberfeld aber in etwa den Phasen 9 bis 12 zu. Inklusive dieser 30 Gräber berechnet sich die Lebendbevölkerung auf ca. 420 Personen, das wären im Schnitt 28 gleichzeitig lebende Einwohner. In Abbildung 26 wird aber auch deutlich, dass von einer „Bevölkerung“ erst ab Phase 7 zu sprechen ist. Die früheren, wenigen Gräber repräsentieren auf keinen Fall eine natürliche Einwohnerschaft eines Ortes. Hier muss mit einem anderen Begräbnisplatz gerechnet werden, oder der Verlust weiterer durch Bebauung

Tabelle 12 Anzahl Bestattungen in den einzelnen Phasen. Summe = 279; 30 Bestattungen können keiner Phase zugeordnet werden. Da es keine Hinweise auf Beigaben gibt, werden sie eher den späteren Phasen zugeordnet. Sie wurden hier so aufgeteilt, um einem hypothetischen linearen Bevölkerungsanstieg Rechnung zu tragen (s. **Abbildung 25**)

Phase	Anzahl in Phase	Anzahl ab Phase	nicht datierbar
SD 1	8		
SD 2	4		
SD 3	6		
SD 4	0		
SD 5	3		
SD 6	3		
SD 7	19		
SD 8	22	1	
SD 9	23		2
WU 10	23	3	5
WU 11	18	3	14
WU 12	22	9	9
WU 13	40	5	
WU 14	27,5	12,5	
WU 15	26	1	
Summe	244,5	34,5	30

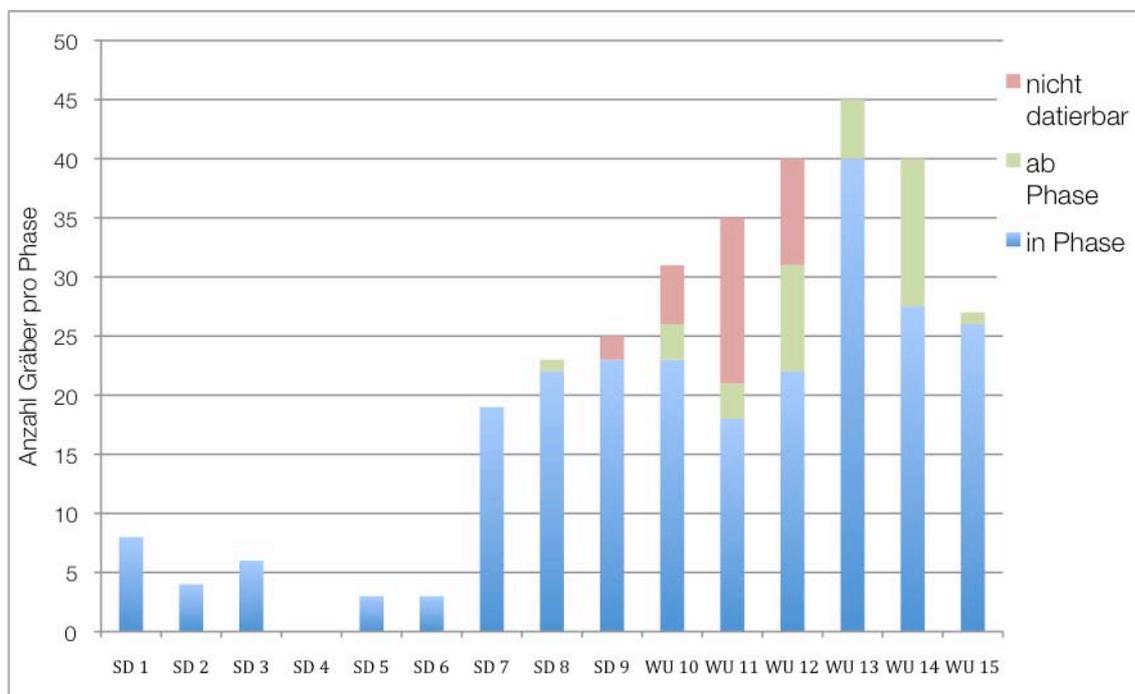


Abbildung 25 Anzahl der Gräber in den einzelnen Phasen. Blau gekennzeichnet ist die Anzahl der Bestattungen, die sicher einer Phase zugeordnet werden können, grün diejenigen, die frühestens in diese Phase gehören. Bei Bestattungen, die zwischen 2 Phasen lagen, wurden diese zwischen den Phasen aufgeteilt, wodurch es zu halben Anzahlen kommen kann. Rot markiert sind die 30 nicht datierbaren Gräber, die auf die Phasen 9 bis 12 aufgeteilt wurden (nach Stauch 2004).

Stauch (2004) vermutet spätestens ab WU-Phase 10 einen Verlust an Gräbern am südöstlichen Rand und unter Umständen auch im Nordosten. Gleiches könnte bereits für die SD-Phase 9 gelten. Dies würde die Einbrüche in den Bevölkerungszahlen erklären (s.). Nach der Berechnung zur Rekonstruktion der Lebendbevölkerung (Herrmann et al. 1990) ergibt sich ein Bevölkerungsmaximum in Phase 13 mit knapp 70 Personen in der Lebendbevölkerung, während in Phase 5 lediglich 3 Individuen hier lebten (Abbildung 26). Bezieht man nun auch noch die postulierten fehlenden 60% ein, steigern sich die Bevölkerungszahlen erheblich. Dann wäre bei ca. 770 Gräbern mit einer Gesamtlebendbevölkerung von etwa 1050 Personen zu rechnen.

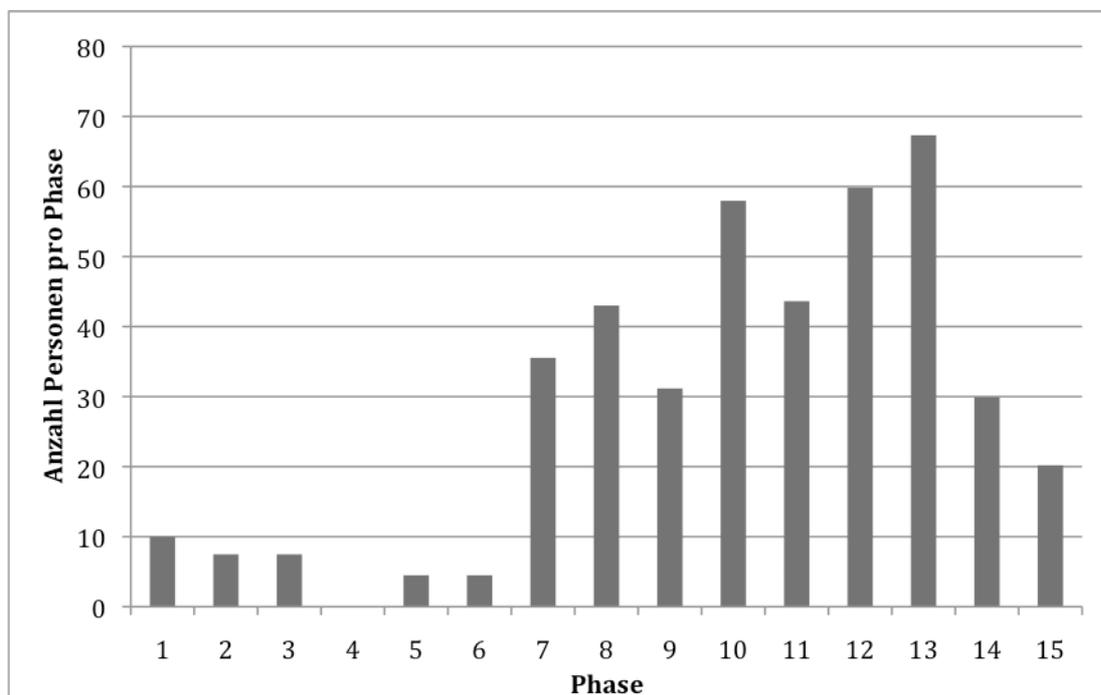


Abbildung 26 Errechnete Lebendbevölkerung in den einzelnen Phasen. Für diese Darstellung wurden die 30 nicht-datierbaren Gräber miteinbezogen, und zwar nur auf die Phasen 9 bis 12 verteilt (s. **Tabelle 12**) (Stauch 2004).

4.1.4 Standardmessungen und Qualitätskontrollen in der Strontiumanalytik

Alle für diese Arbeit erhobenen Messdaten des Probenmaterials sind in der Gesamtergebnisliste in Kapitel 4.1.13, Tabelle 31 zusammengefasst.

SRM 1400

Der Aufschlussweg für die Strontiumisotopenanalyse wurde durch das Mitführen eines Knochenstandards kontrolliert, um mögliche Kontaminationen oder Fehler im Ablauf festzustellen. Insgesamt wurden 18 Proben des SRM 1400 aufgeschlossen und analysiert. Dabei wurde im Mittel ein $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert von $0,71303 \pm 0,000105$ gemessen, mit einem Standardfehler von $0,000037$, in Prozent $0,0051$. Der Maximalwert beträgt $0,71316$ und der Minimalwert $0,71283$ (vgl. Anhang 8.3, Tabelle 52). Alle Werte liegen innerhalb der zweifachen Standardabweichung (Abbildung 27).

Da es für die Strontiumisotopie keine Herstellerangabe gibt, muss das Ergebnis laborintern kontrolliert werden. Der Labormittelwert liegt bei $0,713104 \pm 0,000019$. Dies stimmt sehr gut mit dem gemessenen Mittelwert überein.

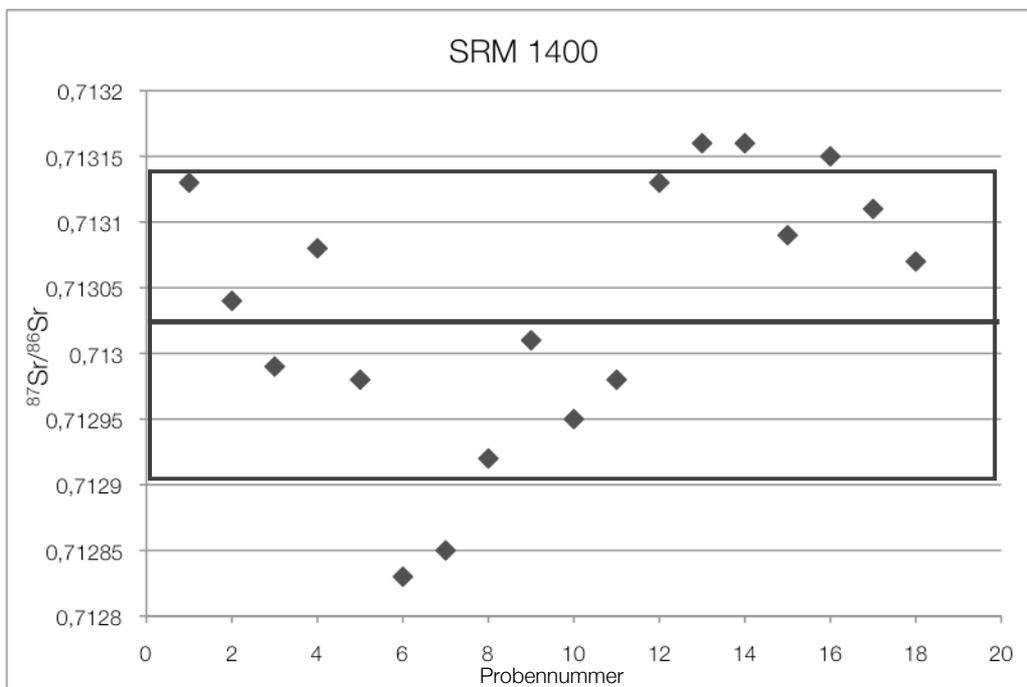


Abbildung 27 Darstellung der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Ergebnisse des SRM 1400. Eingezeichnet ist der Bereich der einfachen Standardabweichung (Mittelwert \pm SD; $0,71303 \pm 0,000105$).

SRM 987

Die Messung am Massenspektrometer selbst wird durch einen Standard SRM 987 kontrolliert, der in jedem Magazin, d.h. bei jedem Messlauf mitgeführt wird. Insgesamt wurde bei 33 Analysenläufen im Mittel eine $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopie von $0,71027 \pm 0,000068$ gemessen. Der Standardfehler beträgt $0,000024$ und in Prozent $0,0033$. Der Maximalwert liegt bei $0,710317$, der Minimalwert beträgt $0,710234$ (vgl. Anhang 8.3, Tabelle 53). Diese Werte liegen alle im Bereich der Herstellerangabe für SRM 987 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,71034 \pm 0,00026$). Keine der Messungen musste wiederholt werden.

Ein Standard (Nr. 9) zeigte einen hohen Messfehler ($\text{SE}\% = 0,0146$), der über dem akzeptierten Limit von $0,01$ lag. Dieser Wert bedeutet, dass große Schwankungen zwischen den 33 Einzelmessungen des Standards vorlagen. Dies geschieht, wenn die Gesamtmenge auf dem Probenbändchen gering ist. Da der gemessene Wert ($0,71032$) aber innerhalb der Herstellerangabe liegt, wird die Messung nicht verworfen.

STANDARDABWEICHUNG (SD) UND STANDARDFEHLER (SE, SE%) DER PROBEN

Der Messfehler (SE%) gilt als Richtwert für die Gültigkeit eines Messwertes. Je größer der Fehler, desto mehr streuten die Werte der 33 Einzelmessungen während der Messung. Acht Proben aus Wenigumstadt zeigten Messfehler, die höher lagen als das akzeptierte Limit von $0,01$ (s. Kapitel 4.1.13, Tabelle 31). Die Erfahrung zeigt, dass bei solch hohen Messfehlern eine zweite Messung überflüssig ist, da sie keine Verbesserung bringen würde.

Die hohen Schwankungen sind durch starke Verunreinigungen mit Spurenelementen (z.B. Kalzium, Barium, etc.) der Probe selbst zu erklären. Dies zeigt sich auch während der Messung, wenn das Signal sehr schwach ist oder stark schwankt. Deshalb wurde darauf verzichtet, die Analyse zu wiederholen, und die acht Proben wurden für die weitere Diskussion nicht mehr berücksichtigt. Ohne diese acht Werte ergibt sich ein mittlerer Messfehler von $0,0040$. Der kleinste Fehler ($0,0001$) wurde bei Probe WU 40 gemessen, der größte Fehler lag bei $0,0094$ (WU 10) (Tabelle 13). Die übrigen 137 Proben können ohne Bedenken in die weitere Betrachtung miteinbezogen werden.

Tabelle 13 Deskriptive Statistik für die Messfehler der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Ergebnisse in WU.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert
SD	137	0,000029	0,000189	0,000081
SE	137	0,000011	0,000067	0,000028
SE%	137	0,0001	0,0094	0,0040

4.1.5 Strontiumisotopendaten ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) der Wenigumstädter Bevölkerung

Insgesamt wurden 145 Strontiumdaten erhoben, davon waren 137 gültig (s. Kapitel 4.1.4). Der größte gemessene Wert liegt bei 0,71502 (WU 78), der kleinste bei 0,70781 (WU 52). Der Mittelwert beläuft sich auf 0,70983 bei einer Standardabweichung von 0,00084 und einem Standardfehler von 0,00007 (Tabelle 14).

Tabelle 14 Deskriptive Statistik für die Strontiumergebnisse des Gräberfeldes Wenigumstadt

	n	137
Mittelwert		0,70983
Standardfehler des Mittelwertes		0,00007
Median		0,70965
Standardabweichung		0,00084
Varianz		<0,000
Schiefte v		2,19
Standardfehler der Schiefe		0,207
Minimum		0,70781
Maximum		0,71502

Da die Verteilung der Werte eine Schiefe von $v=2,19$ mit einem Standardfehler von 0,207 (Tabelle 14) zeigt, also rechtsschief ist, muss ein Test auf Normalverteilung durchgeführt werden, hier der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest. Infolgedessen muss eine Normalverteilung auf dem 5%-Signifikanzniveau verworfen werden ($F=2,23$, $p=0,000$, vgl. Anhang 8.3, Tabelle 54).

4.1.6 Definition der lokalen Strontiumsignatur von Wenigumstadt

Eine Kernaufgabe dieser Arbeit ist die Bestimmung der lokalen Isotopensignatur. Für Wenigumstadt besteht die Schwierigkeit, dass es sich dabei um eine Altgrabung handelt und die Möglichkeiten einer modernen Grabung nicht bestehen, den lokalen Wertebereich zum Beispiel anhand von Kleinsäugetieren zu bestimmen (s. Kapitel 1.6.3). Daher muss mit dem gearbeitet werden, was an Material zur Verfügung steht, ohne die Forderungen der aktuellen Forschung völlig zu übergehen. Dazu stehen zunächst mathematische Methoden zur Verfügung. Eine sehr konservative Möglichkeit ist die Berechnung des lokalen Bereiches aus dem Mittelwert der Gesamtergebnisse plus/minus der zweifachen Standardabweichung. In der vorliegenden Arbeit sollten alternative Methoden ausgelotet werden.

DEFINITION DER LOKALEN GRENZWERTE MITTELS ISOPLOT

Diese Methode entstammt der Geochronologie und berechnet basierend auf der zweifachen Standardabweichung einen stabilen Mittelwert (s. Kapitel 3.4.1).

Der σ -outlier-Test wurde zunächst mit einem σ -Testfaktor von „2“ durchgeführt. Dabei wurde schließlich ein $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Mittelwert von 0,709641 aus 100 übrig gebliebenen Datensätzen berechnet, da durch die mittels Isoplot bestimmten internen Grenzwerte 37 Individuen (27%) als Ausreißer behandelt wurden (Tabelle 15).

Tabelle 15 σ -outlier-Test mit einem σ -Testfaktor von „2“. Dabei werden 37 von 137 Signaturen als Ausreißer bestimmt.

Mean (nach σ -Test)	STDev (1s)	(95%) Student's T error (2s)	cut-off value (mean + STDev* σ -test value)	cut-off value (mean – STDev* σ -test value)
0,709641	0,000263	0,000052	0,71017	0,70912

Es besteht theoretisch die Möglichkeit, den Mittelwert mittels eines gewichteten Messfehlers zu berechnen. Da allerdings der Messfehler in der Regel in der 5. Dezimalstelle beginnt, berechnet das Programm dementsprechend einen σ -Fehler der darauf basiert. Dadurch werden die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Grenzen für den lokalen Wertebereich (cut-off values) zu eng gesetzt zwischen 0,70969 und 0,70966 (s. Anhang 8.3, Tabelle 55). Auf den gewichteten Mittelwert wird deswegen verzichtet. Nun kann mittels Isoplot getestet werden, ob der σ -Testwert noch reduziert werden kann, um so den Wertebereich näher

einzugrenzen. Das Programm bietet die Möglichkeit über die Student T-Verteilung zu testen, ob die berechnete Auswahl noch derselben Grundgesamtheit entspricht. Falls ja, wird ein neuer σ -Testwert berechnet (s. Kapitel 3.4.1). Im vorliegenden Fall hat Isoplot als nächsten möglichen Wert „1,77“ ausgegeben. Damit wird der Wertebereich von 100 auf 94 Datensätze reduziert und der neue Mittelwert ist 0,709639, der um nur 0,00002 geringer ist, als der vorherige. Die internen Grenzwerte sind bei 0,71005 und 0,70923 gesetzt (Tabelle 16). Dadurch werden 43 statt 37 Ausreißer berechnet, was einem Anteil von 31,4% entspricht.

Tabelle 16 σ -outlier-Test mit einem σ -Testfaktor von „1,77“ und „1,54“. Dabei werden 43 bzw. 57 von 137 Signaturen als Ausreißer bestimmt.

Faktor	Mean (nach σ -Test)	STDev (1s)	(95%) Students T error (2s)	cut-off value (mean + STDev* σ -test value)	cut-off value (mean - STDev* σ -test value)	Anzahl Ausreißer
1,77	0,709639	0,000231	0,000047	0,71005	0,70923	43
1,54	0,709617	0,000171	0,000038	0,70988	0,70935	57

Der nächste mögliche σ -Testwert nach Isoplot ist 1,54. Dadurch werden die Grenzwerte bei 0,70988 und 0,70935 festgelegt (Tabelle 16), wobei 57 Ausreißer berechnet werden (41,6%). Die Ergebnisse des σ -outlier Tests sind grafisch in Abbildung 28 dargestellt.

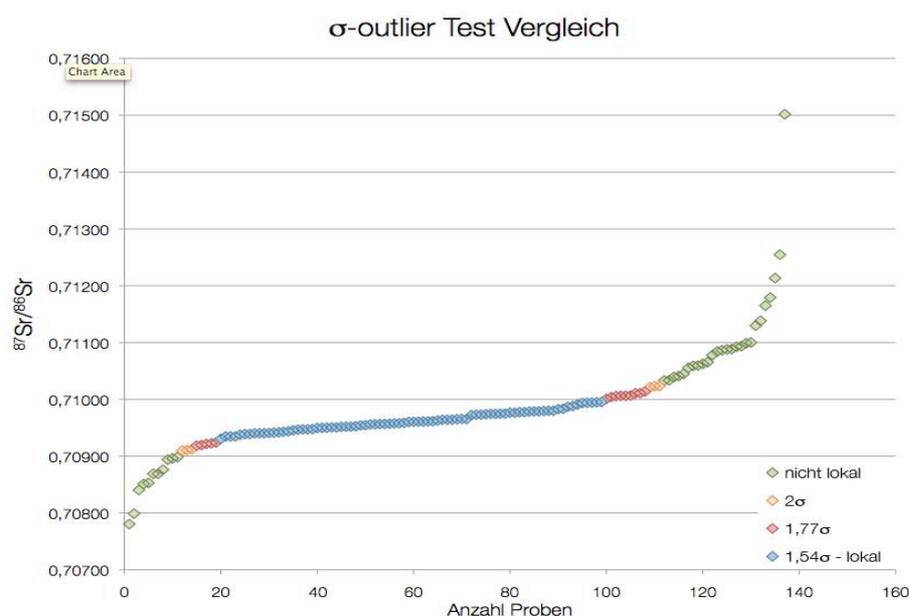


Abbildung 28 Grafischer Vergleich der Ergebnisse des σ -outlier-Tests. Die blauen Datenpunkte markieren die als sicher lokal deklarierten Daten. Grüne Punkte wurden mit einem σ -Testfaktor von 2 als Ausreißer berechnet, die gelben Punkte markieren die mit einem Faktor von 1,77 und die roten, die mit Faktor 1,54 berechneten Ausreißer.

Mit dem Testfaktor 1,54 sind die internen cut-off values extrem eng gelegt und mit einer Spanne von 0,00053 entspricht das keinem natürlichen Wertebereich und kann somit ausgeschlossen werden. Es verbleiben die internen Grenzwerte, die mit dem Faktoren 2 und 1,77 berechnet wurden. Diese Bereiche werden nun noch mit den Daten der Bodenproben abgeglichen.

STRONTIUMISOTOPENWERTE DER BODENPROBEN UND EINER SCHNECKE

Die Bodenproben aus Wenigumstadt ergaben einen Mittelwert von 0,709405 mit einer Standardabweichung von 0,000393. Der kleinste Wert wurde bei der Probe aus Grab WU 249 (0,70882) und der höchste bei der Bodenprobe aus WU 265 (0,71020) gemessen (Tabelle 17). Die Messungen der Bodenproben aus den Gräbern WU 166 und WU 234 ergaben Messfehler (SE%) von über 0,005, können aber trotzdem verwendet werden. Die zugehörige Standardabweichung zeigt, dass die Veränderung um 0,0001 erst in der 4. Dezimalstelle beginnt. Die Annahme, dass die Daten aus einer normalverteilten Grundgesamtheit stammen, konnte auf dem 5%-Signifikanzniveau nicht verworfen werden ($p=0,897$) (s. Anhang 8.3, Tabelle 56).

Tabelle 17 Ergebnisliste der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte für die Bodenproben aus Wenigumstadt.

	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Standard- abweichung	Standard- fehler	Standard- fehler in %
Erde WU 19	0,70935	0,000056	0,000020	0,0028
Erde WU 34	0,70966	0,000053	0,000019	0,0026
Erde WU 49	0,70916	0,000056	0,000020	0,0028
Erde WU 111	0,70942	0,000036	0,000016	0,0022
Erde WU 118	0,70924	0,000065	0,000023	0,0033
Erde WU 159	0,70979	0,000046	0,000016	0,0023
Erde WU 166	0,70933	0,000133	0,000049	0,0069
Erde WU 234	0,70908	0,000111	0,000038	0,0054
Erde WU 249	0,70882	0,000044	0,000016	0,0023
Erde WU 265	0,71020	0,000044	0,000016	0,0023

In Grab 234 wurde im Grabkontext ein Schneckenhaus (S 234) gefunden, das ebenfalls analysiert wurde. Jeweils ein Stück wurde in 1N HCl (S 234 1N) bzw. 6N HCl (S 234 6N) aufgelöst, um zu testen, ob die Prozedur mit 6N HCl zu kräftig ausfällt für eine Schneckenschale. Zwischen den Proben konnte aber keinerlei Unterschied festgestellt werden (Tabelle 18). Lediglich der Messfehler ist bei der Probe, die mit 6N HCl aufgelöst wurde besser.

Tabelle 18 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Ergebnisse der Analyse eines Schneckenhauses aus Grab WU 234. S234 1N wurde mit 1N HCl bearbeitet S234 6N dagegen mit 6N HCl.

Probe	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	1SD	2SE	2SE%
S 234 1N	0,70847	0,000119	0,000042	0,0059
S 234 6N	0,70848	0,000053	0,000019	0,0026

Mittels Isoplot und dem σ -outlier Test wurde der Mittelwert für die Bodenproben mit 0,709334 berechnet und die Grenzwerte bei 0,70986 und 0,70881 festgesetzt (Tabelle 19). Dabei fällt ein Ausreißer heraus (Erde WU 265, 0,71020).

Die nächsten möglichen σ -Testwerte, die mittels Isoplot und der Student T-Verteilung berechnet wurden (s. Kapitel 3.4.1), 1,88 und 1,76 erbrachten keine Änderung, erst der Faktor 1,64 erhöhte die Anzahl der Ausreißer auf drei. Die Grenzen liegen dann zwischen 0,70948 und 0,70896 (Tabelle 20). Die Berechnungen mit den beiden Faktoren sind in Abbildung 29 dargestellt.

Tabelle 19 σ -outlier-Test für die Bodenproben mit einem σ -Testfaktor von „2“. Dabei wurde eine Probe als Ausreißer bestimmt.

Faktor	Mean (nach σ -Test)	STDev (1s)	(95%) Students T error (2s)	cut-off value (mean + STDev* σ -test value)	cut-off value (mean - STDev* σ -test value)
2	0,709334	0,000262	0,000198	0,70986	0,70881
1,64	0,709223	0,000159	0,000147	0,70948	0,70896

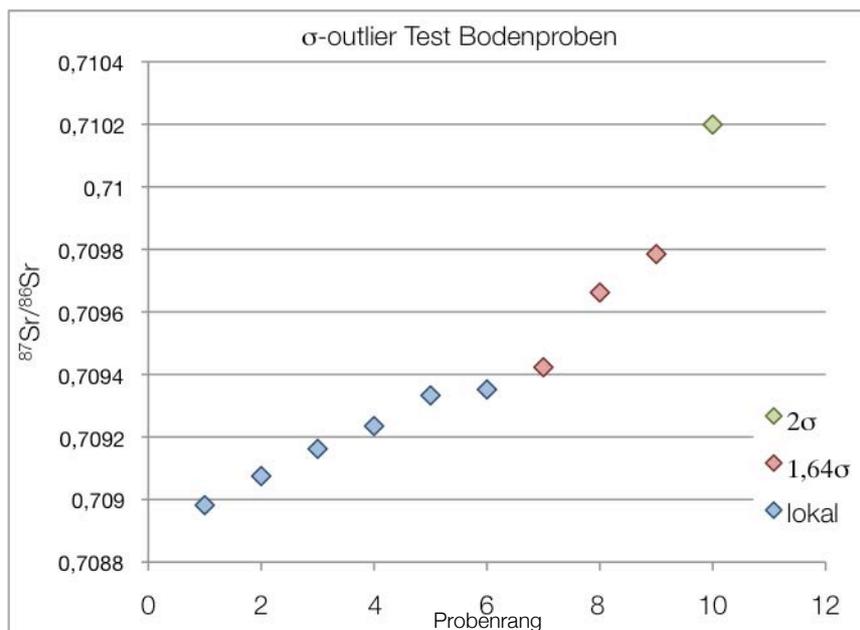


Abbildung 29 Grafischer Vergleich der Ergebnisse des σ -outlier-Tests für die Bodenproben. Die blauen Datenpunkte markieren die als sicher deklarierte lokale Daten. Der grüne Punkt wurde mit einem σ -Testfaktor von 2 und die roten Datenpunkte mit Faktor 1,54 als Ausreißer berechnet.

Auf welche Berechnungsart sollte sich nun die Bestimmung der lokalen Isotopie stützen? Hier sollen nun kurz alle bisher genannten Methoden verglichen werden (Eckdaten siehe Tabelle 20). Die konservative Methode der zweifachen Standardabweichung hat sich als unzureichend herausgestellt. Als nächstes stehen die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte der Bodenproben zur Verfügung. Die Grenzwerte bei einem σ -Testfaktor von 1,64 sind unrealistisch, daher werden sie ausgeschlossen. Allerdings scheinen auch die Werte bei Faktor 2 sehr eng.

Tabelle 20 Zusammenfassung der Ergebnisse für die Eingrenzung der lokalen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Signatur mittels mathematische Methoden und der Bodenproben. Grau hinterlegt sind die Wertebereiche, die auf jeden Fall ausgeschlossen werden können und nicht die bioverfügbare Strontiumsignatur von Wenigumstadt widerspiegeln.

Art	Grenzwert 1	Grenzwert 2	Anzahl nicht-lokal	Prozent nicht-lokal
Zweifache Standardabweichung	0,70841	0,71138	7	5,1
Bodenproben	0,70898	0,71020	39	28,5
Bodenproben 2σ	0,70881	0,70986	54	39,4
Bodenproben $1,64\sigma$	0,70896	0,70948	108	78,8
interne cut-off values Isoplot 2σ	0,70909	0,71023	37	27
interne cut-off values Isoplot $1,77\sigma$	0,70919	0,71014	43	31,4
interne cut-off values Isoplot $1,54\sigma$	0,70935	0,70988	57	41,6

Zusammenfassend lässt sich der lokale $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wertebereich aus einer Kombination der Bodenproben und der internen Grenzwerte angeben. Die obere Grenze von 0,71020 der Bodenproben deckt sich mit der internen Obergrenze, die mit dem Faktor 1,77 berechnet wurde, da zwischen diesen Werten keine gemessenen Daten vorliegen. Die untere Grenze der Bodenproben liegt bei 0,70898 und liegt sehr eng bei der internen Untergrenze von 0,70909, die mit dem Faktor 2 berechnet wurde. Damit kann der Bereich, der durch die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Ergebnisse der Sedimentproben vorgegeben wird, auch als lokale, bioverfügbare Strontiumsignatur angesehen werden, wodurch 39 von 137 Strontiumdatensätzen als nicht-lokal einzustufen sind. Dies wird durch die interne Berechnung, mittels dem σ -Ausreißertest mit geringfügigen Abweichungen, bestätigt. Die Zuwanderungsrate demnach liegt bei etwa 30%, zwischen 28,5% und 31,4%. Als sicher lokal gelten diejenigen Individuen ($n=94$) die innerhalb des Bereichs liegen, der mit dem Faktor 1,77 berechnet wurde.

4.1.7 Apatitextraktion

Bei insgesamt 182 Zahnschmelzproben wurde Apatit extrahiert. Durch Verluste bei der Extraktion gingen bei den Proben WU 232 (8,9 Gew.-%) und WU 68 (34,4 Gew.-%) größere Mengen des Materials verloren. Daher werden diese Ausbeuten nicht in die Statistik mit einbezogen.

Die Spanne an extrahiertem Apatit reicht von 48,2mg bis 91,7mg (Tabelle 21). Die mittlere Ausbeute im Wenigumstädter Kollektiv liegt bei 81,9 Gew.-%. Der mittlere Anteil von Apatit im Zahnschmelz wird mit >95 Gew.-% angegeben (Schroeder 2000). Da mit geringen Verlusten während der Extraktion zu rechnen ist, entspricht der Mittelwert den Erwartungen.

Die geringsten Ausbeuten mit einem signifikanten Unterschied zum Rest der Proben zeigen WU 138, WU 48, WU 212, WU 265, WU 39 und WU 211 (s. Ergebnisliste Tabelle 31, Ausbeute grau unterlegt). Bei diesen Proben lässt sich ein grundsätzlicher struktureller und damit diagenetischer Veränderungsprozess nicht ausschließen. Daher sollten die Ergebnisse dieser sechs Proben unter Vorbehalt untersucht werden.

Tabelle 21 Ausbeute in mg und in Prozent der Apatitextraktion aus Zahnschmelz (Wenigumstadt) exklusive WU 232 und WU 68

n = 179	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung	Varianz
Einwaage [mg]	85,9	101,0	100,10	1,175	1,38
Ausbeute [mg]	48,2	91,7	81,80	6,429	41,34
Ausbeute [%]	48,1	91,3	81,89	6,664	44,41

4.1.8 Sauerstoffisotope

Insgesamt wurden 182 Isotopendatensätze aus der Karbonatfraktion des Zahnschmelzes der Individuen von Wenigumstadt gewonnen. Die Sauerstoffisotope zeigten dabei eine Spanne in den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten (V-PDB) von -9,28‰ (WU 76B) bis -1,50‰ (WU 30), bei einer mittleren Sauerstoffisotopie von -7,1‰ und einer Standardabweichung von 0,96 (s. Tabelle 22).

Tabelle 22 Deskriptive Statistik der Sauerstoffisotope (V-PDB) aus Knochenapatit in Wenigumstadt.

n = 182	Minimum (WU 76B)	Maximum (WU 30)	Mittelwert	Standard- abweichung	Schiefe
$\delta^{18}\text{O}$ [‰] V-PDB	-9,28	-1,50	-7,10	0,96	0,84

Da die Verteilung der Daten leicht rechtsschief ist, wurde ein Kolmogorov-Smirnov-Test angewandt, um auf Normalverteilung zu testen. Dabei zeigt ein Sequenztest, dass die Werte keiner zufälligen Verteilung folgen ($p=0,000$), die Annahme einer Normalverteilung aber auf einem 5%-Signifikanzniveau nicht abgelehnt werden kann ($p=0,827$) (Tabelle 23).

Tabelle 23 Test auf Normalverteilung und zufällige Verteilung der Sauerstoffisotopendaten (V-PDB) aus Zahnschmelzapatit.

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Sequenz der mit $d18\text{OZS} \leq -7,07$ und $> -7,07$ definierten Werte ist zufällig.	Sequenztest bei einer Stichprobe	,000	Nullhypothese ablehnen
2	Die Verteilung von $d18\text{OZS}$ ist eine Normalverteilung mit dem Mittelwert -7,102 und der Standardabweichung 0,957.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,827	Nullhypothese beibehalten

Asymptotische Signifikanzniveaus werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

In der Verteilung der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte fällt ein extremer Ausreißer mit einem Wert von -1,5‰ (WU 30) auf, der außerhalb des dreifachen Interquartilabstands liegt. Die Apatitausbeute dieser Probe lag bei 81,3%. Da die Strontiumisotopie dieser Probe (WU 30; 0,71011) im lokalen Bereich liegt, so wie er im vorangegangenen Kapitel (4.1.6) bestimmt worden ist, muss es sich dabei um ein lokales Individuum handeln und der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert muss als nicht-biogenes Signal gewertet und von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden.

Die Homogenität der $\delta^{18}\text{O}$ -Varianzen in den einzelnen Phasen (nach Stauch 2004) wurde mittels Levene-Test überprüft. Die Nullhypothese, die eine Homoskedastizität der Daten vermutet, kann auf einem 5%-Signifikanzniveau nicht verworfen werden ($F=0,388$, $p=0,966$) (s. Anhang 8.4, Tabelle 57). Da die Mittelwerte in den Phasen homogen sind, kann eine ANOVA zur Überprüfung der Gleichheit durchgeführt werden. Der Test zeigt, dass die Nullhypothese, die Mittelwerte in den Phasen seien gleich, auf einem 5%-Signifikanzniveau nicht verworfen werden kann ($F=1,125$, $p=0,344$) (s. Anhang 8.4, Tabelle 58).

Die Frage ist nun, ob es im chronologischen Verlauf der Belegung des Gräberfeldes zu Veränderungen des Klimas gekommen ist, die sich in den Sauerstoffisotopen der Bestatteten widerspiegeln. Dazu wird die Korrelation der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aus Zahnschmelz mit den Phasen getestet. Hierzu werden diejenigen Individuen aus Wenigumstadt herangezogen, deren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte als lokal eingestuft wurde und für die eine Karbonatextraktion aus dem Zahnschmelz möglich war (Tabelle 24).

Die Spanne dieser $\delta^{18}\text{O}$ -Werte unterscheidet sich kaum von der Wertespanne der Gesamtergebnisse (-3,97‰, ohne WU 30) und reicht von -5,31‰ bis -9,28‰.

Tabelle 24 Spanne der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der nach den Strontiumisotopenanalysen als lokal eingestuften Individuen (n=94).

	n	Spanne	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
$\delta^{18}\text{O}$	85	3,74	-9,28	-5,54	-7,22	0,927

Die Berechnung der Korrelation nach Spearman ergab keine Korrelation (-0,112) zwischen den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten und den Phasen (s. Anhang 8.4, Tabelle 59). Damit kann ausgeschlossen werden, dass sich während der 400jährigen Belegungsdauer des Gräberfeldes eine signifikante Klimaänderung ereignet hat, welche die Ergebnisse dementsprechend beeinflusst haben könnte, dass falsche Schlüsse daraus gezogen werden würden.

4.1.9 Berechnung der Trinkwasserquelle

Die Sauerstoffisotopie der Trinkwasserquelle kann mittels mehrerer Gleichungen berechnet werden. Zunächst müssen die Karbonatdaten, die gegen den Standard V-PDB gemessen wurden, in V-SMOW-Daten umgewandelt werden. Hierzu wird die Gleichung 1) von Hoefs (2004) verwendet (s.u.). Zur Umrechnung in Phosphatdaten wurde die Formel 2) nach Iacumin et al. (1996a) herangezogen. Für die weitere Umformung in Wasserdaten standen mehrere Formeln (3 bis 5) zur Verfügung und die Zusammenfassung ist in Tabelle 25 zu finden. Die Formel nach Daux et al. (2008) (5) beinhaltet variable Faktoren, so dass einmal die einfache Formel wie gegeben benutzt wurde (5a) und dann jeweils mit den Extremwerten (5b und 5c), um die daraus resultierende Wertespanne darzustellen.

$$1) \delta^{18}O_{V-SMOW} = (1,03728 \times \delta^{18}O_{V-PDB}) + 30,86$$

$$2) \delta^{18}O_{Phosphat} = 0,98 \times \delta^{18}O_{Karbonat} - 8,5$$

$$3) \delta^{18}O_{Phosphat} = 0,64 \times \delta^{18}O_{MW} + 22,37 \rightarrow \delta^{18}O_{MW} = \frac{\delta^{18}O_{Phosphat} - 22,37}{0,64}$$

$$4) \delta^{18}O_{Phosphat} = 0,78 \times \delta^{18}O_{MW} + 22,37 \rightarrow \delta^{18}O_{MW} = \frac{\delta^{18}O_{Phosphat} - 22,37}{0,78}$$

$$5a) \delta^{18}O_{MW} = 1,54(\pm 0,09) \times \delta^{18}O_{Phosphat} - 33,72(\pm 1,51)$$

$$5b) \delta^{18}O_{MW} = 1,45 \times \delta^{18}O_{Phosphat} - 35,23$$

$$5c) \delta^{18}O_{MW} = 1,63 \times \delta^{18}O_{Phosphat} - 32,21$$

Die Zusammenfassung der Ergebnisse der Umrechnungen sind in Tabelle 25 aufgeführt, die Einzeldaten in Tabelle 60, in Anhang 8.4.

Die ursprüngliche Wertespanne der gemessenen $\delta^{18}O$ -Werte aus Karbonat (V-PDB) liegt zwischen -9,28‰ und -1,50‰. Die Umrechnung in Daten gegen den V-SMOW-Standard ergibt Werte zwischen 21,23‰ und 29,31‰. Der nächste Umformungsschritt

wandelt die V-SMOW-Daten in Phosphatwerte um, die von 12,31‰ bis 20,22‰ reichen.

Für die Umrechnung in lokales Trinkwasser bieten mehrere Autoren Formeln an. Daux et al. (2008) fassten diverse bekannte Formeln für Menschen zusammen und berechneten eine eigene, die auch bereits von neueren Studien benutzt wurde (Mitchell und Millard 2009; Tütken 2010).

Die erste Formel (3) stammt von Longinelli (1984) und liefert eine Spanne über 12,36‰ von -15,72‰ bis -3,36‰. Mit dem modifizierten Faktor (4) von 0,78 statt 0,64 ergeben sich Werte von -12,90‰ bis -2,75‰.

Tabelle 25 Zusammenfassende Ergebnisse für die Umformungen der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aus Karbonat (V-PDB) (Reihe 0).

Gleichung		Spanne	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
0	$\delta^{18}\text{O}$ (PDB)	7,78	-9,28	-1,50	-7,10	0,96
1	$\delta^{18}\text{O}$ (SMOW)	8,08	21,23	29,31	23,50	1,00
2	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$	7,91	12,31	20,22	14,53	0,98
3	Wasser1	12,36	-15,72	-3,36	-12,25	1,53
4	Wasser2	10,15	-12,90	-2,75	-10,05	1,26
5a	Wasser3	12,20	-14,80	-2,60	-11,35	1,51
5b	Wasser3b	12,90	-12,15	0,75	-8,53	1,60
5c	Wasser3c	11,47	-17,38	-5,91	-14,16	1,42

Die nächste Formel die Verwendung fand, ist die kompilierte (5) von Daux et al. (2008). Die einfache Formel (5a) liefert Werte von -14,80‰ bis -2,60‰. Die modifizierten Faktoren in den jeweiligen Extremen ergeben zwei Formeln. Mit der ersten (5b) reicht die Spanne von -12,15‰ bis 0,75‰, mit der zweiten (5c) werden Werte von -17,38‰ bis -5,91‰ errechnet. Die Unterschiede in den Wertebereichen sind in Abbildung 30 dargestellt. Die Formel nach Daux et al. (2008) basiert zwar auf mehr Datenpunkten, liefert aber letztendlich einen Wertebereich für eine einzelne Probe von bis zu 6‰. Das macht keinen vernünftigen Sinn daher wird auf diese Umrechnung verzichtet. Die beste Übereinstimmung erzielt man mit der Umrechnungsformel nach Longinelli (1984), mit einem modifizierten Faktor von 0,78 (Formel Nr. 4). Diese wird im Folgenden weiter verwendet.

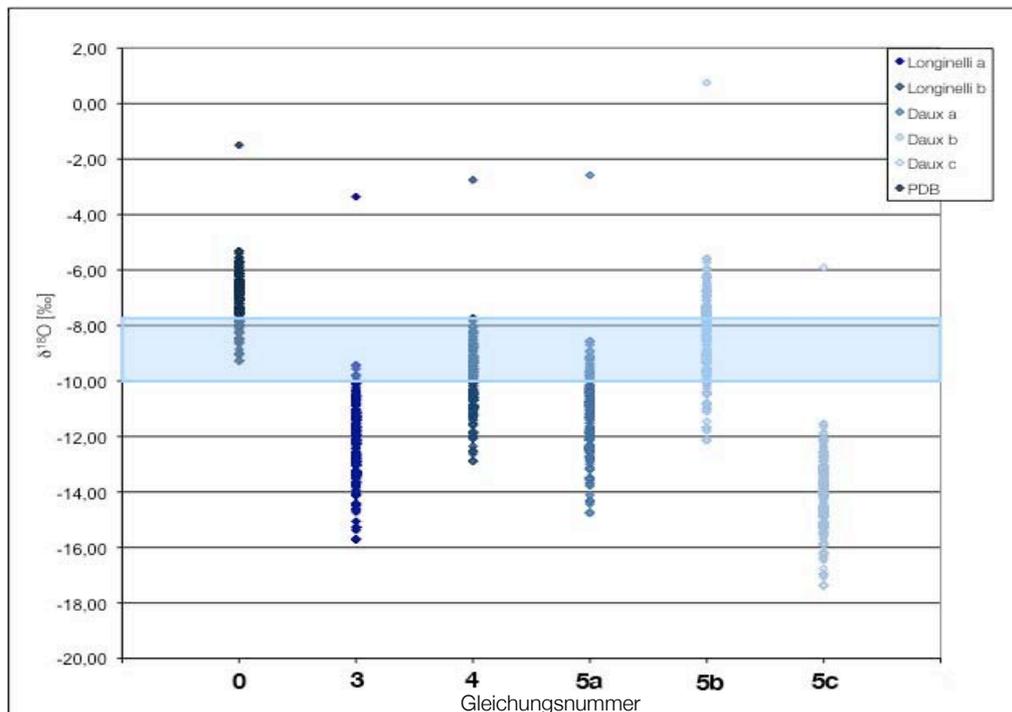


Abbildung 30 Spanne für die Ergebnisse der $\delta^{18}\text{O}_{\text{mw}}$ -Berechnung (V-SMOW) mit fünf Gleichungen (3 bis 5c, s. Tabelle 25) für die angenommene Trinkwasserquelle. Das Rechteck markiert den $\delta^{18}\text{O}$ -Wert für Oberflächenwasser in Wenigumstadt.

FEHLERFORTPFLANZUNG FÜR DIE UMRECHNUNG VON $\delta^{18}\text{O}_{\text{K}}$ (V-PDB) IN $\delta^{18}\text{O}_{\text{mw}}$ (V-SMOW)

Bei der Berechnung von Größen in welche experimentell gewonnene Messwerte eingehen, ist für eine wissenschaftlich ernstzunehmende Auswertung eine Fehlerrechnung unabdingbar. Je nach Verknüpfung der Messgrößen durch mathematische Operationen, hat dies auch Auswirkungen auf die Dimensionen des Messfehlers (Fehlerbalken). Die Transformation von Fehlern, die bei der Verrechnung von Messwerten auftritt, nennt man Fehlerfortpflanzung. Für eine sinnvolle Transformation von Messunsicherheiten gibt es unterschiedliche mathematische Modelle. Im vorliegenden Fall, bei der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte gewonnen aus Knochenkarbonat und gemessen gegen den Standard V-PDB in $\delta^{18}\text{O}$ -Werte für Oberflächenwasser umgerechnet werden gemessen gegen den Standard V-SMOW, gestaltet sich die Fehlerrechnung relativ einfach, da jeweils nur ein fehlerbehafteter Messwert in die Umrechnungsformeln (z1-z3) (s. Kapitel 3.2.5) eingeht, welche die Form einer Geradengleichung ($y_{(x)}=a \cdot x+b$) besitzen. Die Linearität der verwendeten Umrechnungsformeln wird in den Arbeiten (Hoefs 2004; Iacumin et al. 1996a; Longinelli 1984) für den Bereich, in dem sich die verwendeten Messgrößen bewegen, angenommen.

Zur Berechnung der transformierten Messunsicherheiten, kann eine vereinfachte Form des Gauß'schen Fehlerfortpflanzungsgesetz (Sachs 1969) berechnet werden.

Aus
$$u_y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 + \dots}$$

folgt
$$\Delta y = \left|\frac{\partial y}{\partial x}\right| \times \Delta x_1$$

Für die hier betrachteten Umrechnungsschritte gelten folgende Gleichungen.

(z1)
$$\delta^{18}O_{V-SMOW} = 1,03728 \times \delta^{18}O_{V-PDB} + 30,86 \quad (\text{Hoefs 2004})$$

(z2)
$$\delta^{18}O_{\text{Phosphat-SMOW}} = 0,98 \times \delta^{18}O_{\text{Karbonat-SMOW}} - 8,5 \quad (\text{Iacumin et al. 1996a})$$

(z3)
$$\delta^{18}O_{MW} = \frac{\delta^{18}O_{\text{Phosphat}} - 22,37}{0,64} \quad (\text{Longinelli 1984})$$

Differenziert man diese Gleichungen nach ihrer Variablen erhält man (δ_{z0} sei der Fehler der Messwerte (Standardabweichung = 0,94):

(δ_{z1})
$$\delta_{z1} = \delta_{z0} \times 1,03728$$

(δ_{z2})
$$\delta_{z2} = \delta_{z1} \times 0,98 = \delta_{z0} \times 1,03728 \times 0,98$$

(δ_{z3})
$$\delta_{z3} = \delta_{z2} / 0,64 = \delta_{z0} \times 1,03728 \times 0,98 / 0,64 = \delta_{z0} \times 1,5892$$

Substituiert man nun die Gleichungen in der Form, dass der Messfehler δ_{z0} die Eingabegröße darstellt, so erhält man einen transformierten Messfehler δ_{z3} ($\rightarrow 1,4852$), der um ca. 1,59 mal größer ist als der experimentell bestimmte Fehler von δ_{z0} .

Der Messfehler am Massenspektrometer beträgt lediglich 0,01‰. Der Messfehler wird im Rahmen der Umformungen allerdings nur auf 0,0159‰ erhöht, was vernachlässigbar ist.

Dieser Faktor lässt sich aber auch auf andere Fehler anwenden, die bei der Berechnung der Sauerstoffisotopie eine Rolle spielen könnten, z. B. durch die Anwendung verschiedener Formeln oder populationsinterner Varianz. Bei einer möglichen natürlichen Variabilität der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte innerhalb einer Population von 1‰, wird diese durch die Umrechnungen auf 1,59‰ erhöht.

4.1.10 Kohlenstoffisotope

Für die Kohlenstoffisotopie liegen 182 Datensätze aus Zahnschmelzkarbonat vor. Der mittlere $\delta^{13}\text{C}$ -Wert beträgt $-13,68\text{‰}$, wobei der kleinste Wert von $-15,19\text{‰}$ bei WU 76B gemessen wurde, der größte $\delta^{13}\text{C}$ -Wert lag bei WU 122 mit $-11,98\text{‰}$ vor (Tabelle 26). Die Verteilung zeigt eine milde Rechtsschiefe (0,11). Nach einem Kolmogorov-Smirnov-Test kann die Vermutung der Normalverteilung bei einer nicht-zufälligen Verteilung der Werte (Tabelle 27) auf einem 5%-Signifikanzniveau nicht verworfen werden ($p=0,604$).

Tabelle 26 Deskriptive Statistik der Kohlenstoffisotopendaten aus Zahnschmelzkarbonat des Kollektivs Wenigumstadt

n= 182	Minimum (WU 76B)	Maximum (WU 122)	Mittelwert	Standard- abweichung	Schiefe
$\delta^{13}\text{C}$ [‰] (V-PDB)	-15,19	-11,98	-13,68	0,58	0,11

Tabelle 27 Test auf Normalverteilung und zufällige Verteilung der Kohlenstoffisotopendaten aus dem Zahnschmelzkarbonat des Wenigumstädter Kollektivs.

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Sequenz der mit $d13\text{CZS} \leq -13,73$ und $> -13,73$ definierten Werte ist zufällig.	Sequenztest bei einer Stichprobe	,000	Nullhypothese ablehnen
2	Die Verteilung von $d13\text{CZS}$ ist eine Normalverteilung mit dem Mittelwert $-13,677$ und der Standardabweichung $0,583$.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,604	Nullhypothese beibehalten

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

Zwischen den Phasen und den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten [‰] besteht keine Korrelation nach Spearman (0,187), auf einem 5%-Signifikanzniveau ($p=0,012$) (s. Anhang 8.4, Tabelle 61). Die Kohlenstoffisotopenwerte der lokalen Individuen liegen klar im typischen Bereich mittel-europäischer C_3 -Pflanzennahrung (vgl. Kapitel 1.8) (Tabelle 28).

Tabelle 28 Spanne der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der nach den Strontiumisotopenanalysen als lokal eingestuften Individuen (n=94). Der Wert von WU 30 wurde nicht mit einbezogen, da der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert ($-1,50\text{‰}$) eine extreme Abweichung zum Rest der Daten darstellt.

	n	Spanne	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
$\delta^{13}\text{C}$	94	2,49	-15,19	-12,70	-13,76	0,555

4.1.11 Vergleich der Isotopendaten zwischen den einzelnen Zahntypen

Für die Apatitextraktion wurde hauptsächlich der erste Dauermolar (M1) eines Individuums genutzt. Dies war in 128 Fällen möglich. Bei den restlichen Individuen musste auf einen anderen Zahntyp zurückgegriffen werden, dabei wiederum bevorzugt auf den zweiten Dauermolaren (M2). Da die Möglichkeit besteht, dass die Isotopien in verschiedenen Zahntypen unterschiedlichen Einflüssen und Faktoren unterliegen und somit andersartig ausfallen können, soll hier die Vergleichbarkeit überprüft wurden. Unter anderem sollte so der sogenannte Stilleffekt sichtbar werden.

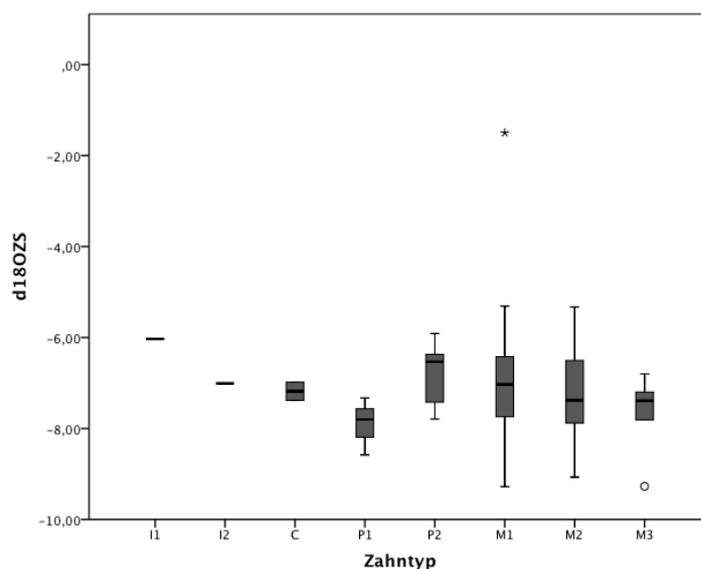


Abbildung 31 Verteilung der Sauerstoffisotopien auf die einzelnen Zahntypen (im Dauergebiss).

I1, I2 = erster bzw. zweiter Schneidezahn (jeweils $n = 1$), C = Eckzahn ($n = 2$), P1, P2 = erster ($n = 3$) bzw. zweiter ($n = 9$) Vorbackenzahn, M1, M2, M3 = erster ($n = 128$), zweiter ($n = 32$) und dritter ($n = 5$) Backenzahn.

Der Levene-Test ergab eine Signifikanz von $p = 0,645$, die Nullhypothese kann auf dem 5%-Niveau nicht verworfen werden (vgl. Anhang 8.4, Tabelle 62). Nachdem die Bedingung der Homoskedastizität gegeben ist und unter der Prämisse der Normalverteilung für die Grundgesamtheit, aus der die Daten erhoben wurden (Tabelle 23, kann die Nullhypothese ("die Mittelwerte sind gleich") auf einem 5%-Signifikanzniveau nicht verworfen werden (ANOVA; $F=1,064$, $p=0,389$; s. Anhang 8.4, Tabelle 63). Dies besagt, dass die Varianzen zwischen den Gruppen kleiner sind als innerhalb der Gruppen. Damit kann kein Unterschied in der Sauerstoffisotopie in den einzelnen Zahntypen festgestellt werden, was einem Stilleffekt widersprechen würde (s. folgender Abschnitt 4.1.12).

4.1.12 Sauerstoff- und Kohlenstoffisotope aus Knochenapatit

Der Vergleich von Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopen aus Zahnschmelz und Knochen dient dazu, verschiedene Zeitfenster im Leben eines Individuums zu betrachten. So soll ein möglicher Stilleffekt quantifiziert werden, der laut Wright und Schwarcz (1998) die Interpretation von Sauerstoffsignalen aus dem Zahnschmelz beeinträchtigen könnte (s. Kapitel 1.7.2). Die Auswahl erfolgte aufgrund der vorangegangenen Strontiumisotopen-ergebnissen und den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten aus Zahnschmelz. Zum einen wurden Individuen mit Extremwerten in den Strontium- und Sauerstoffdaten ausgewählt, zum anderen wurde auch darauf geachtet, Kinder zu analysieren.

Die Messungen für die Sauerstoffisotopie aus Knochenapatit ergaben einen Mittelwert von $-7,83\text{‰}$ mit einer Spanne von $5,52\text{‰}$ (Tabelle 29). Für die Kohlenstoffisotopie kann im Mittel kein Unterschied zwischen Knochen und Zahnschmelz festgestellt werden, der Zahnschmelz ist im Schnitt um $0,24\text{‰}$ angereichert gegenüber Knochen.

Tabelle 29 Deskriptive Statistik für die Isotopendaten aus Knochenapatit von ausgewählten Individuen aus Wenigumstadt.

[‰] V-PDB	n	Spanne	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
$\delta^{18}\text{O}$	26	5,52	-10,78	-5,26	-7,83	2,051
$\delta^{13}\text{C}$	26	8,22	-18,16	-9,94	-13,96	2,193

Drei Datensätze müssen nach der UV-Fluoreszenzanalyse (Indexwert = 1) des entsprechenden Knochenstückes verworfen werden (s. Kapitel 4.1.2). Dies sind die Proben WU 8, WU 111 und WU 198 (Tabelle 30). Die Kleinkinder in der Auswahl (außer WU 76B) hatten keinen Femur oder anderen Knochen, der dick genug gewesen wäre um eine Fluoreszenzanalyse durchführen zu können. Diese Daten müssen unter dem Vorbehalt betrachtet werden, dass der Erhaltungsgrad nicht überprüft werden kann. Für die Bestimmung des Stilleffektes ist die Differenz zwischen der Sauerstoffisotopie aus Knochen und Zahnschmelz ($\Delta^{18}\text{O} = \delta^{18}\text{O}_{\text{Zahnschmelz}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{Knochen}}$, s. Tabelle 30) zu betrachten. In Kleinkindern stammt der Sauerstoff für Knochen und Zahnschmelz noch aus derselben Wasserquelle. Bei den Erwachsenen liegt der Abschluss der Zahnschmelzbildung in der Kindheit, während der Knochen zeitlebens umgebaut wird und somit stets ein Abbild der genutzten Trinkwasserquellen darstellt. Ein positiver

$\Delta^{18}\text{O}$ -Wert bedeutet, dass der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert aus Zahnschmelz positiver ist als derjenige aus Knochen, also der Zahnschmelz mit schwerem ^{18}O angereicherter ist. Ist der $\Delta^{18}\text{O}$ -Wert negativ, ist es genau umgekehrt.

Tabelle 30 $\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aus Knochenkarbonat und Zahnschmelz von 26 Individuen aus Wenigumstadt. Kursiv geschriebene Individuen wurden durch die Fluoreszenzanalyse ausgeschlossen.

Grab	Zahn	$\delta^{13}\text{C}$ K	$\delta^{13}\text{C}$ ZS	$\delta^{18}\text{O}$ K	$\delta^{18}\text{O}$ ZS	$\Delta^{18}\text{O}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	UV	Alters- klasse
WU 3	M1	-11,36	-13,31	-6,36	-6,37	-0,01	0,71092	2	A
WU 4	M1	-13,26	-13,68	-5,26	-5,57	-0,31	0,71004	0	Inf II
<i>WU 8</i>	<i>M2</i>	<i>-11,86</i>	<i>-13,03</i>	<i>-5,51</i>	<i>-6,57</i>	<i>-1,06</i>	<i>0,71298</i>	<i>1</i>	<i>A</i>
WU 16	M1	-13,60	-14,93	-5,26	-5,71	-0,45	0,71099	3	M
WU 28	M1	-9,94	-13,53	-6,37	-6,37	0,00	0,70944	0	Inf I
WU 38	M1	-13,56	-13,83	-9,10	-6,46	2,64	0,70947	2	Inf I
WU 39	M3	-10,99	-13,72	-6,54	-9,27	-2,73	0,70923	3	M
WU 48	M2	-12,13	-13,75	-6,30	-6,50	-0,20	0,71138	3	A
WU 52	M2	-11,22	-13,80	-6,59	-6,47	0,12	0,70781	2	A
WU 76B	M1	-17,21	-15,19	-10,38	-9,28	1,10	0,70961	2	Inf I
WU 78	M1	-12,51	-14,70	-6,23	-6,18	0,05	0,71502	3	M
WU 84B	M1	-15,98	-12,78	-10,19	-6,55	3,64	0,71113	3	A
WU 102	M1	-14,99	-14,87	-8,95	-5,54	3,41	0,70938	2	A
WU106	M2	-13,79	-14,25	-8,94	-7,32	1,62	0,71179	2	M
<i>WU 111</i>	<i>M1</i>	<i>-15,25</i>	<i>-14,12</i>	<i>-10,32</i>	<i>-5,31</i>	<i>5,01</i>	<i>0,70853</i>	<i>1</i>	<i>M</i>
WU 121/1	M1	-15,68	-13,56	-10,41	-7,52	2,89	0,70924	3	S
WU 121/2	M2	-15,90	-13,77	-10,23	-5,33	4,90	0,71065	3	S
WU 140	M1	-15,57	-13,81	-9,76	-8,99	0,77	0,70975	2	A
WU 166	M1	-11,23	-13,26	-6,75	-6,58	0,17	0,70799	3	A
WU 174	M1	-12,62	-12,82	-6,65	-9,26	-2,61	0,70947	0	Inf I
WU 177	M1	-13,33	-13,16	-5,78	-7,71	-1,93	0,71078	0	Inf I
WU 186	M1	-14,69	-13,91	-9,57	-6,10	3,47	0,7098	0	Inf I
<i>WU 198</i>	<i>M2</i>	<i>-18,16</i>	<i>-13,87</i>	<i>-10,37</i>	<i>-6,04</i>	<i>4,33</i>	<i>0,70987</i>	<i>1</i>	<i>M</i>
WU 201	M2	-14,96	-14,18	-5,35	-5,95	-0,60	0,71001	3	S
WU 216	M2	-17,44	-13,50	-10,78	-9,07	1,71	0,71039	3	S
WU 242	M1	-15,61	-13,87	-5,69	-8,51	-2,82	0,71255	2	A

Nach der UV-Fluoreszenzanalyse bleiben 23 Datensätze übrig. Davon gelten zwölf nach der Strontiumisotopenanalyse als nicht lokal, darunter befindet sich ein Kind (WU 177).

Unter den Individuen, deren Knochenapatit analysiert wurde, befanden sich sieben Kinder, eines davon zugewandert (WU 177) und 16 Erwachsene. Der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Knochen}}$ -Mittelwert der Kinder beträgt $-7,59\text{‰}$ und ist damit um $0,18\text{‰}$ positiver als der der Erwachsenen. Zum $\delta^{18}\text{O}$ -Mittelwert im Zahnschmelz beträgt die Differenz $0,34\text{‰}$.

Die Daten der Kinder sollten sich entlang der blauen Linie in Abbildung 32 aufreihen, da die Sauerstoffisotopie in Zahnschmelz und Knochen dieselbe sein sollte. Dagegen sollten sich die Daten der Erwachsenen, wenn sie eine Differenz zwischen Knochen Zahnschmelz, verursacht durch den Stilleffekt, aufweisen, in der rechten Hälfte anhäufen. Beides ist nicht der Fall und die Daten von Kindern und Erwachsenen lassen sich nicht von einander trennen. Damit ist an diesem Datenkollektiv kein Stilleffekt nachweisbar.

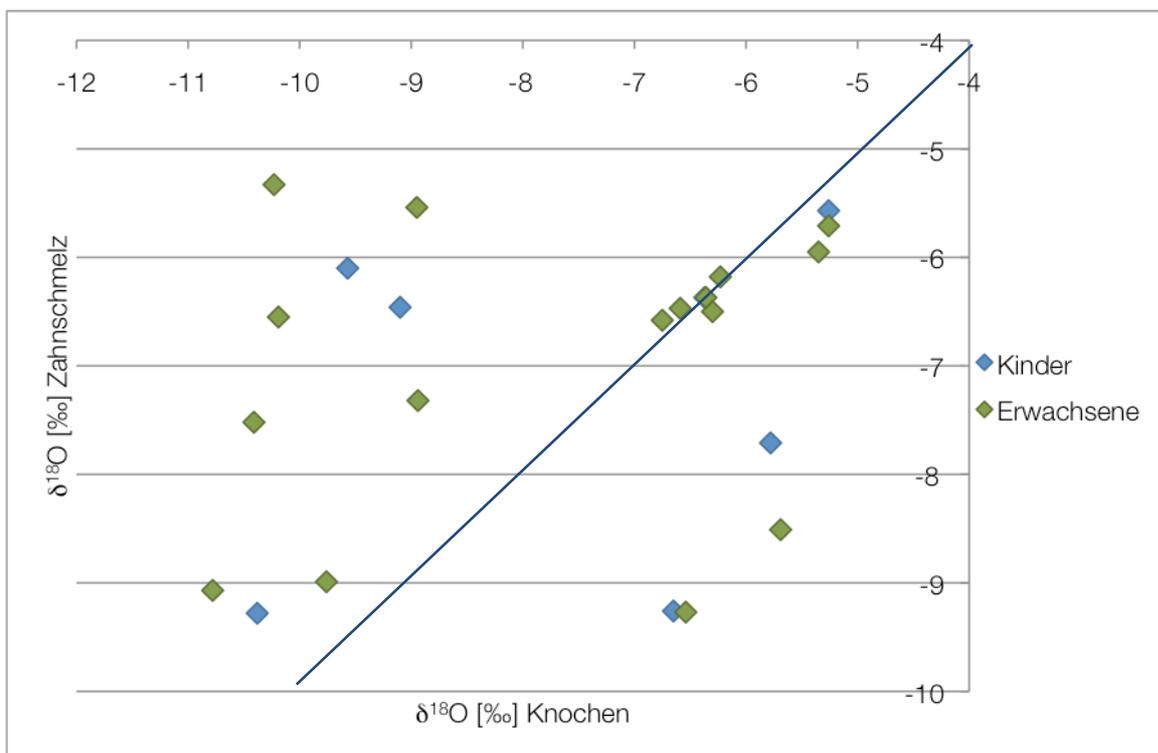


Abbildung 32 $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aus Knochen und Zahnschmelz im Vergleich. Die blaue Linie markiert eine Differenz von 0‰ . Die Daten der Kinder sollten sich entlang dieser Linie aufreihen, während sich die Daten der Erwachsenen, die eine, durch den Stilleffekt verursachte, Differenz zwischen Knochen Zahnschmelz, aufweisen sollten, in der rechten Hälfte kumulieren sollten. Beides ist nicht der Fall, und die Daten von Kindern und Erwachsenen lassen sich nicht von einander trennen.

4.1.13 Gesamtergebnisliste Wenigumstadt

Tabelle 31 Gesamtergebnistabelle von Wenigumstadt. Grau unterlegte, fett gedruckte Grabnummern wurden als nicht-lokal identifiziert. Grau unterlegte, kursiv geschriebene Datensätze weisen Abweichungen auf und wurden von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

	Befund					Apatitextraktion							Ergebnisse						Strontium			
	Geschlecht		Alter	Zeitstellung	TCA	Zahn	Zahntyp	Einwaage Sr [mg]	Zahnschmelz			Knochen			Zahnschmelz			Knochen			Messfehler	
	anthropologisch	archäologisch							Einwaage [mg]	Ausbeute [mg]	Ausbeute in %	Einwaage Knochen [mg]	Ausbeute [mg]	Ausbeute in %	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\delta^{18}\text{O}$ (V-PDB) [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ (V-PDB) [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ (V-PDB) [‰] bone	$\delta^{18}\text{O}$ (V-PDB) [‰] bone	UV	1SD	2SE (%)
WU 1A	w	w	A	SD 9	-	3,6	M1	63,0	100,6	88,8	89,3	-	-	-	0,709606	-7,1	-14,8	-	-	-	0,000057	0,0028
WU 2	nd	nd	nd	nd	-	4,3	C	25,4	100,0	87,9	87,9	-	-	-	-	-7,0	-12,7	-	-	-	-	-
WU 3	w	nd	fA	WU 14	22	3,6	M1	22,3	100,6	81,9	82,5	101,6	75,4	74,2	0,710924	-6,4	-13,3	-11,4	-6,4	2	0,000120	0,0060
WU 4	nd	nd	Inf II	WU 14	8	3,6	M1	-	99,1	80,6	79,9	100,2	66,4	66,2	-	-5,6	-13,7	-13,3	-5,3	-	0,000053	0,0027
WU 5	w	nd	mA	WU 14	31	2,6	M1	60,7	99,7	82,8	82,5	-	-	-	0,709429	-6,7	-13,1	-	-	-	0,000072	0,0036
WU 6	m	nd	fA	WU 15	29	3,6	M1	46,2	100,6	88,8	89,4	-	-	-	0,709730	-8,5	-12,8	-	-	-	0,000051	0,0026
WU 7	nd	w	Inf I	WU 13	1	2,6	M1	37,7	100,5	88,3	88,8	-	-	-	0,709654	-7,5	-13,5	-	-	-	0,000054	0,0028
WU 8	m	nd	fA	WU 15	25	4,7	M2	20,9	100,9	83,0	83,7	100,1	82,2	82,1	0,712977	-6,6	-13,0	-11,9	-5,5	1	0,002073	0,1753
WU 9	nd	nd	Inf II	WU 11	8	2,8	M3	62,4	101,0	88,8	89,6	-	-	-	0,709765	-6,8	-14,2	-	-	-	0,000154	0,0081
WU 10	w	w	sM	WU 12	55	3,7	M2	50,4	99,7	85,3	85,1	-	-	-	0,709940	-6,4	-13,9	-	-	-	0,000186	0,0094
WU 12	m	nd	fM	WU 15	-	2,6	M1	65,6	100,3	89,5	89,7	-	-	-	0,709651	-7,4	-14,2	-	-	-	0,000076	0,0038
WU 13	m	nd	fM	WU 15	59	4,7	M2	27,7	101,0	86,4	87,2	-	-	-	0,708940	-8,7	-12,8	-	-	-	0,000052	0,0025
WU 14	m	m	sM	WU 14	58	1,5	P2	23,7	101,0	90,2	91,1	-	-	-	0,709570	-7,4	-14,5	-	-	-	0,000143	0,0069
WU 15	m	nd	sA	WU 15	45	4,5	P2	53,9	100,6	83,0	83,5	-	-	-	0,709495	-6,2	-14,2	-	-	-	0,000089	0,0044
WU 16	w	nd	sA	WU 14	48	2,7	M2	36,3	100,0	85,2	85,3	101,0	61,3	60,7	0,710988	-5,7	-14,9	-13,6	-5,3	3	0,000157	0,0077
WU 17	w	nd	M	WU 15	-	3,5	P2	28,5	99,6	79,4	79,0	-	-	-	0,709506	-7,6	-12,9	-	-	-	0,000163	0,0081
WU 18	w	w	mA	WU 10	31	4,7	M2	37,4	100,6	81,5	82,0	-	-	-	0,709881	-6,6	-15,0	-	-	-	0,000107	0,0051
WU 19	m	m	A	SD 9	-	1,6	M1	59,5	100,9	87,8	88,5	-	-	-	0,709409	-7,1	-14,4	-	-	-	0,000083	0,0040
WU 20	m	nd	fM	WU 14	37	2,6	M1	23,2	99,8	83,8	83,6	-	-	-	0,708405	-7,5	-13,5	-	-	-	0,000067	0,0033
WU 22	m	m	M	WU 12	-	2,4	P1	35,0	99,5	85,9	85,5	-	-	-	0,709541	-7,8	-13,1	-	-	-	0,000074	0,0037
WU 23	m	m	M	WU 11	-	1,5	P2	20,4	99,4	77,2	76,7	-	-	-	0,710064	-7,8	-14,1	-	-	-	0,000128	0,0064
WU 24	nd	w	Inf II	SD 9	9	4,1	I1	45,2	100,5	84,1	84,6	-	-	-	0,709585	-6,0	-14,5	-	-	-	0,000064	0,0032
WU 25	w	nd	sA	WU 14	38	2,7	M2	-	100,7	85,2	85,7	-	-	-	-	-7,2	-13,3	-	-	-	-	-
WU 26	m	m	Inf I	SD 6	6	1,6	M1	37,4	100,1	75,2	75,2	-	-	-	0,709567	-6,4	-14,2	-	-	-	0,000074	0,0035
WU 28	w	nd	Inf I	SD 7	4	8,5	P2	36,7	100,2	86,0	86,1	100,9	52,1	51,6	0,709437	-6,4	-13,5	-9,9	-6,4	-	0,000082	0,0041

WU 30	m	m	fA	SD 9	-	2,6	M1	55,4	100,0	81,2	81,3	-	-	-	0,710110	-1,5	-12,3	-	-	-	0,000053	0,0026
WU 31	w	w	fM	SD 5	-	4,6	M1	28,1	99,6	82,7	82,3	-	-	-	0,709106	-7,8	-14,2	-	-	-	0,000057	0,0028
WU 32	m	m	sA	SD 9	-	2,6	M1	41,1	100,4	80,4	80,8	-	-	-	0,709402	-7,5	-14,1	-	-	-	0,000104	0,0049
WU 33	w	m	J	SD 2	16	4,6	M1	39,4	100,2	86,8	86,9	-	-	-	0,710213	-6,6	-13,1	-	-	-	0,000071	0,0034
WU 34	w	w	sM	SD 3	66	1,6	M1	62,2	100,6	87,8	88,4	-	-	-	0,709954	-6,3	-13,4	-	-	-	0,000107	0,0053
WU 35	w	w	sA	SD 7	-	2,6	M1	34,0	100,4	87,8	88,1	-	-	-	0,709602	-7,8	-14,3	-	-	-	0,000088	0,0042
WU 37	m	m	fM	SD 7	59	2,6	M1	40,7	99,4	80,6	80,2	-	-	-	0,710596	-6,1	-14,0	-	-	-	0,000111	0,0056
WU 38	nd	nd	Inf I	SD 7	6	3,6	M1	36,2	100,0	85,4	85,4	100,8	52,8	52,4	0,709473	-6,5	-13,8	-13,6	-9,1	2	0,000068	0,0033
WU 39	w	w	sM	SD 7	59	1,8	M3	27,0	100,2	64,4	64,5	100,6	67,4	67,0	0,709226	-9,3	-13,7	-11,0	-6,5	3	0,000066	0,0032
WU 40	m	m	sA	SD 3	36	2,7	M2	59,1	100,0	83,1	83,1	-	-	-	0,710878	-8,6	-12,9	-	-	-	0,000081	0,0001
WU 41	m	m	sA	SD 6	42	4,7	M2	51,6	99,7	85,8	85,5	-	-	-	0,709187	-5,7	-13,8	-	-	-	0,000066	0,0033
WU 42	m	nd	fM	SD 2	47	3,6	M1	65,3	99,8	86,9	86,7	-	-	-	0,709215	-6,9	-13,7	-	-	-	0,000112	0,0053
WU 44	w	w	sA	SD 6	37	1,6	M1	23,3	100,1	83,4	83,5	-	-	-	0,710233	-8,0	-13,3	-	-	-	0,000058	0,0028
WU 48	w	w	sA	SD 7	-	4,7	M2	22,9	85,9	67,1	57,6	99,0	56,6	57,2	0,711383	-6,5	-13,7	-12,1	-6,3	3	0,000136	0,0066
WU 49	nd	m	Inf II	SD 8	7	1,6	M1	58,6	100,3	83,0	83,2	-	-	-	0,709416	-6,4	-14,4	-	-	-	0,000074	0,0037
WU 50	w	w	A	SD 8	-	2,6	M1	55,5	100,4	80,2	80,5	-	-	-	0,709455	-7,8	-13,5	-	-	-	0,000174	0,0083
WU 52	m	nd	sM	WU 15	40	1,7	M2	28,4	101,0	83,4	84,2	101,9	68,7	67,4	0,707806	-6,5	-13,8	-11,2	-6,6	2	0,000047	0,0022
WU 53	m	nd	A	WU 13	28	4,6	M1	32,0	99,9	80,7	80,6	-	-	-	0,709603	-6,0	-13,5	-	-	-	0,000048	0,0023
WU 55	nd	w	Inf I	SD 9	-	1,6	M1	34,9	99,8	84,0	83,9	-	-	-	0,709640	-6,4	-14,5	-	-	-	0,000053	0,0026
WU 57	m	m	erw.	SD 9	50	3,4	P1	29,3	100,5	87,6	88,0	-	-	-	0,709388	-7,3	-14,0	-	-	-	0,000056	0,0026
WU 59	m	m	fM sA/	SD 8	-	2,7	M2	32,2	100,6	82,2	82,6	-	-	-	0,709121	-7,8	-13,9	-	-	-	0,000061	0,0031
WU 60A	w	w	M	SD 8	-	4,6	M1	25,4	99,4	84,7	84,2	-	-	-	0,709097	-6,0	-13,1	-	-	-	0,000097	0,0046
WU 60B	w	nd	M sA/f	WU 15	-	3,7	M2	31,8	99,7	85,3	85,0	-	-	-	0,712134	-8,5	-14,0	-	-	-	0,000060	0,0030
WU 61	w	nd	M	WU 12	-	2,6	M1	23,6	101,0	89,7	90,6	-	-	-	0,709740	-6,8	-13,8	-	-	-	0,000059	0,0028
WU 63	w	w	sA	SD 8	-	1,6	M1	29,3	99,6	73,5	73,2	-	-	-	0,708691	-6,3	-13,8	-	-	-	0,000094	0,0044
WU 64	m	m	sM	SD 8	53	4,8	M3	38,8	100,6	83,4	83,9	-	-	-	0,709731	-7,8	-13,8	-	-	-	0,000056	0,0027
WU 65A	nd	nd	Inf I	WU 15	4	3,6	M1	-	100,6	89,0	89,5	-	-	-	-	-6,0	-13,6	-	-	-	-	-
WU 65B	w	w	sA	SD 8	-	3,7	M2	29,8	99,6	82,6	82,3	-	-	-	0,709347	-7,5	-15,1	-	-	-	0,000084	0,0040
WU 66	m	nd	S	WU 13	62	3,7	M2	39,8	99,4	84,7	84,2	-	-	-	0,709389	-8,0	-13,1	-	-	-	0,000052	0,0026
WU 67	w	nd	sA	WU 15	34	1,7	M2	47,8	-	-	-	-	-	-	0,710589	-	-	-	-	-	0,000055	0,0026
WU 68	w	nd	sA	SD 10	31	4,7	M2	-	100,3	34,3	34,4	-	-	-	-	-7,5	-13,0	-	-	-	-	-
WU 70	m	nd	mA	SD 3	33	3,6	M1	63,7	100,0	78,6	78,6	-	-	-	0,709654	-8,2	-13,6	-	-	-	0,000050	0,0025
WU 71A	w	nd	mA	WU 15	37	2,6	M1	62,1	99,6	85,2	84,8	-	-	-	0,710626	-8,0	-13,3	-	-	-	0,000092	0,0044
WU 76B	nd	nd	Inf I	nd	6	2,6	M1	47,9	100,0	87,1	87,1	101,2	52,8	52,2	0,709612	-9,3	-15,2	-17,2	10,4	2	0,000164	0,0079
WU 77	m	nd	S	WU 15	68	4,7	M2	27,1	100,4	79,0	79,3	-	-	-	0,709880	-6,5	-13,7	-	-	-	0,000258	0,0125
WU 78	w	w	fM	SD 7	49	1,6	M1	31,3	100,2	78,3	78,5	101,0	53,7	53,2	0,715017	-6,2	-14,7	-12,5	-6,2	3	0,000053	0,0026
WU 79A	w	w	fA	SD 9	20	1,6	M1	36,2	100,0	86,7	86,7	-	-	-	0,708417	-6,7	-14,5	-	-	-	0,000248	0,0120
WU 80	m	m	sM	WU 10	-	1,6	M1	35,4	99,9	81,2	81,1	-	-	-	0,709774	-5,7	-14,7	-	-	-	0,000045	0,0023

WU 81	w	w	fA	SD 7	26	4,7	M2	-	99,9	88,2	88,0	-	-	-	-	-7,6	-13,1	-	-	-	-	-
WU 84B	w	m	mA	WU 14	31	2,5	P2	59,8	99,6	91,7	91,3	100,6	59,7	59,3	0,711298	-6,6	-12,8	-16,0	10,2	3	0,000128	0,0061
WU 85	w	nd	sA	WU 14	40	4,6	M1	-	100,1	76,9	77,0	-	-	-	-	-9,0	-12,6	-	-	-	-	-
WU 86	w	w	nd	WU 10	54	2,7	M2	-	100,8	89,1	89,7	-	-	-	-	-7,8	-13,9	-	-	-	-	-
WU 87A	m	nd	sA	WU 13	-	4,6	M1	22,5	100,2	69,7	69,8	-	-	-	0,709338	-8,5	-12,7	-	-	-	-	-
WU 87B	nd	nd	Inf I	nd	4	3,6	M1	-	100,4	85,4	85,7	-	-	-	0,709909	-6,4	-13,8	-	-	-	0,000415	0,0198
WU 88	nd	w	Inf I	SD 8	1	3,6	M1	40,9	100,6	90,5	91,0	-	-	-	0,709348	-7,1	-12,7	-	-	-	0,000088	0,0043
WU 89	w	nd	fM	WU 13	-	4,8	M3	36,9	100,8	85,3	86,0	-	-	-	0,709471	-7,4	-13,3	-	-	-	0,000063	0,0031
WU 95	m	nd	fA	WU 13	24	3,6	M1	32,4	-	-	-	-	-	-	0,709501	-	-	-	-	-	0,000140	0,0066
WU 96	w	m	sA	WU 10	28	3,6	M1	24,3	-	-	-	-	-	-	0,709827	-	-	-	-	-	0,000091	0,0043
WU 98	nd	nd	Inf II	WU 15	9	2,6	M1	48,7	100,2	89,1	89,2	-	-	-	0,709502	-6,5	-14,3	-	-	-	0,000315	0,0150
WU 99	nd	w	Inf I	SD 7	1	4,6	M1	-	100,2	83,8	84,0	-	-	-	-	-6,9	-13,8	-	-	-	-	-
WU 101	w	nd	fA	WU 15	22	4,6	M1	-	99,9	77,2	77,1	-	-	-	-	-7,5	-13,3	-	-	-	-	-
WU 102	w	w	fA	SD 7	21	1,6	M1	34,0	99,8	76,9	76,8	100,7	45,2	44,9	0,709378	-5,5	-14,9	-15,0	-8,9	2	0,000064	0,0032
WU 104	w	w	fA	WU 10	33	3,6	M1	29,5	100,7	85,2	85,7	-	-	-	0,710556	-7,4	-14,1	-	-	-	0,000102	0,0049
WU 106	w	w	fM	SD 3	49	2,7	M2	21,8	100,0	87,3	87,3	100,4	54,3	54,1	0,711792	-7,3	-14,3	-13,8	-8,9	2	0,000093	0,0046
WU 108	w	nd	sA	WU 13	33	1,6	M1	18,2	100,8	77,2	77,8	-	-	-	0,709498	-7,7	-13,1	-	-	-	0,000152	0,0072
WU 110	w	nd	M	WU 12	55	3,6	M1	-	99,5	82,2	81,8	-	-	-	-	-6,4	-12,9	-	-	-	-	-
WU 111	m	m	M	SD 8	55	4,6	M1	24,8	100,7	81,1	81,6	101,2	59,1	58,4	0,708530	-5,3	-14,1	-15,2	10,3	1	0,000083	0,0040
WU 112	nd	nd	Inf	SD 7	-	3,6	M1	-	99,5	71,9	71,6	-	-	-	-	-7,1	-14,0	-	-	-	-	-
WU 115	m	w	sM	SD 2	-	2,5	P2	21,5	100,5	83,1	83,5	-	-	-	0,710292	-5,9	-12,4	-	-	-	0,000252	0,0120
WU 118	m	m	sA	SD 8	42	4,7	M2	24,1	100,4	84,1	84,4	-	-	-	0,710061	-7,8	-14,7	-	-	-	0,000111	0,0053
WU 119	m	nd	sM	WU 13	48	4,7	M2	23,6	100,7	88,1	88,7	-	-	-	0,710336	-8,5	-14,0	-	-	-	0,000065	0,0032
WU 121/1	m	m	sM	SD 8	68	1,6	M1	27,1	100,6	89,1	89,7	100,5	56,3	56,0	0,709241	-7,5	-13,6	-15,7	10,4	3	0,000073	0,0035
WU 121/2	m	nd	J/fA	SD 8	-	4,7	M2	27,1	99,0	77,0	76,3	101,1	77,4	76,5	0,710653	-5,3	-13,8	-15,9	10,2	3	0,000046	0,0023
WU 122	m	m	M	SD 7	-	3,6	M1	-	99,7	80,9	80,6	-	-	-	-	-7,6	-12,0	-	-	-	-	-
WU 124	w	w	M	WU 14	-	1,2	I2	-	100,0	84,0	84,0	-	-	-	-	-7,0	-12,7	-	-	-	-	-
WU 125	w	w	mA	SD 9	36	2,6	M1	-	99,5	81,6	81,2	-	-	-	-	-6,0	-13,9	-	-	-	-	-
WU 127	nd	w	J	WU 14	16	3,7	M2	37,0	99,5	89,6	89,2	-	-	-	0,710411	-6,9	-13,8	-	-	-	0,000075	0,0035
WU 129	w	w	fA	WU 13	27	4,6	M1	23,4	99,6	78,3	78,0	-	-	-	0,709579	-6,1	-14,0	-	-	-	0,000048	0,0024
WU 131	w	nd	fM	WU 15	41	1,8	M3	-	99,8	84,5	84,3	-	-	-	-	-7,2	-12,8	-	-	-	-	-
WU 132	m	m	sM	WU 14	67	3,6	M1	-	100,1	78,0	78,1	-	-	-	-	-7,0	-13,7	-	-	-	-	-
WU 134	m	nd	M	WU 13	-	3,6	M1	21,8	101,0	84,1	84,9	-	-	-	0,709565	-8,9	-12,9	-	-	-	0,000045	0,0022
WU 135	w	w	fA	SD 9	26	4,6	M1	-	101,0	81,2	82,0	-	-	-	-	-7,0	-13,9	-	-	-	-	-
WU 136	nd	w	Inf I	SD 9	5	3,6	M1	21,6	100,5	82,6	83,0	-	-	-	0,709506	-6,2	-14,2	-	-	-	0,000067	0,0031
WU 137	m	m	fA	SD 9	28	3,6	M1	23,0	100,3	82,4	82,6	-	-	-	0,709477	-7,7	-12,7	-	-	-	0,000103	0,0050
WU 138	w	nd	sM/ S	WU 14	-	4,5	P2	-	100,0	48,2	48,1	-	-	-	-	-6,5	-13,9	-	-	-	-	-

WU 139	nd	nd	Inf I	nd	6	1,6	M1	33,3	99,7	75,4	75,2	-	-	-	0,710231	-8,0	-14,2	-	-	-	0,000059	0,0029
WU 140	w	nd	sA	WU 14	35	3,6	M1	27,2	99,7	88,9	88,6	100,2	56,0	55,9	0,709747	-9,0	-13,8	-15,6	-9,8	2	0,000087	0,0041
WU 141	m	m	sA	SD 1	41	4,6	M1	24,5	100,0	81,1	81,1	-	-	-	0,709527	-7,8	-13,4	-	-	-	0,000113	0,0055
WU 142	nd	nd	Inf I	nd	3	4,6	M1	24,6	100,4	71,3	71,6	-	-	-	0,709628	-8,3	-13,4	-	-	-	0,000057	0,0029
WU 143	m	nd	fM	WU 14	43	4,6	M1	-	99,2	78,4	77,8	-	-	-	-	-7,8	-13,5	-	-	-	-	-
WU 145	w	nd	sA	WU 13	31	1,6	M1	-	100,2	89,8	89,9	-	-	-	-	-7,4	-12,9	-	-	-	-	-
WU 147	nd	nd	Inf I	WU 14	3	4,6	M1	27,8	100,6	83,3	83,8	-	-	-	0,710864	-5,7	-13,3	-	-	-	0,000061	0,0030
WU 148	m	m	M	SD 9	40	2,6	M1	33,2	99,8	74,5	74,3	-	-	-	0,709943	-6,9	-13,6	-	-	-	0,000107	0,0053
WU 152	m	m	sA	SD 9	34	4,6	M1	27,3	99,4	82,5	82,0	-	-	-	0,709937	-7,8	-13,2	-	-	-	0,000063	0,0031
WU 153	nd	m	Inf II	SD 9	7	1,6	M1	-	100,1	69,4	69,5	-	-	-	-	-6,6	-14,2	-	-	-	-	-
WU 154	w	w	sA	WU 14	35	4,6	M1	21,8	100,8	85,0	85,6	-	-	-	0,709519	-6,8	-13,0	-	-	-	0,000105	0,0050
WU 155	w	nd	fA	WU 14	20	2,6	M1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WU 156	nd	w	Inf I	nd	1	1,6	M1	16,1	100,7	88,4	89,0	-	-	-	0,709402	-6,8	-13,5	-	-	-	0,000084	0,0041
WU 157	nd	nd	Inf I	nd	4	4,6	M1	-	100,0	70,9	70,9	-	-	-	-	-6,6	-13,8	-	-	-	-	-
WU 158	m	nd	sM	WU 14	72	4,3	C	42,8	-	-	-	-	-	-	0,708983	-7,4	-14,1	-	-	-	0,000065	0,0031
WU 159	w	w	mA	WU 10	28	4,6	M1	23,8	99,6	80,4	80,0	-	-	-	0,709765	-6,8	-14,1	-	-	-	0,000092	0,0046
WU 160	w	w	fA	SD 9	30	2,6	M1	29,1	100,4	74,5	74,7	-	-	-	0,708762	-6,7	-14,1	-	-	-	0,000074	0,0036
WU 161A	w	nd	fM	WU 11	39	4,6	M1	37,2	100,7	90,5	91,1	-	-	-	0,709403	-7,4	-13,6	-	-	-	0,000115	0,0055
WU 162	w	m	sA	WU 13	33	4,6	M1	41,1	100,7	80,1	80,6	-	-	-	0,709799	-7,3	-14,0	-	-	-	0,000042	0,0021
WU 163	m	m	sM	WU 13	69	4,6	M1	15,7	99,8	79,8	79,6	-	-	-	0,709744	-6,7	-14,3	-	-	-	0,000120	0,0057
WU 166	m	nd	fM	WU 12	35	2,6	M1	21,2	100,0	79,6	79,7	99,7	70,1	70,3	0,707989	-6,6	-13,3	-11,2	-6,8	3	0,000077	0,0039
WU 169	w	nd	sM	nd	74	4,6	M1	21,6	99,9	74,6	74,6	-	-	-	0,709723	-7,4	-13,2	-	-	-	0,000147	0,0071
WU 170	w	w	fA	WU 10	-	2,6	M1	41,1	99,4	80,6	80,1	-	-	-	0,709643	-6,5	-14,0	-	-	-	0,000062	0,0030
WU 171	w	nd	fM	WU 14	42	3,6	M1	-	100,0	81,8	81,8	-	-	-	-	-7,0	-13,3	-	-	-	-	-
WU 174	nd	m	Inf I	WU 11	1	3,6	M1	17,5	99,6	83,2	82,9	99,7	62,4	62,6	0,709466	-9,3	-12,8	-12,6	-6,6		0,000108	0,0051
WU 175A	m	nd	M	nd	-	2,6	M1	-	100,6	85,9	86,4	-	-	-	-	-7,1	-13,3	-	-	-	-	-
WU 176	nd	w	Inf II	WU 10	8	4,6	M1	31,4	99,4	90,4	89,9	-	-	-	0,710136	-6,5	-14,0	-	-	-	0,000084	0,0041
WU 177	nd	w	Inf I	WU 10	4	4,6	M1	25,9	100,9	82,0	82,7	100,2	63,3	63,2	0,710780	-7,7	-13,2	-13,3	-5,8		0,000103	0,0049
WU 178	m	nd	fM	WU 13	44	3,6	M1	-	101,0	75,0	75,7	-	-	-	-	-6,8	-14,8	-	-	-	-	-
WU 179	m	m	sA	WU 11	41	4,6	M1	26,5	99,6	83,2	82,8	-	-	-	0,709305	-5,8	-13,7	-	-	-	0,000075	0,0036
WU 180	m	m	sM	WU 10	76	3,6	M1	29,7	100,8	83,2	83,9	-	-	-	0,709420	-8,0	-13,6	-	-	-	0,000065	0,0031
WU 181	m	m	Inf II	WU 10	7	3,6	M1	25,2	100,7	78,0	78,5	-	-	-	0,709641	-6,5	-13,7	-	-	-	0,000047	0,0066
WU 184	m	nd	sM	WU 13	70	3,7	M2	25,6	99,6	76,3	75,9	-	-	-	0,709560	-7,1	-13,7	-	-	-	0,000111	0,0054
WU 185	w	w	fM	WU 11	58	1,6	M1	24,0	100,3	89,3	89,6	-	-	-	0,708512	-7,6	-13,6	-	-	-	0,000037	0,0019
WU 186	nd	w	ln I	WU 11	1,5	3,6	M1	29,0	99,7	87,6	87,3	99,2	57,3	57,7	0,709798	-6,1	-13,9	-14,7	-9,6		0,000057	0,0029
WU 188A	w	nd	fA	WU 12	19	2,6	M1	-	100,7	75,3	75,8	-	-	-	-	-7,3	-13,4	-	-	-	-	-
WU 188B	nd	nd	nd	nd	-	3,6	M1	-	99,5	74,1	73,7	-	-	-	-	-7,6	-13,3	-	-	-	-	-
WU 189	m	nd	sA	WU 15	42	3,6	M1	-	100,4	78,9	79,2	-	-	-	-	-7,6	-13,6	-	-	-	-	-
WU 191	m	m	fA	WU 11	29	3,6	M1	27,8	99,9	74,7	74,6	-	-	-	0,709783	-7,5	-13,5	-	-	-	0,000487	0,0243
WU 194	m	m	sA	WU 11	-	4,6	M1	20,0	100,3	83,3	83,5	-	-	-	0,709578	-7,8	-13,7	-	-	-	0,000095	0,0045
WU 197	w	nd	sA	WU 12	37	3,6	M1	39,6	-	-	-	-	-	-	0,711000	-	-	-	-	-	0,000086	0,0041

WU 198	w	nd	M	WU 11	-	2,7	M2	25,2	99,9	70,8	70,7	100,3	56,6	56,5	0,709870	-6,0	-13,9	-18,2	10,4	1	0,000103	0,0050
WU 199	m	nd	J	WU 11	20	3,6	M1	-	100,9	76,1	76,8	-	-	-	-	-5,8	-14,2	-	-	-	-	-
WU 200	nd	nd	M	WU 11	-	3,4	P1	23,4	100,8	77,6	78,2	-	-	-	0,709749	-8,6	-14,0	-	-	-	0,000052	0,0026
WU 201A	w	nd	S	WU 11	-	3,7	M2	14,0	100,3	83,7	83,9	100,4	59,4	59,2	0,710009	-5,9	-14,2	-15,0	-5,3	3	0,000053	0,0026
WU 202	w	nd	sA	WU 13	49	3,6	M1	46,3	100,5	88,3	88,7	-	-	-	0,709744	-9,0	-13,1	-	-	-	0,000082	0,0039
WU 203	m	nd	sA	WU 14	-	4,6	M1	-	100,9	76,2	76,9	-	-	-	-	-6,8	-12,7	-	-	-	-	-
WU 205	w	w	fA	WU 11	21	4,6	M1	24,4	100,8	78,1	78,7	-	-	-	0,709955	-6,7	-14,1	-	-	-	0,000205	0,0174
WU 206	m	m	fM	WU 11	41	4,7	M2	14,2	99,8	89,4	89,3	-	-	-	0,709560	-6,8	-14,2	-	-	-	0,000047	0,0024
WU 207B	w	nd	Inf II	WU 14	10	1,6	M1	-	99,3	83,5	82,9	-	-	-	-	-6,7	-13,8	-	-	-	-	-
WU 208	w	nd	fA	WU 14	20	2,6	M1	25,2	100,4	87,8	88,2	-	-	-	0,710885	-6,9	-12,4	-	-	-	0,000055	0,0028
WU 210A	nd	m	Inf II	WU 11	11	4,6	M1	32,3	100,6	80,0	80,4	-	-	-	0,709775	-7,1	-14,4	-	-	-	0,000117	0,0057
WU 211	w	w	sM	WU 11	-	2,7	M2	28,2	100,4	64,3	64,6	-	-	-	0,709545	-7,8	-14,1	-	-	-	0,000084	0,0041
WU 212	m	nd	sA	WU 14	41	3,6	M1	-	100,8	57,2	57,7	-	-	-	-	-8,1	-12,5	-	-	-	-	-
WU 215	w	w	fM	WU 13	66	4,5	P2	19,3	99,3	81,0	80,4	-	-	-	0,709795	-6,5	-13,3	-	-	-	0,000029	0,0015
WU 216	m	nd	sM	WU 14	69	3,7	M2	21,2	100,8	82,8	83,4	100,1	66,8	66,8	0,710392	-9,1	-13,5	-17,4	10,8	3	0,000049	0,0025
WU 217	w	w	sM	WU 13	-	3,6	M1	-	101,0	86,6	87,5	-	-	-	-	-7,7	-14,0	-	-	-	-	-
WU 218	m	m	S	WU 13	85	4,7	M2	18,3	-	-	-	-	-	-	0,709908	-	-	-	-	-	0,000189	0,0079
WU 220	m	m	sM	WU 13	79	4,6	M1	-	101,0	84,6	85,4	-	-	-	-	-7,9	-13,7	-	-	-	-	-
WU 221	w	nd	fA	WU 14	34	2,6	M1	-	100,6	82,0	82,5	-	-	-	-	-6,4	-13,2	-	-	-	-	-
WU 222	m	nd	sA	WU 15	50	2,6	M1	22,1	100,3	76,2	76,5	-	-	-	0,709785	-7,8	-13,3	-	-	-	0,000084	0,0041
WU 225	m	nd	sM	WU 13	63	1,6	M1	17,2	100,0	84,9	84,9	-	-	-	0,710332	-7,0	-13,6	-	-	-	0,000063	0,0032
WU 226	m	nd	sM	WU 14	-	4,6	M1	20,8	99,5	73,7	73,3	-	-	-	0,709610	-8,2	-13,7	-	-	-	0,000045	0,0022
WU 228	nd	w	Inf II	WU 10	10	3,6	M1	31,8	100,3	83,2	83,5	-	-	-	0,710066	-5,9	-13,9	-	-	-	0,000041	0,0020
WU 229	nd	w	Inf I	WU 13	6	2,7	M2	16,4	99,8	81,1	80,9	-	-	-	0,709516	-8,3	-13,7	-	-	-	0,000092	0,0045
WU 231	w	w	fA	SD 1	18	1,6	M1	26,3	100,8	87,1	87,9	-	-	-	0,709347	-6,2	-13,1	-	-	-	0,000050	0,0025
WU 232	m	nd	Inf II	SD 1	7	3,6	M1	31,9	100,1	8,9	8,9	-	-	-	0,709615	-6,1	-13,2	-	-	-	0,000075	0,0038
WU 233	nd	w	Inf I	SD 9	6	4,6	M1	-	100,2	81,0	81,1	-	-	-	-	-7,0	-14,5	-	-	-	-	-
WU 234	w	o	fM	WU 15	-	4,6	M1	34,5	-	-	-	-	-	-	0,711650	-	-	-	-	-	0,000076	0,0038
WU 239	m	nd	sA	WU 13	40	4,6	M1	-	100,6	84,2	84,7	-	-	-	-	-6,8	-13,8	-	-	-	-	-
WU 240	w	w	fA	WU 12	23	4,6	M1	36,0	100,5	77,8	78,2	-	-	-	0,709833	-7,9	-13,6	-	-	-	0,000061	0,0031
WU 241	m	nd	M	WU 13	65	3,7	M2	20,3	99,9	81,1	81,0	-	-	-	0,710936	-8,0	-13,7	-	-	-	0,000079	0,0039
WU 242	w	w	M	SD 7	38	4,6	M1	31,7	99,5	85,1	84,7	100,9	57,5	57,0	0,712546	-8,5	-13,9	-15,6	-5,7	2	0,000066	0,0033
WU 243	w	w	sA	SD 7	43	4,6	M1	14,4	100,3	78,4	78,7	-	-	-	0,709521	-8,2	-13,9	-	-	-	0,000120	0,0060
WU 244	w	w	mA	SD 8	33	1,6	M1	23,4	100,0	84,6	84,5	-	-	-	0,709787	-8,0	-13,4	-	-	-	0,000068	0,0034
WU 245	m	nd	fM	nd	43	3,6	M1	-	100,3	86,4	86,6	-	-	-	-	-7,6	-13,9	-	-	-	-	-
WU 246	nd	nd	Inf II	WU 14	8	2,6	M1	-	99,8	83,1	83,0	-	-	-	-	-6,9	-13,7	-	-	-	-	-
WU 247	m	nd	J	WU 14	19	4,6	M1	-	100,2	90,8	91,0	-	-	-	-	-7,4	-13,9	-	-	-	-	-
WU 249	w	m	fM	WU 12	44	4,6	M1	27,6	100,7	90,2	90,8	-	-	-	0,709790	-6,4	-13,6	-	-	-	0,000100	0,0050
WU 250	w	nd	sM	WU 13	68	1,6	M1	15,4	100,4	84,5	84,8	-	-	-	0,710841	-6,7	-14,3	-	-	-	0,000063	0,0032

WU 251	m	nd	M	WU 13	63	3,6	M1	30,8	99,4	82,7	82,2	-	-	-	0,710106	-7,6	-12,9	-	-	-	0,000046	0,0023
WU 253	w	o	M	WU 13	55	2,6	M1	25,9	-	-	-	-	-	-	0,709196	-	-	-	-	-	0,000070	0,0035
WU 254A	w	nd	Inf II	WU 13	8	3,6	M1	-	100,2	78,2	78,3	-	-	-	-	-7,1	-14,4	-	-	-	-	-
WU 255	w	w	sA	WU 12	49	3,6	M1	22,3	100,0	78,7	78,7	-	-	-	0,708961	-7,9	-13,8	-	-	-	0,000049	0,0025
WU 256	m	m	sM	WU 12	70	3,6	M1	28,5	99,8	84,0	83,8	-	-	-	0,708690	-7,7	-13,7	-	-	-	0,000033	0,0046
WU 259	nd	nd	J	WU 12	18	4,6	M1	23,3	99,4	74,4	73,9	-	-	-	0,710447	-6,7	-14,4	-	-	-	0,000041	0,0021
WU 263	w	o	fA	WU 14	36	3,6	M2	27,8	-	-	-	-	-	-	0,709949	-	-	-	-	-	0,000043	0,0022
WU 265	nd	nd	Inf I	WU 14	6	2,6	M1	26,6	100,3	59,3	59,4	-	-	-	0,710057	-5,7	-13,7	-	-	-	0,000062	0,0031

4.2 STRONTIUM- UND SAUERSTOFFISOTOPENERGEBNISSE VRON UND NEUVILLE-SUR-ESCAUT

Aus Neuville-sur-Escout wurden vier Individuen untersucht, aus Vron standen sechs Proben zur Verfügung. Es wurden jeweils die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopie aus dem Zahnschmelz, sowie Kohlenstoff- und Sauerstoffisotopie aus Zahnschmelz und Knochen gemessen (s. Anhang 8.5, Tabelle 67). Für Neuville-sur-Escout ergibt sich ein $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Mittelwert von 0,70907, für Vron 0,70882. Die Spanne in Vron ist mit einem Maximalwert von 0,71048 (Vron 260) und einem Minimalwert von 0,70797 (Vron 233) größer als in Neuville-sur-Escout (s. Tabelle 32, Abbildung 33). Die Fehler lagen alle im Akzeptanzbereich (s. Anhang 8.5, Tabelle 66).

Tabelle 32 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Ergebnisse für Vron und Neuville-sur-Escout.

Ort	n	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum	Spanne
Neuville	4	0,70907	0,00051	0,70860	0,70954	0,00094
Vron	6	0,70882	0,00087	0,70797	0,71048	0,00251
Insgesamt	10	0,70892	0,00072	0,70797	0,71048	0,00251

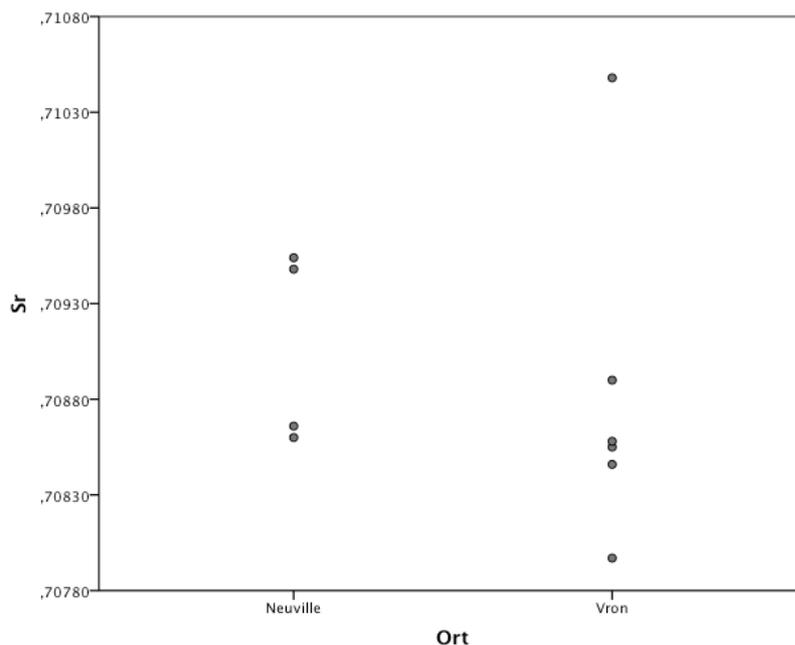


Abbildung 33 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Daten für Neuville-sur-Escout und Vron.

Aufgrund der archäologischen Vermutungen (s. Kapitel 2.2.1), ist nun interessant, ob es sich bei den beiden Fundplätzen Vron und Neuville-sur-Escout um eine einheitlichen Population handelt, was dafür sprechen würde, dass es sich um Einheimische handelt. Für die Individuen aus Neuville-sur-Escout wurde im Mittel eine Sauerstoffisotopie im Zahnschmelz von $-5,07\text{‰}$ und im Knochen von $-4,94\text{‰}$ ermittelt. Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte ergaben für Zahnschmelz $-12,99\text{‰}$ und für Knochen $-13,59\text{‰}$. Das Probenmaterial aus Vron erbrachte im Mittel einen $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von $-5,11\text{‰}$ im Zahnschmelz und $-6,25\text{‰}$ im Knochen. Im Zahnschmelz wurde im Mittel eine Kohlenstoffisotopie von $-12,63\text{‰}$ gemessen und im Knochen $-12,27\text{‰}$ (s. Tabelle 33).

Tabelle 33 Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopenergebnisse aus Vron und Neuville-sur-Escout.

Ort		Zahnschmelz		Knochen	
		$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]
Neuville	n	4	4	4	4
	Mittelwert	-5,07	-12,99	-4,94	-13,59
	Standardabweichung	0,48	0,45	0,50	0,27
	Minimum	-5,37	-13,46	-5,49	-13,81
	Maximum	-4,35	-12,53	-4,28	-13,24
	Spannweite	1,02	0,93	1,21	0,57
Vron	n	6	6	6	6
	Mittelwert	-5,11	-12,63	-6,25	-12,27
	Standardabweichung	0,69	0,71	0,76	1,18
	Minimum	-5,92	-13,48	-7,32	-13,63
	Maximum	-4,26	-11,78	-5,05	-10,55
	Spannweite	1,66	1,70	2,27	3,08
Insgesamt	n	10	10	10	10
	Mittelwert	-5,09	-12,77	-5,72	-12,80
	Standardabweichung	0,59	0,62	0,93	1,12
	Minimum	-5,92	-13,48	-7,32	-13,81
	Maximum	-4,26	-11,78	-4,28	-10,55
	Spannweite	1,66	1,70	3,04	3,26

Die größte mittlere Differenz ($\Delta^{18}\text{O}$) zwischen den Sauerstoffdaten aus Zahnschmelz und Knochen findet sich in Vron ($1,14\text{‰}$), mit einer Spanne von $1,53\text{‰}$. In Neuville-sur-Escout beträgt die Spanne $0,52\text{‰}$ bei einem $\Delta^{18}\text{O}$ -Mittelwert von $0,13\text{‰}$.

Die $\Delta^{13}\text{C}$ -Spanne im Probenmaterial von Vron ($1,6\text{‰}$) ist ebenfalls größer als in Neuville-sur-Escout ($0,46\text{‰}$), wohingegen der Mittelwert in Neuville-sur-Escout ($0,59\text{‰}$) größer ist. Der größte $\Delta^{18}\text{O}$ -Wert wurde in der Probe Vron 180 gemessen, während der kleinste Wert in der Probe Neuville 20 ermittelt wurde. Die größte Differenz in $\delta^{13}\text{C}$ entstammt

der Probe Vron 260 (-1,23‰) und die kleinste der Probe Vron 183 (-0,01‰) (s. Tabelle 34, Abbildung 34). Die homogene Verteilung der Daten kann auf einem 5%-Signifikanzniveau nicht verworfen werden ($F=5,133$, $p=0,53$) (s. Anhang 8.5, Tabelle 68). Deswegen darf eine ANOVA durchgeführt werden. Diese ergibt, dass die Nullhypothese (die Mittelwerte zwischen den Gruppen Vron und Neuville-sur-Escaut sind gleich) auf einem 5%-Signifikanzniveau verworfen werden kann ($F=14,369$, $p=0,005$) (s. Anhang 8.5, Tabelle 69). Abbildung 34 zeigt ebenfalls, dass sich die beiden Gruppen deutlich voneinander abgrenzen.

Tabelle 34 Daten der $\Delta^{18}\text{O}$ - und $\Delta^{13}\text{C}$ -Differenzen für Vron und Neuville-sur-Escaut (Zahnschmelz – Knochen).

Ort		$\Delta^{18}\text{O}$	$\Delta^{13}\text{C}$
Neuville	n	4	4
	Mittelwert	-0,13	0,59
	Standardabweichung	0,23	0,21
	Minimum	-0,35	0,33
	Maximum	0,17	0,79
	Spannweite	0,52	0,46
Vron	n	6	6
	Mittelwert	1,14	-0,35
	Standardabweichung	0,63	0,55
	Minimum	0,69	-1,23
	Maximum	2,22	0,37
	Spannweite	1,53	1,60

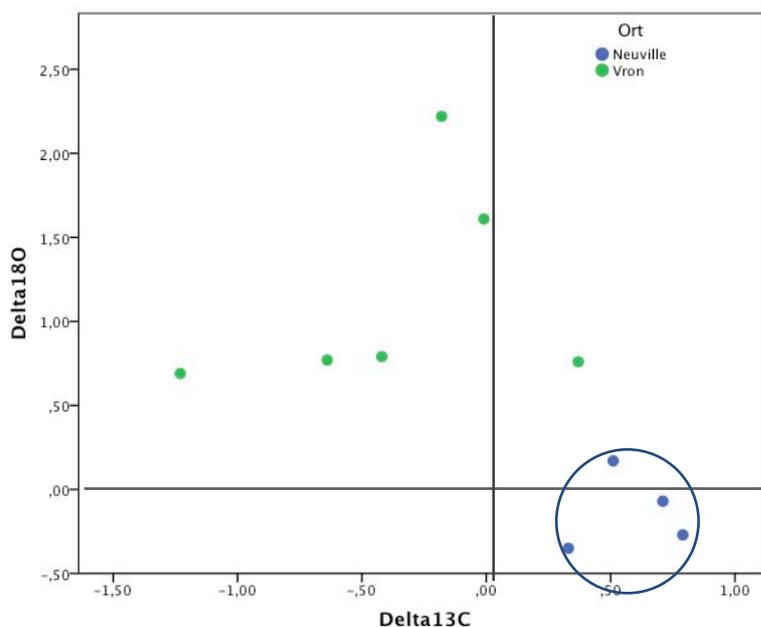


Abbildung 34 Darstellung der $\Delta^{18}\text{O}$ - und $\Delta^{13}\text{C}$ -Werte für Vron und Neuville. Die Linien markieren jeweils eine Differenz von 0‰ in $\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^{13}\text{C}$.

Diese Ergebnisse zeigen auf jeden Fall, dass es sich hier um zwei unterschiedliche, von einander getrennte Populationen handelte.

Zum Vergleich mit dem lokalen $\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$ (modernes Oberflächenwasser), wurden die Sauerstoffisotopien umgerechnet (vgl. Kapitel 3.2.5). Für die Umrechnung in meteorische Oberflächendaten wurde die Gleichung von Longinelli (1984) verwendet mit einem Faktor von 0,78 (Tabelle 35). Am Beispiel von Wenigumstadt hatte sich die Formel nach Longinelli (1984) bewährt (s. Kapitel 4.1.9).

Insgesamt ergibt sich ein $\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$ -Mittelwert von -7,85‰. Für die Individuen aus Vron wurde ein $\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$ -Mittelwert im Zahnschmelz von -7,46‰ ermittelt, der um 1,48‰ positiver ist als der aus Knochen. Bei den Individuen in Neuville-sur-Escaut fällt der Unterschied zwischen dem Knochen (-7,24‰) und dem Zahnschmelz (-7,41‰) kleiner aus. Die Erwartungswerte nach OIPC (Bowen 2010) lagen bei 7,7‰ bzw. 7,8‰, was relativ gut mit den umgerechneten Mittelwerten übereinstimmen würde.

Tabelle 35 Umrechnung der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte von Vron und Neuville-sur-Escaut (V-PDB) in $\delta^{18}\text{O}_{\text{mw}}$ (V-SMOW).

Grab	Probe	$\delta^{18}\text{O}$ [‰] V-PDB	Umrechnungen		
			in V-SMOW	in Phosphat	in $\delta^{18}\text{O}_{\text{mw}}$
Vron 266	Zahnschmelz	-4,29	26,42	17,39	-6,39
	Knochen	-5,05	25,62	16,61	-7,38
Vron 260	Zahnschmelz	-5,92	24,72	15,72	-8,52
	Knochen	-6,61	24,01	15,03	-9,41
Vron 233	Zahnschmelz	-5,57	25,08	16,08	-8,07
	Knochen	-6,36	24,26	15,28	-9,09
Vron 183	Zahnschmelz	-4,26	26,44	17,41	-6,35
	Knochen	-5,87	24,77	15,78	-8,45
Vron 180	Zahnschmelz	-5,10	25,57	16,56	-7,45
	Knochen	-7,32	23,26	14,30	-10,35
Vron 146	Zahnschmelz	-5,49	25,17	16,16	-7,96
	Knochen	-6,26	24,36	15,38	-8,97
Neuville 65	Zahnschmelz	-5,37	25,29	16,29	-7,80
	Knochen	-5,02	25,65	16,64	-7,34
Neuville 60	Zahnschmelz	-5,32	25,34	16,33	-7,74
	Knochen	-5,49	25,17	16,16	-7,96
Neuville 22	Zahnschmelz	-5,23	25,44	16,43	-7,62
	Knochen	-4,96	25,71	16,70	-7,27
Neuville 20	Zahnschmelz	-4,35	26,35	17,32	-6,48
	Knochen	-4,28	26,42	17,39	-6,38

4.3 STRONTIUMERGEBNISSE DER BÖHMISCHEN PROBEN

Die Ergebnisse sind in Tabelle 36 dargestellt. Von den beiden Pferden wurden jeweils eine Kieferknochen- und eine Zahnschmelzprobe genommen. Leider ergab die Analyse eines Zahnschmelzes (Pferd Zoo 12A.1) kein messbares Signal. Für sechs weitere Proben liegen keine Werte vor, da kein messbares Signal detektiert werden konnte.

Tabelle 36 Strontiumergebnisse des böhmischen Fundmaterials

Probe	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	1 σ Fehler	Art	Ort	
Ao2296	0,70981	0,000106	Mensch	Bezno	ältere RKZ
Ao3122	n.b.		Mensch	Pha-Podbaba	ältere RKZ
Ao5641	0,70969	0,000027	Mensch	Poplze-Viničky	ältere RKZ
Ao7617	0,71292	0,000249	Mensch	Beroun-Závodí	jüngere RKZ
Ao10771	n.b.		Mensch	Mělník	Latène
H9	0,70954	0,000021	Mensch	Tišice	RKZ A - B1a
H10	0,70973	0,000019	Mensch	Tišice	RKZ A - B1a
H17	n.b.		Mensch	Tišice	RKZ A - B1a
H44	0,70883	0,000022	Mensch	Mělník	Latène
Zoo6A	0,71005	0,000025	Schwein	Mlékojedy	ältere RKZ
Zoo7A	0,70934	0,000025	Schwein	Mlékojedy	ältere RKZ
Zoo8A	n.b.		Schwein	Mlékojedy	ältere RKZ
Zoo9A	n.b.		Schwein	Mlékojedy	ältere RKZ
Zoo10A	0,71019	0,000030	Schwein	Mlékojedy	ältere RKZ
Zoo11A.1	0,70947	0,000016	Pferd ZS	Mlékojedy	ältere RKZ
Zoo11A.2	0,70933	0,000036	Pferd K	Mlékojedy	ältere RKZ
Zoo12A.1	n.b.		Pferd ZS	Mlékojedy	ältere RKZ
Zoo12A.2	0,71078	0,000020	Pferd K	Mlékojedy	ältere RKZ
Zoo13A	0,70842	0,000014	Rind	Mlékojedy	ältere RKZ
Zoo14A	0,70923	0,000017	Schwein	Mlékojedy	ältere RKZ
Zoo15A	n.b.		Rind	Mlékojedy	ältere RKZ
Zoo16A	0,70952	0,000018	Hase	Mlékojedy	ältere RKZ
Zoo17A	0,70971	0,000024	Ziege/Schaf	Mlékojedy	ältere RKZ
Zoo18A	0,70989	0,000027	Feldhamster	Mlékojedy	ältere RKZ
Zoo19A	0,70962	0,000026	Feldhamster	Mlékojedy	ältere RKZ

Von insgesamt sechs menschlichen Proben liegen Ergebnisse vor. Die Wertespanne reicht von 0,70883 (H44) bis 0,71292 (Ao7617), der Mittelwert liegt bei 0,71009. Die zwölf Tierproben erbrachten Werte von 0,70842 (Zoo13A, Rind) bis 0,71078 (Zoo12A.2, Pferd Dentin) (s. Tabelle 37). Für den Zahnschmelz der letzten Probe (Zoo12.A) gibt es leider kein Ergebnis.

Tabelle 37 Deskriptive Statistik der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Ergebnisse der böhmischen Proben.

		Sr	1σ
Mensch	n	6	6
	Mittelwert	0,71009	0,000074
	Standardabweichung	0,00143	0,000092
	Minimum	0,70883	0,000019
	Maximum	0,71292	0,000249
	Spannweite	0,00410	0,000230
Tier	n	12	12
	Mittelwert	0,70963	0,000023
	Standardabweichung	0,00058	0,000006
	Minimum	0,70842	0,000014
	Maximum	0,71078	0,000036
	Spannweite	0,00236	0,000022
Insgesamt	n	18	18
	Mittelwert	0,70978	0,000040
	Standardabweichung	0,00093	0,000056
	Minimum	0,70842	0,000014
	Maximum	0,71292	0,000249
	Spannweite	0,00450	0,00024

Von den Archäologen in Prag wurde auch eine Maus im Ausgrabungsgebiet gefangen, mazeriert und zur Analyse nach München übersandt. Allerdings konnte aus den Knochen auch nach mehrmaligem Versuch kein messbares Signal gewonnen werden.

5 DISKUSSION

5.1 ERGEBNISSE FÜR DAS GRÄBERFELD AUS WENIGSTUMSTADT

5.1.1 Knochenerhaltung und Auswahl der Proben

Die Begutachtung des Bodens führte zu einer Einordnung in die „Lehme“ bzw. „Lehmtone“ (s. Kapitel 4.1.1). Diese Bodenart ist für Wurzelwachstum gut geeignet. Lehm mit nennenswertem Gehalt an Kalk, etwa in Folge wenig fortgeschrittener Verwitterung oder bei der Entstehung durch Ablagerung kalkigen Materials, wird als Mergel bezeichnet. Tonreiche Lehme werden als fett bezeichnet (nicht im Sinne von fetthaltig), tonarme als mager. Lehm ist nicht so plastisch und wasserundurchlässig wie Ton, da die Korngröße der Bestandteile Sand und Schluff größer ist. In feuchtem Zustand ist Lehm formbar, in trockenem Zustand fest. Dies erklärt den hohen Härtegrad bei der Konsistenzprüfung (s. Kapitel 4.1.1). Bei Wasserzugabe quillt Lehm, beim Trocknen schwindet oder schrumpft er. Als Baustoff speichert Lehm Wärme und wirkt regulierend auf die Luftfeuchtigkeit. Aufgrund des hohen Anteils verwitterbarer Minerale, der zudem von einer guten Speicherfähigkeit für Nährstoffe und Wasser begleitet wird, entstehen aus Lehm im Allgemeinen fruchtbare Böden.

Insofern ist es nachvollziehbar, dass auf einem solchen Boden, der fruchtbare Erde und Baumaterial bereit stellt, Siedlungen entstehen und Ackerbau betrieben wird. Da es sich dabei aber um einen sehr aktiven Boden mit einer hohen Karbonatkonzentration handelt, muss damit gerechnet werden, dass die in diesem Milieu gelagerten Knochen starken Rekristallisations- und Substitutionsmechanismen ausgesetzt gewesen sind. Wäre kein oder kaum Karbonat im Boden vorhanden, würde ein Gleichgewichtsaustausch stattfinden, der den Knochen das Karbonat entziehen würde. So aber findet dieser Gleichgewichtsaustausch in die andere Richtung statt. Dadurch wird Sedimentkarbonat als Rekristallisationsprodukt auf- und im Knochen eingebaut. Diese Bindung sollte aber schwächer sein als die des natürlichen Knochenkarbonats und durch die Reinigung während des Extraktionsprozesses wird das adsorbierte Karbonat

herausgelöst (s. Kapitel 3.2.2). Die Skelette selbst sind, wie für ein frühmittelalterliches Gräberfeld zu erwarten ist, mäßig bis gut erhalten, was heißt, dass die Knochen größtenteils vollständig vorhanden, allerdings bereits zu einem Teil fragmentiert sind. Dies bedeutet aber ebenfalls, dass das umgebende Sediment in das porösere Innere der Knochen vordringen konnte, die sonst davor geschützt gewesen wären. Da mit einer nicht kontrollierbaren und unüberprüfaren diagenetischen Veränderung des Knochensubstrats in Wenigumstadt zu rechnen ist, wurde daher im Wesentlichen auf Zahnschmelz als Probenmaterial zurückgegriffen.

Unmöglich ist auch nicht, dass der Zahnschmelz, der durchaus etwas resistenter gegen diagenetische Veränderungen ist, bereits ebenso von ähnlichen Rekristallisationsprozessen betroffen ist. Dies kann letztendlich bis zu einer kompletten Substitution der biogenen Ionengruppen durch bodengelagerte Ionen führen, wie zum Beispiel Silikate, was schließlich eine Fossilisierung zur Folge hat (Stanton-Thomas und Carlson 2004).

Der pH-Wert der Bodenproben schwankte zwischen 7,5 und 7,8 und lag also im neutralen bis leicht basischen Bereich. Ein saurer pH-Wert würde dafür sprechen, dass das Bodenmilieu den Knochen stark angreifen könnte, wohingegen ein basischer pH-Wert die Konservierung von Knochen eher begünstigt (Nielsen-Marsh et al. 2007). Somit kann hier kein Hinweis auf ungünstige Liegebedingungen der untersuchten Knochen gefunden werden. Allem Anschein nach war das Liegemilieu immerhin so konstant, dass die Knochen auch nach fast 1500 Jahren immer noch erhalten sind.

Die Fragestellung dieser Arbeit lautete, die Provenienzen der einzelnen Individuen zu untersuchen. Das bevorzugte Untersuchungsmaterial für die Strontiumisotopenanalyse hierbei ist der Zahnschmelz des ersten Dauermolaren. Dieser wird etwa in den ersten drei Lebensjahren gebildet und speichert so die Informationen dieser Zeitspanne, also die geologische und ökologische Zusammensetzung des Heimathabitats, in den Isotopensignaturen. Tütken (2010) fordert, dass weder Knochen als Probenmaterial für Sauerstoffisotopenanalysen benutzt werden sollte, noch Zahnschmelz von Milchzähnen, sondern nur Zahnschmelz von Dauerzähnen und keinesfalls der des ersten Dauermolaren, da der Autor den verfälschenden Einfluss des Stilleffektes fürchtet (s. Kapitel 1.7.2).

Der größte Vorteil bei der Verwendung desselben Zahnes für die Analyse der schweren und der leichten Isotope ist der, dass exakt dasselbe Zeitfenster für das jeweilige

Individuum betrachtet werden kann. So können Sauerstoff-, Kohlenstoff- und Strontiumisotopie besser in Einklang gebracht werden. Ein anderer Zahn, der später gebildet wird, würde ein anderes Zeitfenster abbilden, unter Umständen sogar einen Zeitpunkt, zu dem das Individuum bereits auf Wanderschaft war. Dadurch könnte eine Mischung der Isotopie gebildet worden sein, die dann schwierig zuzuordnen wäre.

Der Vergleich mit den Signaturen des Knochens könnte zwar unter Umständen Späteinwanderer identifizieren, also solche Personen, die etwa in den letzten zehn bis fünfzehn Lebensjahren zugewandert sind, da der Knochen sich ein Leben lang umbildet und so ein Archiv für die letzten Jahre bildet. Allerdings besteht, wie oben dargelegt, die Möglichkeit, dass die Isotopendaten des Knochens durch das Liegemilieu verändert wurden und so fehlerhafte Ergebnisse das Bild verfälschen könnten, die kaum durch qualitative Analysen untersucht und verifiziert werden können. Lediglich eine nicht-lokale Signatur kann als sicher und unverfälscht gelten, da sie nicht durch das umgebende Bodenmilieu verändert worden sein kann. Dies hat aber auch zur Folge, dass zwangsläufig die Immigrantenzahl immer unterschätzt wird.

Dennoch wurde anhand einiger ausgewählter Individuen gerade der Vergleich zwischen der Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopie des Knochens und des Zahnschmelzes gezogen. Größtenteils handelte es sich dabei um Individuen, die im Vergleich zu der restlichen betrachteten Population extreme Sauerstoff- und Strontiumisotopien aufwiesen. Damit könnte für diese Personen eine genauere Rekonstruktion ihrer persönlichen Migrationsgeschichte beleuchtet werden. Einige Individuen dienten dazu, den lokalen Bereich festzumachen und unter Umständen den möglichen Stilleffekt im $\delta^{18}\text{O}$ -Wert zu bestimmen und einzugrenzen.

Um zumindest grob die Zuverlässigkeit der Daten bestimmen zu können, wurde die Qualität der vorgesehenen Knochenstücke, soweit möglich, mit Hilfe der UV-Fluoreszenz untersucht (s. Kapitel 4.1.2). Drei Proben wurden daraufhin ausgeschlossen, da eine gelbe Fluoreszenz mit einem schlechten Erhaltungsgrad einhergehen kann. Hoke et al. (im Druck) empfehlen, nur eindeutig blau fluoreszierende Proben (UV-Index = 3) für eine weitere Analyse in Betracht zu ziehen. Alle gemischt oder gelb fluoreszierenden Proben könnten mit höherer Wahrscheinlichkeit schlechter erhalten sein als die Blauen, wobei die Autoren hierbei in Kauf nehmen, dass auch gut erhaltene Proben ausgeschlossen werden können. Das bedeutet, von den 21 untersuchten Proben müssten elf ausgeschlossen werden, und damit wären über 52%

der Proben für eine archäometrische Analyse wahrscheinlich nicht gut genug erhalten. Immerhin wurden diese Kriterien für die Kollagenextraktion und den DNA-Erhalt erstellt und da es sich hierbei um organische Moleküle handelt, unterliegen diese einer schnelleren Diagenese als die mineralischen Knochenkomponenten. Für Knochenkarbonat kann generell eine bessere Erhaltung angenommen werden. Deshalb wurden die acht gemischt fluoreszierenden Proben ebenfalls in die Betrachtung einbezogen, nur sollte immer beachtet werden, dass diese potenziell schlecht erhalten sein können, da die Methode der UV-Fluoreszenz nicht auf die Integrität der biogenen Karbonat-Signatur getestet wurde.

5.1.2 Demographie von Wenigumstadt

Die maßgeblichen bevölkerungswirksamen Parameter sind die Geburten- und die Sterberate. Aus der Verrechnung der beiden Größen ergibt sich, ob eine Population zunimmt oder abnimmt, wobei Migrationen, also Zuzug und Wegzug, vorerst vernachlässigt wird. Die Paläodemographie stellt jedoch eine Besonderheit dar, da sie nicht auf aktuelle, „lebende“ Daten einer Lebendpopulation zurückgreifen kann, sondern die Berechnungen auf einer Sterbepopulation basieren. Die wichtigste Voraussetzung besteht in einer validen, anthropologischen Erhebung der Ausgangsdaten für Sterbealter und Geschlecht der einzelnen Individuen.

Ein großer Vorteil der Skelettserie von Wenigumstadt sind die bereits ausführlich vorliegenden archäologischen und anthropologischen Analysen. Aufgrund der morphologischen Untersuchung durch Herrn Dr. P. Schröter (unveröffentlicht) und der genaueren Altersbestimmung durch die Zahnzementringanalysen von Cipriano-Bechtle (1994), liegen besonders exakte Angaben für die Bestimmung der verschiedenen Altersklassen vor, was einer Berechnung der demographischen Daten nur zuträglich ist (s. Kapitel 2.1.2 und 4.1.3). Üblicherweise wird für die Berechnung der Lebendbevölkerung das Ergebnis mit dem Faktor 1,1 multipliziert, das entspricht einer Addition von 10%. Damit wird der Annahme Rechnung getragen, dass Teile der Bevölkerung an anderen Begräbnisplätzen als dem ergrabenen Gräberfeld bestattet worden sind. Stauch postuliert 2004, dass das Gräberfeld wohl zu 40% ergraben wurde, rechnet also mit 60% nicht entdeckten Gräbern. Bei 309 dokumentierten Bestattungen müssten etwa 460 unentdeckt geblieben sein. Cipriano-Bechtle (1994)

und Dittmann (1999) gingen beide noch von einer Erfassung von 60% aus, fußend auf damaligen Informationen von Stauch. Dies wären insgesamt gerade einmal 515 ergrabene und etwa 200 fehlende Gräber.

Bei der Verteilung der Geschlechter und des Alters im Verlauf der Zeit darf natürlich nicht außer Acht gelassen werden, dass auch die Bevölkerung in den späteren Phasen zunimmt und damit eine größere Verteilung durch die Einzeldatenpunktzahl möglich ist. Deutlich wird dies vor allem bei der Anzahl der Kinder, die im Laufe der Zeit gehäuft zu finden sind.

Die Häufung der Kinderskelette im Zentralbereich scheint nicht durch eine erhöhte Kindersterblichkeit im eigentlichen Sinne hervorgerufen zu sein. Vielmehr kann dies chronologisch bedingt sein, da sich ab der Phase 7 die Bevölkerung von Wenigumstadt langsam aber stetig vergrößert und dadurch auch mehr Kinder vor Ort geboren werden. Verheilte und chronische Entzündungsherde und andere pathologische Veränderungen (Dittmann und Grupe 2000) legen aber auf jeden Fall nahe, dass die Kinder umsorgt und gepflegt wurden.

Cipriano-Bechtle (1994) stellte eine Häufung von älteren Individuen im spätmaturen oder senilen Altersstadium im nord-östlichen Randbereich des Gräberfeldes fest. Dies sind Gräber, die vor allem in der Spätphase angelegt wurden, also in einer Zeit, zu der die Christianisierung weit fortgeschritten war. Stauch (2004) vermutete darauf hin, dass es sich dabei möglicherweise um Menschen gehandelt hat, die noch den alten Sitten und Bräuchen nachgingen und deshalb noch bei den vorangegangenen Generationen auf dem alten Gräberfeld bestattet wurden. Die restliche Bevölkerung benutzte dieses nur noch als Ausweichgräberfeld und hatte bereits ein neueres an anderer Stelle, womöglich bei einer christlichen Kirche gegründet.

5.1.3 Bestimmung der lokalen Strontiumisotopie

Die konventionelle und ursprüngliche Art der Bestimmung der lokalen Strontiumisotopie eines Ortes wurde über den Mittelwert \pm die zweifache Standardabweichung festgelegt, die aus den Messdaten berechnet wurde. Im Falle Wenigumstadts beträgt die Standardabweichung 0,000841 und der Mittelwert 0,70983 (s. Kapitel 4.1.5). Damit liegen die Grenzwerte bei 0,70815 und 0,71151. Innerhalb dieser Wertespanne wären also alle Individuen als lokal zu betrachten. Für die 137 gültigen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte in Wenigumstadt bedeutet das, dass lediglich sieben Individuen (=5,1%) als geologisch betrachtet nicht-lokal eingestuft werden könnten (siehe auch Abbildung 35).

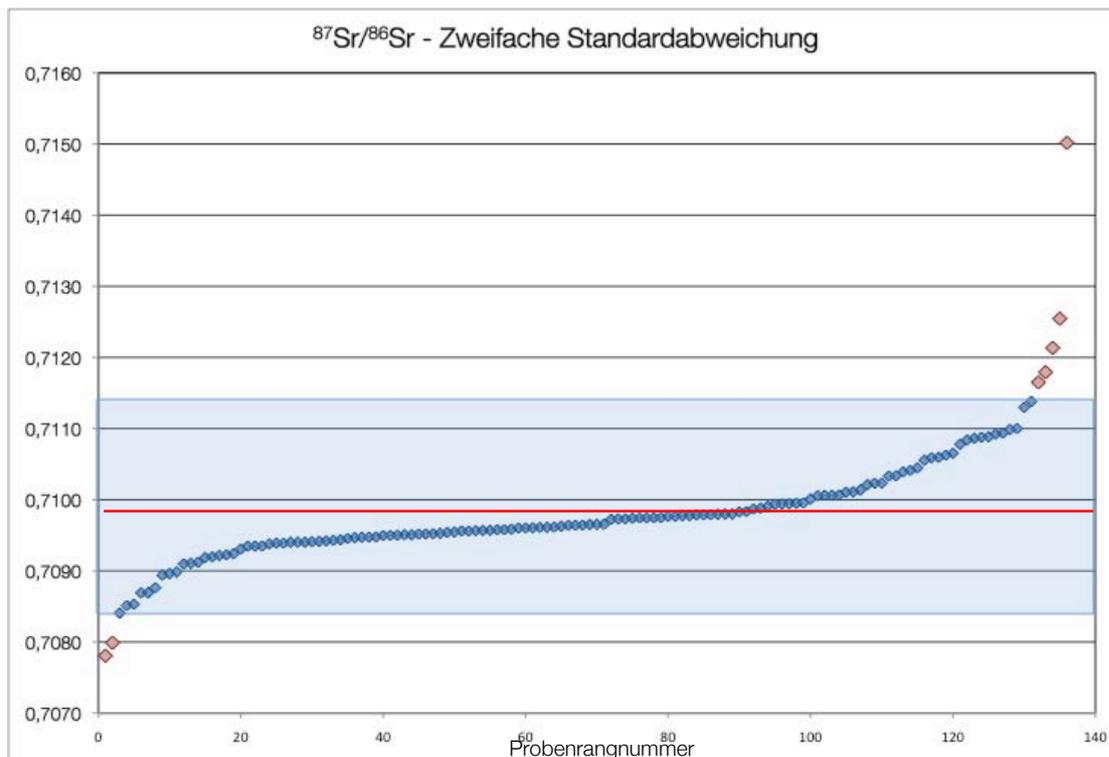


Abbildung 35 Der lokale $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Bereich (blauer Bereich) in Wenigumstadt berechnet nach der konventionellen Art der zweifachen Standardabweichung (Mittelwert (rote Linie) \pm 2x STABW).

In der Paläodemographie wird bei der Berechnung der Lebendbevölkerung schon mit einem Anteil von 10% der Personen gerechnet, die nicht in der Heimat bestattet werden. Diese 10% können als natürliche Grunddurchmischung der Bevölkerung gelten, verursacht durch Einheiratung in andere Orte, Handelsreisen oder einfach einen Ortswechsel, bedingt durch soziale oder ökonomische Gründe.

Auf dieser Grundlage erscheinen 5% Migrantenanteil sicherlich sehr gering. Möglich mag es durchaus sein, da es sich um einen relativ abgelegenen Siedlungsort handelte und die Bevölkerung sich gegen äußere Einflüsse abgegrenzt haben könnte. Allerdings hätte sie sich dann schon rein biologisch nicht so entwickeln können, wie sie es tat. Aus einer Ausgangspopulation von drei bis fünf Personen kann sich keine gesunde Population von 50 und mehr gleichzeitig lebenden Menschen entwickeln. Außerdem zeigen allein die Beigaben, dass ein gewisser Zustrom geherrscht haben muss, der allein durch den Kontakt und Austausch mit der Außenwelt zustande kommt.

Bentley (2006) und Price et al. (2003) forderten bereits eine Neudefinition des Begriffs „lokale Isotopie“ und ein Umdenken in der Bestimmung derselben. Price et al. (2003) konnten eindeutige Unterschiede zwischen den erwarteten geologischen Wertebereichen und den letztendlich gemessenen Werten in bodengelagerter Fauna, modernen Proben und Wasser feststellen (siehe auch 1.6.3). Eine Grundforderung der Autoren besteht darin, lokal begrenzt mobile Klein- und Kleinstsäugetiere als primäre Vergleichsbasis zu nutzen. Damit sind in erster Linie Mäuse, Ratten und Hasen oder ähnliches gemeint. Problematisch ist zumeist, dass ein solches Material erst einmal gefunden werden will, erhebt man den Anspruch, bodengelagertes und damit in einem gewissen Rahmen historische Knochen zu analysieren. Es besteht natürlich auch die Möglichkeit, moderne Nagetiere zu fangen. Mit Mäusen könnte das noch funktionieren, allerdings sollten diese nachweislich keine Hausmüllreste verzehrt und nach Möglichkeit auch keinen Zugang zu modernen Düngemitteln gehabt haben. Dies alles würde nämlich die lokale $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopie mit eingeschleppten Isotopen aus anderen Gegenden, und damit geologischen Regionen, verfälschen. Da es sich bei Wenigumstadt um eine Altgrabung handelt, deren Abschluss mehrere Jahrzehnte zurückliegt und selbst die dokumentierten Tierbeigaben und Knochenfunde verschollen sind (z.B. Schwein und Katze, Stauch 2004), bestand keine Hoffnung, bodengelagerte Mäuseknochen oder dergleichen zu finden.

Eine weitere von Bentley et al. (2003) praktizierte Variante ist die Analyse von Schneckenschalen. Sie sammelten moderne Schneckenschalen an verschiedenen Orten entlang des westlichen Odenwaldrandes und im Odenwald selbst (vgl. Abbildung 36). Auch in der vorliegenden Arbeit wurde versucht, eine Schnecke als Anzeiger der lokalen Isotopie zu nutzen. Der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert für die Schnecke aus Wenigumstadt (S 234) liegt nun niedriger als die Daten von Bentley et al. (2003) und die in dieser Arbeit

gemessenen Bodenwerte (s. Kapitel 4.1.6, Tabelle 17). Dies kann dadurch bedingt sein, dass sich die Schnecke bevorzugt auf kalkigen Böden aufhält, um dort das Material für den Aufbau des Gehäuses aufzunehmen. Es handelt sich um eine gewöhnliche Gartenschnecke, weswegen es sich wohl kaum um einen Import handelt.

Es ist also unumgänglich, einen anderen Ansatz zur Bestimmung der lokalen Isotopensignatur zu finden. Als Ausgangsbasis dient natürlich zu allererst das unterliegende Gestein, das einen gewissen Wertebereich aufweisen kann und dadurch andere Wertebereiche definitiv ausgeschlossen werden können. Das Gräberfeld liegt in einem Tal, das von Lösserden bedeckt ist (s. Kapitel 2.1.4). Die Geologie dort zeigt auch hauptsächlich junge Sedimentschichten von Mergel, Lehm, Kies und Sand. Dies allein würde zu einer erwarteten Wertespanne von etwa 0,708 bis 0,709 (s. Kapitel 1.6.3, Abbildung 6) führen.

Nun ist die geologische Umgebung von Wenigumstadt nicht so perfekt homogen, dass diese Erwartung ausreichen würde (s. Abbildung 37). An der breitesten Stelle im Umkreis von Wenigumstadt ist die junge Sedimentschichtung etwa 1km breit. Nördlich und südlich schließen ca. 250 Mio. Jahre alte Lagen von Unterem Buntsandstein aus der Trias an, der Werte von über 0,710 bis etwa 0,713 zeigen kann (s. Kapitel 1.6.3, Tabelle 2). Bentley und Knipper (2005) analysierten hauptsächlich Schweinezähne von verschiedenen prähistorischen und historischen Fundplätzen in Südwestdeutschland, wobei auch Orte rund um den Odenwald zu ihrem Untersuchungsgebiet gehörten (s. Abbildung 36, und Kapitel 5.1.4, Tabelle 45).

Die Daten der rezenten Schnecken von Bentley et al. (2003) vervollständigen das Bild. Bei Schweinen, genauso wie bei anderem Vieh, kann es sich aber auch um Handelsware handeln. Dabei müssen die Tiere nicht einmal aus sehr weit entfernten Regionen stammen, sondern nur aus einem Ort, der 100 km entfernt liegt, und die Isotopie ist eine völlig andere. Deswegen wurde für die Berechnung der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Mittelwerte in Karte Abbildung 36 für den Ort Goddelau (Nr. 4) der Wert 0,71568 nicht mit einberechnet, da die anderen beiden Schweine Werte von 0,70863 und 0,70953 aufwiesen (siehe auch Tabelle 38). Die letzten beiden Werte decken sich mit der Geologie in Goddelau, das auf quartärem Rheinkies ohne Einsprengsel von Basalt oder Granit liegt. Das erste Schwein scheint daher ein Import zu sein. Vielleicht kam es nicht von sehr weit her, aber es könnte zumindest aus dem Odenwald selbst stammen. Dasselbe gilt für ein Schwein aus Bruchenbrücken (Nr. 3), das einen Wert von 0,71210 zeigt, während für ein zweites Schwein ein $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert von 0,70907 gemessen

wurde. Bruchenbrücken liegt auf tertiären Sedimenten mit Basalteinsprengseln (Abbildung 36). Diese könnten für eine höhere Isotopie verantwortlich sein, da sie vulkanischen Ursprungs sind, allerdings würde eher eine Mischisotopie zu erwarten sein, da sich so kleinräumige geologische Unterschiede zumeist im darüberliegenden Boden mischen.

Tabelle 38 Literaturdaten für biologisch verfügbares Strontium in der Umgebung von Wenigumstadt, siehe auch Abbildung 36. 1 Diese Arbeit, Menschen (lokal); 2-5 Bentley und Knipper 2005; 6-10 Bentley et al. 2003. Die mit * markierten Werte werden als Ausreißer behandelt und nicht in den Mittelwert mit einberechnet.

	Ort	Geologie	Mittelwert $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Einzelwerte
1	Wenigumstadt	Tertiäre Sedimente	0,70983	0,70894- 0,71014
2	Schwanfeld	unterer Keuper der Trias, Löss	0,70953	0,70968 0,70949 0,70944
3	Bruchenbrücken	Tertiäre Sedimente, Basalteinschlüsse, Löss	0,70907	0,70907 *0,71210
4	Goddelau	Quartäre, fluviatile Sedimente, Rheinkies	0,70908	0,70863 0,70953 *0,71568
5	Schnellerts	Gneis	0,71069	0,71023 0,71114
6	Mörtenbach	Granit	0,70985	-
7	Mackenheim	Granit, Diorit	$\pm 0,00065$	-
8	Schönau	Buntsandstein		-
9	Dossenheim	Quartäre, fluviatile Sedimente	0,70901 $\pm 0,00065$	-
10	Schriessheim/ Hohensachsen	Quartäre, fluviatile Sedimente		-

Im Vergleich mit den Werten, die bei Bentley und Knipper (2005) und Bentley et al. (2003) gemessen wurden, würde der Mittelwert von Wenigumstadt (0,70983) eher auf einen Fundplatz hindeuten, der auf Granit gelegen ist, wie es zum Beispiel bei Mörtenbach und Mackenheim der Fall ist. Für Orte, die sich auf quartären oder tertiären Sedimenten befinden, würden dagegen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte von etwa 0,7090 erwartet werden (z.B. Goddelau, Dossenheim, Schriessheim, Hohensachsen). Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Spanne liegt nach der konservativen Berechnung mittels der zweifachen Standardabweichung in Wenigumstadt bei 0,70815 bis 0,71151 und sprengt damit den angegebenen Bereich.

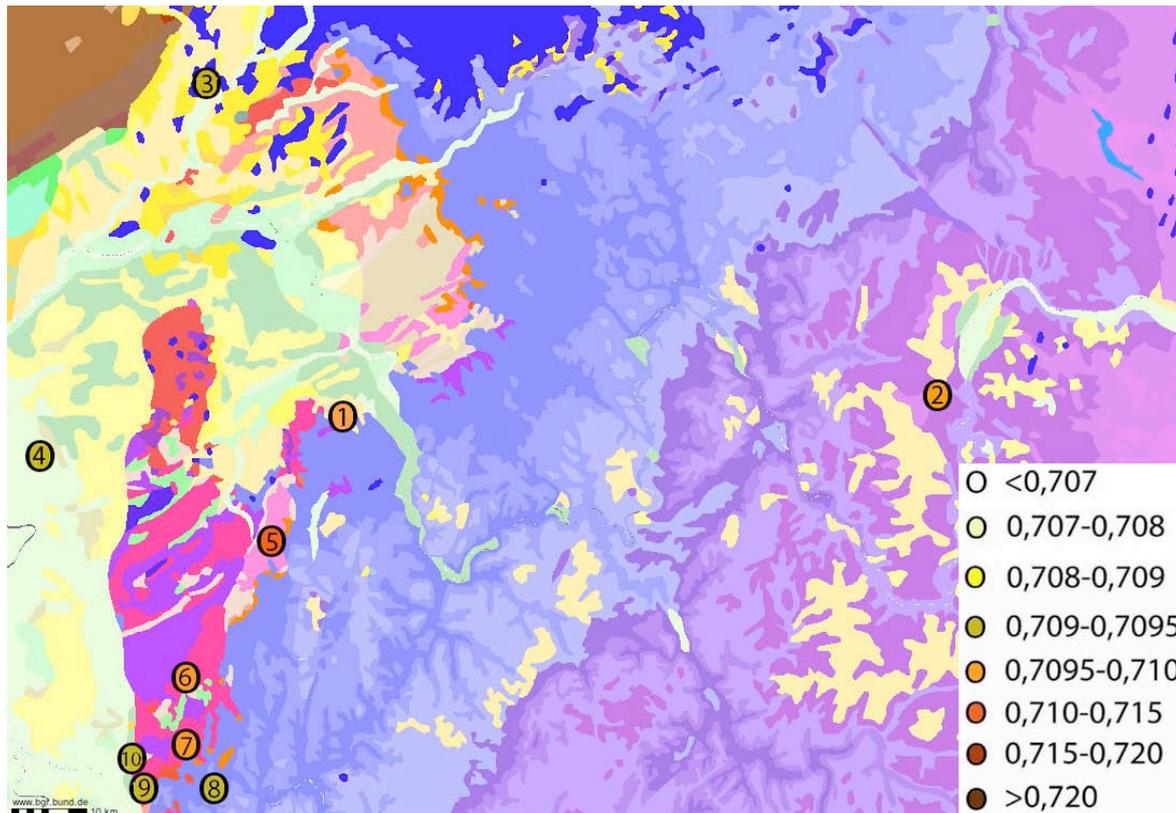


Abbildung 36 Kartenausschnitt für das östliche Hessen und das nordwestliche Bayern mit eingezeichneten Literaturangaben für $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte in der Umgebung Wenigumstadts. 1) Wenigumstadt (diese Arbeit); 2) Schwanfeld, Unterfranken; 3) Bruchenbrücken, Wetterau, Hessen; 4) Goddelau, Rheinebene; 5) Schnellerts, Odenwald; 6) Mörtenbach, Odenwald; 7) Mackenheim, Odenwald; 8) Schönau, Odenwald; 9) Dossenheim, Odenwald Niederung; 10) Schriesheim, Hohensachsen, Odenwald Niederung (2-5 Bentley und Knipper 2005, 6-10 Bentley et al. 2003). Die exakten Daten sind in **Tabelle 38** aufgeführt. Die Farbe der Markierungspunkte entspricht der Zuordnung der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Mittelwerte der jeweiligen Fundorte in die farbkodierten Wertebereiche der Legende, die auch schon bei **Abbildung 8** verwendet wurde. Der Kartenausschnitt stammt aus dem Dienst GeoViewer des BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2010), Legende siehe **Abbildung 37**.

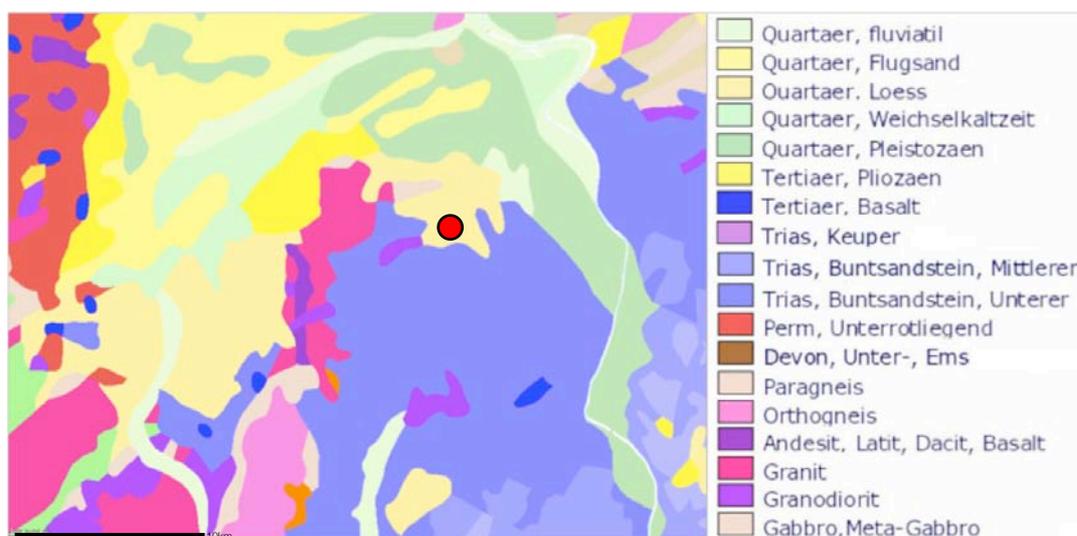


Abbildung 37 Kleinerer Ausschnitt aus **Abbildung 36** für die Umgebung von Wenigumstadt (roter Punkt).

BODENPROBEN

Zur Feststellung der lokalen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Signatur standen Bodenproben zur Verfügung, die aus jedem Grab bei der Grabung entnommen worden waren. Zunächst wurde die Bodenprobe aus Grab WU 234 verwendet, da hier auch die Schneckenschale (s. o.) gefunden worden war. Schließlich wurden neun weitere Bodenproben zufällig ausgewählt. Die Werte reichen von 0,70898 (WU 249) bis 0,7102 (WU 265). Der Mittelwert liegt bei $0,70941 \pm 0,00039$ (s. Kapitel 4.1.6, Tabelle 17).

Tabelle 39 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Grenzwerte für Wenigumstadt basierend auf den Bodenproben. Die beiden angegebenen Proben aus WU sind die letzten demzufolge als lokal geltende Individuen.

lokal					
Erde WU 249		0,70898			
WU 158		0,70898			
WU 176		0,71014			
Erde WU 265		0,71020			
nicht lokal					
WU 52	0,70781	WU 225	0,71033	WU 40	0,71088
WU 166	0,70799	WU 119	0,71034	WU 208	0,71089
WU 20	0,70841	WU 216	0,71039	WU 3	0,71092
WU 185	0,70851	WU 127	0,71041	WU 241	0,71094
WU 111	0,70853	WU 259	0,71045	WU 16	0,71099
WU 256	0,70869	WU 104	0,71056	WU 197	0,71100
WU 63	0,70869	WU 67	0,71059	WU 84B	0,71130
WU 160	0,70876	WU 37	0,71060	WU 48	0,71138
WU 13	0,70894	WU 71	0,71063	WU 234	0,71165
WU 255	0,70896	WU 121/2	0,71065	WU 106	0,71179
WU 33	0,71021	WU 177	0,71078	WU 60B	0,71213
WU 139	0,71023	WU 250	0,71084	WU 242	0,71255
WU 44	0,71023	WU 147	0,71086	WU 78	0,71502

Dieser Bodenmittelwert würde sich wieder eher mit den Daten aus Schwanfeld (0,70953) decken, das auf Keuper liegt, der von Löss bedeckt ist. Verwendet man die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wertespanne der Bodenproben als lokale Isotopie, bilden die beiden Extremwerte die Grenzwerte. Die letzten lokalen Proben wären dann WU 13 (0,70894) und WU 176 (0,71014) (Tabelle 39). Bei 40 der 137 gültigen Strontiumdatensätze müsste eine lokale Herkunft ausgeschlossen werden. Dies entspräche einem Migrantenanteil von 29,2%, der fast sechsmal so hoch ist wie der konventionell berechnete Anteil von 5%.

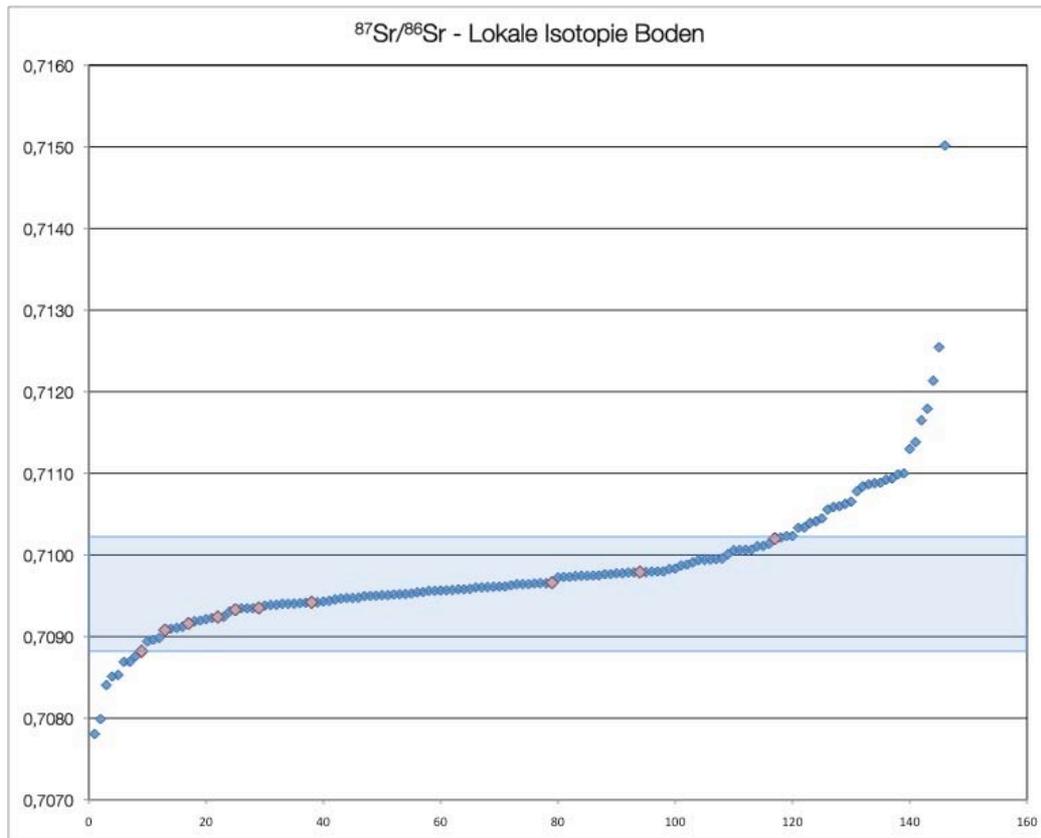


Abbildung 38 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Bereich für Wenigumstadt basierend auf zehn Bodenproben mit den Grenzwerten 0,70882 und 0,7102 (Tabelle 39).

Können nun Bodendaten ausreichend als Hinweis auf die lokale Isotopie gelten? Durch die Säurelösung der Proben ist mit Sicherheit die lösliche Fraktion des Bodens herausgelöst worden. Und diese ist es, die als mobile Phase aus dem Gestein in den arbeitenden Boden übergeht und schließlich in die Pflanzen aufgenommen wird. Allerdings ist der höchste Wert (0,7102) gleichzeitig ein Ausreißer, der mittels des σ -outlier Tests berechnet wurde (s. Kapitel 4.1.6, Tabelle 19). Wird diese Bodenprobe nicht miteinbezogen, liegen die cut-off values der lokalen Isotopie nach der Berechnung mit einem σ -Testfaktor von „2“ bei 0,70986 und 0,70881. Demnach wären 54 Datensätze nicht lokalen Ursprungs, sondern als Ausreißer zu betrachten. Dies entspräche einem Migrantenanteil von 39,4%. Bei einer weiteren Eingrenzung werden die Grenzwerte mit einem σ -Testfaktor von 1,64 bei 0,70948 und 0,70896 festgelegt (s. Kapitel 4.1.6, Tabelle 20), wodurch nur noch 29 Datensätze nicht als Ausreißer behandelt werden. Das wäre ein Migrantenanteil von 78,8%, was kaum realistisch erscheint. Daher wird diese Berechnung verworfen und nicht weiter in die Betrachtung mit einbezogen.

VERGLEICH DER CUT-OFF VALUES

Hier muss nun zwischen der lokalen Isotopie des Gräberfeldbodens selbst und dem tatsächlich als Siedlungsfläche genutzten Boden differenziert werden. Die geologischen Karten zeigen deutlich, dass in Wenigumstadt nicht mit einer eindeutigen lokalen Signatur zu rechnen ist, die allein auf geologischen Bodendaten basiert. Es ist auf jeden Fall mit einem Eintrag von kristallinem Material aus dem Buntsandsteingebiet zu rechnen, was die Isotopie erhöhen dürfte. In der Tat spricht die Bodenprobe aus Grab 265 sogar genau dafür, da sie einen erhöhten $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert von 0,71020 zeigte. Dies könnte bereits ein Hinweis auf einen kristallinen Einfluss sein. Daher scheint die Eingrenzung der lokalen Isotopie allein fußend auf den Sedimentproben nicht ausreichend.

Die überzeugendsten Ergebnisse bis hierhin konnten mit der Berechnung eines Mittelwertes über den σ -outlier Test erzielt werden (s. Kapitel 4.1.6, Tabelle 20). Die Grenzwerte die mit den Faktoren „2“ und „1,77“ berechnet wurden, unterscheiden sich nicht sehr und es werden auch nur sechs weitere Individuen, durch die engeren Grenzen, als nicht-lokal bestimmt. Die Frage nach deren Provenienz kann eventuell über die archäologischen Befunde und die leichten Isotope geklärt werden.

Die cut-off values die mit dem σ -Testfaktor 1,54 errechnet wurden, erscheinen da schon wieder zu eng. Die Spanne beträgt 0,00053, und dies ist fast dieselbe Spanne wie bei den Bodenproben (0,00052). Wie schon bei den Bodenproben dürfte diese Spanne für natürliche $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wertespanssen zu knapp gegriffen sein, gerade für geologisch so variables Gebiet wie Wenigumstadt.

Es kann erst einmal nur ein als gesichert geltender lokaler Bereich definiert werden, der auf jeden Fall innerhalb der Grenzen liegt, die durch die Berechnung mit dem σ -Testfaktor von 1,54 der Menshdaten gezogen werden. In Tabelle 40 bleiben die Gräber, die in diesen Bereich fallen, unmarkiert (weiß) (n=80). Diejenigen Gräber, die nach dem σ -outlier Test (Faktor 1,77) sehr wahrscheinlich noch lokalen Ursprungs sind, wurden blau markiert (n = 14). Bis hierhin gibt es keine Zweifel. Nun kommen aber sechs Gräber hinzu, die nach dem σ -outlier Test mit Faktor „2“ keine Ausreißer darstellen, sondern nur bei der Eingrenzung auf einen Faktor von „1,77“. Diese könnten Ausreißer darstellen, aber auch lokalen Ursprungs sein. Dies muss mit den archäologischen Befunden und den Isotopendaten der leichten Elemente abgeglichen werden. Drei dieser sechs $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte (WU 33: 0,71021; WU 139: 0,71023; WU 44: 0,71023) werden durch den höchsten Bodenwert als lokal ausgeschlossen. Dies könnte

ein Hinweis darauf sein, sie doch als Ausreißer zu betrachten. Die Untergrenze der Bodenwerte deckt sich mit der Grenze, die mit dem σ -Testfaktor „2“ berechnet wurde.

Tabelle 40 Liste der als lokal eingestuft Gräber (n=103). Weiß = sicher lokal (σ -Faktor 1,54), Blau = wahrscheinlich lokal (σ -Faktor 1,77), Grün = vielleicht lokal (σ -Faktor 2), Orange = vielleicht lokal (Bodenwerte). Der schwarze Balken markiert die Grenze, die durch die Bodenprobe WU 265 als Maximum gezogen wird.

Grab	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Grab	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Grab	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
WU 13	0,70894	WU 136	0,70951	WU 163	0,70974
WU 255	0,70896	WU 17	0,70951	WU 140	0,70975
WU 158	0,70898	WU 229	0,70952	WU 200	0,70975
WU 60A	0,70910	WU 154	0,70952	WU 159	0,70977
WU 31	0,70911	WU 243	0,70952	WU 9	0,70977
WU 59	0,70912	WU 141	0,70953	WU 80	0,70977
WU 41	0,70919	WU 22/23	0,70954	WU 210	0,70978
WU 253	0,70920	WU 211	0,70955	WU 222	0,70979
WU 42	0,70922	WU 206	0,70956	WU 244	0,70979
WU 39	0,70923	WU 184	0,70956	WU 249	0,70979
WU 121 (1)	0,70924	WU 134	0,70957	WU 215	0,70980
WU 179	0,70931	WU 26	0,70957	WU 186	0,70980
WU 231	0,70935	WU 14	0,70957	WU 162	0,70980
WU 65A	0,70935	WU 194	0,70958	WU 96	0,70983
WU 88	0,70935	WU 129	0,70958	WU 240	0,70983
WU 102	0,70938	WU 24	0,70959	WU 198	0,70987
WU 57	0,70939	WU 35	0,70960	WU 18	0,70988
WU 66	0,70939	WU 53	0,70960	WU 218	0,70991
WU 156	0,70940	WU 1A	0,70961	WU 152	0,70994
WU 32	0,70940	WU 226	0,70961	WU 10	0,70994
WU 161	0,70940	WU 76B	0,70961	WU 148	0,70994
WU 19	0,70941	WU 232	0,70962	WU 263	0,70995
WU 49	0,70942	WU 142	0,70963	WU 34	0,70995
WU 180	0,70942	WU 55	0,70964	WU 201	0,71001
WU 5	0,70943	WU 181	0,70964	WU 04	0,71004
WU 28	0,70944	WU 170	0,70964	WU 265	0,71006
WU 50	0,70946	WU 12	0,70965	WU 118	0,71006
WU 174	0,70947	WU 70	0,70965	WU 23	0,71006
WU 89	0,70947	WU 7	0,70965	WU 228	0,71007
WU 38	0,70947	WU 169	0,70972	WU 251	0,71011
WU 137	0,70948	WU 6	0,70973	WU 30	0,71011
WU 15	0,70950	WU 64	0,70973	WU 176	0,71014
WU 108	0,70950	WU 61	0,70974	WU 33	0,71021
WU 95	0,70950	WU 202	0,70974	WU 139	0,71023
				WU 44	0,71023

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bei 94 von 137 Individuen mit hoher Wahrscheinlichkeit von einer lokalen Strontiumsignatur auszugehen ist. Dies entspricht

einem Migrantenanteil von etwa 31,4%. Bei neun Individuen (6,6%) muss eine genauere Aussage noch zurückgestellt werden.

Bei Betrachtung dieser Daten wird nun klar, warum eine Neudefinition der konservativen Betrachtung der lokalen Isotopie dringend nötig ist. Auf althergebrachte Art und Weise wären lediglich 5,1% der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Datensätze als nicht-lokal eingestuft worden. Nun sind es sogar mehr Individuen, deren Provenienz vorerst fraglich bleiben muss und gut 31%, die als nicht-lokal betrachtet werden können.

Um die Frage der lokalen Isotopie weiterführend zu klären, da immer fraglich ist, ob die Sedimentproben nun zu eng gefasst sind, weil sie nur den Boden des Gräberfeldes widerspiegeln, oder ob es ausreicht, genau das zu betrachten, soll nun auf die Frage nach dem bioverfügbaren Strontium eingegangen werden. Kleinsäuger standen leider nicht zur Verfügung. Also muss auf andere Art und Weise geklärt werden, wie sich der geologische Einzugsbereich von Wenigumstadt definiert. Die Fundstelle liegt in einem alten Flussbett, das durch den Eintrag aus umliegenden Gebieten geprägt sein kann. Die Frage ist zudem, ob sich die Siedlung selbst in unmittelbarer Nähe des Gräberfeldes befunden hat, was mangels archäologischer Befunde nicht geklärt werden kann. Die Siedlung selbst ist nun wiederum gar nicht ausschlaggebend für die lokale Signatur. Vielmehr ist es der genutzte Boden, der für die Strontiumsignatur im Knochen der sich auf ihm bewegenden Lebewesen verantwortlich ist. Dazu soll nun geklärt werden, wie groß die Nutzfläche zur Ernährung der frühmittelalterlichen Bewohner gewesen sein, um sich zum Beispiel bis in das Buntsandsteingebiet ausgedehnt zu haben.

Dies ist wichtig, um zu entscheiden, ob mit einem Einfluss von Isotopendaten aus dem Buntsandstein zu rechnen ist oder nicht.

BIOVERFÜGBARES STRONTIUM

Mehrfach wurde von verschiedenen Autoren gefordert, dass die Grundlage für eine Bestimmung der lokalen Isotopie nach Möglichkeit archäologisch überlieferter Zahnschmelz von möglichst ortskonstant lebenden Klein- oder Haustieren sein soll (Bentley 2006; Price et al. 2002; Bentley und Knipper 2005).

Der guten Absicht und einleuchtenden Idee dahinter stehen leider ganz praktische Probleme im Weg. Bei Ausgrabungen wird kaum auf Skelettüberreste von Kleintieren geachtet, geschweige denn auf Zähne von zum Beispiel Mäusen oder Hasen. Des Weiteren ist es schwierig, solche Tiere einer archäologischen Schicht zuzuordnen, in den meisten Fällen dürften diese Tiere relativ rezenten Ursprungs sein. Bei Haustieren

besteht immer die Möglichkeit, dass es sich bei diesen selbst um Handelsware handelt, wie zum Beispiel bei Schweinen (Bentley und Knipper 2005) und Rindern (Schweissing und Grupe 2003b; Price et al. 2003). Außerdem können Weideflächen abseits der Siedlung in einem anderen Habitat oder geologischen Bereich liegen, z.B. bei der Schweinemast im Wald. Das Prinzip der Wanderviehwirtschaft (oder Transhumanz⁴) darf auch nicht ganz aus den Augen gelassen werden (vor allem bei Schafen, Ziegen oder Pferden). Hunde und Katzen könnten hier eine Möglichkeit darstellen, könnten aber auch einen größeren Bewegungsradius zeigen, der auch dadurch gekennzeichnet sein dürfte, dass sie auf verschiedenste Futter- und Wasserquellen Zugriff hatten. Entscheidend hierbei ist aber immer die Überlieferung im Fundkontext bis zur Einlagerung der Knochen und deren Verbleib.

Als erste Grundlage für die lokale Isotopie muss natürlich die Ausgangssituation festgehalten werden, und das ist der Boden, in dem sich das betreffende Gräberfeld befindet. Ist die zugehörige Siedlung bekannt, dient natürlich auch deren Grund als lokale Referenz. Da Wenigumstadt über einen langen Zeitraum eine größere Siedlung war, als lediglich ein oder zwei Weiler, mussten mehr Menschen zeitgleich ernährt werden. Strontium wird über die Nahrung aufgenommen, daher ist für die lokale Strontiumisotopie eher entscheidend, wo die Nahrung des Menschen herkam, als der Mensch selbst. Und da für eine gewisse Menschenmenge auch ein gewisser Raum nötig ist, um Getreide anzubauen und die Tiere zu weiden, dehnt sich die Nutzfläche, die Gartenbau-, Acker-, Weide- und Waldfläche gleichermaßen einschließt, dementsprechend aus. Lössgebiete gelten als sehr fruchtbar, da die reichhaltigen Minerale durch eine kleine aber nicht zu feine Korngröße gut zugänglich sind. Die gute Durchlüftung und die Eigenschaft als Wasserspeicher erleichtern die Bodenbildung. Auf Löss entstehen tiefgründige, leicht zu bearbeitende und nährstoffreiche Braunerden, Parabraunerden und Schwarzerden.

Löss ist ein vom Wind abgelagertes Sediment, das aus Feinmaterial – vor allem aus Schluff – besteht, das größtenteils im Pleistozän abgelagert wurde. Der Tongehalt bei frischem Löss ist sehr variabel, 5 bis ca. 20%, während die Anteile an Feinsand wechselnd sind. Fritz et al. (2009) nennen für die moderne Bodengüte rund um

⁴ Transhumanz ist eine Wanderviehwirtschaft, bei der das Vieh nicht, oder nur saisonweise, eingestallt ist. Bei Milchvieh, das auf der Alm über Nacht eingestallt wird, spricht man von Fernweidewirtschaft.

Großostheim eine Ackerzahl von 66⁵, die Bodenart ist tiefgründiger, lehmig sandiger Schluff, bei einer mittleren Niederschlagssumme von 650mm und einer mittleren Jahrestemperatur von 8,8°C. Dies entspricht einer guten bis sehr guten Bodengüte, die eine hohe Ertragsfähigkeit des Bodens erwarten lässt. Heutige Bodengüten können nicht ohne weiteres auf vor- und frühgeschichtliche Verhältnisse übertragen werden, da sich durch Bewirtschaftung sowohl eine Verbesserung als auch eine Verschlechterung der Böden ergeben kann; Parameter, um auf die Bodengüte in vergangenen Jahrhunderten zurückzuschließen, existieren kaum. Daher wurden die entnommenen Bodenproben nicht nur für die Strontiumisotopenanalysen verwendet, sondern auch zur Bodenqualitätsbestimmung herangezogen (s. Kapitel 4.1.1).

Um die lokale Strontiumisotopie zu bestimmen, sollten die einer Siedlung zugehörigen landwirtschaftlich genutzten Flächen wie Gärten, Äcker und Weiden berücksichtigt werden. Gerade im Falle Wenigumstadts ist es unumgänglich die nähere Umgebung der Siedlung in die Betrachtung mit einzubeziehen. Die vielschichtige Geologie des Odenwaldes, der Untermainebene und des Reinheimer Hügellandes erlauben keine simple Eingrenzung auf einen einzigen Gesteins- bzw. Bodentyp. Neben den Flusssedimenten des Ur-Mains, den holozänen Ablagerungen und angeschwemmten Böden, liegt direkt nebenan der kristalline Odenwald mit unterliegendem Buntsandstein. Dementsprechend kommt ein größerer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wertebereich in Frage. Das Flusstal selbst bietet den besten Boden, allerdings könnte die Siedlung mit wachsender Bevölkerungszahl eine Ausdehnung erreicht haben, die zwangsläufig in das Gebiet des Buntsandsteins reichte. Dazu kann die landwirtschaftliche Nutzfläche, die benötigt wurde, um die Einwohner in den einzelnen Phasen zu ernähren, berechnet werden. Die paläodemographischen Ergebnisse auf der Datengrundlage von Cipriano-Bechtle (1994) dienen hier als Berechnungsbasis. Verschiedene Autoren haben mit diversen Parametern und Kenngrößen versucht, Modelle zu erstellen, die agrarisch genutzten Flächen zu berechnen. Mit Hilfe dieser Modelle und Vorgaben soll dies nun für Wenigumstadt versucht werden, um die möglichen geologischen Zonen zu bestimmen, die zur lokalen Isotopie beigetragen haben können.

⁵ Als Ackerzahl, auch „Ackerwertzahl“ oder „Bodenpunkte“, wird ein Zahlenwert bezeichnet, der die Qualität einer Ackerfläche kennzeichnet. Sie wird ausgehend von der Bodenzahl durch Zu- und Abschläge auf Grund zusätzlicher Faktoren wie Klima oder Geländeverhältnisse ermittelt. Die Skala möglicher Werte reicht von 7 (sehr schlecht) bis 100 (sehr gut), wobei eine Ackerzahl von 50 bedeutet, dass dieser Boden ungefähr die Hälfte des Ertrags eines optimalen Bodens bringt. Flächen mit einer Ackerzahl von unter 20 gelten als landwirtschaftlich kaum noch nutzbar (Bayerisches Landesamt für Steuern 2009).

NUTZFLÄCHENMODELL – EINZUGSGEBIET DER LOKALEN STRONTIUMISOTOPIE

Für die Bestimmung der benötigten Nutzfläche für eine bestimmte Personenanzahl gibt es Modelle, die auf diversen Vorgaben beruhen, die für verschiedene Epochen der Menschheitsgeschichte in wechselnder Genauigkeit auf unterschiedlichen Datenmengen basieren. Daher soll hier betont werden, dass jede Berechnung einer genutzten Fläche auf unvollständigen Daten und Annahmen beruht und somit im Stadium der Näherung verbleiben muss. Als Grundannahme für die völkerwanderungszeitliche und frühmittelalterliche Bevölkerung von Wenigumstadt soll gelten, dass es sich um eine bäuerliche Siedlung handelte, mit autarkem Wirtschaftssystem in Bezug auf die Versorgung mit täglich benötigten Grundnahrungsmitteln. Ackerbau und Viehzucht kommt die größte Bedeutung bei der Nahrungsversorgung zu, wobei Getreideanbau und Großviehhaltung (Rinder) den Hauptanteil ausmachen (Ebersbach und Schade 2002). Gügel (1998) untersuchte dentale Abrasionsmuster mittels Microwear an Zähnen Wenigumstädter Erwachsener und konnte dadurch den Verzehr von großen Mengen an Getreidekörnern und grob geschrotetem Getreide bestätigen. Für ein Nutzflächenmodell ist nun entscheidend, welche Parameter für Ackergröße, Viehbesatz und benötigte Weideflächen eingesetzt werden.

Da die Siedlung in einem fruchtbaren Landstrich lag, sollte keine Notwendigkeit bestanden haben, Grundnahrungsmittel einzuhandeln. Allerdings befand sich der Main als Handelsroute in ca. 7km Entfernung, wodurch ein Anschluss der Siedlung ans Handelsnetz wahrscheinlich ist, um ihre Erzeugnisse zu verkaufen. Dies soll für das Modell aber nicht berücksichtigt werden. Weiterhin gab es zu Beginn der Siedlungsphase in Wenigumstadt noch keine Anzeichen von Abgabepflichten gegenüber Grundbesitzern oder Versorgungspflichten gegenüber Klöstern. Im 9. Jhdt. existierten durchaus Klöster und auch Königshöfe in der nächsten Umgebung (z.B. Fulda, Worms, Mainz). Bis dahin kann aber angenommen werden, dass die Gemeinschaft von Wenigumstadt aus Selbstversorgern bestand. Die Dreifelder-wirtschaft entwickelte sich wohl im römischen Nordgallien und breitete sich von dort allmählich in merowingischer Zeit nach Osten, Süden und Westen aus. Der älteste Hinweis auf eine Dreifelderwirtschaft wird in einer Urkunde der Abtei St. Gallen aus dem Jahr 763 genannt. Im karolingischen Herrschaftsgebiet findet sich der früheste Hinweis 783 in einem Bericht aus Lille (Schmoeckel 2003).

Wurm (2001) gibt für das Frühmittelalter an, dass etwa 2,5 bis 4ha je Hof als Ackerfläche bewirtschaftet wurden (bei 4 bis 8 Vollpersonen und einem Verbrauch von etwa 150kg Getreide/Person/Jahr). Ebersbach und Schade (2002)⁶ fassen mehrere Modelle zusammen, allerdings für bandkeramische Siedlungen in der Mörlener Bucht in der Wetterau, etwa 80km nördlich von Wenigumstadt. Sie geben als benötigte Weidefläche für Rinder zum Beispiel 10ha/Rind an, was sie damit begründen, dass die Weidebedingungen in bandkeramischer Zeit in der Untermainebene eher ungünstig waren, aufgrund fehlenden Weidelandes und unterwuchsarmer Wälder auf Lössboden. Ferner nehmen sie an, dass der Flächenbedarf sich um den Faktor 10 von heutigen Bedingungen unterschied und bemängeln, dass in anderen Studien der Weideplatz nicht berücksichtigt wird. Zum Vergleich: Die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (Berendonk und Verhoeven 2010) gibt als benötigte Weidefläche 1ha/5,2Kühe bei optimaler Bodenqualität, Zudüngung etc. an. Ebersbach und Schade (2002) gehen letztendlich von 0,5ha Ackerfläche/Person und 1Rind/Person aus. Dabei kalkulieren sie 0,5ha für die Hofplatzgröße mit ein und kommen bei einem Hof mit sechs Bewohnern auf 63,5ha, was einem Bedarf von 10,6ha pro Person entspricht. Allerdings dürfte das sehr hoch gegriffen sein⁷. Strien (2000) veranschlagt 1,5 bis 10ha/Rind. Bei der minimalen Fläche entspräche das 12,5ha/Hof und sechs Personen und gut 2ha/Person.

Irsigler (1991) legte ein Modell für den Versorgungsbereich einer mittelalterlichen Stadt vor, das auf den Thünenschen Ringen⁸ basiert. Johann Heinrich von Thünen begründete mit seinem 1826 erschienenen Werk *„Der isolirte Staat in Beziehung auf Landwirthschaft und Nationalökonomie, oder Untersuchungen über den Einfluß, den die Getreidepreise, der Reichthum des Bodens und die Abgaben auf den Ackerbau ausüben“* die Regionalökonomie, seine „Ringe“ sind eine frühe wirtschaftsgeographische Standorttheorie für das 19.Jhdt (Bayerisches Landesamt für Steuern 2009).

⁶ Die Publikation von Ebersbach und Schade (2002) wurde aufgrund der räumlichen Nähe zum Untersuchungsgebiet der vorliegenden Arbeit herangezogen. Der direkte Vergleich des neolithischen Ackerbaus mit dem im Frühmittelalter ist allerdings allein schon wegen der verwendeten Technik nicht zulässig, soll aber als Anhaltspunkt dienen und die Veränderungen im Laufe der Zeit im Nutzflächenbedarf aufzeigen.

⁷ Die Berechnung ergibt 63,5ha. Tatsächlich geben Ebersbach und Schade (2002) allerdings 33,5ha pro Hof als Gesamtergebnis an. Wieso statt 60ha/6Rinder doch nur 30ha angenommen werden, geht leider nicht aus dem Text hervor.

⁸ Die Thünenschen Ringe beschreiben die landwirtschaftliche Bodennutzung einer idealtypischen Region im 19. Jh. In diesem idealtypischen Modell sind die Transportkosten diejenige Einflussgröße, die im Wesentlichen die Bodennutzung einer bestimmten Region begründet (Wiskemann 1859).

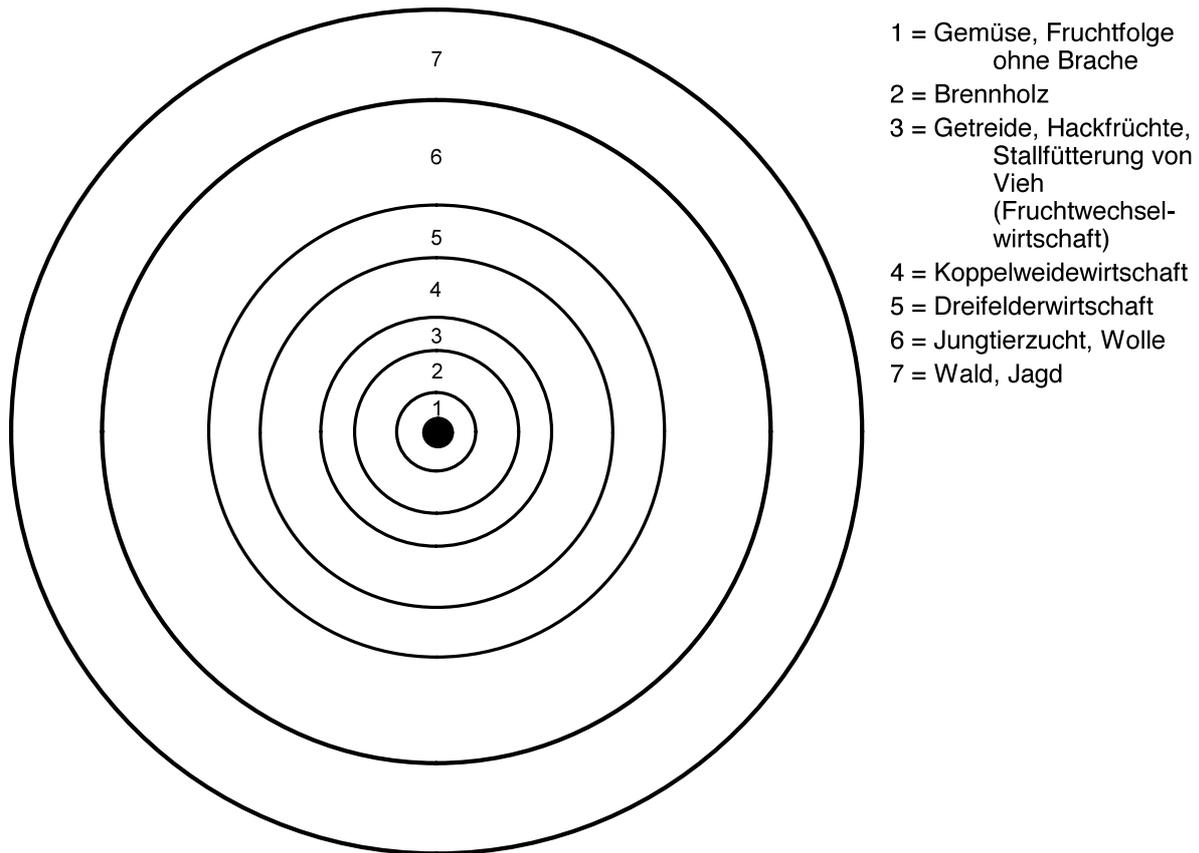


Abbildung 39 Thünensche Ringe modifiziert nach Wiskemann (1859) und Irsigler (1991). Die verschiedenen Wirtschaftszonen umgeben die Siedlung in der Mitte ringförmig, so dass immer der kürzest mögliche Weg bei optimaler Transportkostenrechnung gegeben ist; Kühe sollten zum Beispiel nicht mehr Energie verbrauchen, um auf die Weide zu gelangen, als sie dort wieder aufnehmen können.

Eine Grundannahme im Modell der Thünenschen Ringe ist allerdings, dass in einem bestimmten Ort (eine Stadt im 19. Jhdt.) nicht reine Selbstversorgerhöfe stehen, sondern dass einzelne einen Überschuss erwirtschaften, um mehr Individuen versorgen zu können. Irsigler (1991) passte dieses Modell an die spätmittelalterlichen Verhältnisse in Städten an. Als Basisvariablen legte er einen durchschnittlichen Getreideverbrauch pro Person von 220kg/Jahr fest, die Aussaatmenge 175kg/ha, Saat-Ernte-Verhältnis, Marktquote, Anteil der nicht-landwirtschaftlich genutzten Flächen in den Zonen der vier Bodengüteklassen und die Dreifelderwirtschaft als Regelform (Tabelle 41). Diese Kenngrößen entstammen der Bodengüterkarte von 1958 (Irsigler 1991).

Die Marktquote und der Überschuss sind für die vorliegende Arbeit nicht von Belang, jedoch fließt zumindest der Überschussbetrag in die Rechnung mit ein, durch die die benötigte Anbaufläche errechnet wird. Sie lautet wie folgt:

$$\text{Anbaufläche} = \frac{\text{Einwohner} \times \text{ProKopf} - \text{Verbrauch(kg) / Jahr}}{\text{Getreideüberschuss(kg / ha)}} \quad (\text{Irsigler 1991}).$$

Tabelle 41 Bodengüteklassen, zusammengefasst aus der „Bodengüterkarte 1:1000000 der Bundesrepublik Deutschland“ von 1958, nach Irsigler 1991.

Bodengüteklassen	I	II	III	IV
	sehr fruchtbar	fruchtbar	mittel	schwach
Ackerzahl	über 80	51-79	35-50	bis 32
Aussaat-Ernte-Verhältnis	1:10	1:6	1:4	1:2
Bruttoertrag kg/ha	1750	1050	700	300
Nettoertrag kg/ha	583	350	233	177
Marktquote	50%	35%	20%	5%
Überschuss kg/ha	291	122	47	6
Anteil nicht landwirtschaftlich genutzter Flächen	25%	45%	55%	

Diese Modellannahme, der als Versorgungsbasis rheinische Städte des 19. Jhdts. zugrunde liegen, ist mit Sicherheit angreifbar, nicht nur durch die Rückprojektion von Daten, sondern auch durch die Einbeziehung von Daten, die nicht relevant sind. Allerdings berücksichtigt es Konstanten, die sich kaum geändert haben dürften, wie zum Beispiel Transportwege, Bodenqualität und schließlich Weideflächen. Gerade die Weideflächen werden in Versorgungsmodellen gerne vernachlässigt (vgl. Ebersbach und Schade 2002). Problematisch bei solchen Modellen ist, dass sie in der Regel von linearen, kürzesten Verbindungen ausgehen, die aber in der Realität zumindest von der Topographie oder auch z.B. von politischen Grenzen abhängen und deswegen deutlich länger sein können.

Die veranschlagten 220kg Getreide/Jahr pro Person (Irsigler 1991) scheinen durchaus plausibel, wenn nicht zu niedrig angesetzt. Weiß (2002) nennt für den jährlichen Getreidebedarf eines Erwachsenen in einer spätmittelalterlichen Stadt (Nürnberg) 207-310kg Roggen. Für das spätmittelalterliche Italien wird der Weizenverbrauch auf etwa 220-250kg beziffert. In der Gegend von Wenigumstadt wurde hauptsächlich Roggen und Dinkel angebaut (Nentwig 2005, Kapitel 3 Nahrung). Moderner Roggen enthält in 100g der verdaulichen und essbaren Anteile einen Brennwert von etwa 1246kJ bzw. 293 kcal, Dinkel hat einen Brennwert von 1340kJ bzw. 320 kcal pro 100g verzehrbarem Anteil (Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie 1991). Beide Getreidesorten bleiben zwar ertragsmäßig hinter Weizen zurück, sind aber resistenter gegen Krankheiten und vertragen raueres Klima besser. Hierbei muss aber berücksichtigt

werden, dass qualitative Züchtungsziele dazu führten, dass der Eiweißgehalt in modernem Getreide anstieg (z.B. Weizen von 12 auf 17%).

Der Mindestbedarf eines Menschen beträgt (je nach Körpergewicht) täglich 5000kJ. Der Energieumsatz eines nicht körperlich arbeitenden Menschen liegt bei 9600kJ, der eines körperlich Arbeitenden steigt mit der Intensität der Arbeit bis auf 20000kJ für Schwerstarbeiter an. 20000kJ können nur mit 1,6kg Roggen (Getreide) am Tag (584kg/Jahr) oder 3,5kg Rindfleisch (1277kg/Jahr) erreicht werden. Ein Mensch verzehrt natürlich auch Früchte, Gemüse, Milch und Eier, wobei allerdings das Getreide den größten Energielieferanten darstellt. Bergner (1994) schloss aus dem Vergleich von Aktivitätsmustern mit anderen frühmittelalterlichen Gesellschaften, dass die Wenigumstädter Bevölkerung großen Arbeitsleistungen und körperlichen Arbeiten ausgesetzt war. Dies schließt Belastungsspuren ein, die durch Feldarbeit und damit verbundene Tätigkeiten hervorgerufen werden können. Vermutlich kann daher ein Bedarf im Mittel von 350kg/ Kopf und Jahr angenommen werden (Mittel aus Kindern, Frauen und Männern).

Laut Nentwig (2005, Kapitel 3 Nahrung) betrug der Getreideertrag bis zum frühen Mittelalter auf dem Gebiet des heutigen Deutschland (d.h. vor dem 7. Jhdt.) 600-700kg/ha, etwa also das Vierfache der Saatmenge.

Die einfache Gras-Feld-Wechselwirtschaft bedeutete, dass einzelne fruchtbare Stellen beackert wurden und nach einmaliger Nutzung erst nach langer Brache erneut unter den Pflug genommen wurden. Mit der Dreifelderwirtschaft wurde der Ertrag auf bis zu 1000kg/ha erhöht (Nentwig 2005). Um 1900 verzehrte eine Person etwa 150kg Brot im Jahr, 200kg Kartoffeln, 36kg Gemüse, 36kg Früchte und 30 kg Fleisch (Nentwig 2005, Kapitel 3, Tab. 3.2). Da im Frühmittelalter Kartoffeln noch nicht zur Verfügung standen, dürfte deren Anteil größtenteils durch Getreide bzw. anderes Gemüse (Kohl, Rüben) und Hülsenfrüchte und zu einem Teil sicher auch durch einen höheren Fleisch-, Milch- und Käsekonsum ersetzt worden sein.

Wurm (2001) und Nentwig (2005) nennen das Rind als das wichtigste Haustier, daher soll es als Stellvertreter für alle Haustiere gelten, da es abgesehen vom Pferd den größten Platzbedarf hat. Bedenkt man die Größe der Rinder im Mittelalter (Schlachtgewicht etwa 100-150kg im 12. Jhdt.), wird wohl in etwa ein Rind für zwei Personen im Jahr Fleisch erbringen können. Da natürlich nicht alle Rinder geschlachtet wurden, dürfte die Größe der Herde dem Doppelten der für die Deckung des

Fleischbedarfs nötigen Rinder entsprochen haben. Sprich, es kann mit einem Rind pro Person gerechnet werden.

Nun verbleibt die Frage nach dem Weideplatzbedarf für Rinder. Nentwig (2005, Kapitel 3, Nahrung) veranschlagt als Richtwert 1ha/Rind, bei ausgeglichener Bewirtschaftung. Bei steigender Belastung benötigt ein Rind schließlich bis zu 3ha, die dann aber auch die ökonomische Obergrenze einer Weidewirtschaft darstellen. Da eine Auszehrung des Bodens durch eine frühmittelalterliche Landwirtschaft nicht zu erwarten ist, scheint die Annahme von 1ha/Rind ausreichend.

„Die Rinderweide, wo eine Kuh den ganzen Sommer hindurch, nach Abrechnung der Vor- und Nachweide auf den Wiesen und der Stoppelweide, auf 1¼ Magdb. Morgen ihre volle Nahrung finden kann, ist am vorzüglichsten. Wenn eine Kuh täglich zu ihrer vollkommenen Sättigung 90 Pfund grünes Gras bedarf, so bedarf sie in 165 Weidetagen 15000 Pfund davon, und 1 Morgen Weide muss demnach 12000 Pfund Gras liefern. Man hat Kuhweiden, wo 2, 3, 4 bis 5 Morgen auf eine Kuh erforderlich sind, diese letzteren, sind sehr schlecht zu nennen.“ Diese Beobachtung stammt von Johann Georg Krünitz⁹ (Krünitz's Encyclopädie 1815). Einem Magdeburger Morgen (preußisches Maß) entsprechen 2553,22m², das wäre also etwa ein Viertel Hektar. Krünitz zufolge dürfte also ein halber Hektar pro Kuh bei guten Böden ausreichen, während 1¼ ha nur bei schlechten Böden zu veranschlagen ist.

Tabelle 42 Zusammenfassung der Angaben aus der Literatur

Wurm 2001	2,5-4ha/Hof	4 - 8 Personen/Hof	150kg Getreide/ Jahr/Person
Irsigler 1991			220kg Getreide/ Jahr/Person
Weiß 2002			207-310kg Roggen/ Jahr/Person
Dt. Forschungsanstalt f. Lebensmittelchemie 1991	schwere körperliche Arbeit: 20000kJ/Tag		584kg/Roggen/Jahr
Ebersbach und Schade 2002	10ha/Rind	0,5ha/Person	1 Rind /Person
Strien 2000	1,5-10ha/Rind	2ha/Person	
Nentwig 2005	30kg Fleisch/ Jahr/Person	1-3ha/Rind	Ertrag 600- 700kg/ha
Krünitz 1815	0,5-1,25ha/Rind		

⁹ Johann Georg Krünitz (1728 – 1796) war ein Berliner Enzyklopädist, Lexikograph, Naturwissenschaftler und Arzt.

Zusammenfassend bedeutet das:

- Getreidebedarf/ Kopf/ Jahr: 350kg
- Aussaatmenge: 175kg/ ha
- Rind/ Kopf: 1 bis 2
- Rind/ ha: 1

Wurm (2001) räumt im Frühmittelalter für 35 Personen 100ha ein, dies entspräche 2,85ha/Person. Bei minimalem Ertrag stünden dann etwa 1200kg Getreide pro Kopf zur Verfügung (berechnet nach Irsigler 1991; nach Abzug von Saatgut). Davon ist dann noch ein Mahlverlust abzuziehen (bis zu 30%, Baltas 2007). Dann blieben noch etwa 847kg übrig, was sogar für zwei Personen reichen würde. Dieser Überschuss könnte aber auch dazu verwendet werden, um Vorräte anzulegen, vielleicht sogar Vieh zusätzlich zu füttern oder Ausgleich für Verluste durch Pilzbefall oder Tierverbiss zu schaffen.

Im Modell von Irsigler (1991) beträgt die benötigte Anbaufläche für 35 Personen 63ha, bei Bodengüteklasse II. Erhöht man den Verbrauch pro Kopf/Jahr auf 350kg (Bedarf bei schwerer Arbeit, Brotverbrauch etc., s.o.), erhält man exakt die von Wurm (2001) veranschlagten 100ha, und das ohne Überschussrechnung. Allerdings war ein Überschuss für eine frühmittelalterliche Siedlung vermutlich von Bedeutung, wenn auch nicht für den Handel, so doch zur Überlebenssicherung. Und da die Siedlung nicht völlig fernab lag, könnte sie sich mit dem Überschuss sogar gelegentlich andere Waren eingetauscht haben. Die spätmittelalterliche Stadt, für die Irsigler (1991) das Modell aufstellte, besaß vermutlich im Fall einer Missernte genug Ausweichmöglichkeiten, so dass Ausfälle auch durch Handel von außerhalb abgedeckt werden konnten.

Nach der von Stauch herausgearbeiteten Gräberfeldbelegung lebten in Phase 5 die wenigsten Menschen gleichzeitig in Wenigumstadt, somit wurde hier die geringste Fläche benötigt, dies wären für ca. drei Einwohner 9ha, bei fünf Einwohnern entspricht das 14ha (Tabelle 43). Zu einem Drittel war das Ackerfläche, der Rest stand als Weidefläche zur Verfügung. Bei 9ha Gesamtfläche fallen dabei 6ha als Weide an, davon könnten also etwa sechs Rinder ernährt werden, was wiederum 3 Rindern/ Person entspricht.

Dem Siedlungsmodell liegt eine Kreisform zugrunde. Um die Ausdehnung der Siedlung und der sie umgebenden Nutzflächen in der geologischen Karte eintragen zu können, muss aus der berechneten Fläche der Radius ermittelt werden. Dies geschah über die Formel für die Kreisfläche:

$$A = r^2 \times \pi \quad \text{bzw.} \quad r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Der so berechnete Radius kann genutzt werden, um die entsprechende Fläche in die geologische Karte eintragen zu können.

Tabelle 43 Berechnung der benötigten Nutzfläche für Wenigumstadt nach der Formel von Irsigler (1991), bei verändertem kalkulierten Getreideverbrauch von 350 kg/ Jahr. Zur Berechnung wurden verschieden angenommene Einwohnerzahlen verwendet, einmal eine Gesamtpopulation von 421 (a) und ein weiteres Mal von 773 (b) (s. 4.1.3).

Phase	Einwohnerzahl		Fläche				Radius	
	a) (421)	b) (773)	a) ha	b) ha	a) km ²	b) km ²	r _a [m]	r _b [m]
1	9	18	25	50	0,25	0,50	282	400
2	11	15	32	43	0,32	0,43	320	370
3	6	13	18	36	0,18	0,36	239	338
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	3	5	9	14	0,09	0,14	165	214
6	9	15	26	43	0,26	0,43	286	370
7	30	40	86	115	0,86	1,15	523	604
8	40	54	115	154	1,15	1,54	606	701
9	32	65	93	186	0,93	1,86	544	770
10	56	75	161	215	1,61	2,15	716	828
11	44	89	127	255	1,27	2,55	636	900
12	61	101	174	290	1,74	2,90	744	962
13	69	115	197	330	1,97	3,30	793	1025
14	30	101	87	290	0,87	2,90	526	962
15	20	68	58	194	0,58	1,94	429	785

Das Gräberfeld lag vermutlich nicht im Siedlungszentrum, da es sonst archäologisch erfasst worden wäre. Stauch (2004) vermutet die zugehörige Siedlung nordöstlich oder nordwestlich im Talbereich des Pflaumbachs. Die günstigere topographische Situation würde dafür sprechen, dass sie unter dem heutigen Dorfkern des Ortes Wenigumstadt lag, also nordöstlich des Gräberfeldes (Abbildung 40). Dort befände sie sich auch im Bereich der größten Ausdehnung der jungholozänen Ablagerungen im Auenbereich, d.h. im fruchtbarsten Teil des Gebietes. Südlich beginnt die Lössdecke, während nördlich der untere Buntsandstein ansteht. Auch heute liegen in diesem Bereich rund um den modernen Ort Ackerflächen.

Die größte Ausdehnung hatte die Siedlung, legt man die Chronologie von Stauch zugrunde, in Phase 13 mit 115 bzw. 69 Einwohnern bei etwa 330 bzw. 197ha (s. Tabelle 43). Die geringste Fläche (9 bzw. 14ha) wurde in SD-Phase 5 benötigt, als nur etwa 3 bzw. 5 Personen in der Siedlung lebten.

Natürlich ist nicht davon auszugehen, dass sich die Siedler an eine perfekte Kreisform bei der Gestaltung ihrer Ackerflächen gehalten haben. Aber unter der Annahme, dass

jeder nur so weit geht, wie es unbedingt sein muss, ist der Kreis die wahrscheinlichste Form. Eventuell zog sich die Fläche auch eher etwas in die Länge und nutzte die Lössböden im Tal besser aus, wodurch sich eine ellipsoide Form ergäbe. Ein solches Modell wäre aber zu weitführend. Es darf sowieso nur als Näherung verstanden werden, um sich ein Bild davon machen zu können, welche Ausmaße die Siedlung in etwa eingenommen haben könnte.

Dadurch ist es auch möglich, in etwa die Siedlungsgröße zu bestimmen, deren benötigte Nutzflächen ausgedehnt genug waren, um bis in das Buntsandsteingebiet zu reichen. Bei einem Siedlungszentrum nordöstlich des Gräberfeldes müsste dazu eine Fläche von etwa $0,67\text{km}^2$ ($r=462\text{m}$) genutzt worden sein. Dies war ab einer Einwohnerzahl von etwa 23 Personen der Fall, also nach der Chronologie von Stauch ab SD-Phase 7.

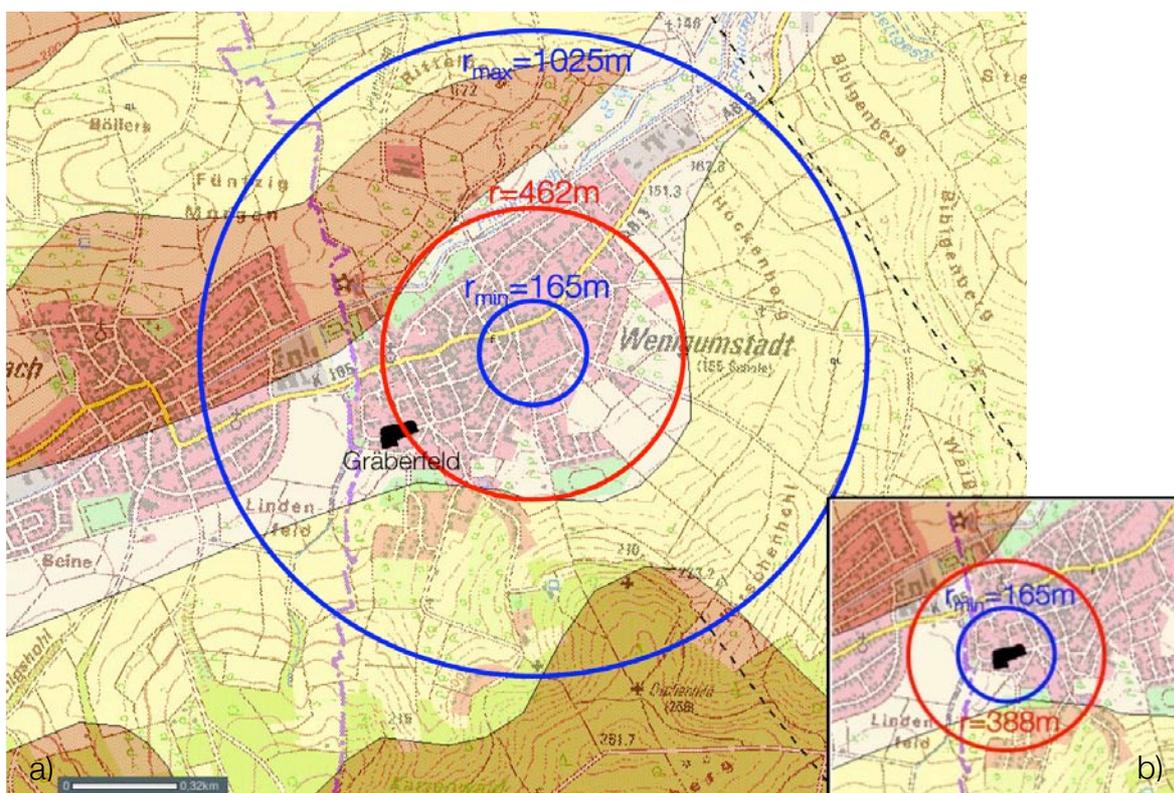


Abbildung 40 a) Nutzflächenbereich von Wenigumstadt mit verschobenem Siedlungszentrum. Die blauen Kreise markieren die kleinstmögliche ($r_a = 165\text{m}$, Phase 5 a) und die größtmögliche ($r_b = 1025\text{m}$, Phase 13b) Ausdehnung. Der rote Kreis markiert diejenige Ausdehnung ($r = 462\text{m}$), die mindestens erreicht werden muss, um in das Gebiet hineinzureichen, dem Buntsandstein unterliegt. **b)** Der kleine Bildausschnitt rechts unten zeigt das Gräberfeld als Mittelpunkt. Danach wäre der kleinste Radius der Nutzfläche, um in das Buntsandsteingebiet hinzureichen, etwa 388m (Karte aus dem BIS Bayern (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2010), Legende siehe **Abbildung 18**).

Leider wird die Aussage des Modells dadurch beeinträchtigt, dass die Siedlung unbekannt ist. Wie Stauch (2004) schon darlegte, vermutet sie nur die Siedlung unter dem modernen Wenigumstadt. Archäologische Fundhinweise gibt es keine. Zu dieser Zeit war es aber auch durchaus möglich, dass das Gräberfeld nicht zu einer einzelnen Siedlung gehörte, sondern mehreren kleinen Weilern oder Orten im Umkreis als gemeinsamer zentraler Bestattungsplatz diente. Dies würde auch die „Gruppenbildung“ gerade zu Beginn der Nutzung erklären. Wie Stauch selbst angibt, scheint das Gräberfeld gegen Ende der Belegungszeit nur noch vereinzelt als „Ausweich-Bestattungsplatz“ (s. Kapitel 2.1.1) gedient zu haben. Das würde bedeuten, dass es noch einen weiteren Bestattungsplatz gegeben haben müsste. Dementsprechend kann es auch genauso gültig sein, das Gräberfeld selbst als Zentrum des Nutzflächenmodells anzunehmen (Abbildung 40b). Die Nutzfläche, die hier mindestens nötig ist, um das Buntsandsteingebiet zu erreichen, wären etwa $0,47\text{km}^2$ ($r = 388\text{m}$), was bei einer Einwohnerzahl von etwa 16 Personen zuträfe. Dies war etwa ab SD-Phase 7 der Fall. Das ist dasselbe Ergebnis wie bei der Annahme, das Siedlungszentrum hätte nordöstlich des Gräberfeldes gelegen.

Nach der stratigraphischen Karte von Deutschland entspricht Buntsandstein geochronologisch dem Zeitraum von 251 bis 243 Millionen Jahren (etwa Untertrias, s. Anhang Abbildung 53). Genaugenommen liegt nördlich von Wenigumstadt unterer Buntsandstein, der die älteste Schicht im Buntsandstein darstellt, sprich er ist 251 bis 249 Millionen Jahre alt. In der Literatur finden sich $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte von $0,71292 \pm 0,000252$ (Matter et al. 1987) für das Gestein selbst und $0,71335 \pm 0,000411$ (Horwath 2000) bzw. $0,71495 \pm 0,000126$ (Matter et al. 1987) für Wasser.

Bentley et al. (2003) haben in rezenten Schneckenschalen und in Mäuseknochen aus einem Lössgebiet (Vaihingen, Baden-Württemberg) eine Strontiumisotopie von $0,70986 \pm 0,000109$ gemessen (Tabelle 43). Die pleistozänen Lössablagerungen sind vermutlich kaum älter als 2,5 Millionen Jahre und zum Teil wohl eher noch sehr viel jüngeren Ursprungs. Für Löss gibt es vielfach Daten aus der Literatur (Übersicht siehe Tabelle 43), was der Natur der Sache Rechnung trägt, da sich Lössgebiete aufgrund ihrer Fruchtbarkeit als Siedlungsgebiete am Besten eignen. Daher sind hier die meisten Siedlungen und archäologischen Fundkomplexe zu finden.

Tabelle 44 Bekannte Strontiumdaten des Oberrheintals und anderen Lössgebieten aus Literaturdaten (nach Stephan 2009).

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Ort	Quelle
<i>Gestein/Boden</i>		
0,70891±0,00001	Neuburg/ Donau	Schweissing und Grupe 2003a
0,709-0,710	Terrasse südlich der Donau, Boden	Grupe et al. 1997
0,70956-0,71001	Kaiserstuhl	Taylor et al. 1983
<i>Wasser</i>		
0,70847±0,00009	Rhein	Tricca et al. 1999
0,708588	Neckar, nahe der Mündung am Rhein	Buhl et al. 1991
0,7087±0,00007	Südwestliches Oberrheintal, Grundwasser	Tricca et al. 1999
0,7097±0,00011	Südwestliches Oberrheintal, Nebenflüsse des Rheins	Tricca et al. 1999
<i>Bodengelagerte Faunenreste</i>		
0.70849±0.00001	Ballendorf, Haizähne	Vennemann und Hegner 1998
0.70885±0.0003	Weingarten	Gillmaier 2008
0,70904±0,00020	Worms, pleistozäne Großsäuger	Tütken 2003
0,70911-0,70961	Vaihingen, ZS, Schaf, div. Tiere	Bentley et al. 2004
0,70968	Frankenthal, Oberrhein, Maultier	Tütken 2003
<i>Bodengelagerte Menschenknochen</i>		
0,70824±0,00013	Augsburg, Niederterrasse des Lech	Price et al. 2004
0,70865±0,00012	Dillingen	Bentley et al. 2002
0,70891±0,00017	Neuburg/Donau	Schweissing und Grupe 2003a
0,70901-0,70972	Künzing-Bruck, Weichering, Donauniederung	Price et al. 2004
0,70941±0,00036	Schwetzingen, Oberrhein	Bentley et al. 2002
0,70946±0,00057	Irlbach, Niederterrasse der Donau	Price et al. 2004
0,70959±0,00020	Vaihingen	Bentley et al. 2003
<i>Rezente Fauna</i>		
0,70838±0,00027	Dillingen, Schnecken	Price et al. 2002
0,708582	Neckar, Wassermolluskenschale	Buhl et al. 1991
0,708697±0,00008	Rhein, Wassermolluskenschalen	Buhl et al. 1991
0,70912±0,00047	Flomborn, Schnecken	Bentley et al. 2003
0,70986±0,00066	Vaihingen, Mäuse, Schnecken	Bentley et al. 2003

Taylor et al. (1983) verglichen Gesteinsproben aus verschiedenen Lössgebieten und dabei konnten sie zeigen, dass europäische Lössse hohe Konzentrationen von Karbonaten enthalten, wodurch die Strontiumisotopie erheblich erniedrigt werden. Sie führen das auf den Einfluss der Kalkalpen zurück. Die Proben vom Kaiserstuhl (ein kleines Mittelgebirge vulkanischen Ursprungs) ergaben Werte von $0,70956\pm 0,00004$ und $0,71001\pm 0,00005$. Die Autoren verglichen dies mit internationalen Datensätzen von

Lössgebieten (USA, China), deren Werte deutlich über europäischen Lösswerten liegen (0,7173 bis 0,7185), was durch den geringen Karbonatgehalt verursacht wird. Das Alter der Ablagerungen ist in etwa dasselbe. Dies zeigt, dass das Alter und dieselbe Stratigraphie nicht allein entscheidend sind für die Strontiumisotopie und nur bedingt als Indikator dienen können. Die genaue Genese muss bekannt sein, da Löss nicht gleich Löss ist.

Auffallend ist, dass die Werte aus den Lössgebieten weniger stark streuen als die Werte für Buntsandsteinregionen (Tabelle 44). Das liegt allein schon an der stärkeren Streuung der Isotopie im Gestein selbst. Des Weiteren variieren die Wasserdaten von dort extrem. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Buntsandstein älter ist als Lössböden und die Gesteinskomponenten, die verschiedenen Minerale, genug Zeit hatten gemäß ihrer Zusammensetzung unterschiedlich stark zu verwittern (s. Kapitel 1.6.3).

Eine weitere auffällige Beobachtung ist, dass sich die Wertebereiche für die rezente Fauna stark überschneiden. Für Lössgebiete reichen sie von 0,70838 bis 0,70986, für Buntsandstein beträgt die Spannweite 0,70847 bis 0,71065.

Gerade mit dem Wertebereich im Gestein gibt es nur eine geringe Überschneidung mit der zugehörigen rezente Fauna. Dies mag aber daran liegen, dass Bentley et al. (2003) hauptsächlich rezente Schneckenhäuser gemessen haben. Da ihr Gehäuse hauptsächlich aus Aragonit, also letztendlich Kalziumkarbonat aufgebaut ist (Lowenstam und Weiner 1989), wird eine Schnecke vor allem kalkhaltige Böden aufsuchen. Der Kalk zum Schalenbau wird mit der Nahrung aufgenommen, kann aber zum Teil auch durch den Sohlenschleim aus dem Boden gelöst werden oder durch Anraspeln von anderen Weichtierschalen gewonnen werden. Hinzu kommt, dass es sich um definitiv rezente Schnecken handelt, die also auf modern bearbeiteten und anthropogen veränderten Böden gelebt haben. Diese werden gedüngt und manchmal sogar gekalkt, um die Bodenqualität zu verbessern, respektive den pH-Wert zu optimieren. Als möglicher Sammelort kommen auch Wälder in Frage. Allerdings werden diese seit 1980 gekalkt, um einer Übersäuerung des Bodens und des Trinkwassers entgegenzuwirken. Gerade in Baden-Württemberg wird diese Strategie verstärkt verfolgt (Hildebrand 1996). Außerdem kann ein Waldstück nicht exklusiv als Vergleichsbasis verwendet werden. Der Vergleich mit den Ackerflächen würde fehlen. Zudem sind Schnecken auf Feuchtigkeit angewiesen und beziehen die zu einem großen Teil aus Niederschlag, der nichts mit der lokalen Isotopie zu tun haben muss. Daher scheint es naheliegend, dass Schnecken in diesem Fall keine hinreichende lokale

Isotopie wiedergeben können. Das Schneckenhaus aus Wenigumstadt ist zwar vermutlich nicht rezent und war damit keinen anthropogenen Einflüssen ausgesetzt, jedoch brauchte auch diese Schnecke vor allem Karbonat als Material und Luftfeuchtigkeit, was sich im sehr niedrigen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert, im Gegensatz zu den Sedimentproben, zeigt. Die Werteunterschiede zwischen der Schnecke aus Wenigumstadt und den Schnecken von Bentley et al. (2003) ist wohl darauf zurückzuführen, dass die rezenten Tiere durch Dünger oder ähnliches verunreinigt bzw. verändert wurden.

VERGLEICH GESTEIN – BODENGELAGERTES MATERIAL

Inwieweit kann nun tatsächlich das unterliegende Gestein als Grundlage der lokalen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopie gelten? Es verdichten sich die Hinweise, dass es genau das ist, nämlich eine Grundlage, aber nicht exklusiv als Wertebereich gelten kann. Für den karbonathaltigen Löss in Süddeutschland, speziell in Bayern südlich der Donau wurden bisher Maximalwerte bis 0,710 angenommen (Schweissing und Grupe 2003a). Hodell et al. (2004) konnten auf der Halbinsel von Yucatan nur geringe Unterschiede in $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ zwischen Grundgestein, Boden, Pflanzen und Wasser feststellen, die im Bereich von 0,00016 im karstigen Flachland und 0,00069 im vulkanischen Hochland liegen. Allerdings handelt es sich hier um ein relativ abgeschlossenes Ökosystem, das klar durch das unterliegende Gestein und den Einfluss des Meerwassers geprägt wird.

In der Regel liegen in Europa die Lössgebiete aber auf verschiedenen Grundgesteinen auf, bzw. werden von diversen Gesteinsschichten umgeben. Einträge durch Flussläufe, die Sediment mit sich führen, dürfen ebenfalls nicht vernachlässigt werden. Auf der Halbinsel Yucatan scheint sich also die Isotopie des Grundgesteins nicht von der des bioverfügbaren Strontiums zu unterscheiden. Dies gilt aber offensichtlich nicht für alle geologischen Gebiete. Hier muss dann der Bereich des bioverfügbaren Strontium mit einbezogen werden (Abbildung 41, s. Kapitel 1.6.3). Dazu scheinen nun die Wertebereiche im Löss für Wasser und bodengelagerte Fauna am vielversprechendsten zu sein, wobei auch die etwas höher reichenden Daten für den Boden selbst nicht außer Acht gelassen werden dürfen, die bis 0,71001 (Tabelle 44) reichen. In Abbildung 41 wird deutlich, dass die Wertebereiche für Wasser, Fauna und Gestein sehr eng beieinander liegen, wobei die Bezeichnung „Gestein“ sich auch auf Sedimentproben bezieht.

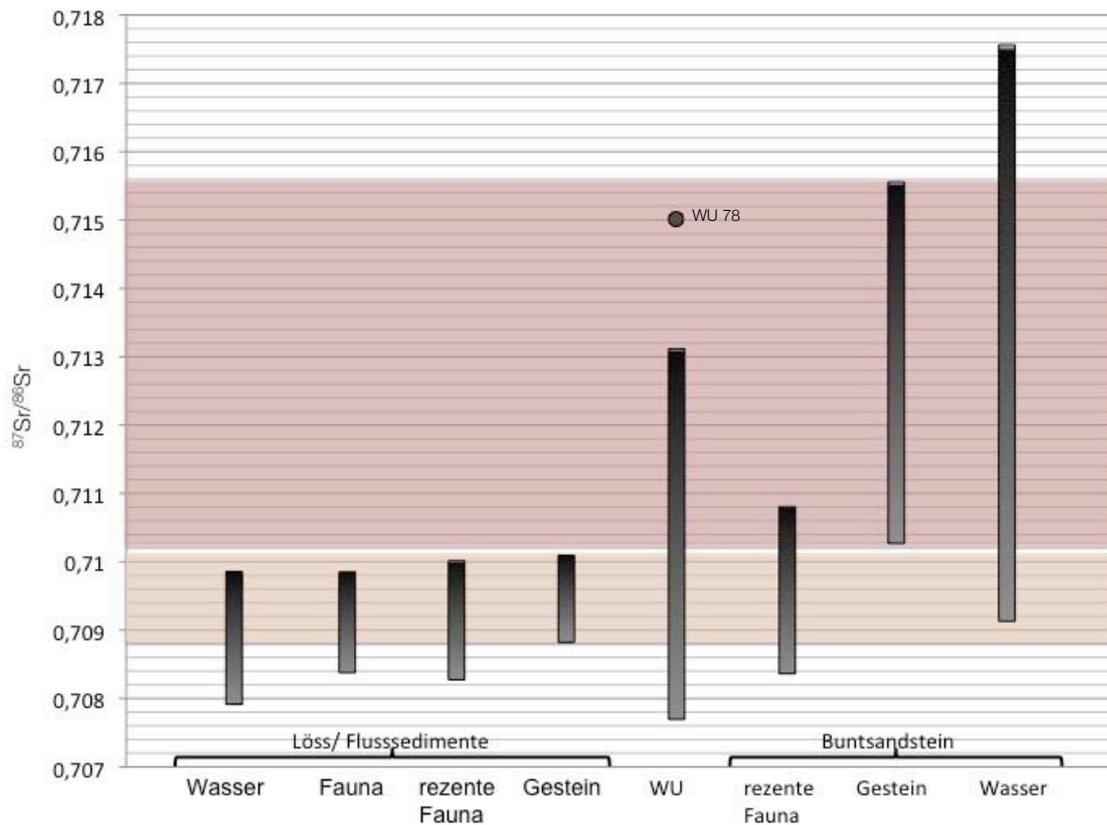


Abbildung 41 Grafischer Vergleich von Literaturdaten (s. Kapitel 1.6.3, Tabelle 2) mit den Daten aus Wenigumstadt. Eingezeichnet sind die Bereiche basierend auf den Gesteinsdaten für Löss (orange) und Buntsandstein (rot). WU 78 wird separat dargestellt, da der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert mit extremen Abstand zu dem Rest der Daten gesondert zu bewerten ist.

Schweissing und Grupe (2003a) konnten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen Grundwasser und Sedimentproben (Löss) feststellen ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{Wasser}} = 0,708924$; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{Boden}} = 0,708929$, Südbayern). Für Werte des bioverfügbaren Strontiums auf Buntsandsteingebieten sieht das Bild schon wieder anders aus (vgl. Abbildung 41). Leider gibt es hierfür keine Daten von bodengelagerter Fauna, was aber auch wieder verständlich ist, da sich in Buntsandsteingebieten kaum archäologische Fundplätze wie Siedlungen oder Gräberfelder finden. Zwischen dem $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wertebereich der rezenten Fauna (Bentley et al. 2003) und des Gesteins gibt es nur eine geringe Überlappung, während die Daten für Wasser (Matter et al. 1987) über eine viel größere Spanne streuen. Was allerdings auch nicht weiter verwundert, wenn man bedenkt, dass das Wasser, das man an einer bestimmten Stelle zwar entnimmt, aber in seiner Zusammensetzung den gesamten Weg widerspiegelt, den es bis zu diesem Ort hin genommen hat. Im Laufe der Zeit kann es durch verschiedenste Gesteine und Mineralien gelaufen und durch den Eintrag von Niederschlägen nochmals verändert worden sein. Letztendlich ist es aber eben auch das Wasser, das Strontium aus dem

Gestein herauslöst und dadurch eine mobile Phase schafft, die den Pflanzen zur Aufnahme zur Verfügung steht. Da verwundert es, dass die Wertespanne der rezenten Fauna so gar nicht dazu passen will.

VERGLEICH DER DATEN MIT DEN ERGEBNISSEN DER SEDIMENTPROBEN

In Anbetracht dessen, dass Löss sich zumeist aus angeschwemmtem Bodenmaterial zusammensetzt, ist es nicht unwahrscheinlich, dass sich auch Minerale aus umliegenden Bereichen wiederfinden lassen. Ähnliches ist in Wenigumstadt zu erwarten. Die Talverfüllungen entstehen aus allem, was sich oberhalb des Flusslaufes befindet, und da der Buntsandstein nicht weit ist, dürfte sich auch hiervon ein Eintrag in den Sedimenten finden lassen. Der Vergleich des Wertebereichs der gemessenen Sedimentproben aus Wenigumstadt mit den Literaturdaten für Löss zeigt eine große Übereinstimmung (Abbildung 42). Neun der zehn Messergebnisse fallen auch exakt in den Bereich für Löss, während eine Probe über dem Grenzwert von 0,71001 liegt (WU 265 Erde = 0,71019) (s. Kapitel 4.1.6, Tabelle 17). Dies dürfte dem Einfluss des Buntsandsteins Rechnung tragen. Höhere Werte sind hier allerdings auch nicht zu erwarten, da es sich um Sedimentproben aus den Gräbern handelt und das Gräberfeld selbst im Bereich der pleistozänen Ablagerungen liegt.

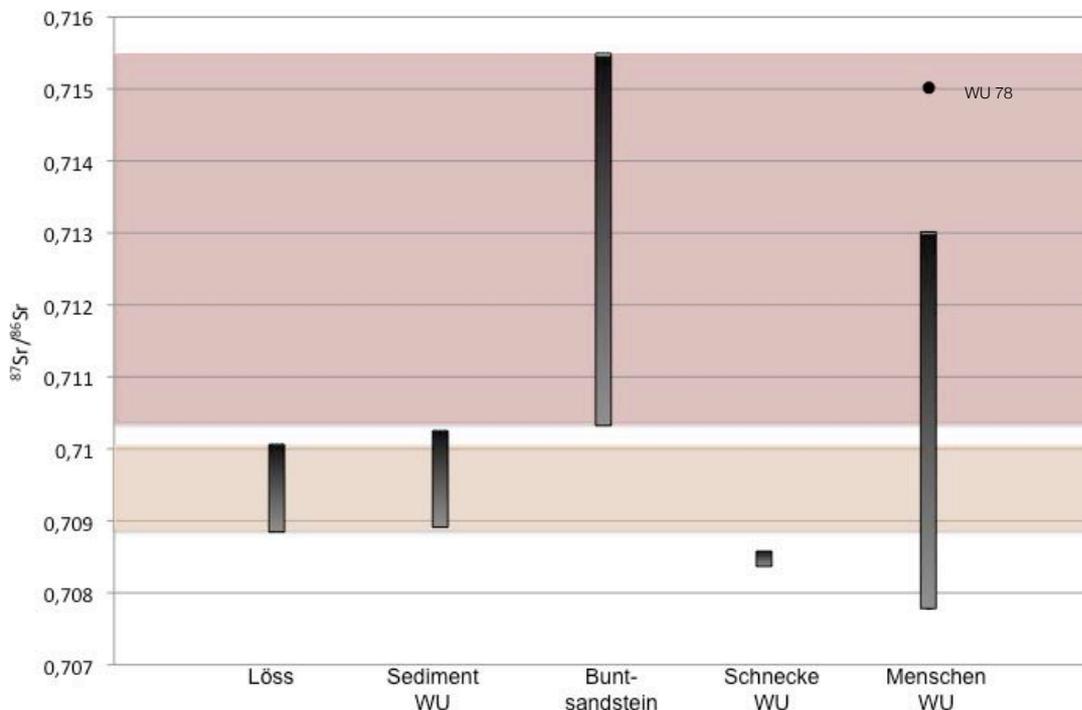


Abbildung 42 Vergleich der Strontiumdaten aus der Literatur (s. Kapitel 1.6.3, Tabelle 2) für Löss und Buntsandstein mit den Sedimentproben aus Wenigumstadt sowie den Messdaten für das Schneckenhaus und die Messergebnisse der Menschen.

Aus den Vergleichen mit den Literaturdaten lässt sich als Obergrenze für den Lössboden in Wenigumstadt ein $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert von 0,71019 festlegen, der auf den Sedimentproben basiert. Die Untergrenze liegt demnach bei 0,70898, was nur geringfügig höher liegt als die Literaturdaten für Löss (0,70891).

Diese Grenzen dürften auch bis zur Phase 7 als lokale Isotopie betrachtet werden. Ab diesem Zeitpunkt ist es aber möglich, dass verstärkt Äcker im Buntsandsteingebiet genutzt worden sind, weshalb ein Anstieg der Strontiumisotopie zu erwarten ist. Ein größerer Einfluss des Buntsandsteins in der Isotopie ist aber auch deswegen nicht möglich, da dieses Gestein im Vergleich zum Löss eine viel geringere Konzentration an Kalzium und damit an Strontium hat (s. Kapitel 1.6.2, Tabelle 1). Theoretisch wäre eine Messung der Strontiumkonzentration im Skelettmaterial möglich, allerdings wird diese auch durch das Nahrungsverhalten beeinflusst und kann somit nicht eindeutig auf einen geologischen Einfluss zurückverfolgt werden (Gillmaier 2008).

Zur Definition der Begriffe „lokal“ und „nicht-lokal“ seien nun noch einige Worte gesagt. Gesteine, Gesteinszusammensetzungen, Minerale und ihre zugehörigen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopien sind keine Unikate und können in derselben Zusammensetzung mehrfach vorkommen. Genau so gut können verschiedene geologische Formationen dieselben Isotopien hervorbringen. Ist dies der Fall, können Individuen, die aus solchen Gebieten stammen, allein durch $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte nicht unterschieden werden. Daher ist es potenziell möglich, dass Einwanderer, die aus geologisch bzw. isotopisch identischen Gebieten kommen, nicht entdeckt werden können und die Migrationsrate dementsprechend unterschätzt wird. Demzufolge werden die Individuen nur als „nicht-lokal“ eingestuft, wenn ihre Strontiumisotopensignatur nicht mit der lokalen Wertespanne übereinstimmt und als „lokal“ werden solche bezeichnet, deren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte innerhalb dieses Bereiches liegen.

Eine feinere Auflösung kann möglicherweise die Isotopenanalyse der leichten Elemente Sauerstoff und Kohlenstoff der eindimensionalen Betrachtung von Strontiumisotopen hinzufügen.

5.1.4 Lokale Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopie

KOHLENSTOFFISOTOPIE

Bentley und Knipper (2005) analysierten mehrere Apatitproben, darunter bodengelagerte Schweinezähne, aus der Gegend um Wenigumstadt (s. auch Kapitel 5.1.3) auf Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopie (s. Tabelle 45). Die Autoren ermittelten im Schnitt einen $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von $-13,15\text{‰}$. Dieser Wert unterscheidet sich nicht signifikant vom mittleren $\delta^{13}\text{C}$ -Wert ($-13,7\text{‰}\pm 1,7$) in Wenigumstadt (s. Kapitel 4.1.10). Wie nicht anders zu erwarten, liegen diese $\delta^{13}\text{C}$ -Werte klar im Bereich normaler, mitteleuropäischer C_3 -Pflanzennahrung (s. Kapitel 1.8). Damit kann eine Herkunft der Individuen aus Gebieten mit C_4 -Flora wie dem Mittelmeerraum oder dem Vorderen Orient weitgehend ausgeschlossen werden.

SAUERSTOFFISOTOPIE

Für Provenienzanalysen von Menschen (oder auch Tieren) wäre es nun optimal, $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aus dem Skelettgewebe mit denen, als gesichert geltenden, lokaler Menschen oder Tiere zu vergleichen. Allerdings gibt es aufgrund von Unterschieden in der Physiologie, im Verhalten, der Ernährungsweise und dem Alter der einzelnen Individuen in jeder Population eine gewisse Variabilität der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte, die für Menschen nicht gut untersucht ist, aber bei ca. 1‰ liegt (Longinelli 1984), selbst bei der Nutzung derselben Trinkwasserquelle. Erst, wenn die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der fraglichen Individuen außerhalb der lokalen Wertespanne liegen, haben diese andere Trinkwasserressourcen genutzt, und es handelt sich wahrscheinlich um Immigranten. Schließlich kann ein Vergleich mit $\delta^{18}\text{O}$ -Werten aus potentiellen Herkunftsregionen gezogen werden, um ihr ursprüngliches Heimatgebiet einzugrenzen. Allerdings liegen solche Vergleichsdaten für Menschen meist nicht vor. Eine Möglichkeit ist daher, die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der menschlichen Skelettreste mittels der empirischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$ -Regression für Menschen (s. Kapitel 3.2.5) in $\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$ -Werte des konsumierten Trinkwassers umzurechnen. Die Berechnung der Trinkwasser- $\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$ -Werte erfolgt unter der Annahme, dass die Menschen ihr Trinkwasser vor Ort aus niederschlagsgespeistem Oberflächen- oder Grundwasser bezogen haben. Dazu werden nun primär diejenigen Individuen ($n=94$)

aus Wenigumstadt herangezogen, deren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte als lokal eingestuft wurden (s. Kapitel 4.1.6, Tabelle 20).

Die Spanne der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte (3,74‰) unterscheidet sich aber kaum von der Wertespanne der Gesamtergebnisse (3,97‰) und reicht von -5,31‰ bis -9,28‰.

Auch eine ähnliche Rechnung, wie sie Isoplot für $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ durchführt (σ -outlier Test, s. Kapitel 3.4.1), erbrachte keine bessere Eingrenzung. Dabei wurden viermal die Ausreißer ermittelt und dann für die nächste Berechnung verworfen. Dadurch verringerten sich der Mittelwert von -7,22‰ auf -7,10‰ und die Spanne von 3,74‰ auf 3,11‰ (s. Anhang 8.4, Tabelle 64).

Man kann nun die Strontiumdaten in drei Gruppen unterteilen, eine lokale und zwei nicht-lokale. Die lokale Gruppe hat einen $\delta^{18}\text{O}$ -Mittelwert (V-PDB) von -7,13‰, die erste Gruppe der nicht-lokalen ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} < ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{lokal}}$) Individuen hat einen Mittelwert von -7,10‰ und die zweite Gruppe ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} > ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{lokal}}$) einen Mittelwert von -7,08‰. Diese Werte sind so gut wie identisch. Aus den Daten selbst lässt sich also keine engere Eingrenzung der lokalen Sauerstoffisotopie feststellen.

Bentley und Knipper (2005) analysierten an ihren Schweinzähnen $\delta^{18}\text{O}$ aus der Karbonatfraktion und berechneten daraus die $\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$ -Werte in V-SMOW zur Rekonstruktion der Trinkwasserquelle. Leider geben sie die Originaldaten nicht an. Da aber die Gleichung von Hoefs (2004) (s. Kapitel 3.2.4) die gängigste und die am häufigsten zitierte ist, kann man damit die Karbonatdaten in V-PDB rekonstruieren (s. Tabelle 45).

Tabelle 45 Daten aus Bentley und Knipper (2005) für bodengelagerte Schweinezähne. Die Sauerstoffdaten aus Karbonat waren in V-SMOW angegeben, deswegen wurden sie für diese Arbeit nach Hoefs (2004) und Lonignelli (1984) umgerechnet (s. Kapitel 3.2.5).

	Angaben nach Bentley und Knipper 2005				
	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karb}}$ V- SMOW [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ V-PDB [‰]	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Karb}}$ V- PDB [‰]	$\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$ V- SMOW [‰]
Bruchenbrücken 1	24,63	-14,20	0,71210	-6,01	-10,52
Bruchenbrücken 2	25,74	-13,28	0,70907	-4,94	-8,82
Goddelau 1	24,47	-13,28	0,70863	-6,16	-10,76
Goddelau 2	26,08	-13,31	0,71568	-4,61	-8,30
Goddelau 3	23,39	-13,69	0,70953	-7,20	-12,42
Schnellerts 1	26,36	-12,66	0,71114	-4,34	-7,87
Schnellerts 2	24,10	-13,30	0,71023	-6,52	-11,33
Schwanfeld 1	24,24	-12,35	0,70968	-6,38	-11,12
Schwanfeld 2	23,58	-12,67	0,70949	-7,02	-12,13
Schwanfeld 3	24,62	-12,75	0,70944	-6,02	-10,54

Demnach zeigen die Schweinezähne aller Orte im Mittel einen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Wert (V-PDB) von -6,47‰. Auch ohne Schwanfeld, das knapp 80km von Wenigumstadt entfernt liegt, bleibt der Mittelwert gleich. Die zwei Schweinezähne aus Bruchenbrücken und Goddelau, die nach den $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werten als nicht-lokal bestimmt wurden, haben $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werte von -4,61‰ und -4,94‰. Aus Schnellerts, das am nächsten an Wenigumstadt liegt, wurden zwei Zähne analysiert, die beide nach Strontiumanalysen lokal waren. Ein $\delta^{18}\text{O}$ -Wert beträgt -6,52‰, der andere jedoch hat einen $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von -4,34‰. Dieser scheint im Vergleich mit den anderen ebenfalls nicht-lokal zu sein. Im Vergleich mit den Daten von Bentley und Knipper (2005), mutet ein lokaler Mittelwert von -7,2‰ nicht unwahrscheinlich an.

REKONSTRUKTION DER TRINKWASSERQUELLE

Zur Rekonstruktion der Sauerstoffisotopensignatur der Trinkwasserquelle benötigt man zum Vergleich den $\delta^{18}\text{O}$ -Wert des Oberflächenwassers. Dieser ist dem OIPC (Bowen 2010; vgl. Kapitel 1.7.2) entnommen und beträgt heute für die Gegend von Wenigumstadt -8,2‰ ($\delta^{18}\text{O}$ in V-SMOW) (vgl. Kapitel 4.1.9).

Schwierig wird es vor allem dann, wenn die Skelettreste aus Zeitperioden stammen, deren klimatische Bedingungen signifikant anders waren als heute. Behringer (2008) führt für das frühmittelalterliche „Pessimum“, das wohl bereits im 3. Jhdt. begann und bis ins 9. Jhdt. n. Chr. dauerte, eine Abkühlung um 1 bis 1,5 Grad an. Darauf folgten eine „Hochmittelalterliche Warmzeit“ (ca. 900-1300), eine „Kleine Eiszeit“ (ca. 1300-1900) und momentan leben wir in einem modernen Klimaoptimum. Also ist anzunehmen, dass die Temperaturen heute um etwa 1 bis maximal 2 Grad höher sind als vor etwa 1500 Jahren. Die Temperatur wirkt sich insofern auf den $\delta^{18}\text{O}$ -Wert aus, dass mit einer Abnahme von etwa 0,5‰ pro 1°C zu rechnen ist (s. Kapitel 1.7.1). Die heutige Jahresmitteltemperatur von Wenigumstadt beträgt ca. 8,8°C, also müsste sie vor 1500 Jahren etwa bei 7,8 bis 6,8°C gelegen haben. Dementsprechend wäre der erwartete $\delta^{18}\text{O}$ -Wert (V-SMOW) um 0,5 bis 1‰ niedriger, also bei -8,7 bis -9,2‰.

Daux et al. (2008) verglichen ihre Messwerte für Oberflächenwasser mit denen des OIPC und konnten Übereinstimmungen feststellen, die nicht mehr als 0,8‰ Differenz überschritten.

Die von Bentley und Knipper (2005) analysierten Schweinezähne stammen aus verschiedenen Epochen, darunter Schnellerts, das eine mittelalterliche Fundstelle ist, und Bruchenbrücken das in die Linearbandkeramik datiert. Bruchenbrücken liegt knapp

50 km nördlich von Wenigumstadt und Schnellerts 19km südwestlich davon. Zwischen den beiden Fundstellen liegen zeitlich mindestens 5000 Jahre, und doch zeigen beide im Mittel dieselben $\delta^{18}\text{O}$ -Werte ($\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}} = -9,1\text{‰}$, V-SMOW). Dies deckt sich sehr gut mit dem erwarteten Bereich (-8,7 bis -9,2‰, s.o.). Im Gegensatz dazu zeigen Goddelau und Schwanfeld, die in etwa gleich datieren wie Bruchenbrücken, um 2‰ negativere $\delta^{18}\text{O}$ -Werte (s. Kapitel 1.7.2, Abbildung 9). Das erste Wertepaar (-9,1‰) scheint auch in etwa mit dem lokalen Sauerstoffisotopenbereich (-8,2‰ bis -8,7‰) überein zu stimmen. Für die anderen beiden Fundplätze (-11,0‰ und -11,2‰) passt es nicht (Bereiche -8,2 bis -9,4‰). Dafür würde das Schwein aus Goddelau, das einen nicht-lokalen Strontiumwert (0,71568) hat, der Sauerstoffisotopie zufolge lokalen Ursprungs sein (-8,74‰). Es ist also gut möglich, dass es aus nicht allzu großer Entfernung stammt.

Nun kann es durchaus sein, dass die von den Menschen genutzten Trinkwasserquellen nicht die $\delta^{18}\text{O}_{\text{mw}}$ -Werte des lokalen Niederschlagswassers haben. Große Fremdflüsse, die hochgelegene Einzugsgebiete entwässern oder von Schmelzwasser gespeist werden, wie der Rhein, haben nicht ortstypische $\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$ -Werte, die niedriger als der lokale Niederschlag sind (Schürch u. a. 2003). Etwas Ähnliches konnten Daux et al. (2008) beobachten. In einigen Fällen hatten sie Wasserproben zur Verfügung, die aus tiefen Wasserreservoirs (z.B. Bordeaux, 20.000 Jahre alt) oder höheren Bergseen (z.B. Algiers, Athen) stammten. In diesen Fällen wichen die Messdaten um 1,6‰ bis zu 1,9‰ vom Wert des OIPC ab, der nur Werte für den modernen Niederschlag wiedergibt (Bowen et al. 2005).

Dies alles legt nun den Schluss nahe, dass eine Umrechnung im Falle Wenigumstadts nur einen geringen Nutzen hat, ja beinahe als unzulässig gelten muss. Eines der größten Probleme bei der Umrechnung über mehrere Schritte ist, dass mit jedem einzelnen Schritt die Unschärfe zunimmt. Zwar ist der Messfehler an sich vernachlässigbar (0,01‰, s. Kapitel 4.1.9), aber anscheinend kann die Variabilität innerhalb einer Population bis zu 1‰ betragen (Longinelli 1984). Durch die Fehlerfortpflanzung bei der Umrechnung vergrößert sich diese auf 1,59‰. Bei einem Fehler von $\pm 1,59\text{‰}$, ergibt das für einen Einzelwert eine Spanne von 3,18‰. Da die gesamte Wertespanne für modernes Oberflächenwasser in Deutschland 4,3‰ beträgt, wird so eine Zuordnung sehr erschwert.

Desweiteren möchte man die Aussagekraft der Umrechnungsformeln etwas in Frage stellen. Wie Daux et al. (2008) richtig feststellten, analysierten die meisten Autoren eine

Datenmenge von sechs bis 14 Proben. Dabei wurden zumeist $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aus der Phosphatfraktion gemessen und mit $\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$ -Werten des Oberflächenwassers verglichen. Dazu wurde schließlich eine Regressionsgerade aus diesen vierzehn oder weniger Datenpunkten berechnet (Abbildung 43).

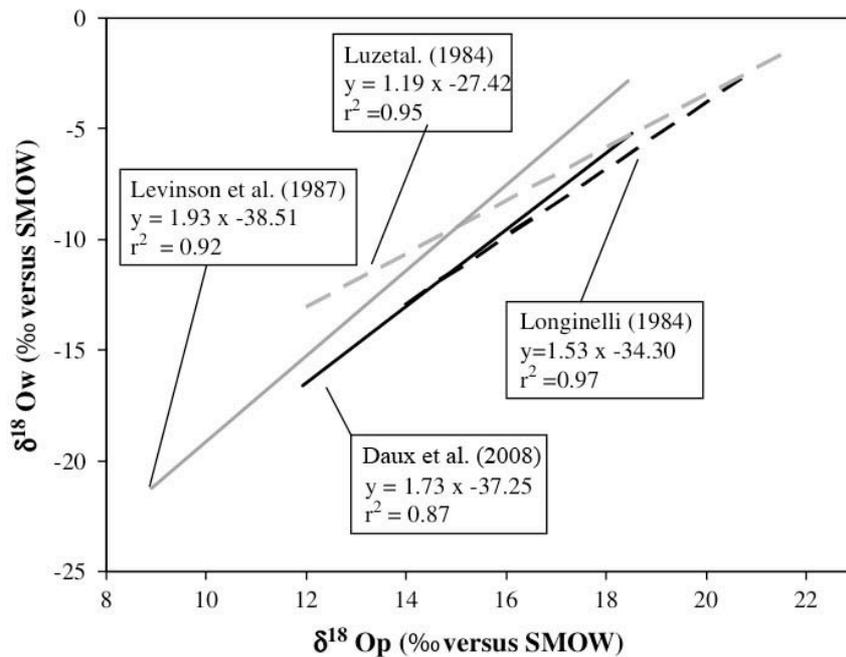


Abbildung 43 Vergleichende Abbildung verschiedener Regressionsgeraden für Menschen aus der Literatur (Longinelli (1984): $n = 10$; Luz et al. (1984): $n = 6$; Levinson et al. (1987): $n = 14$; Daux et al. (2008): $n = 12$).

Daux et al. (2008) machten sich schließlich die Mühe und fassten alle Daten mit ihren eigenen zusammen und hatten somit eine Werteanzahl von insgesamt 42. Die daraus resultierende Regressionsgerade ist in 3.2.4 dargestellt. Berechnet man die Daten mit den Extremwerten, welche die Faktoren der Gleichung aufbieten ($1,54 \pm 0,09$ bzw. $33,72 \pm 1,51$) resultieren daraus Spannen von etwa 5,2‰ bis 6,7‰ (Gleichungen 5b und 5c, s. Kapitel 4.1.9, Tabelle 25, Anhang 8.4, Tabelle 60) für die Einzelwerte. Diese Spannen sind unbrauchbar.

Mehrere Autoren nehmen an, dass diese Regressionsgeraden speziesabhängig sind, und daher verschiedene Steigungen aufweisen (Iacumin et al. 1996b für Wild; Longinelli 1984 für Hausschweine, Ratten; Bryant et al. 1996 für Pferde). Aber auch die von verschiedenen Autoren ermittelten Gleichungen für Menschen unterscheiden sich signifikant (vgl. Kapitel 4.1.9, Tabelle 25, Anhang 8.4, Tabelle 60). Unter Umständen muss in Betracht gezogen werden, dass die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte nicht so streng linear mit dem Oberflächenwasser korrelieren, wie bisher gedacht. Kohn und Cerling (2002) vermuten

auch einen Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit, wodurch unterschiedliche Tierspezies im gleichen Habitat verschiedene $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aufweisen können. Besonders stark soll diese Abhängigkeit in dürretoleranten Spezies sein. Auch Stanton-Thomas und Carlson (2004) bemerkten eine größere Variabilität der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte in der Karbonatfraktion als in der Phosphatfraktion desselben Individuums. Dies spräche gegen einen linearen Zusammenhang von Karbonat und Phosphat und damit gegen einen linearen Zusammenhang von Karbonat und Körperwasser bzw. Oberflächenwasser.

Zumindest müssen noch andere Faktoren berücksichtigt werden, welche die Sauerstoffisotopie des konsumierten Wassers beeinflussen könnten. So stellten zum Beispiel Daux et al. (2008) in ihrer Arbeit fest, dass $\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}}$ in Zahnschmelz um maximal 1,1‰ erhöht sein kann gegenüber $\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$. Die Autoren führen das darauf zurück, dass dieser Effekt vor allem bei einer Ernährung auftritt, die vor allem auf gekochtem Gemüse beruht, bzw. auf Gemüse und Fleisch. Der Konsum von importierten Lebensmitteln aus klimatisch anderen Bereichen kann ebenfalls zu Abweichungen der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von lokalen Werten führen. Daux et al. (2008) stellten Abweichungen zwischen dem Wasser der gekochten Nahrung und dem ursprünglichen Wasser von 1,2‰ bis sogar 6,2‰ fest.

Im Laufe eines Jahres schwanken die berechneten $\delta^{18}\text{O}$ -Werte, die der OIPC für meteorisches Wasser ausgibt, um 4,8‰ (s. Kapitel 2.1.5, Tabelle 5). Der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert aus dem Zahnschmelz vereint Daten über einen zeitlichen Verlauf von drei bis vier Jahren. Es ist denkbar, dass eine Varianz innerhalb einer Population dadurch zustande kommt, dass das Klima über Jahrzehnte hinweg nicht vollkommen stabil ist, sondern immer wieder kältere oder mildere Sommer oder Winter auftreten. So kann es sein, dass der Zahn eines Individuums, das in einer Zeitspanne von kälteren Jahren gelebt hat, niedrigere $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aufweist, als ein Individuum, das zehn Jahre später in einer wärmeren Phase jung war.

STILLEFFEKT IM $\delta^{18}\text{O}$ DES ZAHNSCHMELZES

Tütken (2010) lehnt die Analyse des ersten Dauermolaren aufgrund eines möglichen Stilleffektes ab, da der die Sauerstoffisotopendaten verfälschen würde. Nach den Ergebnissen von Schulz (2006) spricht jedoch nichts gegen M1, da kein Unterschied zum M2 besteht. Der M3 scheint nicht nachvollziehbare Isotopen-Muster zu zeigen. Selbst Wright und Schwarcz (1998), die den Stilleffekt postulierten, konnten lediglich einen Unterschied von 0,7‰ zwischen den früh- und spätmineralisierenden Zähnen

ausmachen. Daux et al. (2008) und Mitchell und Millard (2009) verwendeten ungeachtet des Stilleffekts M1 und M2 und konnten die Daten ohne Probleme den lokalen meteorischen Werten zuordnen. Deswegen werden hier die Daten aller Zähne im Kollektiv gleichwertig betrachtet, wobei ein möglicher Stilleffekt auf individueller Ebene im Einzelbefund gesondert diskutiert werden soll.

Schulz (2006) konnte keine signifikanten Unterschiede zwischen den gleichzeitig gebildeten Zähnen der rechten und linken Kieferhälften feststellen. Ausnahme bildeten allerdings der M1 (-0,95‰) und M2 (-0,97‰) des Unterkiefers. Dies ist relevant für die vorliegende Arbeit, da hier hauptsächlich der Zahnschmelz des 1. und des 2. Dauermolaren verwendet wurde, und diese individuellen Schwankungen in einer Größenordnung liegen, die andere Effekte maskieren bzw. vortäuschen könnten.

Bei beiden Erwachsenen ist der höchste $\delta^{18}\text{O}$ -Wert im ersten Prämolaren des Oberkiefers (P1 OK) gemessen worden. Der niedrigste Wert fand sich bei WU 67 im zweiten Dauermolaren des Unterkiefers (M2 UK), bei WU 155 im zweiten Prämolaren des Unterkiefers (P2 UK). Besonders bemerkenswert ist, dass beide Prämolaren etwa im selben Zeitraum mineralisieren und sich damit kaum unterscheiden sollten und doch bei WU 155 die Extremwerte markieren.

Die Tatsache, dass es innerhalb eines Zahntyps (M1 sowie M2, Schulz 2006) zu einem Unterschied von bis zu 1‰ kommen kann, lässt die Ergebnisse von Wright und Schwarcz (1998) nicht mehr sehr signifikant erscheinen. Schulz (2006) konnte ferner kein schlüssiges Muster von An- bzw. Abreicherung feststellen, das einen Zeitpunkt für das Abstillen markieren könnte. Lediglich in den Milchzahngebissen von WU 26 und WU 142 konnte sie eine Anreicherung von ^{18}O über 1,5‰ feststellen. Milchzähne werden schneller mineralisiert und bilden demzufolge Veränderungen in der Trinkwasserquelle schneller ab. Damit dürfte die Forderung von Tütken (2010) bestätigt sein, der verlangt, dass Milchzähne als Untersuchungsmaterial für Provenienzanalysen nicht in Frage kommen.

Ein Stilleffekt kann also vielleicht im Bereich von etwa 0,7‰ erwartet werden (Wright und Schwarcz 1998; Schulz 2006). Dies bedeutet, dass auf jeden Fall Fraktionierungen von der Wasseraufnahme auf dem Weg zum Körperwasser hin geschehen, was wiederum bedeutet, dass der $\delta^{18}\text{O}$ der Karbonatfraktion nicht derselbe sein kann wie der $\delta^{18}\text{O}$ des Oberflächenwassers (Fry 2006).

Diese Ergebnisse bestätigen die Annahme, dass eine Varianz von $\pm 1\text{‰}$ im $\delta^{18}\text{O}$ -Wert der lokal lebenden Individuen völlig natürlich ist, sei es nun bedingt durch einen Stilleffekt oder andere physiologische Ereignisse. Da es bereits zu einem Unterschied von 1‰ kommen kann, je nachdem, ob man den linken oder den rechten Dauermolaren beprobt, den ersten oder den zweiten Prämolaren, einen Caninus oder einen dritten Dauermolaren, scheint es unnötig, einen weiteren Zahn zu zerstören, sondern vertretbar, denselben Zahn für Strontium- und Apatitextraktion zu benutzen. Der Vorteil besteht weiterhin darin, dass dasselbe Zeitfenster analysiert wird, und nicht womöglich verschiedene Zeitpunkte im Leben eines Individuums, zu denen es sich an unterschiedlichen Orten aufgehalten haben kann.

Solange der Vergleich innerhalb derselben Bevölkerung bleibt, müssten nicht-lokale Personen allein anhand ihrer auffallenden Isotopensignatur, sofern vorhanden zu detektieren sein. Schwieriger wird es, sobald verschiedene Populationen verglichen werden sollen. Denkbar ist, dass ein und dieselbe Personengruppe nicht nur denselben klimatischen sondern auch ähnlichen physiologischen Bedingungen ausgesetzt ist. Daher sollten sich ihre Daten gleichen. Der Vergleich mit einer externen Personengruppe, die aus einem anderen Gebiet stammt, mit verschiedenen ökologischen Gegebenheiten sowie möglicherweise unterschiedlichen Trinkgewohnheiten, könnte problematisch sein. Hier kann aber mit Sicherheit der $\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$ -Wert des Oberflächenwassers einen Hinweis dahingehend liefern, in welchem Maße mit einer Differenz zwischen den Orten zu rechnen ist. Daraus lässt sich eine Vermutung ableiten, wie groß der Abstand in den physiologischen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Werten der Individuen sein müsste, und ob eine Unterscheidung überhaupt möglich ist. Darüber hinaus scheint es nicht sehr effektiv zu sein, aus gemessenen Daten der Karbonatfraktion $\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$ -Werte zu berechnen und diese den modernen Niederschlagsdaten gegenüberzustellen.

Für Wenigumstadt bedeutet dies nun, den tatsächlichen Mittelwert ($-7,2\text{‰}$), der aus den Daten, der nach den Strontiumisotopenanalysen als lokal bestimmten Individuen¹⁰ berechnet wurde, als lokalen $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Wert (V-PDB) zu betrachten, mit einer Abweichung von $\pm 1\text{‰}$. Dies erscheint erst einmal relativ willkürlich und die Biologie hält sich nicht unbedingt an strikte Grenzen, aber als Annäherungswert sollte dies zulässig

¹⁰ Der Mittelwert wird ohne den $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von WU 30 berechnet ($-1,50\text{‰}$), da dieser einen extremen Ausreißer darstellt und keinesfalls als lokaler Wert gelten kann.

sein. Als weiterer Anhaltspunkt soll der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Vergleichswert (-6,47‰) von Bentley und Knipper (2005) dienen (Abbildung 44).

Bei der Betrachtung des chronologischen Verlaufes, muss man sich vor Augen führen, dass das Gräberfeld über mehr als 300 Jahre, fast 400 Jahre lang benutzt wurde. Jede Phase umfasst etwas 20 bis 30 Jahre.

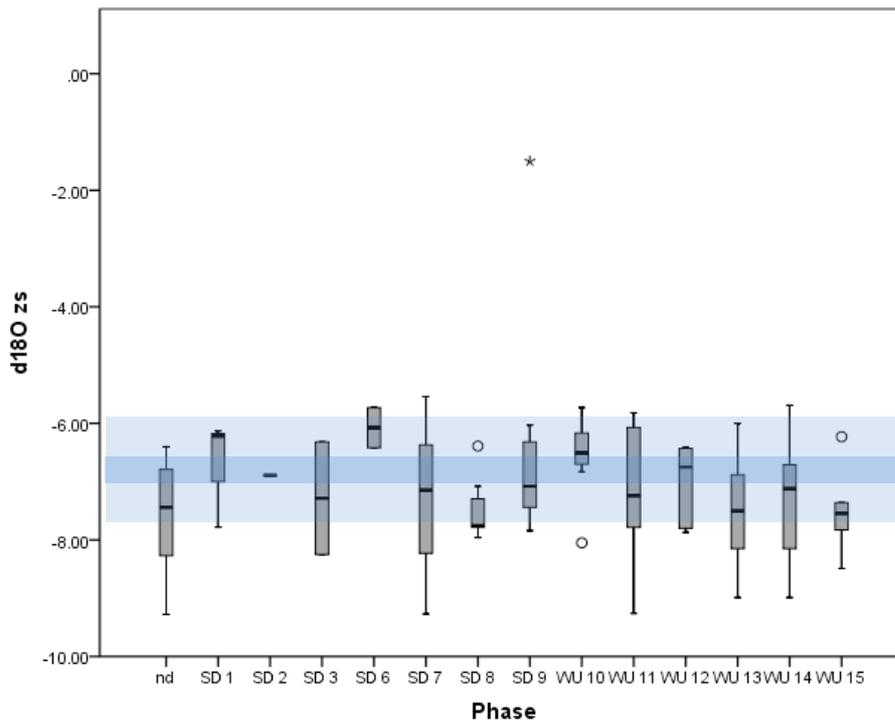


Abbildung 44 Verteilung der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte (V-PDB), der nach $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ als lokal eingestuft Individuen ($n = 88$) im Verlauf der chronologischen Phasen nach Stauch (2004). Der mit einem Stern markierte extreme Ausreißer ist WU 30. Der dunklere Bereich markiert in etwa den Bereich zwischen dem Mittelwert aus WU (-7,2‰) und dem Wert von Bentley und Knipper (-6,47‰). Der hellere, breitere Bereich markiert die mögliche lokale Varianz von $\pm 1\%$.

Die Varianzen zwischen den Phasen können auch durch klimatisch bedingte Temperaturschwankungen beeinflusst werden. Im Verlauf von 20 Jahren kann die Jahresmitteltemperatur leicht um 1°C schwanken, in Extremfällen sogar um fast 4°C , wie es zwischen den Jahren 1825 und 1835 geschehen ist (Deutscher Wetterdienst 2010). Diese Schwankungen werden im Knochen über mehrere Jahre gemittelt, wodurch die Unterschiede geglättet werden und die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aus Knochenapatit auch homogener erscheinen. Im Zahnschmelz werden aber lediglich drei bis vier Jahre gemittelt, so dass Unterschiede zwischen Individuen, die im Abstand von 20 oder mehr Jahren gelebt haben, stärker zum Tragen kommen können. In Tabelle 65 (s. Anhang 8.4) sind die $\delta^{18}\text{O}$ -Mittelwerte in den einzelnen Phasen aufgeführt. Zum Großteil liegen diese in einem Bereich von $-7,20 \pm 1\%$. Die Standardabweichungen der einzelnen

Phasen betragen im Mittel 0,93‰. Dies bestätigt den Verdacht, dass die lokale Isotopie innerhalb einer Population im chronologischen Verlauf um 1‰ schwanken kann. Daher sollte nicht nur der Gesamtmittelwert zur Bestimmung des lokalen Bereiches herangezogen werden, sondern auch der zeitliche Verlauf.

VERGLEICH KNOCHEN – ZAHNSCHMELZ

Der Vergleich der $\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aus dem Knochenapatit mit denjenigen aus Zahnschmelzapatit, sollte spät zugewanderte Individuen identifizieren (vgl. Kapitel 4.1.12). Zugleich könnte dieses Phänomen durch den sogenannten Stilleffekt vorgetäuscht, verfälscht oder verdeckt werden. Dazu sollten zunächst erwachsene Individuen, die nach Strontiumisotopenanalysen als lokal eingeordnet wurden untersucht werden.

Bei Kindern wäre solange kein Unterschied zwischen dem $\delta^{18}\text{O}$ -Wert des Knochens und des Zahnschmelzes zu erwarten, solange sie noch gestillt werden bzw. solange bis sich das Abstillen in dem sich umbauenden Knochen bemerkbar macht (s. Abbildung 45, blaue Linie). Ab dem Zeitpunkt des Abstillens sollte der Knochen langsam angereicherter werden gegenüber dem Zahnschmelz, d.h. um etwa 1‰ negativer werden (s. Abbildung 45, rote Linie) (Schulz 2006; Wright und Schwarcz 1998).

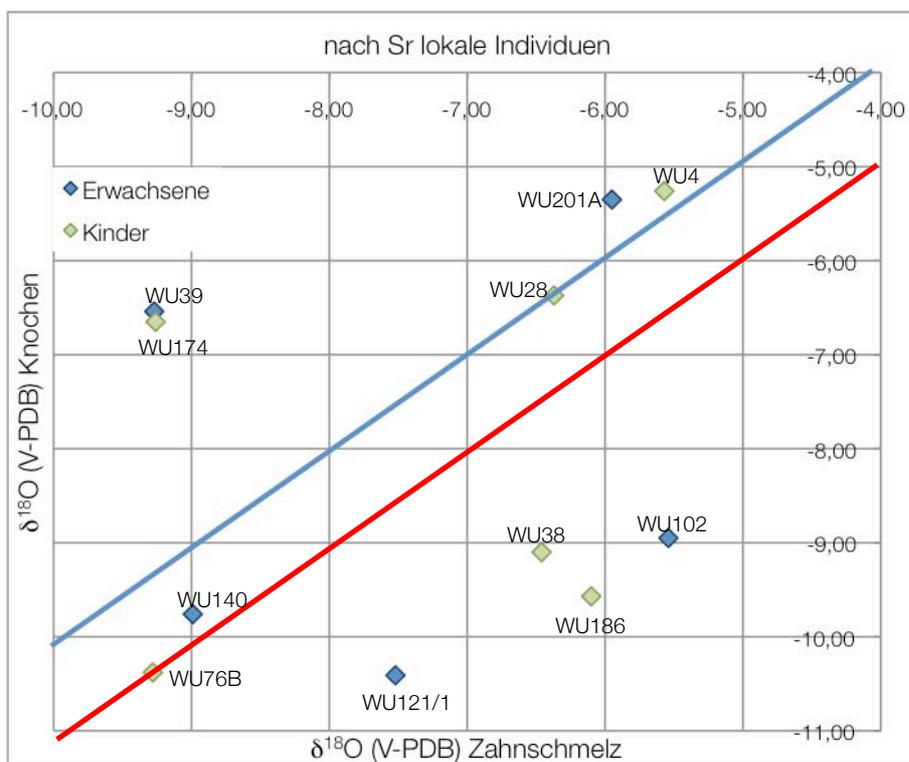


Abbildung 45 Darstellung der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte (V-PDB) aus Knochen und Zahnschmelz im Vergleich von fünf nach $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ lokalen Erwachsenen und sechs lokalen Kindern. Die blaue Linie markiert eine Differenz zwischen ZS und K von 0‰, zu erwarten bei Kindern. Die rote Linie markiert den Erwartungswert für einen Stilleffekt von bis zu 1‰, zu erwarten bei Erwachsenen.

Im Mittel zeigt sich dieser Unterschied bei den lokalen Individuen, nämlich ein um 1‰ positiverer $\delta^{18}\text{O}$ -Wert im Zahnschmelz als im Knochen (vgl. Kapitel 4.1.12). Bei genauerer Betrachtung zeigen aber nur zwei Individuen genau diesen Effekt.

Dabei handelt es sich um einen Erwachsenen (WU 140) und ein Kind (WU 76B). Das Kind ist etwa sechs Jahre alt geworden, weshalb ein Stilleffekt bereits zum Tragen gekommen sein kann. Zwei Kinder (WU 4, 8 Jahre und WU 28, 4 Jahre) zeigen keinen oder nur einen geringen Unterschied, obwohl ein achtjähriges Kind bereits abgestillt sein sollte. Ein Erwachsener (WU 201A) zeigt ebenfalls nur einen geringen Unterschied zwischen Zahnschmelz und Knochen.

Auffällig sind die Daten des vierjährigen Kindes WU 28. Bei diesem Kind sind die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aus Zahnschmelz und Knochen identisch. Dies kann dadurch begründet werden, dass eine noch nicht vollständig mineralisierte Krone eines zweiten Prämolaren analysiert wurde. Allerdings ist der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert im Knochen um 3,59‰ positiver als im Zahnschmelz. Normalerweise sollte es aber umgekehrt sein. Milch ist sehr fettreich, und Fett hat sich in vielen Studien als um bis zu 5‰ mit ^{13}C abgereicherter erwiesen, als andere Nahrungsbestandteile (u.a. DeNiro und Epstein 1978; Deines 1980). Balasse (2002) weist ebenso wie Wright und Schwarcz (1998) darauf hin, dass dies zur Folge haben könnte, dass Bioapatit, der vor dem Abstillen gebildet wird, niedrigere $\delta^{13}\text{C}$ -Werte haben könnte, als Bioapatit, der nach dem Abstillen gebildet wird. Dies könnte für das Kind nun bedeuten, dass der Knochen nicht mehr gut erhalten war, und da die UV-Fluoreszenz nicht überprüft werden konnte, steht hier keine Qualitätskontrolle zur Verfügung. Andererseits muss bei den Kindern natürlich immer in Betracht gezogen werden, dass möglicherweise eine Krankheit, eine Stoffwechselstörung oder eine sonstige Beeinträchtigung der physiologischen Vorgänge ursächlich sein kann, für veränderte Isotopenverhältnisse. Die Kinder sind schließlich sehr jung gestorben, und die Todesursache ist nicht immer diagnostizierbar.

Eine andere Möglichkeit wäre, dass zwar in den frühen Jahren ein Stilleffekt auftritt, aber die Kinder so früh abgestillt werden, dass sich die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte noch während der Mineralisation der Zahnkronen wieder an normale Nahrung anpassen konnten. Die jüngsten Kinder sollten die geringsten $\Delta^{18}\text{O}$ -Werte aufweisen. WU 186 mit eineinhalb Jahren zeigt die höchste Differenz zwischen Zahnschmelz und Knochen (3,47‰) (Abbildung 46).

Allerdings darf auch nicht vergessen werden, dass es zwar eine gewisse Konvention und Tradition innerhalb einer Bevölkerungsgruppe gibt, wann Kinder abgestillt werden

sollten, der Zeitpunkt aber doch von Mutter zu Mutter individuell festgelegt werden kann, so dass Schwankungen von einem Jahr sicherlich nicht unwahrscheinlich sind. Daher könnten die jüngsten Kinder bereits abgestillt worden sein, ob nun mit Absicht oder vielleicht auch, weil die Mutter keine Milch mehr hatte, was letztendlich womöglich sogar zum Tod der Kinder geführt haben könnte.

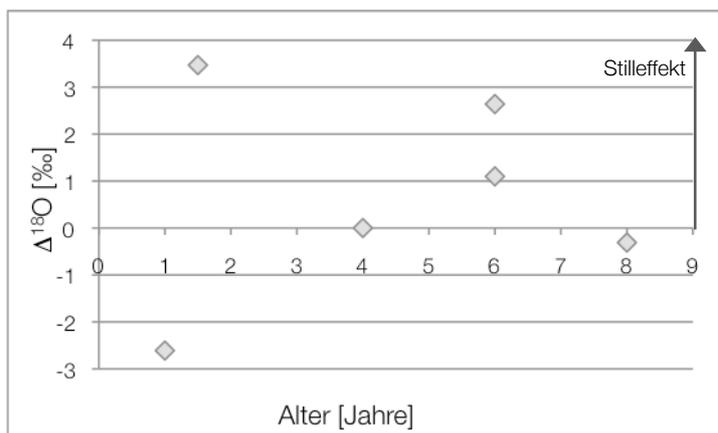


Abbildung 46 Abbildung der Differenzen $\Delta^{18}\text{O}$ nach dem Alter der Kinder (n = 6, lokal nach $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$).

Die größten positiven Differenzen wurden in vier Individuen, zwei Kindern (WU 38 und WU 186) und zwei Erwachsenen (WU 121/1 und WU 102) gemessen ($\Delta^{18}\text{O}$ von 2,64‰ bis 3,47‰) (vgl. Kapitel 4.1.12, Tabelle 30). Die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte des Zahnschmelzes liegen im lokalen Bereich, während die des Knochens davon abweichen. Diese könnten einen ausgeprägten Stilleffekt darstellen, allerdings wurde ein solcher bisher nicht in diesem Ausmaß dokumentiert. Unter Umständen kommt hier noch eine Verschiebung durch andere Einflüsse hinzu, wie eine Veränderung der Trinkwasserquelle, die verstärkend gewirkt haben könnten. Gegen einen Stilleffekt spricht, dass sich in dieser Gruppe die zwei Kinder befinden, eben auch das eineinhalbjährige Kind aus Grab WU 186.

Die größten negativen Differenzen fanden sich bei dem einjährigen Kind (WU 174) und einem Erwachsenen (WU 39). Diese beiden liegen nun nach dem $\delta^{18}\text{O}_{\text{Zahnschmelz}}$ außerhalb des lokalen Bereiches, während der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert des Knochens im lokalen Bereich liegt. Dies könnte nun zumindest bei der Erwachsenen, die immerhin spätmatur ist, ein Hinweis auf eine länger zurückliegende Migration hinweisen und das, obwohl sie nach ihrem $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert lokal eingestuft worden ist.

Interessanterweise sind nun gerade bei den als nicht-lokal eingestuften Individuen sechs Erwachsene dabei, die keine oder nur geringe $\delta^{18}\text{O}$ -Differenzen aufweisen (WU 3, WU 16, WU 48, WU 52, WU 78, WU 166) (Abbildung 47). Vier Erwachsene zeigen positive

Differenzen von 1,62‰ bis 4,9‰. Hier könnte wieder der Stilleffekt eine Rolle spielen, der aber mit 4,9‰ wirklich extrem ausfallen würde.

Wie sind nun diese sechs Individuen zu beurteilen, deren $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aus Zahnschmelz und Knochen übereinstimmen? Möglicherweise zeigen sie einfach keinerlei Stilleffekt, der nach bisherigen Erkenntnissen auch eher gering ausfallen sollte (Schulz 2006; Wright und Schwarcz 1998). Sollte ein Stilleffekt aufgetreten sein, wäre also die ursprüngliche Isotopie der heimatlichen Trinkwasserquelle negativer als die $\delta^{18}\text{O}_{\text{Zahnschmelz}}$ -Werte. Demzufolge müssten sich ihre Knochenwerte dann dem lokalen $\delta^{18}\text{O}$ -Wert angepasst haben. Allerdings sind diese Sauerstoffwerte positiver als der $\delta^{18}\text{O}$ -Mittelwert der Gesamtpopulation aus Zahnschmelz (-7,2‰). Vermutet man hier einen Stilleffekt müsste der lokale $\delta^{18}\text{O}$ -Wert eher bei -8‰ oder niedriger liegen. Dementsprechend scheint es sich hierbei um eine Gruppe spät zugewanderter Individuen zu handeln, die keinen Stilleffekt zeigen.

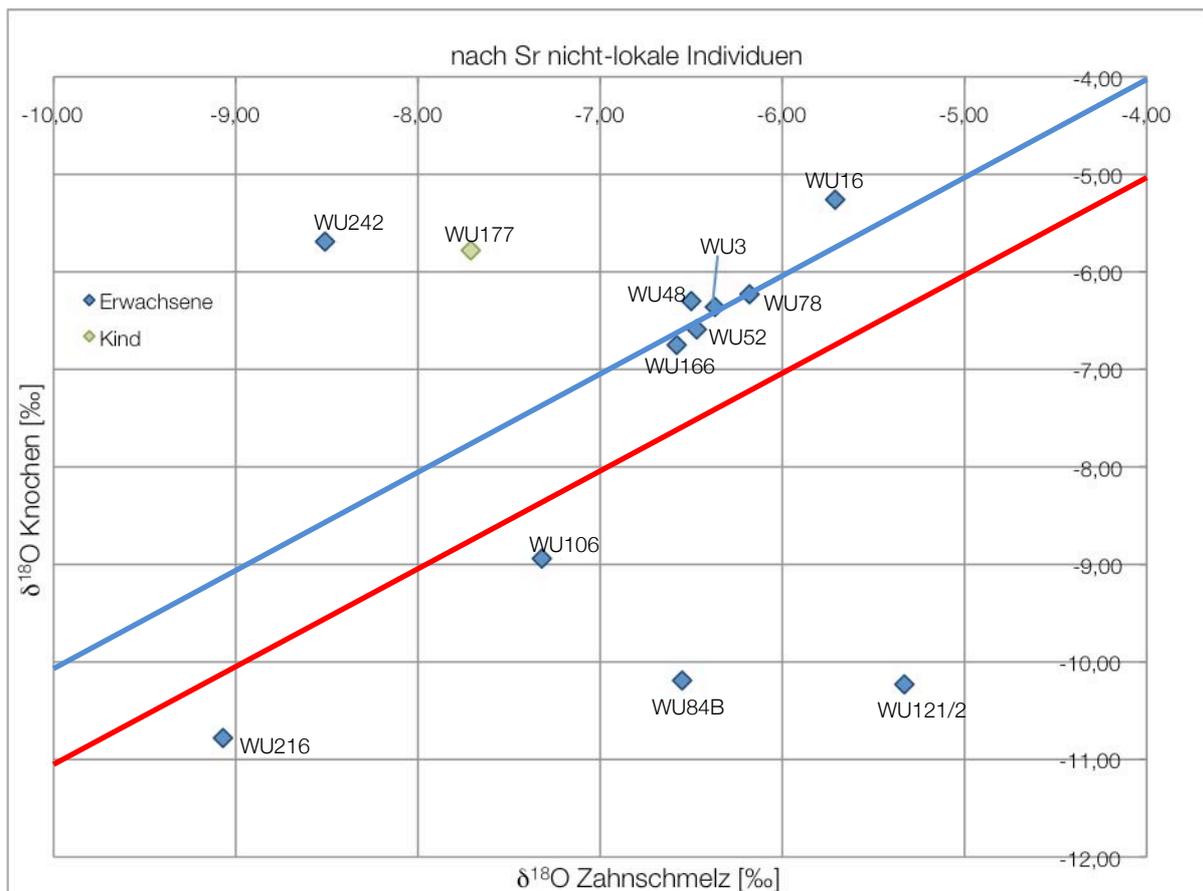


Abbildung 47 Darstellung der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte (V-PDB) aus Knochen und Zahnschmelz im Vergleich von elf nach $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ nicht-lokale Erwachsenen und einem nicht-lokalem Kind. Die blaue Linie markiert eine Differenz zwischen ZS und K von 0‰, zu erwarten bei Kindern. Die rote Linie markiert den Erwartungswert für einen Stilleffekt von bis zu 1‰, zu erwarten bei Erwachsenen.

STILLEFFEKT N vs. O

Dittmann und Grupe (2000) konnten einen deutlichen Stilleffekt im Stickstoff aus der Kollagenfraktion bei den Kindern von Wenigumstadt zeigen. Dabei steigt $\delta^{15}\text{N}$ bei den jüngsten Kindern (bis etwa ein Jahr) an, danach beginnen die Werte zu sinken (s. Kapitel 2.1.2). Wenn ein Stilleffekt auch in der Sauerstoffisotopie des Zahnschmelzes zum Tragen kommt (s. Kapitel 1.7.2) sollte er parallel mit zum Stickstoff zu sehen sein.

In Abbildung 48 sind die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aus Dittmann (1999) und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Zahnschmelz}}$ -Daten von 16 Kindern aus Wenigumstadt aufgetragen. Bei einem Stilleffekt im $\delta^{18}\text{O}$ des Zahnschmelzes und im $\delta^{15}\text{N}$ des Knochens, müssten diese positiv korrelieren und beide zunehmen. In Abbildung 48 ist aber das Gegenteil zu sehen. Je niedriger der $\delta^{15}\text{N}$ -Wert wird, desto positiver ist der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert des Zahnschmelzes.

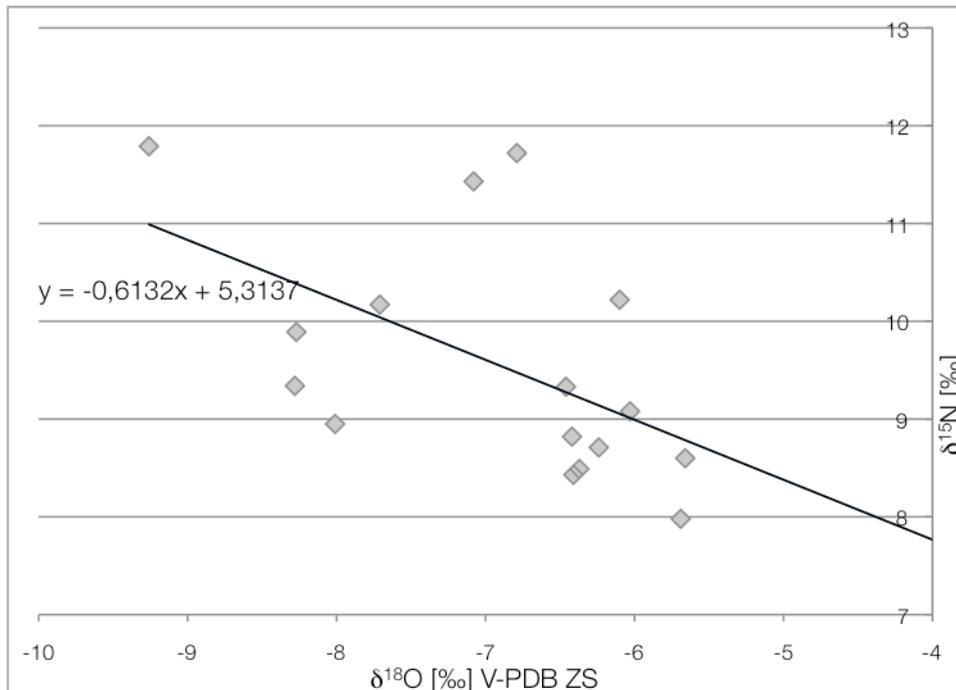


Abbildung 48 $\delta^{18}\text{O}$ aus Zahnschmelz vs. $\delta^{15}\text{N}$ von 16 Kindern aus Wenigumstadt. Die Stickstoffdaten stammen aus Dittmann (1999).

Dittmann erhob von vier Kindern (WU 38, WU 174, WU 177, WU 186) die Stickstoffisotopenwerte, die auch in der vorliegenden Arbeit auf ihre Sauerstoffisotope hin, in Knochen und Zahnschmelz untersucht worden sind. Die vier Kinder zeigen deutlich den Trophiestufeneffekt im Stickstoff: das jüngste Kind (WU 174, 1a) weist den höchsten $\delta^{15}\text{N}$ -Wert (11,79) und das älteste Kind (WU 38, 6a) den niedrigsten Wert

(9,33) auf. Dies ist ein Unterschied von 2,46‰ und entspricht dem postulierten Stilleffekt (Fogel et al. 1989; Tuross und Fogel 1994; Katzenberg 1993).

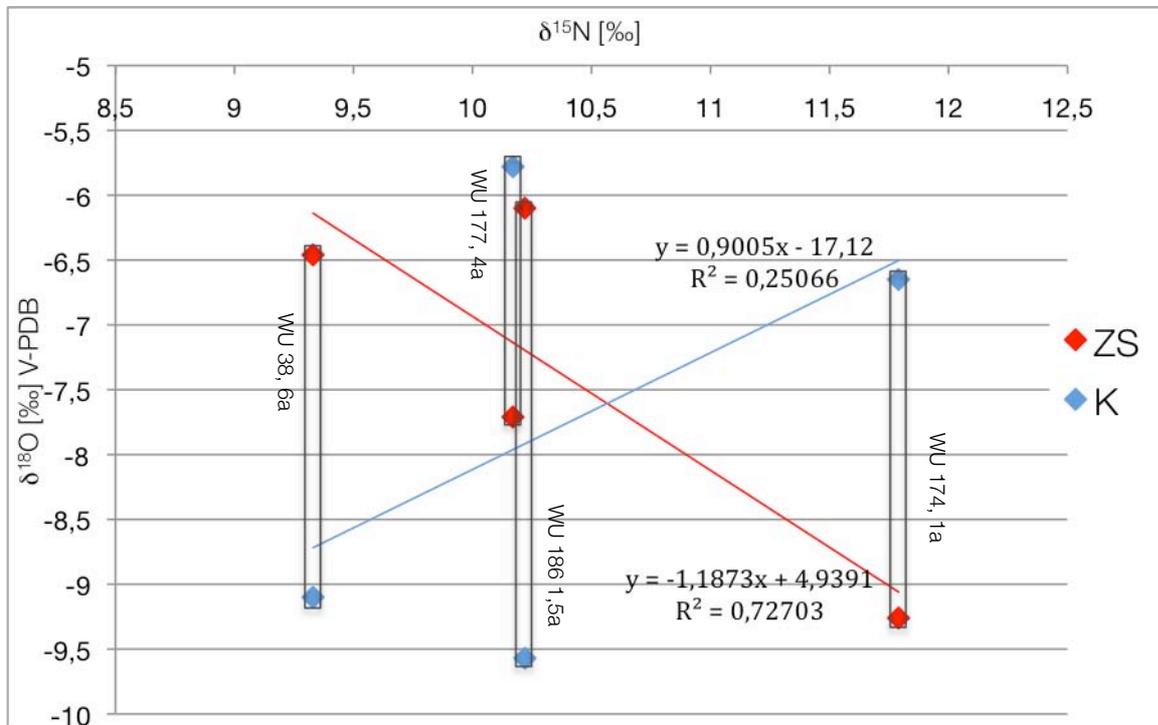


Abbildung 49 Vergleich von Stilleffekt im $\delta^{15}\text{N}$ aus Kollagen und im $\delta^{18}\text{O}$ im Karbonat aus Knochen und Zahnschmelz. Der Effekt im Stickstoff ist deutlich zu sehen: das einjährige Kind (WU 174) zeigt die höchsten $\delta^{15}\text{N}$ -Werte, während das älteste Kind (6a, WU 38) den niedrigsten Wert aufweist. $\delta^{18}\text{O}$ sollte im Zahnschmelz gegenüber dem Knochen ebenfalls erhöht sein (WU 38 und WU186) parallel zum Stickstoff. Allerdings zeigen zwei Kinder (WU 177 und WU 174) genau das Gegenteil.

Da der Zahnschmelz des ersten Dauermolaren in den ersten drei Lebensjahren gebildet wird, müsste sich hier, sofern vorhanden, ein Stilleffekt zeigen und $\delta^{18}\text{O}$ im Vergleich zum Knochen erhöht sein (Wright und Schwarcz 1998). Bei Kindern sollten die Werte im Knochen dem des Zahnschmelzes entsprechen. Lediglich bei den älteren Kindern sollten sich die Werte schon langsam wieder dem der Erwachsenen angepasst haben, ähnlich wie im Stickstoff. Dementsprechend hat das jüngste Kind (WU 174, 1a) im Knochen ebenso erhöhte $\delta^{18}\text{O}$ -Werte wie bei $\delta^{15}\text{N}$. Allerdings sind die Sauerstoffwerte im Zahnschmelz niedriger als im Knochen ($\Delta=2,61\text{‰}$). Das ist also genau das Gegenteil dessen, was zu erwarten gewesen wäre. Das zweitälteste Kind (WU 177) sollte bereits angepasste $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Knochen zeigen, also kleinere Werte als im Zahnschmelz. Das Gegenteil ist der Fall ($\Delta=1,93\text{‰}$). Allerdings stammt WU 177 als einziges der vier Kinder nicht aus Wenigumstadt. Daher kann diese Umkehrung daher kommen, dass es ursprünglich aus einer anderen Gegend kommt. Allerdings, dem üblichen Effekt folgen,

müsste dann die „Heimatisotopie“ des Kindes noch niedriger als die des Zahnschmelzes liegen, also unter $-7,71\text{‰}$.

Das älteste Kind (WU 38, 6 Jahre) zeigt schließlich das Muster, das den Erwartungen entspricht: $\delta^{18}\text{O}$ im Zahnschmelz ist gegenüber dem Knochen um $2,64\text{‰}$ erhöht. Allerdings ist dieses Kind mehreren Krisen ausgesetzt gewesen. Dittmann (1999) konnte im Röntgenbild neun Harrislinien¹¹ an der Tibia feststellen und eine transversale Schmelzhypoplasie¹², die im Alter von etwa drei Jahren entstanden sein muss. Diese Krise muss es überlebt haben, allerdings deuten neun Harrislinien an, dass das Kind über einen längeren Zeitraum mehreren solchen Stressphasen ausgesetzt gewesen sein muss. Im Mittel zeigten die Knochen der Kinder von Wenigumstadt $8,1$ Harris-Linien. Dittmann postuliert deswegen eine relativ hohe Belastung im Vergleich zu anderen Fundkomplexen.

Dies führt zu mehreren Annahmen:

1. Kinderknochen sind noch nicht voll mineralisiert wie ein erwachsenes Skelett und dementsprechend instabiler. Die Gefahr einer Kontamination durch das Bodenmilieu ist dadurch erhöht und kann nicht ausgeschlossen werden.
2. Die Kinder sind jung gestorben, d.h. sie könnten eventuell an einer (Mangel-) Erkrankung gestorben sein, die einen physiologischen Einfluss auf die Mineralisation von Knochen und Zähnen hatte.
3. Es liegt kein Stilleffekt im $\delta^{18}\text{O}$ -Wert des Zahnschmelz vor, sondern es kommen ganz andere physiologische Vorgänge zum Tragen.

Für die zweite Annahme spricht, dass das älteste Kind einen Stilleffekt wie aus dem Bilderbuch zeigt. Es wurde alt genug, dass sich die Werte im Knochen anpassen konnten, wie es auch im Stickstoff zu sehen ist. Gleichzeitig spricht das aber auch für die dritte Annahme, dass in den ersten Lebensjahren vielleicht ganz andere Mechanismen zu tragen kommen, die Einfluss auf die Isotopie des Zahnschmelz haben.

¹¹ Harris-Linien zeigen sich als röntgendichte helle transversale Bänder im Metaphysenbereich von Langknochen auf. Sie spiegeln eine Stressperiode (z.B. Grippe, Masern, Hunger, Vitaminmangel, etc.) wieder, während der es zu einer Wachstumshemmung der Knochen kommt. Die Linien selbst entstehen eigentlich erst nach Überwindung der Stressphase.

¹² Transversale Schmelzhypoplasien stellen sich als transversale Rillenbildung im Zahnschmelz dar und entstehen in einer Stressphase (z.B. Mangelzuständen) während der Zahnentwicklung.

5.2 ISOTOPENERGEBNISSE DER VERGLEICHSBASIS

5.2.1 Vron und Neuville-sur-Escaut

Die Festlegung der lokalen Isotopensignaturen für Vron und Neuville-sur-Escaut kann lediglich über die geologischen und ökologischen Informationen geschehen. Die Archäologen gehen davon aus, dass so gut wie alle Individuen auf diesen Gräberfeldern nicht lokalen Ursprungs sind. Außerdem wurden nicht alle Individuen analysiert sondern nur ausgewählte Proben, die ausreichenden Verdacht auf einen Migrationshintergrund lieferten. Des weiteren standen nur sechs Proben aus Vron und vier Proben aus Neuville-sur-Escaut zur Verfügung, so dass jeweils nur ein kleiner nicht repräsentativer Ausschnitt der Bevölkerungsstruktur gegeben und eine Aussage über die Gesamtpopulation nicht zulässig ist. Als Ursprungsort wird von den Archäologen Nord- und Mitteldeutschland angegeben (s. Kapitel 2.2.1). In Vron sollen sich zu Zeiten der Völkerwanderungszeit germanische Söldner niedergelassen haben, die morphometrischen Analysen zufolge Parallelen zu einer norddeutschen Bevölkerung aufweisen. Im etwas später datierenden Neuville-sur-Escaut sollen es alamannische Gruppen gewesen sein, die zu Beginn des Frühmittelalters dorthin gewandert sind.

Lediglich eine Probe aus Vron (Vron 260) zeigt einen höheren Wert (0,71048), der aus dem erwarteten Wertebereich für die lokalen Strontiumsignaturen heraus fällt. Die restlichen neun Proben liegen in einem Bereich (0,70797 bis 0,70954) (s. Kapitel 4.2), der eine lokale Herkunft nicht ausschließen kann. Dieselben Werte könnten auch aus der Norddeutschen Tiefebene stammen, die durch junges Driftmaterial aus dem Quartär geprägt ist, das Werte zwischen 0,7075 bis 0,7095 erwarten lässt (s. Kapitel 1.6.3, Abbildung 8). In küstennahen Gebieten spielt auch verstärkt der Einfluss des sogenannten „sea spray“-Effektes eine Rolle. Modernes Meerwasser hat eine $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopie von etwa 0,7092 (Faure 1986).

Im Vergleich mit Wenigumstadt liegen die Mittelwerte der beiden Fundplätze (Neuville-sur-Escaut = 0,70907, Vron = 0,70882) außerhalb des Bereiches, der für das alamannische Gräberfeld bestimmt worden ist (0,71005 – 0,70923). Für eine Einengung der cut-off values mittels Isoplot ist die Datenmenge mit sechs Proben für Vron und vier Proben für Neuville-sur-Escaut zu gering. Eine Zusammenfassung der beiden

Fundplätze ist nicht sinnvoll, da sie zeitlich und räumlich zu weit auseinander liegen und zusätzlich die Zuwanderungsgebiete verschieden sein sollen.

Aus diesem Grund ist es hier sinnvoll die Isotopenanalysen der leichten Elemente Kohlenstoff und Sauerstoff mit einzubeziehen.

Bemerkenswerterweise zeigen die vier Individuen aus Neuville-sur-Escaut keinerlei Unterschiede zwischen den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten des Zahnschmelzes und des Knochens (s. Kapitel 4.2., Abbildung 34), ganz im Gegensatz zu Vron. Hier beträgt die Differenz im Mittel 1,48‰, die der Knochen gegenüber dem Zahnschmelz abgereichert ist, was durch einen Stilleffekt erklärt werden könnte (Abbildung 50). Allein aufgrund dieses Unterschiedes erwecken die Individuen aus Neuville-sur-Escaut den Eindruck, eine gänzlich andere Personengruppe als die aus Vron zu sein. Die Individuen aus Vron scheinen viel mobiler gewesen zu sein. Hier wirft sich nun wieder die Frage nach dem Stilleffekt auf. Wurden die Individuen aus Neuville-sur-Escaut schlicht zu kurz gestillt, als dass sich ein Stilleffekt bemerkbar machen konnte? Oder existiert kein Stilleffekt und die Differenz zwischen den Geweben der Personen aus Vron begründet sich zur Gänze in einem Ortswechsel?

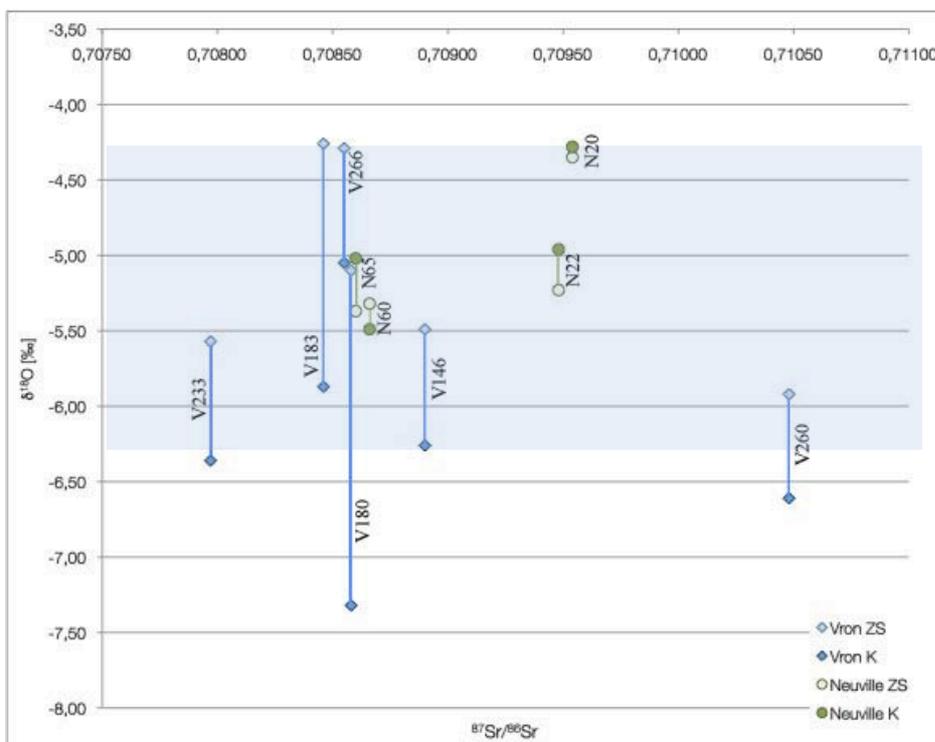


Abbildung 50 Darstellung der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte aus Vron und Neuville-sur-Escaut, sowie die zugehörigen $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aus Knochen und Zahnschmelz. Das blaue Rechteck markiert den möglichen lokalen $\delta^{18}\text{O}$ -Bereich. Die hellgrünen und hellblauen Markierungen stehen für Zahnschmelzdaten (ZS), die dunklen Punkte für Knochendaten (K).

Bei der Umrechnung der Sauerstoffisotopie aus Karbonat in V-SMOW-Werte, stellt sich eine gute Übereinstimmung mit dem vorhergesagten Wert des OIPC ein (-7,7‰ für Vron, -7,8‰ für Neuville-sur-Escaut) (s. Tabelle 46). Mit einer vermuteten Varianz von $\pm 1\%$ läge dann der lokale $\delta^{18}\text{O}$ -Bereich (V-SMOW) zwischen etwa -6,7‰ bis 8,8‰ für beide Ortschaften. In V-PDB-Werte entspräche das in etwa $-5,3\% \pm 1\%$ (-4,3‰ bis -6,3‰). Damit lägen die Individuen aus Neuville-sur-Escaut auch mit ihren Sauerstoffwerten im lokalen Bereich. Bezieht man nun auch die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte mit ein, so zeigt sich, dass die Individuen aus Neuville-sur-Escaut eine Wertespanne im Knochen von 0,57‰ und im Zahnschmelz von 0,93‰ zeigen. Dies ist keine sehr große Variabilität und spricht für eine homogene Bevölkerung. In Vron sind diese Spannen sehr viel weiter (für Knochen = 3,08‰, für Zahnschmelz = 1,70‰) (s. Kapitel 4.2).

Tabelle 46 $\delta^{18}\text{O}$ -Mittelwerte in V-PDB und V-SMOW zum Vergleich aus Vron und Neuville-sur-Escaut.

$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	SMOW	PDB	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	SMOW	PDB
Neuville			Vron		
Knochen	-7,24	-4,94	Knochen	-8,94	-6,25
Neuville			Vron		
Zahnschmelz	-7,41	-5,07	Zahnschmelz	-7,46	-5,10

In einer weiteren Studie wurden ca. 60 Karbonatdaten von Menschen aus Haithabu erhoben, eben jene Population die von Blondiaux (1993) als möglicher Ursprung für die germanischen Söldner angegeben worden ist. Deren $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ -Mittelwert aus Knochen (V-PDB) beträgt -6,53‰ (Doppler et al. in Bearbeitung). Der vom OIPC angegebene moderne $\delta^{18}\text{O}$ -Wert des Oberflächenwassers in Haithabu beträgt etwa -8,9‰ im Jahresmittel. Im Vergleich mit dem $\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$ -Wert aus Vron und Neuville-sur-Escaut ergibt sich so eine zu erwartende Differenz von 1,1 bis 1,2‰, um die die Werte der Individuen aus dem Norden negativer sein sollten. Das Problem ist hierbei, dass die Bevölkerung von Haithabu etwa 400 bis 500 Jahre später gelebt hat, als jene aus Vron. Das bedeutet, dass ein Unterschied von mindestens 0,5‰ allein durch klimatische Veränderungen möglich ist.

Bei zwei Individuen aus Neuville (60 und 65) spricht nichts gegen eine lokale Herkunft, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte passen ins Bild. Die Individuen aus Vron 180, 183 und 266 liegen nach den Strontiumwerten am nächsten. Aus Oudenburg, Belgien, stammen ganz ähnliche $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte (0,70895) (Gillmaier et al. 2009, s. Kapitel 1.6.3). Es liegt etwa 100km nördlich.

Allerdings zeigen 180 und 183 die positivsten $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Zahnschmelz, und 180 zusätzlich die größte Differenz zwischen Zahnschmelz und Knochen (2,22‰). Vron 183 hat die nächst größte Differenz von 1,61‰. Die zwei anderen Individuen aus Neuville-sur-Escout setzen sich in den $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werten etwas vom Rest ab.

Vron 260 weicht am deutlichsten von den anderen Daten ab. Nach den $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - (Hollauer 2010, s. Kapitel 1.6.2, Tabelle 2) und den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten (Doppler et al. in Bearbeitung) könnte der Mann tatsächlich aus Norddeutschland kommen.

Der $\delta^{18}\text{O}$ -Mittelwert aus Wenigumstadt mit liegt -7,2‰ um etwa 2‰ niedriger als diejenigen für Vron und Neuville-sur-Escout aus Zahnschmelz. Aus Mitteldeutschland sollten die Siedler von Neuville-sur-Escout stammen (Blondiaux 1993). Der einzige Wert, der in diesen Bereich fallen würde, stammt aus dem Knochen von Vron 180, während die Daten aus Neuville-sur-Escout alle zu positiv sind um aus dem zentralen Deutschland zu stammen. Sie weisen eher auf eine küstennahe Herkunft hin. Damit kann eine lokale Herkunft nicht ausgeschlossen werden.

5.2.2 Ergebnisse der böhmischen Proben

Die direkte Umgebung von Mlékojedy, von woher sämtliche Tierfunde stammen, liegt im Einzugsbereich der Elbe. Der Uferbereich ist von Überschwemmungen gekennzeichnet und teilweise liegen in der Nachbarschaft abgeschnittene Flussarme. Dadurch ist der Boden vor allem durch das Flusssediment geprägt, aber auch durch carbonathaltige, jüngere Böden aus dem Untergrund. Daraus ergibt sich eine Mischung, die durch die Tiere angezeigt wird. Dies deckt den Wertebereich zwischen 0,7090 und 0,7100 ab. In diesen Bereich fallen die meisten Proben der Menschen (Ao2296, Ao5641, H9, H10) (Abbildung 51), aber auch die meisten Tiere. Insbesondere die beiden Feldhamster, die wohl den geringsten Bewegungsradius haben dürften, liegen mitten im Bereich für das Bodengemisch.

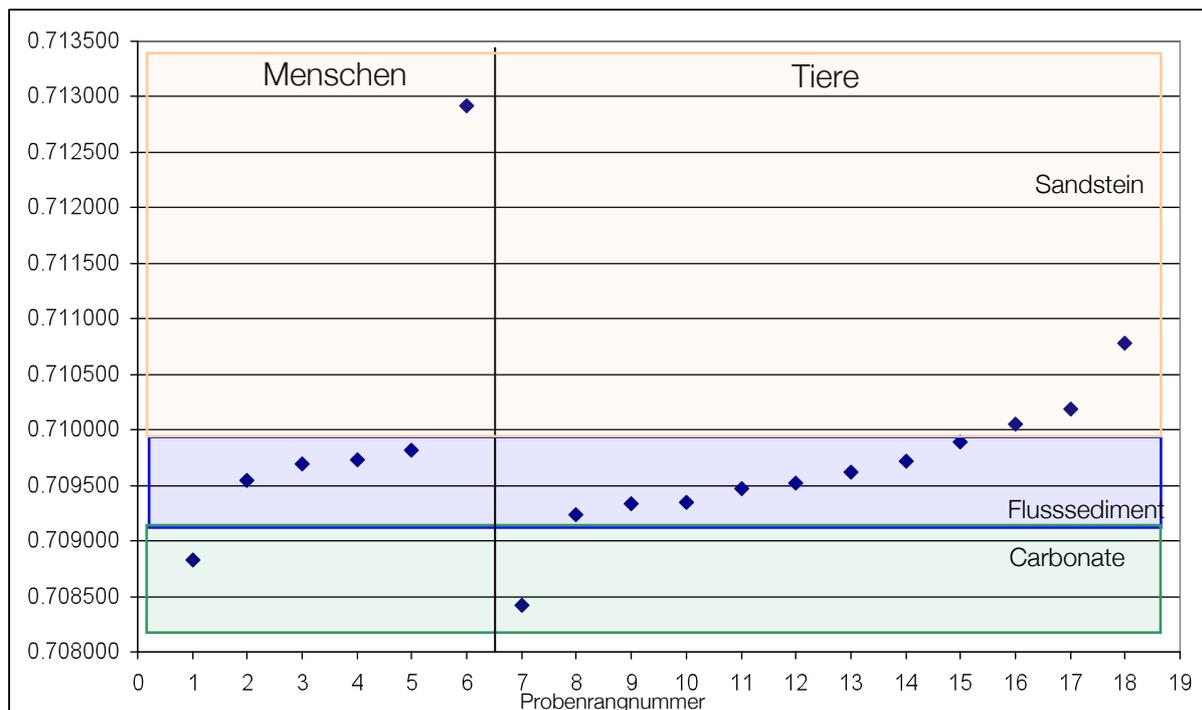


Abbildung 51 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Ergebnisse für Tier- und Menschenproben

Entfernt man sich von der Elbe Richtung Nordosten, nähert sich das Gelände den Mittelgebirgen und das Grundgestein ändert sich in (Bunt-) Sandstein, der wesentlich älter ist, und daher erfahrungsgemäß höhere $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte aufweisen sollte als carbonathaltige Böden. Lediglich zwei Schweine (Zoo6A, Zoo10A) und ein Pferd (Zoo12A, Dentin) (Abbildung 51) zeigen etwas höhere Werte als für carbonathaltige Böden üblich, was wohl auf eine Mischisotopie hindeutet, die dadurch zustande

kommt, dass die Tiere ihren Standort gewechselt haben. Leider fehlen die Daten für den Zahnschmelz beim Pferd, die Rückschlüsse auf den Geburtsort geben könnten. Das andere Pferd zeigt relativ einheitliche $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte in Dentin und Zahnschmelz; die Unterschiede lassen sich hier dadurch erklären, dass Pferde einen größeren Aktionsradius haben und so auf unterschiedlichen Böden grasen können.

Die Ortschaften Ml. Boleslav, Tišice, Mělník und Litoměřice befinden sich auf Quadersandstein bzw. Pläner, welcher aus der Kreide stammt. Eine Probe (H44) aus Mělník zeigt aber einen geringeren Wert (0,70882) als für diese Gegend zu erwarten wäre. Diese Person müsste sich ausschließlich in der Nähe des Flusses aufgehalten haben, um die Isotopie zu drücken. Die anderen Menschen (außer Ao7616) zeigen Werte, die auf eine Mischisotopie schließen lassen, was darauf zurückzuführen wäre, dass Menschen mobiler sind und somit Zugang zu Nahrung aus verschiedenen Gegenden haben. Aus diesem Grund scheint es unwahrscheinlich, dass H44 einen so begrenzten Bewegungsradius besaß. Wahrscheinlicher ist es, sie kam aus einer Gegend mit carbonathaltigem Grundgestein. Abschließend müsste das mit dem archäologischen Befund abgeklärt werden.

Schließlich setzt sich noch Ao7616 mit einem Wert von 0,712922 vom Rest ab. Dieser Befund stammt aus der Gegend von Beroun, südwestlich von Prag. Dort befindet sich eine Scholle mit altem Gestein, eine Mischung aus Gneiss und Sandstein, die hohe $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte erwarten lässt. Dies deckt sich mit dem gemessenen Wert der Probe.

Zusammenfassend lässt sich für nahezu alle gemessenen Proben ihre Herkunft bestätigen, da sie vermutlich aus genau der Gegend stammten, in der sie gefunden wurden. Lediglich H44 könnte aus einer geologisch jüngeren Region kommen.

Eine genauere Aussage lässt sich nur in Kombination mit der Archäologie treffen bzw. durch die Anwendung eines weiteren Isotopensystems, wie zum Beispiel der Sauerstoffisotope. Die lokale Isotopie sollte in Böhmen (im Mittel $\delta^{18}\text{O} = -8,95\text{‰}$, V-SMOW, aus OIPC) in etwa dieselbe sein, wie in Südbayern (im Mittel $\delta^{18}\text{O} = -8,79\text{‰}$, V-SMOW, aus OIPC), da das ökologische Habitat sehr ähnlich beschaffen ist (vgl. Vohberger 2005).

5.3 ZUORDNUNG DER NICHT-LOKALEN INDIVIDUEN

Von den insgesamt 137 gültigen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Signaturen, dürften 34 sehr wahrscheinlich als nicht-lokal eingestuft werden. Darunter sind 18 Frauen, zwölf Männer, zwei Kinder und zwei Jugendliche. Bezieht man die neun fraglichen Individuen hinzu, sind es 23 Frauen, 15 Männer und fünf Kinder bzw. Jugendliche (Tabelle 47). Das sind 54,5% Frauen gegen einen Prozentsatz von 34,9% Männern.

Tabelle 47 Anzahl der lokalen und nicht-lokalen Individuen verteilt in den Chronologie-Phasen nach Stauch (2004), sortiert nach Geschlecht.

Phase	Gesamt	Anteil % nicht-lokal	nicht-lokal			Lokal		
			Frauen	Männer	nd	Frauen	Männer	nd
nd	6	17	0	0	1	0	1	4
1	3	0	0	0	0	1	2	0
2	2	50	1	0	0	0	1	0
3	4	50	1	1	0	1	1	0
5	1	100	1	0	0	0	0	0
6	3	33	1	0	0	0	2	0
7	10	40	3	1	0	5	0	1
8	12	33	2	2	0	3	2	2
9	12	17	1	1	0	1	7	3
10	11	18	1	0	1	4	3	2
11	13	8	1	0	0	4	4	4
12	10	50	2	2	1	4	1	0
13	22	18	1	3	0	7	9	2
14	16	56	4	3	2	4	2	1
15	12	50	4	2	0	1	5	0
	137	31	23	15	5	35	40	19

Eine wichtige Frage bei Migration ist immer, in welcher Art diese verlaufen ist, welche Personengruppe tatsächlich gewandert ist. Sind nur Söldnergruppen von Ort zu Ort gezogen? Sind es Familienverbände, welche die Heimat verlassen haben oder einzelne Individuen, mehr Männer oder Frauen? Vermutlich ist es eher eine Mischung aus allem, da es zu allen Zeiten verschiedensten Gründe und Ursachen für Migration gibt. In derselben Ortschaft kann es zu verschiedenen Zeiten diverse Gründe der Einwanderung geben.

Da Kinder unter den nicht-lokalen Personen sind, deutet dies auf Familienverbände hin, da kaum drei- oder sechsjährige (z.B. WU 139 oder WU 147) allein gewandert sind. Dementsprechend sollten sich ihre Mütter bei den Bestatteten finden. Genauso können

Männer, die mit ihren Waffen bestattet wurden, Soldaten oder Kämpfer gewesen sein, die mit ihrem Heer in die Gegend kamen (z.B. WU 30).

Der höhere Frauenanteil ist aber bemerkenswert (s. Tabelle 47). Hier könnte eine Tradition zum Tragen kommen, die dafür sorgt, dass die Söhne den Hof erben. Um den Genpool aufzufrischen, gilt daher die exogame Heiratsordnung, sich eine Frau aus einem anderen Ort zu suchen. Natürlich kann diese dann auch aus dem Nachbarort stammen, der sich geologisch nicht unterscheidet, aber da die Geologie rings um Wenigumstadt variabel ist, könnten die Frauen auch aus der Nachbarschaft kommen. Dies muss als Möglichkeit für all jene Individuen in Betracht gezogen werden, die beigabenlos geblieben sind, oder deren Beigaben keinen Aufschluss auf die Herkunft geben können. Hier muss der nächst mögliche Ursprung als der wahrscheinlichste gelten.

Nachfolgend sollen nun interessante Einzelbefunde der als lokal und nicht-lokal eingestuften Individuen vorgestellt werden. Es soll auch versucht werden, den Individuen ein Herkunftsgebiet zuzuweisen. Dies kann aber in letzter Konsequenz nur eine Vermutung bleiben, die mit steigender Indizienlast entsprechend wahrscheinlicher wird. Aber keine Strontiumisotopie ist exklusiv auf ein geologisches Gebiet beschränkt. Durch die Miteinbeziehung der Sauerstoffisotopie kann diese Zuordnung weiter verfeinert werden, aber letztendlich kann auch eine Kombination aus verschiedenen Werten, genauso auch in anderen Gebieten gefunden werden. Das bedeutet für die Einzelfunde, dass bei einem fehlenden archäologischen Hinweis, eine Bestimmung des Heimatgebietes beliebig willkürlich wird.

Interessanterweise sind die drei Gräber (WU 141, 231, 232) aus der Startphase nach der Strontiumisotopenanalyse lokal. WU 141 war ein spätadulter Mann, um die 40 Jahre, dem ein reichhaltiges Grabinventar beigegeben wurde. Darunter befanden sich Klingengereste einer Spatha¹³ mit Schwertscheide und Ortband, das mit nach oben beißenden Tierköpfen verziert war. Eine Tierknopfschnalle und ein Kamm, scheinen das Grab mit einem Grabinventar in Vron (143A) in Verbindung zu bringen (Stauch 2004). Aus diesem Grab stand leider keine Probe zur Analyse zur Verfügung. Damit könnte der Mann im spätrömischen Heer gedient haben, da das Schwert der Machart nach im Maasgebiet hergestellt worden sein könnte, woher die Waffen für die Soldaten stammten (ungefähr heutige Champagne). Der Strontiumwert (0,70953) von WU 141

¹³ Eine Spatha (Plural Spathae) ist ein zweischneidiges, einhändig geführtes Langschwert mit gerader Klinge.

kann nicht als lokal ausgeschlossen werden und scheint auch nicht typisch für Vron zu sein. Lediglich in Neuville-sur-Escaut zeigten zwei Individuen ähnliche Werte. Der Sauerstoffwert (-7,78‰) ist negativer als alle Werte aus Vron (Minimum im Knochen -7,32‰, im Zahnschmelz -5,92‰). Dies schließt auf jeden Fall eine Zugehörigkeit von WU 141 und den Individuen aus Vron zur gleichen Population aus. Die Daten könnten allerdings auch für einen Ursprung aus dem Süden der Niederlande sprechen (s. Abbildung 8; Hoffs und Wedepohl 1968; Jansen et al. 2004). WU 141 wurde in einigen Metern Abstand von den übrigen Gräbern beigesetzt, die das Gräberfeld von Wenigumstadt begründeten. WU 231 und WU 232 liegen dichter beisammen. Dabei handelt es sich um eine junge Frau (etwa 18 Jahre) und um einen etwa siebenjährigen Jungen. Das Grab der jungen Frau war außergewöhnlich reich ausgestattet mit Silberschmuck, reichem Perlengehänge und einem goldenen Fingerring. Außerdem waren ihr zwei silbervergoldete Bügelfibeln beigegeben, die laut Stauch (2004) als elbgermanische bzw. böhmische Handwerkserzeugnisse gelten können. Ein dunkelblauer Glasbecher dagegen wurde bisher in dieser Art nur in Süddeutschland gefunden. Die Isotopendaten der leichten Elemente von WU 231 und WU 232 sind sehr ähnlich, und da sie nebeneinander wohl sehr zeitnah bestattet wurden, könnte hier auf verwandtschaftliche Beziehung der beiden spekuliert werden. Die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte (-6,22‰ und -6,13‰) liegen am positiveren Rand des Wertebereiches für Wenigumstadt. Möglicherweise deutet dies doch auf eine nicht-lokale Herkunft hin. Die etwas positiveren $\delta^{18}\text{O}$ -Werte, verglichen mit dem lokalen Mittelwert, können auf eine etwas westlichere Herkunft hindeuten (s. Abbildung 9). Die Strontiumwerte könnten auch in Nordböhmen zu finden sein (s. Kapitel 5.2.2), aber der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert müsste niedriger sein (s. Abbildung 8, Abbildung 9). Leider fehlt hier der direkte Vergleich von zeitgenössischen Proben.

In der zweiten SD-Phase wurde das Grab WU 33 angelegt. Dabei handelt es sich um ein juveniles, etwa 16jähriges Individuum, bei dessen Geschlecht sich eine Diskrepanz zwischen dem anthropologischen und dem archäologischen Befund auftut. Die Ausstattung mit drei Silberschnallen, zeigt nach Stauch (2004) Parallelen zu Grabausstattungen von vollbewaffneten, berittenen ostgermanischen Kriegerern der Childerichzeit. Außerdem deuten Beigaben wie ein Feuerstein und das Fehlen von Perlen auf ein eher männliches Geschlecht hin. Die wage anthropologische Bestimmung auf „eher weiblich“ (Dr. P. Schröter, in Stauch 2004) kann natürlich durch das jugendliche Alter bedingt sein, in dem geschlechtsspezifische Skelettmerkmale noch

nicht voll ausgereift sein müssen. Möglicherweise fiel die Einordnung auch deswegen schwerer, weil der Jugendliche aus einer anderen Populationsgruppe stammt, deren geschlechtsspezifische Merkmale anders ausgeprägt sind, als in der vorherrschenden, womit sie verglichen werden. Der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert liegt nämlich etwas außerhalb der lokalen Wertespanne. Allerdings, auch hier steht der Jugendliche an der Grenze zwischen lokal und nicht-lokal. Er liegt gerade außerhalb der Obergrenze von 0,71020 nach den Bodenproben (vgl. Kapitel 5.1.3, Tabelle 40) und könnte mit diesem Wert aus dem Osten stammen, wie zum Beispiel aus dem böhmischen Granitgebiet (s. Kapitel 5.2.2, und Kapitel 1.6.3, Abbildung 8). Der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert ist um etwa 0,6‰ positiver als der lokale Mittelwert, was durch den Stilleffekt verursacht werden könnte. Östlich von Wenigumstadt sollten die Sauerstoffwerte eher negativer werden. Die beigegebene Glasschale scheint in Wenigumstadt am östlichen Rand ihres Verbreitungsgebietes angekommen sein, weshalb der Jugendliche auch aus dem Westen stammen könnte.

In der SD-Phase 3 konnten zwei von vier Individuen als nicht-lokal bestimmt werden, WU 40, ein Mann und WU 106, eine Frau. WU 40 liegt in der Nähe von WU 33, während WU 106 wieder bei der nördlichen Gruppe bestattet wurde. Bei dem Mann wurde eine Spatha gefunden und weist dieses Grab, wie das von WU 33, als wohlhabend und zur Oberschicht gehörend aus. Der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert von 0,71088 ist ebenfalls ähnlich, im Gegensatz zum $\delta^{18}\text{O}$ -Wert (-8,60‰). Beide Werte können dahingehend gedeutet werden, dass der Ursprung des Mannes zum Beispiel im böhmischen Granitgebiet liegen könnte. Sollte WU 33 eine Verbindung zu dem Mann haben, könnte auch dessen Herkunft dahingehend interpretiert werden.

WU 106 ist eine frühmature Frau, die durch einen schwach künstlich deformierten Schädel auffällt (Dr. P. Schröter, in Stauch 2004). Diese schwache Ausprägung könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Verformung frühzeitig abgebrochen worden ist. Eine der markantesten Erscheinungen im hunnischen Kulturkreis ist die Sitte künstlicher Schädeldeformation. Mit dem hunnischen Vorstoß gelangte diese Sitte auch nach Mitteleuropa und kann selbst noch bei germanischen Stämmen angetroffen werden, die nicht zum unmittelbaren Hunnenreich gehörten (etwa bei Thüringern, Burgundern oder Franken) (Anke et al. 2008). Die Frage ist nun, ob die Frau zu einem der genannten germanischen Stämme gehört oder ob die Sitte als „Modeerscheinung“ übernommen bzw. ausprobiert wurde. Außer Frage steht, dass es sich um ein reiches Grab handelt, da die Frau wohl ursprünglich mit vergoldeten oder goldenen Bügelfibeln ausgestattet gewesen ist, von den nur noch ein goldener Knopf nach der Beraubung übrig geblieben

ist (Stauch 2004). Die Kämme mit profilierter Schmalseite stehen in spätrömischer Tradition. Der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert ist mit 0,71179 einer der höchsten und könnte ebenfalls aus dem böhmischen Raum stammen. Der Sauerstoffwert (-7,32‰) unterscheidet sich nicht von dem lokalen Mittelwert und passt perfekt zum $\delta^{18}\text{O}$ -Mittelwert der lokalen Individuen (s. Kapitel 5.1.4, Tabelle 65). Damit müsste die Frau aus einem klimatisch ähnlichen Raum stammen. Die Burgunder waren zu dieser Zeit im Mittelland der heutigen Schweiz angesiedelt (s. Kapitel 1.3.1), allerdings müssten die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte dort niedriger ausfallen. Daher scheint eine Herkunft aus dem Osten wahrscheinlicher. In diesem Fall scheint nicht nur der Brauch allein weitergegeben worden zu sein, sondern ist, gebunden an eine Person oder eine Gruppe, überliefert worden.

Nach dem chronologischen Bruch im Gräberfeld in SD-Phase 4 wurde in SD-Phase 5 lediglich eine Bestattung vorgenommen (WU 31), eine frühmature Frau, die allerdings ihren Isotopendaten zufolge lokaler Herkunft ist. Ihre Beigaben deuten etwas anderes an. Ein silbervergoldetes Fibelpaar und eine Almandinschnalle sind wertvolle Schmuckstücke, und letztere wurde vorwiegend von Gefolgsleuten des fränkischen Königs getragen (Stauch 2004), womit über eine Herkunft aus Nordfrankreich spekuliert werden kann. Die freihandgeformte Keramik aus dem Grab steht in angelsächsischer Tradition und Stauch (2004) vermutet eine Herkunft aus dem Nordseegebiet. Nach Schmoeckel (2003) kamen die Friesen aber nie über Utrecht im Südwesten und Soest im Südosten hinaus. Nach den Isotopendaten kann keines der beiden Gebiete zu 100% ausgeschlossen werden.

Das chronologisch nächste Grab ist WU 44 (SD-Phase 6), ebenfalls eine Frau, der freihandgeformte Keramik in angelsächsischer Tradition beigegeben wurde. Diese Frau hat einen höheren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert als der lokale Bereich, aber einen um ca. 0,8‰ niedrigeren $\delta^{18}\text{O}$ -Wert. Letzterer dürfte eine Herkunft aus dem Nordseegebiet ausschließen. Da das Grab in nahe dem von WU 31 liegt, könnte daher vermutet werden, dass diese Frau vielleicht ebenfalls aus dem Gebiet des heutigen Frankreichs kommt, aber eher aus den Vogesen oder einem ähnlichen, geologisch älteren Gebiet.

Dagegen könnte der Mann aus Grab WU 41, der den Isotopendaten nach eher als lokal eingestuft wurde und dessen Grab ebenfalls freihandgeformte Keramik der angelsächsischen Tradition enthielt, auch durchaus aus einem solchen Gebiet stammen. Seine Isotopendaten lassen sich gut mit denen aus Vron oder Neuville-sur-Escout in Einklang bringen, da der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert mit -5,73‰ weit positiver ist, als der

lokale Sauerstoffbereich. Hier könnte tatsächlich eine gemeinsame Herkunft vermutet postuliert werden.

In der SD-Phase 7 hat sich nun wohl die erste größere „Einwanderungswelle“ ereignet, mit mindestens vier nicht-lokalen Individuen (WU 37, WU 48, WU 78, WU 242), was einer Einwanderungsquote von 40% entspricht. Dabei zeigen die Inventare von WU 37 (m), WU 78 (w) und WU 242 (w) Beigaben, die in fränkischer Tradition stehen (Stauch 2004). Bei den Frauen sind dies zum Beispiel Spinnwirtel aus Bein, die sie als „Hofherrin“ kennzeichnen, also als Frauen, die einer Familie vorstehen. Im Grab des Mannes fanden sich Bolzenspitzen, eine Lanzenspitze und ein Niet, die Stauch (2004) zu der Annahme veranlassten, der Mann stamme aus dem Westen und gehörte zur fränkischen Oberschicht. Die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte (außer für WU 242) liegen zwischen -6,13‰ und -6,50‰ und könnten damit durchaus aus dem Gebiet der heutigen Champagne und dem Reichssitz der fränkischen Könige stammen. Allerdings gibt es dort keine Belege für solch hohe $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte (Abbildung 8). Möglicherweise stammen sie eher aus dem linksrheinischen Gebiet. WU 242 zeigt einen $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von -8,51‰, was deutlich zu niedrig ist für eine Herkunft aus dem nordfranzösischen Gebiet. Für diese Frau könnte eher eine Herkunft aus dem Gebiet des heutigen Schwarzwaldes in Frage kommen, das ebenfalls zum fränkischen Reich gehört. Dort sind hohe $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte zu erwarten (Tabelle 2).

WU 118 ist ein Mann, der in SD-Phase 8 bestattet wurde und dessen Beigaben ausgesprochen reichhaltig ausfielen (Stauch 2004). Er wurde mit Sattel und Zaumzeug beerdigt, sowie mit einer vollständigen Waffenausstattung. Vermutlich gehörte die Pferdebestattung 128 zu ihm. Im Grab befanden sich auch Niete, die Ähnlichkeiten zu dem Niet aus Grab WU 37. Auch hier scheint eine Herkunft aus dem fränkischen Reichsgebiet links des Rheines möglich.

Für die Gräber 111 (m) und WU 63 (w) können aufgrund mangelnder Beigaben keine weiteren Aussagen getroffen werden. Ihre $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte liegen aber außerhalb des unteren lokalen Wertebereiches. Ihre $\delta^{18}\text{O}$ -Werte sind positiver als der gesamte lokale Bereich (-5,31‰ und -6,34‰). Diese Werte könnten zum Beispiel für eine Herkunft aus einem küstennahen Gebiet, wie bei Vron, hindeuten.

WU 121/2 (m) liegt direkt angrenzend an Grab WU 106, der Frau mit der schwachen künstlichen Schädeldeformation. Der junge Mann zeigt ebenfalls einen höheren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert als der lokale Bereich, allerdings im Gegensatz zu der Frau einen positiveren $\delta^{18}\text{O}$ -Wert (-5,33‰). Das Grab 121 enthielt zwei Individuen, wobei allerdings

das andere (WU 121/1), ebenfalls ein Mann (spät matur-senil), lokale Isotopensignaturen zeigt. Dieser Mann scheint die Hauptbestattung zu sein, dem auch die Beigaben zuzuordnen sind. Diese geben auch keinen besonderen Hinweis auf eine mögliche Herkunft. Deswegen kann hier auch nur aufgrund der hohen $\delta^{18}\text{O}$ -Signatur auf eine küstennahe Herkunft spekuliert werden.

In Grab WU 30 wurde ein junger Mann mit einer wohl ehemals reichen Beigabenausstattung und einer vollständigen Waffenausrüstung bestattet. Sein $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert wurde gerade noch als lokal eingestuft, liegt aber am oberen Rand (0,71011). Dagegen weicht der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert mit -1,5‰ extrem von allen anderen ab. Es kann nicht ganz ausgeschlossen werden, dass es sich dabei nicht um eine diagenetisch bedingte Veränderung handelt, da dementsprechende Qualitätskontrollen nicht bestehen. Dieser extreme Wert aber, in Verbindung mit einem erhöhten $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert und einem ebenfalls leicht erhöhten $\delta^{13}\text{C}$ -Wert (-12,26‰), deutet wohl auf eine nicht-lokale Herkunft hin. Aufgrund des $\delta^{18}\text{O}$ -Wertes, der auf ein wärmeres und gemäßigtes Klima hindeutet, könnte der Mittelmeerraum in Frage kommen.

Die Frau in Grab WU 104 wird durch einen Wirtel als Hofherrin gekennzeichnet (Stauch 2004), ihr $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert liegt über dem lokalen Bereich, aber nicht die Sauerstoffisotopie. Wie bereits die anderen Frauen mit Bein-Wirteln (WU 78 und WU 242) könnte sie aus dem fränkischen Reichsgebiet stammen. Das etwa zehnjährige Mädchen in WU 228 zeichnet sich durch einen versilberten Fingerring und bronzene Ohringe aus, die scheinbar vor allem in Norddeutschland verbreitet waren (Stauch 2004) und kaum südlich der Mittelgebirgsschwelle zu finden sind. Ihr $\delta^{18}\text{O}$ -Wert, der etwa 1,4‰ höher liegt als der lokale Mittelwert und der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert können für eine Herkunft aus Norddeutschland sprechen (Abbildung 8).

Mit der fortschreitenden Christianisierung wird es nun immer schwieriger, da die Beigabensitte nachlässt und immer weniger Grabfunde auftreten, die Hinweise auf eine Herkunft geben könnten.

So konnte in WU 11-Phase eine mature Frau als nicht-lokal identifiziert werden, allerdings ohne aussagekräftige Beigaben. Ihr $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert liegt unter dem des lokalen Bereiches, während ihre Sauerstoffisotopie aber dem entspricht. Möglicherweise stammt die Frau aus der näheren Umgebung von Wenigumstadt, zum Beispiel aus der Gegend von Goddelau, oder noch weiter westlich, wo vor allem quartäre Sedimente vorliegen (Abbildung 37). In den gestörten Gräbern WU 22 und 23 fand sich bei dem mit 23 bezeichneten Schädel eine Münze, die als Sceatta des porcupine-Typs

bezeichnet wird (Stauch 2004). Dabei handelt es sich um eine friesische Münze. Der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert ist leicht erhöht und könnte aus Norddeutschland stammen (Hollauer 2010, Abbildung 8). Allerdings ist der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert eher lokal anzusiedeln und eine Herkunft aus der näheren Umgebung wäre ebenso gut möglich. Eine solche Münze kann auch ganz einfach durch den Handel in die Gegend gekommen sein und ist nicht an Tracht oder Traditionselemente und damit an Personen gebunden.

Die Beigabensituation in WU-Phase 12 ist nicht wesentlich besser. WU 166 (m) zeigt einen sehr niedrigen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert (0,70799) in Kombination mit einem leicht erhöhten $\delta^{18}\text{O}$ -Wert in Zahnschmelz (-6,58‰) und Knochen (-6,75‰). WU 256 (m) hat ebenfalls einen niedrigeren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert, aber einen eher lokalen $\delta^{18}\text{O}$ -Wert. Für beide Individuen gilt, dass sie möglicherweise aus der näheren Umgebung von Wenigumstadt stammen könnten, aus dem Westen zum Beispiel, ähnlich wie WU 11. Parallel dazu können auch die Ergebnisse von WU 197 (w) und WU 259 (nd) betrachtet werden allerdings sind deren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte höher ausgefallen. Daher könnten sie womöglich aus dem südlich liegenden kristallinen Odenwald stammen.

Bei den Individuen der WU-Phase 13 geben keinerlei Beigaben einen Anhaltspunkt zur Herkunft, die Strontiumwerte liegen zumeist leicht erhöht (außer bei WU 250), während die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte nicht vom lokalen Bereich abweichen. Diese Personen könnten wieder gänzlich aus der Nachbarschaft von Wenigumstadt herkommen.

Unter den neun nicht-lokalen Individuen aus WU-Phase 14, bietet lediglich ein Erwachsener (WU 84) einen Anhaltspunkt zur Herkunft. Nach der anthropologischen Geschlechtsbestimmung handelt es sich dabei um eine Frau, allerdings fanden sich im Grabinventar Bolzen- bzw. Pfeilspitzen, die die Archäologen eher Männern zuordnen. Vom Typ her erinnern sie an Stücke aus dem Mittelmeerraum. Woher genau, lässt sich nicht eingrenzen, aber der leicht erhöhte Sauerstoffwert (-6,55‰) könnte dies bestätigen.

In WU-Phase 15 stammen fünf Individuen wohl aus der unmittelbaren Nachbarschaft von Wenigumstadt, zum Beispiel aus dem kristallinen Odenwald. Lediglich WU 60B zeigt einen vergleichsweise hohen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert (0,71213), während der Sauerstoffwert sehr niedrig ist (-8,46‰). Diese Ergebnisse würden eher aus einem Bereich weiter südlich hindeuten, zum Beispiel aus dem Schwarzwald.

5.4 EMPFEHLUNGEN ZUR BESTIMMUNG DER LOKALEN ISOTOPENSIGNATUREN

Bei modernen Grabungen, oder Grabungen, die sich noch in der Planungsphase befinden, können folgende Proben für Strontiumisotopenanalysen ohne Probleme gesammelt werden:

1. bodengelagerte Knochen von Kleinsäugetern (z.B. Nagetiere), die aus dem Grabkontext stammen. Dabei sollten möglichst moderne Knochen vermieden werden.
2. Schneckenschalen aus dem Fundkontext.
3. Sedimentproben aus dem Grabkontext, möglichst aus der untersten Schicht, um moderne Kontamination durch Düngung etc. zu umgehen. Hierbei sollte auf eine repräsentative Anzahl und Verteilung über das ganze Gräberfeld geachtet werden.
4. Bodengelagerte, organische Reste, wie z.B. Holz, Geweih- oder Gehörnreste.
5. Sedimentproben aus Bohrkernen aus der Umgebung; falls die Siedlung bekannt ist aus deren Umkreis, um die historische Nutzfläche abzudecken.
6. Verzichtet werden sollte auf moderne Proben wie Säugetierknochen, Schnecken-schalen oder Oberflächenbodenproben, da hier eine Kontamination und Veränderung durch moderne, anthropogene Eingriffe nicht ausgeschlossen werden können.

Soll eine Altgrabung bearbeitet werden, gibt es verschiedene Möglichkeiten, die beachtet werden können, um eine akzeptable, lokale Signatur feststellen zu können:

1. den Knochen anhaftende Sedimentreste, die zur Analyse verwendet werden können.
2. Fundspektrum der tierischen Beigaben, wobei Rinder, Schweine und Pferde und ähnliche große Haustiere potentiell als Handelsware einzuschätzen sind.
3. Holz- und Geweihproben von Beigaben.
4. Überprüfung der möglichen Nutzfläche einer zugehörigen Siedlung.

Bei einer bereits bearbeiteten Altgrabung, deren Daten vorliegen und eine Neubearbeitung von Proben nicht möglich ist, sollte die statistische Auswertung sehr sorgfältig erfolgen.

1. Mittels Isoplot können die internen cut-off values bestimmt werden und die homogene Verteilung der verbleibenden, als lokale angesehenen Daten überprüft werden.
2. Überprüfung der geologischen Umgebung des Fundplatzes, ob verschiedene geologische Einheiten unter der historischen Nutzfläche zu finden sind.

Für die Bestimmung der lokalen Sauerstoffisotopie bestehen folgende Möglichkeiten:

1. Vergleich der Absolutdaten gleichzeitiger, historischer Populationen ohne Umrechnungen.
2. Untersuchung von Skelettresten gleichzeitig lebender Säugetiere. Dabei sollte aber darauf geachtet werden, dass die Tiere aus dem gleichen Zeithorizont stammen und die Physiologie nicht zu völlig anderen $\delta^{18}\text{O}$ -Werten führt (z.B. in ariden Gebieten).
3. Berechnung der internen cut-off values.
4. Verzicht auf Vergleichsdaten von modernem Oberflächenwasser.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Alle bisherigen Arbeiten zusammen, zeichnen mittlerweile ein sehr detailliertes Bild der Wenigumstädter Bevölkerung. Abgesehen von ihrer Herkunft, scheinen sie eine gut funktionierende Gemeinschaft gebildet zu haben, die sich um ihre Alten wie um ihre Kinder gleichermaßen gut gekümmert hat und sie als volle Mitglieder der Gesellschaft integriert hat.

Stauch (2004) räumte dem Bevölkerungswachstum durch Immigranten nur eine geringe Bedeutung ein, sondern vermutete eine eher homogene Bevölkerung, die durch natürlichen Zuwachs anstieg. Wäre dem so, könnte mit einer ungefähren Migrationsrate von etwa 10% gerechnet werden (vgl. Kapitel 5.1.3). Sie postulierte ein paar Zuwanderer, die nötig waren, um eine Besiedlung des Ortes überhaupt in Gang zu bringen. Nun hat sich aber durch die Anwendung der naturwissenschaftlichen Methode der Isotopenanalyse eine enorme Zuwanderung von ca. 28% bis 32% feststellen lassen. Die Benutzung von Sedimentproben in Kombination mit einem Siedlungsmodell und der Berechnung von internen cut-off values zur Bestimmung der lokalen Strontiumisotopensignatur hat sich als sehr praktikabel herausgestellt. Es muss hier aber betont werden, dass auch dies nur Näherungswerte sein können, da mit einer Kombination von Strontium- und Sauerstoffisotopen immer noch Migranten unentdeckt bleiben können. Somit kann mit einer noch höheren, realen Migrationsrate gerechnet werden.

Die Sauerstoffisotopie bietet eine gute Ergänzung zur Strontiumisotopie, hat aber noch immer noch einige Unwägbarkeiten, die nicht abschließend geklärt werden konnten. So ist der Stilleffekt scheinbar eine Größe, mit der man rechnen sollte, die aber nicht immer zwangsläufig auftreten muss. Die Lösung kann nicht darin bestehen, dass immer Knochen und Zahnschmelz gleichzeitig gemessen und verglichen werden muss. Hier gibt es definitiv noch Bedarf an Grundlagenforschung, insbesondere da sich dieser Effekt unter Umständen teilweise für die Varianz von 1‰ innerhalb einer Population verantwortlich zeichnen kann.

Wie deutlich wurde, ist nicht jede Beigabenform geeignet, einen Hinweis auf individuelle Herkunft zu liefern. Am ehesten werden zum Beispiel durch Keramikfunde wahrscheinlich Handelsbeziehungen nachgewiesen. Denkbar wäre hierbei allerdings auch eine Migration des Wissens um die Herstellung und Methodik, bzw. die Weitergabe eines Stils oder einer Modeerscheinung. Ähnlich verhält es sich bei Münzen,

die zwangsläufig den Besitzer wechseln und damit nur schwer als personenbezogene Tracht gelten können.

Alles in allem machen die Bestatteten eher den Eindruck einer bäuerlichen Siedlungsgemeinschaft, die mit den großen Heeren eher weniger zu tun gehabt hat. Lediglich bei zwei bis drei Männern könnte aufgrund ihrer Waffenausstattung vermutet werden, dass sie in einem Heer gedient haben und sich möglicherweise bei der Durchreise in Wenigumstadt niedergelassen haben, oder schlicht hier verstarben. Bei anderen Personen lässt sich eine absichtliche Migration vermuten, das bedeutet, sie reisten gezielt an diesen Ort, möglicherweise als Gesandte des fränkischen Königs, um die Gegend im Grenzgebiet dauerhaft durch Besiedelung dem Reich zu verbinden.

Gerade in späteren Phasen scheint es sich eher um kleinräumige Exogamie zu handeln, also um die Einheiratung von Personen aus Nachbarorten, um eine Mischung des Genpools zu fördern. Da mehr Frauen als Männer gewandert sind, scheint sich jene Sitte dahinter zu verbergen, dass Männer die Hofstatt übernehmen und die Frauen den Ort verlassen, um in einen anderen einzuheiraten.

Die Erkenntnisse fallen vielleicht nicht so eindeutig aus, wie in der theoretischen Betrachtung, da kaum ein Individuum einem tatsächlichen Ursprungsgebiet zugeordnet werden konnte. Aber immerhin konnten die von Stauch (2004) postulierten Einwanderungsregionen zum Teil bestätigt oder auch in Zweifel gezogen werden. So konnte definitiv eine Verbindung zum fränkischen Reichsgebiet hergestellt werden, genau wie eine Zuwanderung aus dem ostgermanischen Kulturraum. Sogar eine engere Verknüpfung zwischen den Gräberfeldern Vron und Neuville-sur-Escaut in Nordfrankreich und Wenigumstadt konnte rekonstruiert werden. Eine weiterführende Untersuchung in dieser Richtung wäre natürlich erfreulich und wünschenswert. Dieses Beispiel zeigt gut, dass Migration selten nur in eine Richtung geschieht, sondern dass eine Abwanderungsregion auch immer wieder neuen Platz schafft für Einwanderer.

Zuzug aus dem Nordseegebiet und aus dem Mittelmeerraum konnte nur unter Vorbehalt bestätigt werden, da hier zu viele Unsicherheitsfaktoren mit eine Rolle spielen. Wenigumstadt scheint sich von einem kleinen völkerwanderungszeitlichen Ort, der in einem Grenzgebiet lag und gelegentlich von Fremden besucht wurde, zu einer bäuerlichen Siedlung zu wandeln, die eher mit den Nachbarn in Verbindung steht, als mit den großen Verkehrswegen dieser Zeit. Die großen Veränderungen, die die Machtergreifung der Karolinger und die Thronbesteigung Karls des Großen mit sich brachte, scheinen an Wenigumstadt nur in weiter Ferne vorübergezogen zu sein.

7 LITERATUR

- Åberg G. 1995. The use of natural strontium isotopes as tracers in environmental studies. *Water, Air, & Soil Pollution* 79(1):309-322.
- Åberg G, Fosse G, und Stray H. 1998. Man, nutrition and mobility: A comparison of teeth and bone from the Medieval era and the present from Pb and Sr isotopes. *The Science of The Total Environment* 224(1-3):10.
- Åberg G, Jacks G, und Joseph Hamilton P. 1989. Weathering rates and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios: An isotopic approach. *Journal of Hydrology* 109(1-2):65-78.
- Åberg G, Jacks G, Wickman T, und Hamilton PJ. 1990. Strontium isotopes in trees as an indicator for calcium availability. *Catena* 17(1):1-11.
- Acsádi G, und Nemeskéri J. 1970. History of human life span and mortality. Budapest: Akadémiai Kiado.
- Adler C-P. 1967. Die Chronologie der Gebissentwicklung. In: Harndt E, und Weyers H (Hrsg.). Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde im Kindesalter. Berlin: Die Quintessenz. S. 38-74.
- Aggarwal PK, Araguás-Araguás LJ, Groening M, Kulkarni KM, Kurttas T, Newman BD, und Vitvar T. 2010. Global Hydrological Isotope Data and Data Networks. In: West JB, Bowen GJ, Dawson TE, und Tu KP (Hrsg.). Isoscapes: Understanding movement, pattern, and process on Earth through isotope mapping. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer-Verlag. S. 33-50.
- Ambrose SH. 1990. Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis. *Journal of Archaeological Science* 17(4):431-451.
- Ambrose SH. 1991. Effects of diet, climate and physiology on nitrogen isotope abundances in terrestrial foodwebs. *Journal of Archaeological Science* 18(3):24.
- Ambrose SH. 1993. Isotopic Analysis of Palaeodiets: Methodical and Interpretive Considerations. In: M.K. S (Hrsg.). Investigations of Ancient Human Tissue: Chemical Analyses in Anthropology. New York: Gordon and Breach. S. 59-130.
- Ambrose SH. 2000. Controlled Diet and Climate Experiments on Nitrogen Isotope Ratios of Rats. In: Ambrose SH, und Katzenberg MA (Hrsg.). Biogeochemical Approaches to Paleodietary Analysis. New York: Kluwer Academic Plenum Publishers. S. 243-259.
- Ambrose SH, und 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: Lambert JB, und Grupe G (Hrsg.). Prehistoric human bone-Archaeology at the Molecular Level. Berlin: Springer Verlag. S. 1-37.
- Anke B, Révész L, und Vida T. 2008. Die Hunnen. Reitervölker im Frühmittelalter: Hunnen-Awaren-Ungarn. S. 13-46.
- Asch K. 2005. The 1:5 Million International Geological Map of Europe and Adjacent Areas. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover.
- Aubert D, Probst A, Stille P, und Viville D. 2002. Evidence of hydrological control of Sr behavior in stream water (Strengbach catchment, Vosges mountains, France). *Applied Geochemistry* 17(3):285-300.
- Ayliffe LK, und Chivas AR. 1990. Oxygen isotope composition of the bone phosphate of Australian kangaroos: Potential as a palaeoenvironmental recorder. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 54(9):2603-2609.
- Ayliffe LK, Chivas AR, und Leakey MG. 1994. The retention of primary oxygen isotope compositions of fossil elephant skeletal phosphate. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 58(23):5291-5298.
- Ayliffe LK, Lister AM, und Chivas AR. 1992. The preservation of glacial-interglacial climatic signatures in the oxygen isotopes of elephant skeletal phosphate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 99(3-4):179-191.
- Babraj JA, Smith K, Cuthbertson DJR, Rickhuss P, Dorling JS, und Rennie MJ. 2005. Human Bone Collagen Synthesis Is a Rapid, Nutritionally Modulated Process. *Journal of Bone and Mineral Research* 20(6):930-937.
- Bachman CH, und Ellis EH. 1965. Fluorescence of Bone. *Nature* 206(4991):1328-1331.
- Bakels CC. 1982. Zum wirtschaftlichen Nutzungsraum einer bandkeramischen Siedlung in Siedlungen der Kultur mit Linearkeramik in Europa. Kolloquium Nové Vozokany 1981 Siedlungen der Kultur mit Linearbandkeramik in Europa. S. 9-12.
- Balasse M. 2002. Reconstructing dietary and environmental history from enamel isotopic analysis: time resolution of intra-tooth sequential sampling. *International Journal of Osteoarchaeology* 12(3):155-165.

- Balasse M, Ambrose SH, Smith AB, und Price TD. 2002. The Seasonal Mobility Model for Prehistoric Herders in the South-western Cape of South Africa Assessed by Isotopic Analysis of Sheep Tooth Enamel. *Journal of Archaeological Science* 29(9):917-932.
- Balter V, Telouk P, Reynard B, Braga J, Thackeray F, und Albarède F. 2008. Analysis of coupled Sr/Ca and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ variations in enamel using laser-ablation tandem quadrupole-multicollector ICPMS. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72(16):3980-3990.
- Baltes W. 2007. *Lebensmittelchemie*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Bashkin VN. 2002. *Modern Biogeochemistry*. Dordrecht: Kluwer Academic.
- Bayerisches Landesamt für Steuern 2009. Merkblatt über den Aufbau der Bodenschätzung 02/2009. München.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt. 2010. GeoFachdatenAtlas des Bodeninformationssystems Bayern: www.bis.bayern.de. München.
- Behringer W. 2008. *Kulturgeschichte des Klimas. Von der Eiszeit bis zur globalen Erwärmung*. München: C.H. Beck.
- Bentley RA. 2006. Strontium Isotopes from the Earth to the Archaeological Skeleton: A Review. *Journal of Archaeological Method & Theory* 13:135-187.
- Bentley RA, und Knipper C. 2005. Geographical patterns in biologically available strontium, carbon and oxygen isotope signatures in prehistoric SW Germany. *Archaeometry* 47(3):629-644.
- Bentley RA, Krause R, Price TD, und Kaufmann B. 2003. Human mobility at the early neolithic settlement of Vaihingen, Germany: Evidence from strontium isotope analysis. *Archaeometry* 45(3):471-486.
- Bentley RA, Price TD, Lüning J, Gronenborn D, Wahl J, und Fullagar PD. 2002. Prehistoric Migration in Europe: Strontium Isotope Analysis of Early Neolithic Skeletons. *Current Anthropology* 43(5):799-804.
- Bentley RA, Price TD, und Stephan E. 2004. Determining the 'local' $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ range for archaeological skeletons: a case study from Neolithic Europe. *Journal of Archaeological Science* 31(4):365-375.
- Berendonk C, und Verhoeven A. 2010. Weidemanagement im Fokus. Weideführung 2010 frühzeitig planen. Kleve: Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. S. 1-5.
- Berg S, und Specht W. 1958. Untersuchungen zur Bestimmung der Liegezeit von Skeletteilen. *International Journal of Legal Medicine* 47(2):209-241.
- Berger TE, Peters J, und Grupe G. 2008. Life history of a mule (c. 160 AD) from the Roman fort Biriciana/ Weißenburg (Upper Bavaria) as revealed by serial stable isotope analysis of dental tissues. *International Journal of Osteoarchaeology* 20(2):158-171.
- Bergner C. 1994. *Aktivitätsmuster im frühen Mittelalter*. Diplomarbeit an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Institut für Anthropologie und Humangenetik.
- Betz E, Reutter K, Mecke D, und Ritter H. 2001. *Biologie des Menschen*. Wiebelsheim: Quelle & Meyer Verlag. 898 S.
- Bickle MJ, Wickham SM, Chapman HJ, und Taylor HP. 1988. A strontium, neodymium and oxygen isotope study of hydrothermal metamorphism and crustal anatexis in the Trois Seigneurs Massif, Pyrenees, France. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 100(4):399-417.
- Blondiaux J. 1993. La présence germanique en Gaule du nord: La preuve anthropologique? - A propos des nécropoles de Vron (Somme) et de Neuville-sur-Escaut (Nord). In: Häbler H-J, und Lorren C (Hrsg.). *Studien zur Sachsenforschung*. Hildesheim: Verlag August Lax. S. 13-20.
- Blum JD, Holmes RT, Taliaferro EH, und Weisse MT. 2000. Changes in Sr/Ca, Ba/Ca and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios between trophic levels in two forest ecosystems in the northeastern USA. *Biogeochemistry* 49:87.
- Bocherens H, Koch PL, Mariotti A, Geraads D, und Jaeger J-J. 1996. Isotopic Biogeochemistry ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) of Mammalian Enamel from African Pleistocene Hominid Sites. *Palaios* 11(4):306-318.
- Boskey AL. 1999. Mineralization, Structure, and Function of Bone. In: Seibel MJ, Robins SP, und Bilezikian JP (Hrsg.). *Dynamics of Bone and Cartilage Metabolism*. San Diego, New York, Boston, London, Sydney, Tokyo, Toronto: Academic Press. S. 153-162.
- Bowen GJ. 2010. The Online Isotopes in Precipitation Calculator, Version 2.2, <http://www.waterisotopes.org>.
- Bowen GJ, und Revenaugh J. 2003. Interpolating the isotopic composition of modern meteoric precipitation. *Water Resource Research* 39(10):1299.
- Bowen GJ, Wassenaar LI, und Hobson KA. 2005. Global application of stable hydrogen and oxygen isotopes to wildlife forensics. *Oecologia* 143(3):337-348.
- Bouysse P. 2009. *Geological Map of the World at 1:50000000*. Explanatory Notes. 3. Auflage. Paris: Commission for the Geological Map of the World.

- Bryant DJ, und Froelich PN. 1995. A model of oxygen isotope fractionation in body water of large mammals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59(21):4523-4537.
- Bryant DJ, Koch PL, Froelich PN, Showers WJ, und Genna BJ. 1996. Oxygen isotope partitioning between phosphate and carbonate in mammalian apatite. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60(24):5145-5148.
- Budd P, Montgomery J, Barreiro B, und Thomas RG. 2000. Differential diagenesis of strontium in archaeological human dental tissues. *Applied Geochemistry* 15(5):687-694.
- Budd P, Montgomery J, Cox A, Krause P, Barreiro B, und Thomas RG. 1998. The distribution of lead within ancient and modern human teeth: Implications for long-term and historical exposure monitoring. *Science of The Total Environment* 220(2-3):121-136.
- Buhl D, Neuser RD, Richter DK, Riedel D, Roberts B, Strauss H, und Veizer J. 1991. Nature and nurture: Environmental isotope story of the River Rhine. *Naturwissenschaften* 78(8):337-346.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. 2010. GeoViewer: www.geoviewer.bgr.de. Hannover.
- Burton JH, Price TD, und Middleton WD. 1999. Correlation of Bone Ba/Ca and Sr/Ca due to Biological Purification of Calcium. *Journal of Archaeological Science* 26(6):609-616.
- Campbell NA. 1997. *Biologie*. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag GmbH. 1440 S.
- Capo RC, Stewart BW, und Chadwick OA. 1998. Strontium isotopes as tracers of ecosystem processes: theory and methods. *Geoderma* 82(1-3):197-225.
- Carlson AK. 1996. Lead Isotope Analysis of Human Bone for Addressing Cultural Affinity: a Case Study from Rocky Mountain House, Alberta. *Journal of Archaeological Science* 23(4):557-567.
- Cerling TE, und Harris JM. 1999. Carbon Isotope Fractionation between Diet and Bioapatite in Ungulate Mammals and Implications for Ecological and Paleoecological Studies. *Oecologia* 120(3):347-363.
- Cerling TE, Wittemyer G, Rasmussen HB, Vollrath F, Cerling CE, Robinson TJ, und Douglas-Hamilton I. 2006. Stable isotopes in elephant hair document migration patterns and diet changes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103(2):371-373.
- Chamberlain CP, Blum JD, Holmes RT, Feng X, Sherry TW, und Graves GR. 1997. The Use of Isotope Tracers for Identifying Populations of Migratory Birds. *Oecologia* 109(1):132-141.
- Chenery C, Müldner G, Evans J, Eckardt H, und Lewis M. 2010. Strontium and stable isotope evidence for diet and mobility in Roman Gloucester, UK. *Journal of Archaeological Science* 37(1):150-163.
- Cipriano-Bechtle A. 1994. Altern und Lebenserwartung in präindustriellen Bevölkerungen. Diplomarbeit an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Institut für Anthropologie und Humangenetik.
- Cipriano-Bechtle A, Grupe G, und Schröter P. 1996. Ageing and life expectancy in the early Middle Ages. *Homo* 46(3):267-279.
- Coplen TB, Kendall C, und Hopple J. 1983. Comparison of stable isotope reference samples. *Nature* 302(5905):236-238.
- Cortecci G, Del Moro A, Leone G, und Pardini GC. 1979. Correlation between strontium and oxygen isotopic compositions of rocks from the Adamello massif (Northern Italy). *Contributions to Mineralogy and Petrology* 68(4):421-427.
- D'Angela D, und Longinelli A. 1990. Oxygen isotopes in living mammal's bone phosphate: Further results. *Chemical Geology: Isotope Geoscience section* 86(1):75-82.
- Dansgaard W. 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus* 16:436-468.
- Daux V, LéCuyer C, Adam F, Martineau F, und Vimeux F. 2005. Oxygen Isotope Composition Of Human Teeth And The Record Of Climate Changes In France (Lorraine) During The Last 1700 Years. *Climatic Change* 70(3):445-464.
- Daux V, LéCuyer C, Héran M-A, Amiot R, Simon L, Fourel F, Martineau F, Lynnerup N, Reychler H, und Escarguel G. 2008. Oxygen isotope fractionation between human phosphate and water revisited. *Journal of Human Evolution* 55(6):1138-1147.
- Deines P. 1980. The isotopic composition of reduced organic carbon. In: Fritz P, und Fontes JC (Hrsg.). *Handbook of environmental Isotope Geochemistry I The terrestrial environment*. Amsterdam: Elsevier. S. 329-406.
- DeNiro MJ, und Epstein S. 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42(5):495-506.
- Deniro MJ, und Epstein S. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 45(3):341-351.

- Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie GbM (Hrsg.). 1991. Der kleine "Souci-Fachmann-Kraut": Lebensmitteltabelle für die Praxis. 2. Auflage. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH. 434 S.
- Deutscher Wetterdienst. 2010. www.dwd.de. (Letzter Zugriff 15.11.2010)
- Dittmann K. 1999. Lebensbedingungen für Kinder im ausgehenden frühen Mittelalter (500-700 n. Chr.). Ergebnisse der paläopathologischen Untersuchungen an den Kinderskeletten aus dem alamannisch-fränkischen Reihengräberfeld von Wenigumstadt, Ldkr. Aschaffenburg, Bayern. Diplomarbeit an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Institut für Anthropologie und Humangenetik.
- Dittmann K, und Grupe G. 2000. Biochemical and palaeopathological investigations on weaning and infant mortality in the early Middle Ages. *Anthropologischer Anzeiger* 58(4):345-355.
- Dole M, Lane GA, Rudd DP, und Zaukelies DA. 1954. Isotopic composition of atmospheric oxygen and nitrogen. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 6(2-3):65-78.
- Doppler S, Vohberger M, Peters J, von Carnap-Bornheim C, und Grupe G. unveröffentlichtes Material. Settlement continuity, changing economy, and palaeoecology: Comparing Viking Haithabu and medieval Schleswig. München: Department Biologie I Anthropologie.
- Drenckhahn D, und Fleischhauer K. 1994. Mundhöhle. In: Drenckhahn D, und Zenker W (Hrsg.). *Benninghoff Anatomie*. 15. Auflage. München, Wien, Baltimore: Urban & Schwarzenberg. S 780-815.
- Dupras TL, und Schwarcz HP. 2001. Strangers in a Strange Land: Stable Isotope Evidence for Human Migration in the Dakhleh Oasis, Egypt. *Journal of Archaeological Science* 28(11):1199-1208.
- Ebersbach R, und Schade C. 2002. Modelle zur Intensität der bandkeramischen Landnutzung am Beispiel der Altsiedellandschaft Mörlener Bucht / Wetterau. In: Lüning J, Firdich C, und Zimmermann A (Hrsg.). *Die Bandkeramik im 21. Jahrhundert Symposium Brauweiler September 2002 Internationale Archäologie*. Rahden. S. 259-273.
- Elias RW, Hirao Y, und Patterson CC. 1982. The circumvention of the natural biopurification of calcium along nutrient pathways by atmospheric inputs of industrial lead. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 46(12):2561-2580.
- Epstein S, Thompson P, und Crayton JY. 1977. Oxygen and Hydrogen Isotopic Ratios in Plant Cellulose. *Science* 198(4323):1209-1215.
- Ericson JE. 1985. Strontium isotope characterization in the study of prehistoric human ecology. *Journal of Human Evolution* 14(5):503-514.
- Evans J, Stoodley N, und Chenery C. 2006. A strontium and oxygen isotope assessment of a possible fourth century immigrant population in a Hampshire cemetery, southern England. *Journal of Archaeological Science* 33(2):265-272.
- Fabig A. 2002. Spurenelementuntersuchungen an bodengelagertem Skelettmaterial. Dissertation an der Georg-August-Universität Göttingen. 192 S.
- Fabig A, und Herrmann B. 2002. Trace elements in buried human bones: intra-population variability of Sr/Ca and Ba/Ca ratios - diet or diagenesis? *Naturwissenschaften* 89(3):115-119.
- Faure G. 1986. *Principles of Isotope Geology*. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapur: John Wiley & Sons. 589 S.
- Fietzke J, Liebetrau V, Gunther D, Gurs K, Hametner K, Zumholz K, Hansteen TH, und Eisenhauer A. 2008. An alternative data acquisition and evaluation strategy for improved isotope ratio precision using LA-MC-ICP-MS applied to stable and radiogenic strontium isotopes in carbonates. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 23(7):955-961.
- Fitzpatrick RW. 2008. Nature, Distribution, and Origin of Soil Materials in the Forensic Comparison of Soils. In: Tibbett M, und Carter DO (Hrsg.). *Soil Analysis of Forensic Taphonomy*. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group LLC. S. 1-28.
- Florentz X. 1974. *Statistik: Methodenlehre I u. II. Repetitorium*. München: Verlag V. Florentz GmbH. 212 S.
- Fogel ML, Tuross N, und Owsley DW. 1989. Nitrogen Isotope Tracers of Human Lactation in Modern and Archaeological Populations. Annual Report of the Director; Geophysical Laboratory. Washington D.C.: Carnegie Institution of Washington. S 111-117.
- Fontes JC, und Matray JM. 1993. Geochemistry and origin of formation brines from the Paris Basin, France: 1. Brines associated with Triassic salts. *Chemical Geology* 109(1-4):149-175.
- Förstel H, und Hütten H. 1983. Oxygen isotope ratios in German groundwater. *Nature* 304(5927):614-616.

- Fricke HC, und O'Neil JR. 1999. The correlation between $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratios of meteoric water and surface temperature: its use in investigating terrestrial climate change over geologic time. *Earth and Planetary Science Letters* 170(3):181-196.
- Fricke HC, O'Neil JR, und Lynnerup N. 1995. Special Report: Oxygen isotope composition of human tooth enamel from medieval Greenland: Linking climate and society. *Geology* 23(10):869-872.
- Fricke HC, Rogers RR, Backlund R, Dwyer CN, und Echt S. 2008. Preservation of primary stable isotope signals in dinosaur remains, and environmental gradients of the Late Cretaceous of Montana and Alberta. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 266(1-2):13-27.
- Fritz M, Formowitz B, Sötz B, und Prestele H. 2009. Miscanthus als Nachwachsender Rohstoff - Ergebnisse aus bayerischen Forschungsarbeiten. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe. Berichte aus dem TFZ. Straubing: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Abteilung Landespflege. p 175.
- Fry B. 2006. *Stable Isotope Ecology*. 308 S.
- Gat JR. 1996. Oxygen and Hydrogen Isotopes in the hydrologic Cycle. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 24(1):225-262.
- Gillmaier N. 2008. Kartierung des historischen Nordeuropas - Bioverfügbares Strontium und Sauerstoffisotope als Basis zur Rekonstruktion von Migration und Fernhandel. Diplomarbeit an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Department Biologie I Anthropologie.
- Gillmaier N, Kronseder C, Grupe G, von Carnap-Bornheim C, Söllner F, und Schweissing M. 2009. The Strontium Isotope Project of the International Sachsensymposium. In: Benecke N (Hrsg.). Beiträge zur Archäozoologie und Prähistorischen Anthropologie. Langenweißbach. S. 133-142.
- Graustein WC, und Armstrong RL. 1983. The Use of Strontium-87/Strontium-86 Ratios to Measure Atmospheric Transport into Forested Watersheds. *Science* 219(4582):289-292.
- Gregg SA. 1988. *Foragers and Farmers. Population Interaction and Agricultural Expansion in Prehistoric Europe*. Chicago: University of Chicago Press. 296 S.
- Großkopf B. 1990. Individualaltersbestimmung mit Hilfe von Zuwachsringen im Zement bodengelagerter menschlicher Zähne. *International Journal of Legal Medicine* 103(5):351-359.
- Grupe G. 1992. Analytisch-chemische Methoden in der prähistorischen Anthropologie: Spurenelemente und stabile Isotope. In: Knußmann R (Hrsg.). *Anthropologie Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen, Band II: Allgemeine Anthropologie*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. S. 66-73.
- Grupe G, Price TD, Schröter P, Söllner F, Johnson CM, und Beard BL. 1997. Mobility of Bell Beaker people revealed by strontium isotope ratios of tooth and bone: a study of southern Bavarian skeletal remains. *Applied Geochemistry* 12(4):517-525.
- Gügel I. 1998. Simulationsversuch von Microwear mit Merkmalsvergleich an frühmittelalterlichen Molaren. Diplomarbeit an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Institut für Anthropologie und Humangenetik.
- Haak W, Brandt G, Jong HNd, Meyer C, Ganslmeier R, Heyd V, Hawkesworth C, Pike AWG, Meller H, und Alt KW. 2008. Ancient DNA, Strontium isotopes, and osteological analyses shed light on social and kinship organization of the Later Stone Age. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105(47):18226-18231.
- Halicz L, Segal I, Fruchter N, Stein M, und Lazar B. 2008. Strontium stable isotopes fractionate in the soil environments? *Earth and Planetary Science Letters* 272(1-2):406-411.
- Harbeck M. 2006. Molekularbiologische Parameter liegemilieubedingter Knochenalterung - Implikationen für die biologische Spurenkunde. Dissertation an der Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Harrison RG, und Katzenberg MA. 2003. Paleodiet studies using stable carbon isotopes from bone apatite and collagen: examples from Southern Ontario and San Nicolas Island, California. *Journal of Anthropological Archaeology* 22(3):227-244.
- Hartmann G, und Hans Wedepohl K. 1993. The composition of peridotite tectonites from the Ivrea Complex, northern Italy: Residues from melt extraction. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57(8):1761-1782.
- Hedges REM. 2002. Bone diagenesis: an overview of processes. *Archaeometry* 44:319-328.
- Hedges REM, Millard AR, und Pike AWG. 1995. Measurements and Relationships of Diagenetic Alteration of Bone from Three Archaeological Sites. *Journal of Archaeological Science* 22(2):201-209.
- Hedges REM, Stevens RE, und Richards MP. 2004. Bone as a stable isotope archive for local climatic information. *Quaternary Science Reviews* 23(7-8):959-965.
- Herring DA, Saunders SR, und Katzenberg MA. 1998. Investigating the weaning process in past populations. *American Journal of Physical Anthropology* 105(4):425-439.

- Herrmann B, Grupe G, Hummel S, Piepenbrink H, und Schutkowski H. 1990. Prähistorische Anthropologie. Leitfaden der Feld- und Labormethoden. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. 445 S.
- Hildebrand EE. 1996. Warum müssen wir Waldböden kalken? Agrarforschung in Baden-Württemberg. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag. S. 53-65.
- Hillson S, und Antoine D. 2003. Ancient bones and teeth on the microstructural level. In: Grupe G, und Peters J (Hrsg.) Decyphering Ancient Bone - The Research Potential of Bioarchaeological Collections, Documenta Archaeobiologiae 1. Leidorf: Rahden. S. 141-158.
- Hobson KA. 1999. Tracing Origins and Migration of Wildlife Using Stable Isotopes: A Review. *Oecologia* 120(3):314-326.
- Hodell DA, Quinn RL, Brenner M, und Kamenov G. 2004. Spatial variation of strontium isotopes ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) in the Maya region: a tool for tracking ancient human migration. *Journal of Archaeological Science* 31(5):585-601.
- Hodgins GW. 2009. Measuring atomic bomb-derived ^{14}C levels in human remains to determine Year of Birth and/or Year of Death. U.S. Department of Justice. S. 98.
- Hoefs J. 2004. Stable Isotope Geochemistry. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag. 244 S.
- Hoffs J, und Wedepohl KH. 1968. Strontium isotope studies on young volcanic rocks from Germany and Italy. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 19(4):328-338.
- Hoke N. 2008. UV-Fluoreszenzanalysen an Knochen im Kontext der Dekompositionsforschung. Diplomarbeit an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Department Biologie I Anthropologie.
- Hoke N, Heinz B, Manitz J, Weber C, Benecke N, Burger J, und Harbeck M. im Druck. Fluorescence of bone cross sections – A screening tool for bones preceding archaeometric analyses. In: Grupe G, Peters J, und McGlynn G (Hrsg.). *Documenta Archaeobiologiae*.
- Hollauer S. 2010. Herkunftsanalyse von fossilem Holz anhand stabiler Strontiumisotope. Diplomarbeit an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Department Biologie I Anthropologie.
- Hözl S, Åberg G, Hedges REM, Horn P, Hull BD, Rummel S, und Téreygeol F. 2007. Auf Spurensuche in der Vergangenheit – Isotope schreiben Geschichte. Einführung in die Archäometrie. S. 263-277.
- Hözl S, Horn P, Rossmann A, und Rummel S. 2004. Isotope-abundance ratios of light (bio) and heavy (geo) elements in biogenic tissues: methods and applications. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 378(2):270-272.
- Hoppe KA, Koch PL, und Furutani TT. 2003. Assessing the preservation of biogenic strontium in fossil bones and tooth enamel. 13:20-28.
- Horn P. 2005. Isotopensignaturen schwerer Elemente in der ökologischen Forschung und Praxis. Band 30: Auf Spurensuche in der Natur. München: Dr. Friedrich Pfeil. S. 131-152.
- Horn P, Hözl S, und Storzer D. 1994. Habitat determination on a fossil stag's mandible from the site *Homo erectus heidelbergensis* at Mauer by use of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. *Naturwissenschaften* 81(8):360-362.
- Horn P, Hözl S, Todt W, und Matthies D. 1998. Isotope Abundance Ratios of Sr In Wine Provenance Determinations, in a Tree-Root Activity Study, and of Pb in a Pollution Study on Tree-Rings. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 33(1):31 - 42.(Horn 2005)
- Horn P, Müller-Sohnius D, Köhler H, und Graup G. 1985. Rb/Sr systematics of rocks related to the Ries Crater, Germany. *Earth and Planetary Science Letters* 75(4):384-392.
- Horwath T. 2000. Sr-Isotopensystematik an Sedimentgesteinen der Germanischen Trias und Mineralwässern aus Stuttgart und Umgebung. Diplomarbeit an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie.
- Hoselmann C. 2008. Untermain-Mittelterrassen-Formation. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover: LithoLex (Online Datenbank). www.bgr.bund.de/litholex (Letzter Zugriff: 23.09.2010)
- Hurst R, und Davis T. 1981. Strontium isotopes as tracers of airborne fly ash from coal-fired power plants. *Environmental Geology* 3(6):363-367.
- Iacumin P, Bocherens H, Mariotti A, und Longinelli A. 1996a. An isotopic palaeoenvironmental study of human skeletal remains from the Nile Valley. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 126(1-2):15-30.
- Iacumin P, Bocherens H, Mariotti A, und Longinelli A. 1996b. 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):1-6.
- Irsigler F. 1991. Bündelung von Energie in der mittelalterlichen Stadt. Einige Modellannahmen. In: Martin J, und von Stietencron H (Hrsg.). *Energieflüsse in prähistorischen/ historischen Siedlungen und Gemeinschaften*. München: Verlag Karl Alber. S. 308-318.

- Jansen HSM, Huizer J, Dijkmans JWA, und van Hinte JE. 2004. Strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) dating of marine shells from Pliocene and Pleistocene shallow marine deposits in The Netherlands. *Netherlands Journal of Geosciences/ Geologie en Mijnbouw* 83(1):47-54.
- Kagerer P, und Grupe G. 2001. Age-at-death diagnosis and determination of life-history parameters by incremental lines in human dental cementum as an identification aid. *Forensic Science International* 118(1):75-82.
- Kampschulte A, Buhl D, und Strauss H. 1998. The sulfur and strontium isotopic compositions of Permian evaporites from the Zechstein basin, northern Germany. *Geologische Rundschau* 87(2):192-199.
- Katzenberg MA. 1993. Age differences and population variation in stable isotope values from Ontario, Canada. In: Lambert JB, und Grupe G (Hrsg.) *Prehistoric Human Bone: Archaeology at the Molecular Level*. Berlin: Springer-Verlag. S. 39-62.
- Katzenberg MA. 2000. Stable Isotope Analysis: A tool for studying past diet, demography, and life history. In: Katzenberg MS, und Saunders SR (Hrsg.) *Biological Anthropology of the Human Skeleton* New York, Chichester, Weinheim: John Wiley & Sons, Inc. S. 305-327.
- Katzenberg MA, Herring DA, und Saunders SR. 1996. Weaning and infant mortality: evaluating the skeletal evidence. *American Journal of Physical Anthropology* 101(Supp. 23):177-199.
- Katzenberg MA, Saunders SR, und Abonyi S. 2000. Bone Chemistry, Food and History: A Case Study from 19th Century Upper Canada. In: Ambrose SH, und Katzenberg MA (Hrsg.) *Biogeochemical Approaches to Paleodietary Analysis*. New York: Kluwer Academic Plenum Publishers. S. 1-22.
- Kawasaki A, Oda H, und Hirata T. 2002. Determination of Strontium Isotope Ratio of Brown Rice for Estimating Its Provenance. *Soil science and plant nutrition* 48(5):635-640.
- Knipper C. 2004. Die Strontiumisotopenanalyse: eine naturwissenschaftliche Methode zur Erfassung von Mobilität in der Ur- und Frühgeschichte. *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz*. Nr. 51. S. 589-685.
- Knudson KJ, Tung TA, Nystrom KC, Price TD, und Fullagar PD. 2005. The origin of the Juch'uypampa Cave mummies: strontium isotope analysis of archaeological human remains from Bolivia. *Journal of Archaeological Science* 32(6):903-913.
- Knudson KJ, Williams HM, Buikstra JE, Tomczak PD, Gordon GW, und Anbar AD. 2010. Introducing $\delta^{88/86}\text{Sr}$ analysis in archaeology: a demonstration of the utility of strontium isotope fractionation in paleodietary studies. *Journal of Archaeological Science* 37(9):2352-2364.
- Koch PL. 2007. Isotopic Study of the Biology of Modern and Fossil Vertebrates. In: Michener R, und Lajtha K (Hrsg.) *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. Blackwell Publishing Ltd.
- Koch PL, Fisher DC, und Dettman D. 1989. Oxygen isotope variation in the tusks of extinct proboscideans: A measure of season of death and seasonality. *Geology* 17(6):515-519.
- Koch PL, Heisinger J, Moss C, Carlson RW, Fogel ML, und Behrensmeyer AK. 1995. Isotopic Tracking of Change in Diet and Habitat Use in African Elephants. *Science* 267(5202):1340-1343.
- Koch PL, Tuross N, und Fogel ML. 1997. The Effects of Sample Treatment and Diagenesis on the Isotopic Integrity of Carbonate in Biogenic Hydroxylapatite. *Journal of Archaeological Science* 24(5):417-429.
- Koeniger P, Leibundgut C, und Stichler W. 2009. Spatial and temporal characterisation of stable isotopes in river water as indicators of groundwater contribution and confirmation of modelling results; a study of the Weser river, Germany. *Isotopes in Environmental & Health Studies* 45:289-302.
- Kohn MJ. 1996. Predicting animal $\delta^{18}\text{O}$: Accounting for diet and physiological adaptation. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60(23):4811-4829.
- Kohn MJ, und Cerling TE. 2002. Stable Isotope Compositions of Biological Apatite. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 48(1):455-488.
- Kohn MJ, Miselis JL, und Fremd TJ. 2002. Oxygen isotope evidence for progressive uplift of the Cascade Range, Oregon. *Earth and Planetary Science Letters* 204(1-2):151-165.
- Kohn MJ, Schoeninger MJ, und Barker WW. 1999. Altered states: effects of diagenesis on fossil tooth chemistry. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 63(18):2737-2747.
- Kohn MJ, Schoeninger MJ, und Valley JW. 1996. Herbivore tooth oxygen isotope compositions: Effects of diet and physiology. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60(20):3889-3896.
- Kohn MJ, Schoeninger MJ, und Valley JW. 1998. Variability in oxygen isotope compositions of herbivore teeth: reflections of seasonality or developmental physiology? *Chemical Geology* 152(1-2):97-112.
- Kolodny Y, Luz B, und Navon O. 1983. Oxygen isotope variations in phosphate of biogenic apatites, I. Fish bone apatite - rechecking the rules of the game. *Earth and Planetary Science Letters* 64(3):398-404.

- Kolodny Y, und Raab M. 1988. Oxygen isotopes in phosphatic fish remains from Israel: Paleothermometry of tropical cretaceous and tertiary shelf waters. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 64(1-2):59-67.
- Kroopnick P, und Craig H. 1972. Atmospheric Oxygen: Isotopic Composition and Solubility Fractionation. *Science* 175(4017):54-55.
- Krünitz JG, Floerken FJ, Flörke HG, und Korth JWD. 1815. D. Johann Georg Krünitz's ökonomisch technologische Encyclopädie, oder allgemeines System Staats-, Stadt-, Haus- und Landwirtschaft, und der Kunstgeschichte in alphabetischer Ordnung. Berlin.
- Land LS, Lundelius Jr EL, und Valastro Jr S. 1980. Isotopic ecology of deer bones. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 32:143-151.
- Lee-Thorp J, und Sponheimer M. 2003. Three case studies used to reassess the reliability of fossil bone and enamel isotope signals for paleodietary studies. *Journal of Anthropological Archaeology* 22(3):208-216.
- Lee-Thorp JA. 2008. On Isotopes and Old Bones. *Archaeometry* 50(6):925-950.
- Lee-Thorp JA, Sealy JC, und van der Merwe NJ. 1989. Stable carbon isotope ratio differences between bone collagen and bone apatite, and their relationship to diet. *Journal of Archaeological Science* 16(6):585-599.
- Lee-Thorp JA, und van der Merwe NJ. 1987. Carbon isotope analysis of fossil bone apatite. *South African Journal of Science* 83:71-74.
- Lee-Thorp JA, und van der Merwe NJ. 1991. Aspects of the chemistry of modern and fossil biological apatites. *Journal of Archaeological Science* 18(3):343-354.
- LeGeros RZ. 1981. Apatites in biological systems. *Progress in Crystal Growth and Characterization* 4(1-2):1-45.
- LeGeros RZ, und LeGeros JP. 1984. Phosphate minarels in human tissues. In: Nriagu JO, und Moore JB (Hrsg.) *The Phosphate Minerals*. Berlin: Springer-Verlag. S. 351-385.
- LeGeros RZ, Trautz OR, LeGeros JP, Klein E, und Shirra WP. 1967. Apatite Crystallites: Effects of Carbonate on Morphology. *Science* 155(3768):1409-1411.
- Leontiadis IL, Vergis S, und Christodoulou T. 1996. Isotope hydrology study of areas in Eastern Macedonia and Thrace, Northern Greece. *Journal of Hydrology* 182(1-4):1-17.
- Levinson AA, Luz B, und Kolodny Y. 1987. Variations in oxygen isotopic compositions of human teeth and urinary stones. *Applied Geochemistry* 2(4):367-371.
- Lippitsch AK. 2007. Funktionsmorphologischer Einfluss auf die Ausprägung und Charakteristika der menschlichen Zementaposition in Bezug auf die Anwendung der TCA-Methode. Diplomarbeit an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Department Biologie I Anthropologie.
- Longinelli A. 1984. Oxygen isotopes in mammal bone phosphate: A new tool for paleohydrological and paleoclimatological research? *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48(2):385-390.
- Longinelli A, und Nuti S. 1973a. Oxygen isotope measurements of phosphate from fish teeth and bones. *Earth and Planetary Science Letters* 20(3):337-340.
- Longinelli A, und Nuti S. 1973b. Revised phosphate-water isotopic temperature scale. *Earth and Planetary Science Letters* 19(3):373-376.
- Lorenz RJ. 1996. *Grundbegriffe der Biometrie*. Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm: Gustav Fischer Verlag. 238 S.
- Lowenstam HA, und Weiner S. 1989. *On Biomineralization*. New York, Oxford: Oxford University Press. 324 S.
- Ludwig KR. 2009. Isoplot 3.6 A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Special Publication No 4. Berkeley: Berkeley Geochronology Center. 78 S.
- Luz B, und Kolodny Y. 1985. Oxygen isotope variations in phosphate of biogenic apatites, IV. Mammal teeth and bones. *Earth and Planetary Science Letters* 75(1):29-36.
- Luz B, Kolodny Y, und Horowitz M. 1984. Fractionation of oxygen isotopes between mammalian bone-phosphate and environmental drinking water. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48(8):1689-1693.
- Maixner B. 2010. Haithabu. Fernhandelszentrum zwischen den Welten. Katalog zur Ausstellung. Archäologisches Landesmuseum in der Stiftung Schleswig-Holsteinische Landesmuseen Schloss Gottorf Schleswig.
- Mannino MA, Spiro BF, und Thomas KD. 2003. Sampling shells for seasonality: oxygen isotope analysis on shell carbonates of the inter-tidal gastropod *Monodonta lineata* (da Costa) from populations across its modern range and from a Mesolithic site in southern Britain. *Journal of Archaeological Science* 30(6):667-679.

- Marti R. 2005. Von der multikulturellen Gesellschaft zum staatstragenden Volk. Sonderheft: Die Völkerwanderung. Archäologie in Deutschland. Stuttgart: Konrad Theiss Verlag. S. 60-67.
- Martin RB, Burr DB, und Sharkey NA. 1998. Skeletal Tissue Mechanics. New York: Springer Verlag. 392 S.
- Matter A, T. P, und Ramseyer K. 1987. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse und Sr-Gehalte von Tiefengrundwässern, Mineralien sowie Gesteinen aus dem Kristallin und der Trias der Nordschweiz. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 80:579-592.
- Mitchell PD, und Millard AR. 2009. Migration to the Medieval Middle East with the Crusades. *American Journal of Physical Anthropology* 140:518-525.
- Montgomery J. 2010. Passports from the past: Investigating human dispersals using strontium isotope analysis of tooth enamel. *Annals of Human Biology* 37:325-346.
- Montgomery J, Evans JA, Powlesland D, und Roberts CA. 2005. Continuity or colonization in Anglo-Saxon England? Isotope evidence for mobility, subsistence practice, and status at West Heslerton. *American Journal of Physical Anthropology* 126(2):123-138.
- Mortimer CE. 1996. Chemie. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag. 744 S.
- Négré P, und Roy S. 1998. Chemistry of rainwater in the Massif Central (France): a strontium isotope and major element study. *Applied Geochemistry* 13(8):941-952.
- Nehlich O, Montgomery J, Evans J, Schade-Lindig S, Pichler SL, Richards MP, und Alt KW. 2009. Mobility or migration: a case study from the Neolithic settlement of Nieder-Mörlen (Hessen, Germany). *Journal of Archaeological Science* 36(8):1791-1799.
- Nehlich O, und Richards M. 2009. Establishing collagen quality criteria for sulphur isotope analysis of archaeological bone collagen. *Archaeological and Anthropological Sciences* 1(1):59-75.
- Nelson BK, Deniro MJ, Schoeninger MJ, De Paolo DJ, und Hare PE. 1986. Effects of diagenesis on strontium, carbon, nitrogen and oxygen concentration and isotopic composition of bone. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 50(9):1941-1949.
- Nentwig W. 2005. Humanökologie. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. 473 S.
- Neubauer D. 2005. Das Volk der Nibelungensage. Sonderheft: Die Völkerwanderung. Archäologie in Deutschland. Stuttgart: Konrad Theiss Verlag. S. 4.
- Nielsen-Marsh CM, Smith CI, Jans MME, Nord A, Kars H, und Collins MJ. 2007. Bone diagenesis in the European Holocene II: taphonomic and environmental considerations. *Journal of Archaeological Science* 34(9):1523-1531.
- Nultsch W. 1986. Allgemeine Botanik. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag. 530 S.
- Olze A, Schmeling A, Rieger K, Kalb G, und Geserick G. 2003. Untersuchungen zum zeitlichen Verlauf der Weisheitszahnmineralisation bei einer deutschen Population. *Rechtsmedizin* 13:5-10.
- Park R, und Epstein S. 1960. Carbon isotope fractionation during photosynthesis. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 21(1-2):110-126.
- Passey BH, und Cerling TE. 2002. Tooth enamel mineralization in ungulates: implications for recovering a primary isotopic time-series. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 66(18):3225-3234.
- Peterson BJ, und Fry B. 1987. Stable Isotopes in Ecosystem Studies. *Annual Review of Ecology and Systematics* 18:293-320.
- Pin C, Joannon S, Bosq C, Fevre BL, und 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):135-141.
- Pohl W. 2002. Die Völkerwanderung. Eroberung und Integration. Stuttgart: W. Kohlhammer GmbH. 266 S.
- Price TD, Blitz J, Burton J, und Ezzo JA. 1992. Diagenesis in prehistoric bone: Problems and solutions. *Journal of Archaeological Science* 19(5):513-529.
- Price TD, Burton JH, und Bentley RA. 2002. The Characterization of Biologically Available Strontium Isotope Ratios for the Study of Prehistoric Migration. *Archaeometry* 44(1):117-135.
- Price TD, Johnson CM, Ezzo JA, Ericson J, und Burton JH. 1994. Residential Mobility in the Prehistoric Southwest United States: A Preliminary Study using Strontium Isotope Analysis. *Journal of Archaeological Science* 21(3):315-330.
- Price TD, Knipper C, Grupe G, und Smrcka Vc. 2004. Strontium Isotopes and Prehistoric Human Migration: The Bell Beaker Period in Central Europe. *European Journal of Archaeology* 7(1):9-40.
- Price TD, Wahl J, Knipper C, Burger-Heinrich E, Kurtz G, und Bentley RA. 2003. Das bandkeramische Gräberfeld vom „Viesenhäuser Hof“ bei Stuttgart-Mühlhausen: Neue Untersuchungsergebnisse zum Migrationsverhalten im frühen Neolithikum. In: Funda DT (Hrsg.) Fundberichte aus Baden-Württemberg. Stuttgart: Kommissionsverlag Konrad Theiss Verlag. S. 23-58.

- Probst A, El Gh'mari A, Aubert D, Fritz B, und McNutt R. 2000. Strontium as a tracer of weathering processes in a silicate catchment polluted by acid atmospheric inputs, Strengbach, France. *Chemical Geology* 170(1-4):203-219.
- Prowse TL, Schwarcz HP, Garnsey P, Knyf M, Macchiarelli R, und Bondioli L. 2007. Isotopic evidence for age-related immigration to imperial Rome. *American Journal of Physical Anthropology* 132:510-519.
- Quast D, und Knaut M. 2005. Archäologie und Migration. Sonderheft: Die Völkerwanderung. *Archäologie in Deutschland*. Stuttgart: Konrad Theiss Verlag. S. 8-18.
- Radloff F, Mucina L, Bond W, und le Roux P. 2010. Strontium isotope analyses of large herbivore habitat use in the Cape Fynbos region of South Africa. *Oecologia*:1-12.
- Rauch E, Rummel S, Lehn C, und Büttner A. 2007. Origin assignment of unidentified corpses by use of stable isotope ratios of light (bio-) and heavy (geo-)elements - A case report. *Forensic Science International* 168(2-3):215-218.
- Reed WP. 1992. Certificate of Analysis Standard Reference Material 1400 Bone Ash. National Institute of Standards & Technology. USA.
- Rey C, Combes C, Drouet C, Glimcher MJ. 2009. Bone mineral: update on chemical composition and structure. *Osteoporosis International* 20:1013-1021.
- Richards M, Harvati K, Grimes V, Smith C, Smith T, Hublin J-J, Karkanas P, und Panagopoulou E. 2008. Strontium isotope evidence of Neanderthal mobility at the site of Lakonis, Greece using laser-ablation PIMMS. *Journal of Archaeological Science* 35(5):1251-1256.
- Richards MP, Fuller BT, Sponheimer M, Robinson T, und Ayliffe L. 2003. Sulphur isotopes in palaeodietary studies: a review and results from a controlled feeding experiment. *International Journal of Osteoarchaeology* 13(1-2):37-45.
- Rosen K. 2006. *Die Völkerwanderung*. München: C.H. Beck. 128 S.
- Rossmann A, Haberhauer G, Hölzl S, Horn P, Pichlmayer F, und Voerkelius S. 2000. The potential of multielement stable isotope analysis for regional origin assignment of butter. *European Food Research and Technology* 211(1):32-40.
- Rozanski K, und Araguás Araguás L. 1995. Spatial and temporal variability of stable isotope composition of precipitation over the south American continent. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines* 24(3):379-390.
- Rozanski K, Araguás-Araguás L, und Gonfiantini R. 1992. Relation between long-term trends of oxygen-18 isotope composition of precipitation and climate. *Science* 258(5084):981.
- Rozkocová E, Marková M, und Mrklas L. 2005. Third molar as an age indicator in young individuals. *Prague Medical Report* 106(4):367-398.
- Rüggeberg A, Fietzke J, Liebetrau V, Eisenhauer A, Dullo W-C, und Freiwald A. 2008. Stable strontium isotopes ($\delta^{88/86}\text{Sr}$) in cold-water corals - A new proxy for reconstruction of intermediate ocean water temperatures. *Earth and Planetary Science Letters* 269(3-4):570-575.
- Rummel S, Hölzl S, Horn P, Rossmann A, und Schlicht C. 2010. The combination of stable isotope abundance ratios of H, C, N and S with $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ for geographical origin assignment of orange juices. *Food Chemistry* 118(4):890-900.
- Rummel S, Hölzl S, und Horn P. 2007. Isotopensignaturen von Bio- und Geo-Elementen in der Forensik. In: Herrmann B, und Saternus K-S (Hrsg.) *Biologische Spurenkunde*: Springer Berlin Heidelberg. S. 381-407.
- Sachs L. 1969. *Statistische Auswertungsmethoden*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag. 677 S.
- Salazar-García DC, Galván B, Villaverde V, und Richards MP. 2010. Strontium Isotope Evidence of the Mobility Patterns of Eastern Iberian Neanderthals. ISBA 4. Copenhagen: Poster-Präsentation.
- Schach-Döriges H. 2001. Zusammengespülte und vermengte Menschen. In: *Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg (Hrsg.) Die Alamannen*. 4. Auflage. Stuttgart: Konrad Theiss Verlag. S. 79-102.
- Schmoekel R. 2003. *Bevor es Deutschland gab*. Bergisch Gladbach: Verlagsgruppe Lübbe. 926 S.
- Schoeninger MJ, und DeNiro MJ. 1982. Carbon isotope ratios of apatite from fossil bone cannot be used to reconstruct diets of animals. *Nature* 297(5867):577-578.
- Schoeninger MJ, und DeNiro MJ. 1984. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48(4):625-639.
- Schoeninger MJ, Reeser H, und Hallin K. 2003. Paleoenvironment of *Australopithecus anamensis* at Allia Bay, East Turkana, Kenya: evidence from mammalian herbivore enamel stable isotopes. *Journal of Anthropological Archaeology* 22(3):200-207.

- Schroeder HE. 2000. *Orale Strukturbioogie. Entwicklungsgeschichte, Struktur und Funktion normaler Hart- und Weichgewebe der Mundhöhle und des Kiefergelenks.* Stuttgart, New York: Thieme.
- Schulz D. 2006. *Ontogenetische Trends stabiler Kohlenstoff- und Sauerstoffisotope im menschlichen Zahnschmelz: ist die Bestimmung eines Entwöhnungszeitraumes möglich?* Diplomarbeit an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Department Biologie I Anthropologie.
- Schürch M, Kozel R, Schotterer U, und Tripet J-P. 2003. Observation of isotopes in the water cycle—the Swiss National Network (NISOT). *Environmental Geology* 45(1):1-11.
- Schurr MR. 1997. Stable Nitrogen Isotopes as Evidence for the Age of Weaning at the Angel Site: A Comparison of Isotopic and Demographic Measures of Weaning Age. *Journal of Archaeological Science* 24(10):919-927.
- Schweissing MM. 2004. *Stontium-Isotopenanalyse ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) - Eine archäometrische Applikation zur Klärung anthropologischer und archäologischer Fragestellungen in bezug auf Migration und Handel.* Dissertation an der Ludwig-Maximilians-Universität. Institut für Anthropologie und Humangenetik.
- Schweissing MM, und Grupe G. 2003a. Stable strontium isotopes in human teeth and bone: a key to migration events of the late Roman period in Bavaria. *Journal of Archaeological Science* 30(11):1373-1383.
- Schweissing MM, und Grupe G. 2003b. Tracing migration events in man and cattle by stable strontium isotope analysis of appositionally grown mineralized tissue. *International Journal of Osteoarchaeology* 13:96-103.
- Sealy JC, und van der Merwe NJ. 1992. On "Approaches to dietary reconstruction in the Western Cape: Are you what you have eaten?"-A reply to Parkington. *Journal of Archaeological Science* 19(4):459-466.
- Sealy JC, van der Merwe NJ, Sillen A, Kruger FJ, und Krueger HW. 1991. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ as a dietary indicator in modern and archaeological bone. *Journal of Archaeological Science* 18(3):399-416.
- Sharp ZD, und Cerling TE. 1998. Fossil isotope records of seasonal climate and ecology: Straight from the horse's mouth. *Geology* 26(3):219-222.
- Shaw BJ, Summerhayes GR, Buckley HR, und Baker JA. 2009. The use of strontium isotopes as an indicator of migration in human and pig Lapita populations in the Bismarck Archipelago, Papua New Guinea. *Journal of Archaeological Science* 36(4):1079-1091.
- Shemesh A, Kolodny Y, und Luz B. 1983. Oxygen isotope variations in phosphate of biogenic apatites, II. Phosphorite rocks. *Earth and Planetary Science Letters* 64(3):405-416.
- Sillen A, Hall G, Richardson S, und Armstrong R. 1998. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios in modern and fossil food-webs of the Sterkfontein Valley: implications for early hominid habitat preference. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 62(14):2463-2473.
- Sillen A, und Sealy JC. 1995. Diagenesis of Strontium in Fossil Bone: A Reconsideration of Nelson et al.(1986). *Journal of Archaeological Science* 22(2):313-320.
- Sponheimer M, und Lee-Thorp JA. 1999. Isotopic Evidence for the Diet of an Early Hominid, *Australopithecus africanus*. *Science* 283(5400):368-370.
- Sponheimer M, und Lee-Thorp JA. 2006. Enamel diagenesis at South African Australopith sites: Implications for paleoecological reconstruction with trace elements. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 70(7):1644-1654.
- Stanley KO, und Faure G. 1979. Isotopic composition and sources of strontium in sandstone cements; the High Plains sequence of Wyoming and Nebraska. *Journal of Sedimentary Research* 49(1):45-53.
- Stanton Thomas KJ, und Carlson SJ. 2004. Microscale $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ isotopic analysis of an ontogenetic series of the hadrosaurid dinosaur *Edmontosaurus*: implications for physiology and ecology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 206(3-4):257-287.
- Stauch E. 2004. *Wenigumstadt. Ein Bestattungsort der Völkerwanderungszeit und des frühen Mittelalters im nördlichen Odenwaldvorland.* Teile 1 und 2. Bonn: Verlag Dr. Rudolf Habelt GmbH.
- Stenhouse MJ, und Baxter MS. 1979. The uptake of bomb ^{14}C in humans. In: Berger R, und Suess HE (Hrsg.) *Radiocarbon dating.* Berkeley, Los Angeles: University of California Press. S. 324-341.
- Stephan E. 1999. *Sauerstoffisotopenverhältnisse im Knochengewebe großer terrestrischer Säugetiere - Klimaproxies für das Quartär in Mittel- und Westeuropa.* Aachen: Shaker Verlag. 218 S.
- Stephan E. 2000. Oxygen Isotope Analysis of Animal Bone Phosphate: Method Refinement, Influence of Consolidants, and Reconstruction of Palaeotemperatures for Holocene Sites. *Journal of Archaeological Science* 27(6):523-535.

- Stephan E. 2009. Rekonstruktion eisenzeitlicher Weidewirtschaft anhand archäozoologischer und isotopechemischer Untersuchungen. In: Benecke N (Hrsg.) Beiträge zur Archäozoologie und Prähistorischen Anthropologie. Langenweißbach. S. 65-79.
- Stout SD, und Paine RR. 1994. Bone remodeling rates: A test of an algorithm for estimating missing osteons. *American Journal of Physical Anthropology* 93:123-129.
- Straight WH, Barrick RE, und Eberth DA. 2004. Reflections of surface water, seasonality and climate in stable oxygen isotopes from tyrannosaurid tooth enamel. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 206(3-4):239-256.
- Strien H-C. 2000. Untersuchungen zur Bandkeramik in Württemberg. *Universitätsforschungen zur Prähistorischen Archäologie*. Bonn: Habelt.
- Stuart-Williams HLQ, und Schwarcz HP. 1995. Oxygen isotopic analysis of silver orthophosphate using a reaction with bromine. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59(18):3837-3841.
- Sullivan CH, und Krueger HW. 1981. Carbon isotope analysis of separate chemical phases in modern and fossil bone. *Nature* 292(5821):333-335.
- Sullivan CH, und Krueger HW. 1983. Carbon isotope ratios of bone apatite and animal diet reconstruction *Nature* 301:177-178.
- Taylor SR, McLennan SM, und McCulloch MT. 1983. Geochemistry of loess, continental crustal composition and crustal model ages. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 47(11):1897-1905.
- Tricca A, Stille P, Steinmann M, Kiefel B, Samuel J, und Eikenberg J. 1999. Rare earth elements and Sr and Nd isotopic compositions of dissolved and suspended loads from small river systems in the Vosges mountains (France), the river Rhine and groundwater. *Chemical Geology* 160(1-2):139-158.
- Tuross N, Behrensmeyer AK, und Eanes ED. 1989. Strontium increases and crystallinity changes in taphonomic and archaeological bone. *Journal of Archaeological Science* 16(6):661-672.
- Tuross N, und Fogel ML. 1994. Exceptional molecular preservation in the fossil record: the archaeological, conservation, and scientific challenge. In: Scott DA, und Meyers P (Hrsg.) *Archaeometry of pre-Columbian sites and artifacts: proceedings of a symposium*. Los Angeles: Getty Conservation Institute. S. 367-380.
- Tütken T. 2003. Die Bedeutung der Knochenfrühdigenese für die Erhaltungsfähigkeit in vivo erworbener Element- und Isotopenzusammensetzungen in fossilen Knochen. Dissertation an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen. Geowissenschaftliche Fakultät.
- Tütken T. 2010. Die Isotopenanalyse fossiler Skelettreste - Bestimmung der Herkunft und Mobilität von Menschen und Tieren. Bonn: Steinmann-Institut für Geologie, Mineralogie und Paläontologie, Poppelsdorfer Schloss, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. S. 51.
- Tütken T, Langenegger E, und Wild W. 2008a. Einheimisch oder fremd? Isotopenanalyse eines Frauenskelettes des 9. Jahrhunderts n. Chr. aus Elsau, Kanton Zürich, Schweiz. *Anthropologischer Anzeiger* 66(1):1-32.
- Tütken T, Pfretzschner HU, Vennemann TW, Sun G, und Wang YD. 2004. Paleobiology and skeletochronology of Jurassic dinosaurs: implications from the histology and oxygen isotope compositions of bones. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 206(3-4):217-238.
- Tütken T, Vennemann TW, Janz H, und Heizmann EPJ. 2006. Palaeoenvironment and palaeoclimate of the Middle Miocene lake in the Steinheim basin, SW Germany: A reconstruction from C, O, and Sr isotopes of fossil remains. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 241(3-4):457-491.
- Tütken T, Vennemann TW, und Pfretzschner H-U. 2008b. Analyse stabiler und radiogener Isotope in archäologischem Skelettmaterial: Herkunftsbestimmung des karolingischen Maultiers von Frankenthal und Vergleich mit spätpleistozänen Großsäugerknochen aus den Rheinablagerungen. *Prähistorische Zeitschrift* 79(1):89-110.
- Tütken T, Vennemann TW, und Pfretzschner HU. 2008c. Early diagenesis of bone and tooth apatite in fluvial and marine settings: Constraints from combined oxygen isotope, nitrogen and REE analysis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 266(3-4):254-268.
- Ubelaker DH, Buchholz BA, und Stewart JEB. 2006. Analysis of Artificial Radiocarbon in Different Skeletal and Dental Tissue Types to Evaluate Date of Death. *Journal of Forensic Sciences* 51:484-488.
- Ufrecht W, und Hölzl S. 2006. Salinare Mineral- und Thermalwässer im Oberen Muschelkalk (Trias) im Großraum Stuttgart – Rückschlüsse auf Herkunft und Entstehung mit Hilfe der ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr-Strontium-Isotopie. *Zeitschrift der deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften* 157(2):299-316.
- Vennemann TW, und Hegner E. 1998. Oxygen, strontium, and neodymium isotope composition of fossil shark teeth as a proxy for the palaeoceanography and palaeoclimatology of the Miocene

- northern Alpine Paratethys. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 142(3-4):107-121.
- Voerkelius S, Lorenz GD, Rummel S, Quétel CR, Heiss G, Baxter M, Brach-Papa C, Deters-Itzelsberger P, Hölzl S, Hoogewerff J et al. . 2010. Strontium isotopic signatures of natural mineral waters, the reference to a simple geological map and its potential for authentication of food. *Food Chemistry* 118(4):933-940.
- Vogel JC, Eglinton B, und Auret JM. 1990. Isotope fingerprints in elephant bone and ivory. *Nature* 346(6286):747-749.
- Vohberger. 2005. Rekonstruktion von Migration im Flachgräberlatène anhand stabiler Sauerstoff- und Strontiumisotope. Diplomarbeit an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Institut für Anthropologie und Humangenetik.
- von Grafenstein U, Erlenkeuser H, Müller J, Trimborn P, und Alefs J. 1996. A 200 year mid-European air temperature record preserved in lake sediments: An extension of the $\delta^{18}\text{O}_p$ -air temperature relation into the past. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60(21):4025-4036.
- Wada K, Ohtaishi N, und Hachiya N. 1978. Determination of age in the Japanese monkey from growth layers in the dental cementum. *Primates* 19(4):775-784.
- Wang Y, und Cerling TE. 1994. A model of fossil tooth and bone diagenesis: implications for paleodiet reconstruction from stable isotopes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 107(3-4):281-289.
- Weiß S. 2002. Die Versorgung des päpstlichen Hofes in Avignon mit Lebensmitteln (1316-1378). Studien zur Sozial- und Wirtschaftsgeschichte eines mittelalterlichen Hofes. Berlin: Universität Augsburg.
- West JB, Bowen GJ, Dawson TE, und Tu KP (Hrsg.) 2010. *Isoscapes. Understanding movement, pattern, and process on Earth through isotope mapping.* Dordrecht Heidelberg London New York: Springer. 487 S.
- White CD, Spence MW, Le Q, Stuart-Williams H, und Schwarcz HP. 1998. Oxygen Isotopes and the Identification of Geographical Origins: The Valley of Oaxaca versus the Valley of Mexico. *Journal of Archaeological Science* 25(7):643-655.
- White CD, Spence MW, Longstaffe FJ, und Law KR. 2000. Testing the Nature of Teotihuacan Imperialism at Kaminaljuyu Using Phosphate Oxygen-Isotope Ratios. *Journal of Anthropological Research* 56(4):535-558.
- White WM. 2009. *Geochemistry.* <http://www.imwa.info/Geochemie/Chapters.html>. John-Hopkins University Press. (Letzter Zugriff: 01.12.2010)
- White WM, Schilling JG, und Hart SR. 1976. Evidence for the Azores mantle plume from strontium isotope geochemistry of the Central North Atlantic. *Nature* 263(5579):659-663.
- Wiedemann FB, Bocherens H, Mariotti A, Driesch Avd, und Grupe G. 1999. Methodological and Archaeological Implications of Intra-tooth Isotopic Variations ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) in Herbivores from Ain Ghazal (Jordan, Neolithic). *Journal of Archaeological Science* 26(6):697-704.
- Wild EM, Arlamovsky KA, Golser R, Kutschera W, Priller A, Puchegger S, Rom W, Steier P, und Vycudilik W. 2000. ^{14}C dating with the bomb peak: An application to forensic medicine. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 172(1-4):944-950.
- Wise SA, und Watters RLJ. 2007. Certificate of Analysis Standard Reference Material 987 Strontium Carbonate. National Institute of Standards & Technology. USA.
- Wiskemann H. 1859. Die antike Landwirtschaft und das von Thünen'sche Gesetz. Aus den alten Schriftstellern dargelegt. Leipzig: Hirzel.
- Wittwer-Backofen U, Gampe J, und Vaupel JW. 2004. Tooth cementum annulation for age estimation: Results from a large known-age validation study. *American Journal of Physical Anthropology* 123:119-129.
- Wright LE, und Schwarcz HP. 1998. Stable carbon and oxygen isotopes in human tooth enamel: Identifying breastfeeding and weaning in prehistory. *American Journal of Physical Anthropology* 106:1-18.
- Wright LE, und Schwarcz HP. 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):1159-1170.
- Wurm H. 2001. Vorarbeiten zu einer konstitutionell anwendbaren Ernährungsgeschichte des mitteleuropäischen Früh- und beginnenden Hochmittelalters. *Würzburger medizinhistorische Mitteilungen.* S. 184-237.

- Yakir D. 1992. Variations in the natural abundance of oxygen-18 and deuterium in plant carbohydrates. 15:1005-1020.
- Yoshida N, und Miyazaki N. 1991. Oxygen Isotope Correlation of Cetacean Bone Phosphate With Environmental Water. *Journal of Geophysical Research* 96(C1):815-820.
- Zazzo A, Balasse M, Passey BH, Moloney AP, Monahan FJ, und Schmidt O. 2010. The isotope record of short- and long-term dietary changes in sheep tooth enamel: Implications for quantitative reconstruction of paleodiets. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74(12):3571-3586.

8 ANHANG

8.1 VERWENDETE CHEMIKALIEN, GERÄTE UND SOFTWARE

Tabelle 48 Verwendete Geräte, Materialien und Software

Bezeichnung	Spezifizierung	Firma
Captair SD321	flüssige, gasförmige, feste Chemikalien	erlab
Digitalkamera	Canon EOS 350D, 55-80mm	Canon
Feinwaage	Analytical Plus	OHAUS®
Feststoffmassenspektrometer mit fixem Multikollektor	MAT 261.2	Thermo Finnigan
Filter für Säulen	poröse Platte, HDPE, 35µm	Reichert Chemietechnik GmbH & Co.
Fototisch mit Kamerahalterung	RB 5004HF	Kaiser
Gas-Quellen-IRMS	ThermoFinnigan Five Plus	Thermo Finnigan
Hareus Muffelofen	Typ M 104	Hareus
Heizplatte	Typ CP 300, säureresistent	Roth
Kugelschwingmühle	Typ MM200	Retsch
Laborglaswaren		Schott Duran
Lyophilisator	Alpha 1-4 LD-2	CHRIST®
Mahlbecher und Kugeln	Edelstahl, Teflon mit Edelstahlkern	Retsch
Metallmörser und -pistill	Edelstahl, rostfrei	Haustechnik
Nassschleifpapier Tellerschleifmaschine	für Körnung 2000	Struers
PASW Statistics	18.0	SPSS Inc.
pH-Indikatorpapier	Universalindikatorpapier pH 1-11	Macherey-Nagel
Photoshop	CS	Adobe
Porzellanmörser und -pistill		Haidenwanger
Porzellantiegel	Typ C 110	Roth
Rollschüttler	Vibrax VXR basic, Typ VX2	IKA®
Schnappdeckelgläser	Rollrand, 10mL	Roth
Schrumpfschlauch	4:1 Schrumpfrate	Mauritz Communication & Electronics
Teflonröhrchen, 10mL	Oak-Ridge-Zentrifugenröhrchen	Fischer
Teflonspritzflaschen	125mL, 250mL	Roth
Teflonwürfel	5mL	Savillex
Tellerschleifmaschine	DAP-V	Struers
Trockenschrank	Loading Modell 100-800	Memmert
Ultraschallbad		Bachofer
UV-Lampe	366nm, NU-4KL, 2x4 Watt	Benda UV-Strahler
Vakuumpumpe	Haustechnik	
Vortex Mixer	7-2020	neolab
Wägepapier	MN 226 9x11,5cm	Macherey-Nagel
Wolframbändchen	Geologie intern	
Zentrifuge	2K15	Sigma
Zentrifuge	Z233MK-2	Hermle

Tabelle 49 Verwendete Chemikalien und Materialien

Bezeichnung	verwendete Bezeichnung	Eigenschaften	Firma
Ameisensäure	HCOOH	>98%, zur Synthese	Roth
Aceton	Hausversorgung		
Birk'sche Lösung	Geologie intern		
Ca-Acetat-Essigsäure-Puffer	Ca-Acetat-x-Hydrat	pH 4,75, 158,17g ad 1L Aqua deion.	Roth
Natriumhypchloritlösung	NaOCl	4%	Sigma Aldrich
NBS 1400	NBS 1400	Bone Ash	National Bureau of Standards and Technology
NBS 987	NBS 987	Sr 100ppm	National Bureau of Standards and Technology
Salpetersäure reinst	HNO ₃ reinst	≥65%, p.a., ISO	Roth
Salpetersäure Qualität	Supra- HNO ₃ **	69%, D 1,41 g/ml, supra	Roth
Salpetersäure Qualität	Ultra- HNO ₃ ***	69%, D 1,41 g/ml, ultra	Roth
Salzsäure Supra-Qualität	HCl**		Roth
Salzsäure rauchend	HCl reinst	37%, p.a., ACS, ISO	Roth
Säulenmaterial (50-100µm, 25g)	Sr resin Sr spec	Ausbeute >80%	Eichrom
Wasser bidest.	H ₂ O**	zweifach destilliert	Roth
Wasser deion.	H ₂ O	deionisiert	Haustechnik

8.2 TABELLEN AUS DEM METHODENTEIL

Tabelle 50 Zusammenfassung der Kriterien für die Konsistenz von Bodenproben (nach Fitzpatrick 2008)

Klasse	Bezeichnung	Festigkeit bei einem trockenen, 25-30mm großen Fragment	Umweltanzeichen
1	locker	keine blockförmigen Stücke, nur einzelne Körner können zwischen Daumen und Zeigefinger genommen werden	keine Behinderung von Wurzelwachstum für einjährige oder mehrjährigen Pflanzen; keine Begrenzung der Bewässerung
2	weich	zerbricht unter leichtem Druck zwischen Daumen und Zeigefinger	Wurzelwachstum von einjährigen und mehrjährigen Pflanzen ist möglich; leichte Einschränkung der Bewässerung; Wasser ist zugänglich für die meisten Feldfrüchte und Bäume
3	fest	zerbricht unter gemäßigtem bis starkem Druck zwischen Daumen und Zeigefinger	Die Bewässerung kann partiell eingeschränkt sein, wodurch regelmäßiger Wasserrückstau entsteht
4	sehr hart	kann nicht zwischen Daumen und Zeigefinger zerdrückt werden; nur durch Einsatz des vollen Körpergewichts unter dem Fuß	Wurzelwachstum der meisten Pflanzen ist eingeschränkt; Bewässerung kann eingeschränkt sein
5	rigide	kann nicht durch einen Hammer Schlag zerbrochen werden	Wurzelwachstum der meisten Pflanzen ist stark eingeschränkt; Bewässerung ist normal eingeschränkt

Tabelle 51 Beurteilung der Bodentextur anhand der Eigenschaften eines feuchten Klumpens (nach Fitzpatrick 2008). Die zehn Texturgrade können auch in Cluster zusammengefasst werden, die durch die Rahmen gekennzeichnet sind.

	Textur	Code	Deutsch	Band [mm]	Klumpen	Haptik geschätzter Lehmgehalt	Umweltanzeiger
Sand	Sand	S	Sand	0	keine bis sehr geringe Bindigkeit	kann nicht geformt werden Ton < 5%	minimale Behinderung von Wurzelwachstum bei einjährigen und mehrjährigen Pflanzen; mäßige Empfänglichkeit für mechanische Verdichtung; keine Beschränkung von Bewässerung; regelmäßiger Wasserstress, da der Boden sehr leicht entwässert
	loamy sand	LS	Lehmhaltiger Sand	5	keine bis sehr geringe Bindigkeit	kann nicht geformt werden; Ton 5-10%	wie oben
	clayey sand	CS	Tonhaltiger Sand	5-15	sehr geringe Bindigkeit	kann nicht geformt werden; Ton 5-10%	wie oben
Sandiger Lehm	Sandy loam	SL	sandiger Lehm	15-25	geringe Bindigkeit	sandig Ton 10-20%	keine Einschränkung von Wurzelwachstum, aber hohe Empfänglichkeit für mechanische Verdichtung; geringe Beschränkung von Bewässerung; Wasser ist für die meisten Feldfrüchte und Bäume verfügbar; Boden kann entwässern, aber nicht schnell
Lehm	Loam	L	Lehm	25	bindig und leicht schwammig	glatt; schmierig bei organischem Gehalt Ton ~25%	keine Einschränkung von Wurzelwachstum, mäßige Empfänglichkeit für mechanische Verdichtung
	Silty loam	ZL	Schlammiger Lehm	25	bindig und leicht schwammig	wie oben, aber etwas seidiger	wie oben
	Sandy clay loam	SCL	sandiger Lehmtone	25-40	sehr fest	sandig; mittlere Sandkörner in feiner Matrix; Ton 20-30%	wie oben
Lehmton	Clay loam	CL	Lehmton	40-50	fest und formbar	einfach zu formen Ton 30-35%	wie oben
leichte Tonerde	Light clay	LC	leichte Tonerde	50-75	formbar	glatt; leicht zwischen Daumen und Zeigefinger zu zerdrücken Ton 35-40%	Wurzelwachstum von einjährigen und mehrjährigen Pflanzen ist eingeschränkt; mäßige Empfänglichkeit für mechanische Verdichtung; Bodenwasser ist verfügbar für die meisten Feldfrüchte und Bäume; regelmäßiger Wasserrückstau
mittlere bis schwere Tonerde	Medium clay	MC	mittlere Tonerde	>75	weich formbar	kann in Bänder geformt werden ohne zu zerreißen; etwas Resistenz gegen Fingerdruck Ton 45-55%	Wurzelwachstum der meisten Arten ist mäßig bis stark eingeschränkt; geringe Empfänglichkeit für mechanische Verdichtung; sehr langsame Entwässerung
	Heavy clay	HC	schwere Tonerde	>75	weich formbar	kann in Bänder geformt werden ohne zu zerreißen; starke Resistenz gegen Fingerdruck Ton >55%	wie oben

8.3 TABELLEN ZUM THEMENBEREICH STRONTIUMISOTOPE

Tabelle 52 Ergebnisse der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Messung des Laborstandards SRM 1400

SRM 1400	Messung	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	1SD	2SE	2SE%
1	19.05.09	0,71313	0,000076	0,000026	0,0036
2	09.04.09	0,71304	0,000097	0,000032	0,0045
3	18.02.09	0,71299	0,000215	0,000075	0,0105
4	22.04.09	0,71308	0,000070	0,000024	0,0033
5	09.04.09	0,71298	0,000097	0,000034	0,0047
6	14.05.09	0,71283	0,000087	0,000029	0,0041
7	09.07.09	0,71285	0,000174	0,000060	0,0084
8	13.07.09	0,71292	0,000085	0,000029	0,0040
9	13.07.09	0,71301	0,000067	0,000023	0,0032
10	13.07.09	0,71295	0,000137	0,000046	0,0065
11	13.07.09	0,71298	0,000082	0,000027	0,0038
12	16.02.10	0,71313	0,000197	0,000070	0,0098
13	09.02.10	0,71316	0,000044	0,000016	0,0023
14	09.02.10	0,71316	0,000070	0,000025	0,0035
15	09.02.10	0,71309	0,000171	0,000060	0,0085
16	30.07.10	0,71315	0,000072	0,000026	0,0036
17	30.07.10	0,71311	0,000060	0,000022	0,0031
18	30.07.10	0,71307	0,000094	0,000033	0,0047
	Mittelwert	0,713035	0,000105	0,000037	0,0051

Tabelle 53 Ergebnisse der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Messung des Messstandards SRM 987

SRM 987	Messung	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	1SD	2SE	2SE%
1	18.2.2009	0,710240	0,000058	0,000021	0,0029
2	07.04.09	0,710284	0,000055	0,000019	0,0027
3	09.04.09	0,710248	0,000052	0,000018	0,0025
4	22.04.09	0,710285	0,000061	0,000020	0,0029
5	29.04.09	0,710316	0,000072	0,000024	0,0034
6	05.05.09	0,710257	0,000070	0,000024	0,0034
7	06.05.09	0,710262	0,000095	0,000032	0,0045
8	13.05.09	0,710244	0,000061	0,000021	0,0029
9	13.05.09	0,710317	0,000307	0,000104	0,0146
10	14.05.09	0,710296	0,000113	0,000039	0,0055
11	19.05.09	0,710284	0,000072	0,000025	0,0035
12	20.05.09	0,710238	0,000130	0,000043	0,0061
13	28.05.09	0,710305	0,000042	0,000020	0,0028
14	01.07.09	0,710266	0,000079	0,000027	0,0038
15	07.07.09	0,710249	0,000070	0,000025	0,0035
16	15.07.09	0,710244	0,000084	0,000029	0,0041
17	14.10.09	0,710272	0,000058	0,000021	0,0029
18	16.10.09	0,710270	0,000049	0,000017	0,0024
19	16.02.10	0,710272	0,000047	0,000016	0,0023
20	09.02.10	0,710288	0,000038	0,000014	0,0019
21	09.02.10	0,710288	0,000038	0,000014	0,0019
22	16.02.10	0,710272	0,000047	0,000016	0,0023
23	03.03.10	0,710293	0,000040	0,000014	0,0020
24	09.03.10	0,710291	0,000050	0,000018	0,0025
25	16.03.10	0,710256	0,000043	0,000013	0,0018
26	01.04.10	0,710277	0,000053	0,000020	0,0027
27	09.04.10	0,710255	0,000052	0,000019	0,0026
28	19.04.10	0,710234	0,000047	0,000017	0,0024
29	26.04.10	0,710270	0,000047	0,000017	0,0024

30	03.05.10	0,710244	0,000048	0,000017	0,0024
31	10.05.10	0,710285	0,000055	0,000020	0,0028
32	27.05.10	0,710248	0,000041	0,000015	0,0020
33	28.05.10	0,710271	0,000055	0,000020	0,0028
	Mittelwert	0,710270	0,000068	0,000024	0,0033

Tabelle 54 Überprüfung der Strontiumergebnisse von Wenigumstadt auf Normalverteilung durch einen Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest.

n = 137

Parameter der Normalverteilung	Mittelwert	0,70982
Standardabweichung		0,00084
Kolmogorov-Smirnov-Z		2,038
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		0,000

Tabelle 55 Gewichteter Mittelwert nach dem σ -outlier-Test. Der gewichtete Fehler basiert auf dem Messfehler. Allerdings sind die Grenzwerte dadurch zu eng gefasst.

Mean (weighted)	error (weighted) 1s or 2s	(95%) Student's T error (2s)	cut-off value (mean + STDev * σ -test value)	cut-off value (mean - STDev * σ -test value)
0,709673	0,000007	0,000001	0,70969	0,70966

Tabelle 56 Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest zur Überprüfung der Normalverteilung der Strontiumisotopendaten der Bodenproben aus Wenigumstadt. Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von Sr ist eine Normalverteilung mit dem Mittelwert 0,709 und der Standardabweichung 0.	Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe	,897	Nullhypothese beibehalten

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

8.4 TABELLEN UND ABBILDUNGEN AUS DEM THEMENBEREICH LEICHTE ISOTOPE (O, C)

Tabelle 57 Test der Homogenität der Varianzen der Sauerstoffisotopenverteilungen (ZS) in den einzelnen Phasen von Wenigumstadt. Daten, deren zeitliche Zuordnung nicht klar ist, wurden nicht berücksichtigt (nd, n = 12).

	Statistik	df1	df2	Signifikanz
Levene-Test	0,388	12	156	0,966

Tabelle 58 Oneway ANOVA zur Überprüfung der Gleichheit der $\delta^{18}\text{O}$ -Varianzen in den einzelnen Phasen (1-15). Daten, deren zeitliche Einordnung nicht klar ist, wurden nicht berücksichtigt (nd, n = 12).

	Quadrat-summe	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	12,5	12	1,038	1,125	0,344
Innerhalb der Gruppen	144,0	156	0,923		
Gesamt	156,5	168			

Tabelle 59 Korrelation nach Spearman zwischen den Sauerstoffisotopen der lokalen Individuen (n=94) und den einzelnen Phasen von Wenigumstadt.

		$\delta^{18}\text{O}$	Phase
Spearman $\delta^{18}\text{O}$ -Rho	Korrelationskoeffizient	1,000	-0,112
	Sig. (2-seitig)	-	0,297
	n	94	94
Phase	Korrelationskoeffizient	-0,112	1,000
	Sig. (2-seitig)	0,297	-
	n	94	94

Tabelle 60 Ergebnisse der Umrechnungen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ in V-PDB in $\delta^{18}\text{O}_{\text{mw}}$ in V-SMOW mit verschiedenen Gleichungen. Formeln siehe Abbildung 51.

	Messwerte	1	2	3	4	5a	5b	5c
Grab	$\delta^{18}\text{O}$ V-PDB	PDB in SMOW	Phosphat	Wasser	Wasser 2	Wasser 3	Wasser 3b (1,45; -35,23)	Wasser 3c (1,63; -32,21)
WU 76b	-9,28	21,23	12,31	-15,72	-12,90	-14,77	-12,15	-17,38
WU 39	-9,27	21,24	12,32	-15,70	-12,89	-14,75	-12,13	-17,37
WU 174	-9,26	21,25	12,33	-15,69	-12,88	-14,74	-12,12	-17,36
WU 216	-9,07	21,46	12,53	-15,38	-12,62	-14,43	-11,79	-17,07
WU 85	-9,00	21,52	12,59	-15,28	-12,54	-14,33	-11,69	-16,97
WU 140	-8,99	21,53	12,60	-15,27	-12,53	-14,32	-11,67	-16,96
WU 202	-8,99	21,53	12,60	-15,27	-12,53	-14,32	-11,67	-16,96
WU 134	-8,86	21,67	12,73	-15,06	-12,35	-14,11	-11,45	-16,77
WU 13	-8,65	21,88	12,95	-14,72	-12,08	-13,78	-11,11	-16,46
WU 40	-8,60	21,94	13,00	-14,64	-12,01	-13,70	-11,02	-16,38
WU 200	-8,58	21,96	13,02	-14,61	-11,99	-13,67	-10,99	-16,35
WU 242	-8,51	22,03	13,09	-14,50	-11,90	-13,56	-10,88	-16,25

WU 87	-8,49	22,05	13,11	-14,47	-11,87	-13,53	-10,84	-16,22
WU 06	-8,49	22,05	13,11	-14,46	-11,87	-13,53	-10,84	-16,22
WU 119	-8,46	22,08	13,14	-14,42	-11,83	-13,48	-10,79	-16,18
WU 60B	-8,46	22,09	13,15	-14,41	-11,82	-13,47	-10,78	-16,17
WU 229	-8,28	22,27	13,33	-14,13	-11,60	-13,20	-10,49	-15,91
WU 142	-8,27	22,29	13,34	-14,11	-11,58	-13,18	-10,47	-15,89
WU 70	-8,25	22,30	13,36	-14,08	-11,56	-13,15	-10,44	-15,86
WU 243	-8,23	22,32	13,37	-14,06	-11,53	-13,13	-10,41	-15,84
WU 226	-8,15	22,41	13,46	-13,93	-11,43	-13,00	-10,27	-15,72
WU 212	-8,08	22,47	13,52	-13,82	-11,34	-12,89	-10,16	-15,62
WU 180	-8,05	22,51	13,56	-13,76	-11,29	-12,83	-10,10	-15,56
WU 66	-8,02	22,54	13,59	-13,71	-11,25	-12,79	-10,05	-15,52
WU 139	-8,01	22,55	13,60	-13,70	-11,24	-12,78	-10,04	-15,51
WU 71	-7,99	22,57	13,62	-13,67	-11,22	-12,75	-10,01	-15,48
WU 241	-7,98	22,58	13,63	-13,66	-11,21	-12,74	-10,00	-15,47
WU 44	-7,97	22,59	13,64	-13,64	-11,19	-12,72	-9,98	-15,45
WU 244	-7,96	22,61	13,65	-13,62	-11,18	-12,69	-9,96	-15,43
WU 220	-7,89	22,67	13,72	-13,52	-11,09	-12,59	-9,85	-15,34
WU 240	-7,87	22,69	13,74	-13,49	-11,07	-12,56	-9,82	-15,31
WU 255	-7,86	22,71	13,76	-13,46	-11,04	-12,53	-9,79	-15,28
WU 152	-7,84	22,73	13,78	-13,43	-11,02	-12,50	-9,75	-15,25
WU 222	-7,83	22,74	13,78	-13,42	-11,01	-12,50	-9,75	-15,25
WU 35	-7,83	22,74	13,79	-13,41	-11,00	-12,49	-9,73	-15,24
WU 64	-7,81	22,76	13,81	-13,38	-10,98	-12,46	-9,71	-15,21
WU 22/23	-7,80	22,77	13,82	-13,37	-10,97	-12,44	-9,69	-15,20
WU 31	-7,79	22,78	13,83	-13,35	-10,95	-12,43	-9,67	-15,18
WU 23	-7,79	22,78	13,83	-13,35	-10,95	-12,43	-9,67	-15,18
WU 141	-7,78	22,79	13,83	-13,34	-10,95	-12,42	-9,67	-15,18
WU 194	-7,78	22,79	13,83	-13,34	-10,94	-12,42	-9,66	-15,17
WU 86	-7,78	22,79	13,83	-13,34	-10,94	-12,41	-9,66	-15,17
WU 143	-7,76	22,81	13,86	-13,30	-10,92	-12,38	-9,63	-15,14
WU 59	-7,76	22,81	13,86	-13,30	-10,92	-12,38	-9,62	-15,14
WU 118	-7,76	22,81	13,86	-13,30	-10,92	-12,38	-9,62	-15,14
WU 50	-7,76	22,82	13,86	-13,30	-10,91	-12,38	-9,62	-15,13
WU 211	-7,75	22,82	13,86	-13,29	-10,91	-12,37	-9,62	-15,13
WU 217	-7,75	22,82	13,87	-13,28	-10,90	-12,36	-9,61	-15,12
WU 256	-7,74	22,83	13,87	-13,27	-10,89	-12,35	-9,59	-15,11
WU 108	-7,74	22,83	13,88	-13,27	-10,89	-12,35	-9,59	-15,11
WU 137	-7,72	22,85	13,89	-13,25	-10,87	-12,32	-9,56	-15,09
WU 177	-7,71	22,87	13,91	-13,22	-10,85	-12,30	-9,54	-15,06
WU 245	-7,60	22,98	14,02	-13,05	-10,71	-12,14	-9,36	-14,91
WU 185	-7,60	22,98	14,02	-13,05	-10,71	-12,13	-9,36	-14,90
WU 251	-7,60	22,98	14,02	-13,05	-10,71	-12,13	-9,36	-14,90
WU 122	-7,59	22,98	14,02	-13,04	-10,70	-12,12	-9,35	-14,90
WU 189	-7,59	22,99	14,03	-13,03	-10,69	-12,11	-9,34	-14,88
WU 81	-7,58	22,99	14,03	-13,02	-10,69	-12,11	-9,33	-14,88
WU 17	-7,57	23,01	14,05	-13,00	-10,67	-12,08	-9,31	-14,86
WU 188B	-7,56	23,01	14,05	-12,99	-10,66	-12,08	-9,30	-14,85
WU 32	-7,55	23,03	14,07	-12,96	-10,64	-12,05	-9,27	-14,82
WU 121/1	-7,52	23,05	14,09	-12,93	-10,61	-12,02	-9,24	-14,79
WU 20	-7,52	23,06	14,10	-12,92	-10,60	-12,00	-9,23	-14,78

WU 68	-7,52	23,06	14,10	-12,92	-10,60	-12,00	-9,22	-14,78
WU 65B	-7,51	23,07	14,11	-12,91	-10,59	-11,99	-9,21	-14,77
WU 07	-7,50	23,09	14,12	-12,88	-10,57	-11,97	-9,19	-14,75
WU 101	-7,48	23,10	14,13	-12,87	-10,56	-11,95	-9,17	-14,73
WU 191	-7,46	23,12	14,16	-12,83	-10,53	-11,91	-9,13	-14,70
WU 169	-7,44	23,14	14,18	-12,80	-10,50	-11,89	-9,10	-14,67
WU 103B	-7,44	23,14	14,18	-12,80	-10,50	-11,89	-9,10	-14,67
WU 145	-7,43	23,16	14,19	-12,78	-10,48	-11,86	-9,08	-14,65
WU 14	-7,42	23,16	14,20	-12,77	-10,48	-11,85	-9,07	-14,64
WU 161A	-7,40	23,18	14,22	-12,74	-10,45	-11,82	-9,03	-14,61
WU 247	-7,40	23,18	14,22	-12,73	-10,45	-11,82	-9,03	-14,61
WU 89	-7,39	23,19	14,23	-12,72	-10,44	-11,81	-9,02	-14,60
WU 158	-7,38	23,20	14,24	-12,71	-10,43	-11,79	-9,00	-14,59
WU 104	-7,37	23,22	14,26	-12,68	-10,40	-11,77	-8,97	-14,56
WU 12	-7,36	23,23	14,27	-12,66	-10,39	-11,75	-8,96	-14,55
WU 188A	-7,34	23,24	14,28	-12,65	-10,38	-11,73	-8,94	-14,53
WU 57	-7,33	23,26	14,29	-12,62	-10,35	-11,71	-8,91	-14,50
WU 106	-7,32	23,27	14,30	-12,61	-10,34	-11,69	-8,90	-14,49
WU 162	-7,28	23,31	14,35	-12,54	-10,29	-11,63	-8,83	-14,43
WU 131	-7,20	23,39	14,42	-12,42	-10,19	-11,51	-8,71	-14,32
WU 25	-7,20	23,39	14,42	-12,42	-10,19	-11,51	-8,70	-14,32
WU 01	-7,13	23,46	14,49	-12,31	-10,10	-11,40	-8,59	-14,21
WU 254 A	-7,12	23,47	14,50	-12,29	-10,08	-11,38	-8,57	-14,20
WU 184	-7,11	23,49	14,52	-12,27	-10,07	-11,36	-8,55	-14,18
WU 112	-7,09	23,51	14,54	-12,24	-10,04	-11,34	-8,52	-14,15
WU 210a	-7,08	23,51	14,54	-12,23	-10,04	-11,33	-8,51	-14,14
WU 19	-7,08	23,51	14,54	-12,23	-10,04	-11,33	-8,51	-14,14
WU 88	-7,08	23,51	14,54	-12,23	-10,03	-11,32	-8,50	-14,14
WU 175	-7,06	23,54	14,57	-12,19	-10,00	-11,29	-8,47	-14,11
WU 171	-7,03	23,57	14,60	-12,15	-9,97	-11,24	-8,42	-14,07
WU 233	-7,03	23,57	14,60	-12,15	-9,97	-11,24	-8,42	-14,06
WU 135	-7,03	23,57	14,60	-12,14	-9,96	-11,24	-8,42	-14,06
WU 132	-7,02	23,57	14,60	-12,14	-9,96	-11,23	-8,41	-14,06
WU 124	-7,01	23,59	14,62	-12,11	-9,94	-11,21	-8,38	-14,04
WU 225	-6,99	23,61	14,64	-12,08	-9,91	-11,17	-8,35	-14,00
WU 02 (5)	-6,98	23,62	14,65	-12,06	-9,90	-11,16	-8,33	-13,99
WU 208	-6,93	23,67	14,70	-11,99	-9,83	-11,08	-8,25	-13,92
WU 99	-6,92	23,68	14,71	-11,98	-9,83	-11,07	-8,24	-13,91
WU 148	-6,91	23,69	14,71	-11,96	-9,81	-11,06	-8,23	-13,89
WU 246	-6,89	23,71	14,74	-11,93	-9,79	-11,03	-8,19	-13,86
WU 42	-6,89	23,71	14,74	-11,92	-9,78	-11,02	-8,19	-13,86
WU 127	-6,86	23,75	14,77	-11,87	-9,74	-10,97	-8,13	-13,81
WU 203	-6,84	23,77	14,79	-11,84	-9,72	-10,94	-8,10	-13,78
WU 159	-6,83	23,78	14,80	-11,83	-9,70	-10,93	-8,08	-13,77
WU 154	-6,82	23,79	14,81	-11,80	-9,69	-10,91	-8,06	-13,75
WU 206	-6,81	23,80	14,82	-11,80	-9,68	-10,90	-8,05	-13,74
WU 09	-6,80	23,81	14,83	-11,78	-9,67	-10,88	-8,04	-13,73
WU 156	-6,79	23,82	14,84	-11,76	-9,65	-10,86	-8,02	-13,71
WU 239	-6,78	23,83	14,85	-11,75	-9,64	-10,85	-8,00	-13,70
WU 178	-6,78	23,83	14,85	-11,74	-9,64	-10,85	-8,00	-13,69
WU 61	-6,75	23,86	14,88	-11,71	-9,61	-10,81	-7,96	-13,66
WU 205	-6,74	23,87	14,89	-11,69	-9,59	-10,79	-7,94	-13,64

WU 250	-6,73	23,88	14,90	-11,68	-9,58	-10,78	-7,93	-13,63
WU 207B	-6,72	23,89	14,91	-11,66	-9,56	-10,76	-7,91	-13,61
WU 79A	-6,72	23,89	14,91	-11,65	-9,56	-10,75	-7,90	-13,61
WU 259	-6,71	23,90	14,92	-11,64	-9,55	-10,74	-7,89	-13,59
WU 05	-6,71	23,90	14,92	-11,64	-9,55	-10,74	-7,89	-13,59
WU 160	-6,68	23,93	14,95	-11,59	-9,51	-10,70	-7,84	-13,55
WU 163	-6,65	23,96	14,98	-11,55	-9,48	-10,65	-7,80	-13,51
WU 153	-6,64	23,97	14,99	-11,52	-9,46	-10,63	-7,77	-13,49
WU 157	-6,63	23,98	15,01	-11,51	-9,44	-10,61	-7,75	-13,47
WU 33	-6,58	24,04	15,06	-11,43	-9,38	-10,53	-7,67	-13,40
WU 166	-6,58	24,04	15,06	-11,43	-9,38	-10,53	-7,67	-13,40
WU 08	-6,57	24,04	15,06	-11,42	-9,37	-10,52	-7,66	-13,39
WU 18	-6,57	24,05	15,07	-11,41	-9,36	-10,52	-7,65	-13,38
WU 84b	-6,55	24,06	15,08	-11,39	-9,35	-10,50	-7,63	-13,36
WU 98	-6,54	24,08	15,10	-11,36	-9,32	-10,47	-7,60	-13,34
WU 138	-6,53	24,09	15,10	-11,35	-9,32	-10,46	-7,59	-13,33
WU 170	-6,52	24,10	15,12	-11,33	-9,30	-10,44	-7,57	-13,31
WU 77	-6,51	24,10	15,12	-11,32	-9,29	-10,43	-7,56	-13,30
WU 48	-6,50	24,12	15,14	-11,30	-9,27	-10,41	-7,54	-13,28
WU 181	-6,49	24,13	15,14	-11,29	-9,27	-10,40	-7,53	-13,27
WU 215	-6,48	24,14	15,15	-11,28	-9,25	-10,39	-7,51	-13,26
WU 52	-6,47	24,15	15,16	-11,26	-9,24	-10,37	-7,50	-13,24
WU 232B	-6,46	24,15	15,17	-11,25	-9,23	-10,36	-7,48	-13,23
WU 38	-6,46	24,16	15,17	-11,25	-9,23	-10,35	-7,48	-13,23
WU 176	-6,45	24,16	15,18	-11,23	-9,22	-10,34	-7,46	-13,22
WU 10	-6,43	24,19	15,21	-11,19	-9,19	-10,30	-7,43	-13,18
WU 26	-6,42	24,20	15,22	-11,18	-9,17	-10,29	-7,41	-13,17
WU 87B	-6,41	24,21	15,22	-11,16	-9,16	-10,27	-7,39	-13,15
WU 249	-6,41	24,22	15,23	-11,15	-9,15	-10,26	-7,38	-13,14
WU 55	-6,40	24,23	15,24	-11,14	-9,14	-10,25	-7,37	-13,13
WU 49	-6,39	24,23	15,25	-11,13	-9,13	-10,24	-7,35	-13,12
WU 28	-6,37	24,25	15,27	-11,10	-9,10	-10,21	-7,32	-13,09
WU 221	-6,37	24,25	15,27	-11,10	-9,10	-10,21	-7,32	-13,09
WU 110	-6,36	24,27	15,28	-11,08	-9,09	-10,19	-7,30	-13,07
WU 63	-6,34	24,29	15,30	-11,04	-9,06	-10,16	-7,27	-13,04
WU 34	-6,32	24,30	15,32	-11,02	-9,04	-10,13	-7,24	-13,02
WU 136	-6,24	24,39	15,40	-10,89	-8,93	-10,00	-7,11	-12,90
WU 15	-6,23	24,39	15,41	-10,88	-8,93	-9,99	-7,10	-12,89
WU 231	-6,22	24,40	15,42	-10,87	-8,92	-9,98	-7,08	-12,88
WU 78	-6,18	24,45	15,46	-10,80	-8,86	-9,91	-7,01	-12,81
WU 109	-6,14	24,49	15,50	-10,73	-8,80	-9,84	-6,94	-12,75
WU 232	-6,13	24,50	15,51	-10,72	-8,79	-9,83	-6,93	-12,74
WU 37	-6,13	24,50	15,51	-10,71	-8,79	-9,83	-6,92	-12,73
WU 186	-6,10	24,54	15,54	-10,67	-8,75	-9,78	-6,87	-12,69
WU 129	-6,10	24,54	15,55	-10,66	-8,75	-9,78	-6,87	-12,69
WU 60A	-6,05	24,59	15,60	-10,58	-8,68	-9,70	-6,79	-12,62
WU 198	-6,04	24,59	15,60	-10,58	-8,68	-9,70	-6,78	-12,61
WU 65A	-6,03	24,60	15,61	-10,56	-8,66	-9,68	-6,76	-12,59
WU 24	-6,03	24,61	15,62	-10,55	-8,66	-9,67	-6,75	-12,58
WU 125	-6,01	24,62	15,63	-10,53	-8,64	-9,65	-6,73	-12,57
WU 53	-6,00	24,63	15,64	-10,51	-8,63	-9,63	-6,71	-12,55
WU 201A	-5,95	24,69	15,70	-10,42	-8,55	-9,54	-6,62	-12,47

WU 115	-5,91	24,73	15,73	-10,37	-8,51	-9,49	-6,57	-12,42
WU 228	-5,88	24,76	15,77	-10,32	-8,46	-9,44	-6,51	-12,37
WU 179	-5,82	24,82	15,83	-10,22	-8,39	-9,34	-6,41	-12,28
WU 199	-5,75	24,89	15,90	-10,12	-8,30	-9,24	-6,30	-12,18
WU 80	-5,73	24,91	15,91	-10,09	-8,28	-9,21	-6,27	-12,16
WU 41	-5,73	24,91	15,92	-10,09	-8,27	-9,21	-6,27	-12,15
WU 16	-5,71	24,94	15,94	-10,05	-8,24	-9,17	-6,23	-12,12
WU 265	-5,69	24,95	15,96	-10,02	-8,22	-9,15	-6,20	-12,10
WU 147	-5,66	24,99	15,99	-9,97	-8,18	-9,10	-6,15	-12,05
WU 04	-5,57	25,08	16,08	-9,83	-8,07	-8,96	-6,00	-11,92
WU 102	-5,54	25,12	16,11	-9,78	-8,02	-8,91	-5,95	-11,87
WU 03	-5,40	25,26	16,25	-9,56	-7,84	-8,69	-5,72	-11,66
WU								
121/2	-5,33	25,33	16,32	-9,45	-7,76	-8,59	-5,61	-11,57
WU 111	-5,31	25,35	16,34	-9,41	-7,72	-8,55	-5,57	-11,53
WU 30	-1,50	29,31	20,22	-3,36	-2,75	-2,58	0,75	-5,91

1) Umrechnung der $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ -Werte in $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ -Werte nach Hoefs (2004)

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}} = (1,03728 \times \delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}) + 30,86 \text{ [‰]}$$

2) Umrechnung von Karbonat (V-SMOW) in Phosphat (V-SMOW) nach Iacumin et al. (1996a)

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}} = 0,98 \times \delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}} - 8,5$$

3) Umrechnung in lokal konsumiertes Wasser nach Longinelli (1984)

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{p}} = \delta^{18}\text{O}_{\text{Water}} \times 0,64 + 22,37 \rightarrow \delta^{18}\text{O}_{\text{water}} = (\delta^{18}\text{O}_{\text{p}} - 22,37) / 0,64$$

4) Umrechnung in lokal konsumiertes Wasser nach Longinelli (1984), modifiziert nach Luz et al. (1984)

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{p}} = \delta^{18}\text{O}_{\text{Water}} \times 0,78 + 22,37 \rightarrow \delta^{18}\text{O}_{\text{water}} = (\delta^{18}\text{O}_{\text{p}} - 22,37) / 0,78$$

5) Umrechnung in lokal konsumiertes Wasser nach Daux et al. (2008)

$$5a) \quad \delta^{18}\text{O}_{\text{mw}} = 1,54(\pm 0,09) \times \delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}} - 33,72(\pm 1,51)$$

$$5b) \quad \delta^{18}\text{O}_{\text{mw}} = 1,45 \times \delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}} - 35,23$$

$$5c) \quad \delta^{18}\text{O}_{\text{mw}} = 1,63 \times \delta^{18}\text{O}_{\text{Phosphat}} - 32,21$$

Abbildung 52 Formeln für die Umrechnung von $\delta^{18}\text{O}$ -V-PDB-Karbonat-Daten in $\delta^{18}\text{O}$ -V-SMOW-Oberflächenwasserwerte, verwendet in Tabelle 60.

Tabelle 61 Korrelation nach Spearman zwischen den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten aus Zahnschmelzapatit und den Phasen.

			$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	Phase
Spearman-Rho	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	Korrelationskoeffizient	1,000	0,187*
		Sig. (2-seitig)		0,012
		n	182	182
Phase	Phase	Korrelationskoeffizient	0,187*	1,000
		Sig. (2-seitig)	0,012	
		n	182	182

* Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).

Tabelle 62 Test auf Homogenität der Varianzen der Sauerstoffisotopen in den einzelnen Zahntypen.

Levene-Test	df1	df2	Signifikanz
0,672	5	173	0,645

Tabelle 63 Einfaktorielle ANOVA zur Überprüfung der Varianzgleichheit der Sauerstoffisotopen zwischen den verschiedenen Zahntypen.

	Quadrat- summe	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	6,83	7	0,97	1,064	0,389
Innerhalb der Gruppen	158,62	173	0,92		

Tabelle 64 Ergebnisse der Berechnung nach dem modifizierten σ -outlier Test für Sauerstoffisotope (n = 94).

$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	1.	2.	3.	4.
MW	-7,22	-7,16	-7,12	-7,10
STABW	0,93	0,86	0,83	0,81
MW+2STABW	-5,37	-5,43	-5,46	-5,48
MW-2STABW	-9,08	-8,88	-8,77	-8,71
MAX	-5,54	-5,54	-5,54	-5,54
MIN	-9,28	-8,99	-8,86	-8,65
Spanne	3,74	3,45	3,32	3,11

Tabelle 65 Vergleich der $\delta^{18}\text{O}$ -Mittelwerte von lokalen Individuen in den Phasen nach Stauch (2004).

Phase	n	MW $\delta^{18}\text{O}$	Standard- abweichung
nd	5	-7,64	1,16
SD 1	3	-6,71	0,93
SD 2	1	-6,89	
SD 3	2	-7,29	1,37
SD 6	2	-6,08	0,49
SD 7	6	-7,28	1,39
SD 8	7	-7,47	0,55
SD 9	10	-7,02	0,63
WU 10	8	-6,57	0,70
WU 11	12	-7,20	1,10
WU 12	5	-7,05	0,73
WU 13	15	-7,50	0,93
WU 14	6	-7,30	1,16
WU 15	6	-7,50	0,74
Insgesamt	88	-7,20	0,93

8.5 TABELLEN ZU DEN ERGEBNISSEN DER PROBEN AUS VRON UND NEUVILLE-SUR-ESAUT

Tabelle 66 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Gesamtergebnisdaten für Vron und Neuville-sur-Escaut

	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	1SD	2SE	2SE%
Neuville 20	0,709537	0,000077	0,000028	0,0039
Neuville 22	0,709481	0,000049	0,000018	0,0025
Neuville 60	0,708660	0,000070	0,000025	0,0035
Neuville 65	0,708602	0,000044	0,000016	0,0022
Vron 146	0,708900	0,000067	0,000024	0,0034
Vron 180	0,708584	0,000074	0,000027	0,0037
Vron 183	0,708460	0,000072	0,000025	0,0035
Vron 233	0,707973	0,000075	0,000027	0,0038
Vron 260	0,710481	0,000076	0,000027	0,0038
Vron 266	0,708548	0,000147	0,000051	0,0072

Tabelle 67 Gesamtergebnisliste der Isotopendaten für Vron und Neuville-sur-Escaut.

Grab	Geschlecht	Zahn	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Probe	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	$\Delta^{18}\text{O}$	$\Delta^{13}\text{C}$
					V-PDB	V-PDB	[‰]	[‰]
Vron 266	weiblich	2/4	0,70855	ZS	-4,29	-13,27	0,76	0,37
				K	-5,05	-13,63		
Vron 260	männlich	4/3	0,71048	ZS	-5,92	-11,78	0,69	-1,23
				K	-6,61	-10,55		
Vron 233	männlich	4/6	0,70797	ZS	-5,57	-11,85	0,79	-0,42
				K	-6,36	-11,43		
Vron 183	weiblich	1/4	0,70846	ZS	-4,26	-12,81	1,61	-0,01
				K	-5,87	-12,79		
Vron 180	männlich	4/8	0,70858	ZS	-5,10	-13,48	2,22	-0,18
				K	-7,32	-13,29		
Vron 146	weiblich	4/4	0,70890	ZS	-5,49	-12,56	0,77	-0,64
				K	-6,26	-11,92		
Neuville 65	männlich	2/6	0,70860	ZS	-5,37	-13,46	-0,35	0,33
				K	-5,02	-13,80		
Neuville 60	männlich	4/3	0,70866	ZS	-5,32	-13,30	0,17	0,51
				K	-5,49	-13,81		
Neuville 22	männlich	3/4	0,70948	ZS	-5,23	-12,70	-0,27	0,79
				K	-4,96	-13,50		
Neuville 20	weiblich	1/4	0,70954	ZS	-4,35	-12,53	-0,07	0,71
				K	-4,28	-13,24		

Tabelle 68 Levene-Test auf Homogenität der Sauerstoffdifferenzen ($\Delta^{18}\text{O}$) zwischen Knochen und Zahnschmelz der Proben aus Vron und Neuville-sur-Escaut.

Levene-Statistik	df1	df2	Signifikanz
5,133	1	8	0,053

Tabelle 69 Oneway ANOVA zum Mittelwertvergleich der $\Delta^{18}\text{O}$ -Werte zwischen Knochen und Zahnschmelz zwischen Vron und Neuville-sur-Escaut.

	Quadrat-summe	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	3,871	1	3,871	14,369	0,005
Innerhalb der Gruppen	2,155	8	0,269		

8.6 ABBILDUNGEN

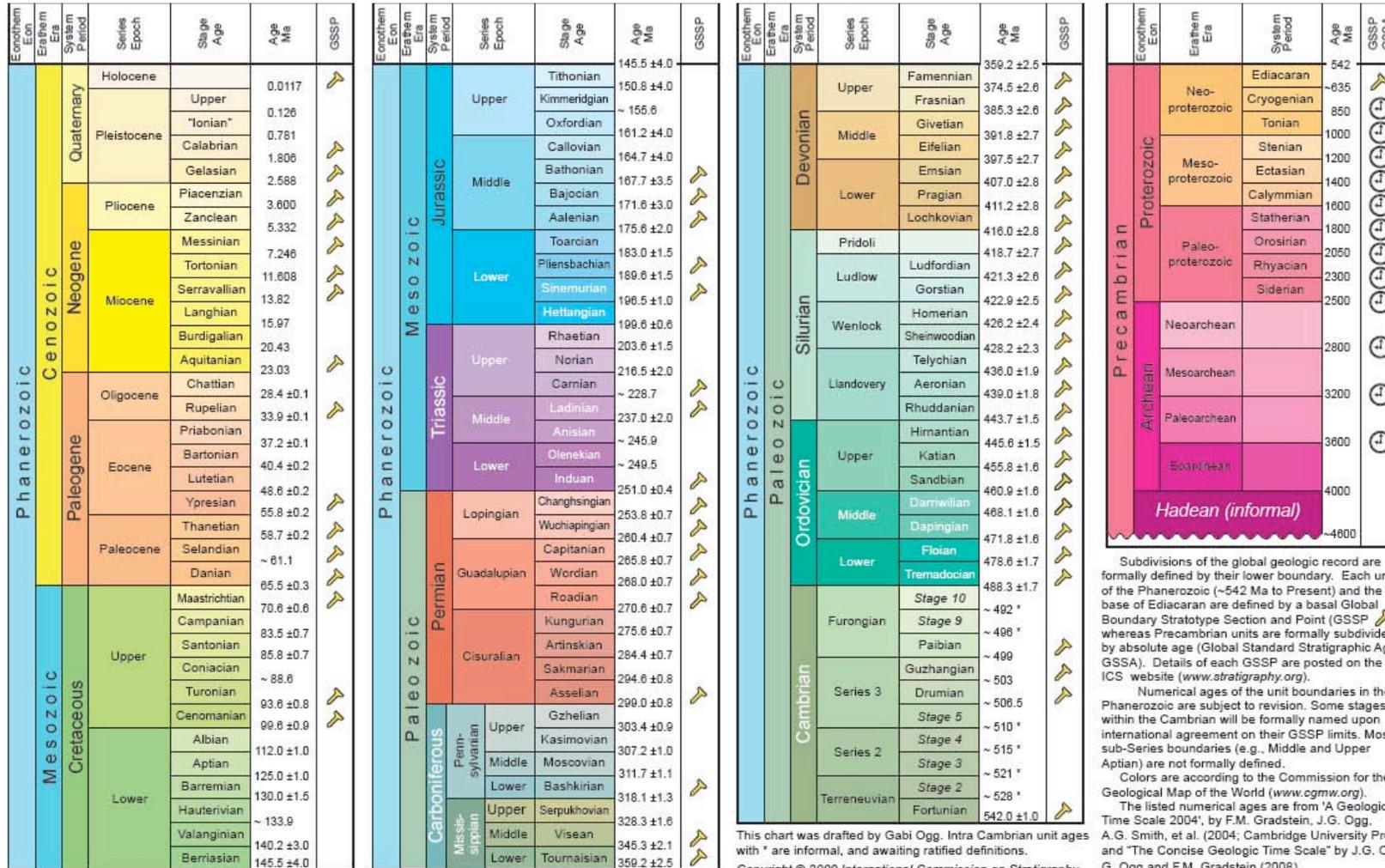


Abbildung 53 Stratigraphische Tabelle der Gesteine im Laufe der Erdgeschichte. Die Farben entsprechen den offiziellen Vorgaben der Kommission für die Geologische Weltkarte (Bouysse 2009; CGMW).

Subdivisions of the global geologic record are formally defined by their lower boundary. Each unit of the Phanerozoic (~542 Ma to Present) and the base of Ediacaran are defined by a basal Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP), whereas Precambrian units are formally subdivided by absolute age (Global Standard Stratigraphic Age, GSSA). Details of each GSSP are posted on the ICS website (www.stratigraphy.org).

Numerical ages of the unit boundaries in the Phanerozoic are subject to revision. Some stages within the Cambrian will be formally named upon international agreement on their GSSP limits. Most sub-Series boundaries (e.g., Middle and Upper Aptian) are not formally defined.

Colors are according to the Commission for the Geological Map of the World (www.cgmw.org).

The listed numerical ages are from 'A Geologic Time Scale 2004', by F.M. Gradstein, J.G. Ogg, A.G. Smith, et al. (2004; Cambridge University Press) and 'The Concise Geologic Time Scale' by J.G. Ogg, G. Ogg and F.M. Gradstein (2008).

This chart was drafted by Gabi Ogg. Intra Cambrian unit ages with * are informal, and awaiting ratified definitions.
Copyright © 2009 International Commission on Stratigraphy

8.7 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1 Darstellung der wichtigsten Namen und Ereignisse vor und während der Belegungszeit der Gräberfelder in Wenigumstadt, Vron und Neuville-sur-Escaut.	15
Abbildung 2 Mineralisationsdauer der einzelnen Zahntypen in Jahren nach der Geburt (Schulz 2006, nach Schroeder 2000).....	23
Abbildung 3 Strontiumisotopenevolution. Genese des $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisses der gesamten Erde, Entstehung der Erdkruste mit hohen Rb/Sr-Verhältnissen (vor 3,8 Mrd. Jahren), Entstehung des daraus resultierenden Erdmantels und eines Mantels, der kontinuierlich an Rb abgereichert wird. 'BABI' bedeutet 'basaltic achondrite best initial' und ist das mutmaßliche Anfangs- $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis des Sonnensystems (aus White 2009).....	29
Abbildung 4 Strontiumisotopenverhältnisse der wichtigsten geologischen Einheiten Südwestdeutschlands. Die schwarzen Balken für die Gesteinswerte orientieren sich an Mittelwerten verschiedener Literaturdaten. Die Sterne stehen für Werte aus Zahnschmelz bodengelagerter, ortskonstant lebender Fauna (aus Price et al. 2003).....	33
Abbildung 5 Hydrochemisches Budget für Sr (g/ha pro Jahr, Zahlen) (Beispiel am Strengbach, Vogesen aus Probst et al. 2000). Jedes System wird als Reservoir betrachtet, wobei Input und Output als g/ha pro Jahr (Zahlen) angegeben sind. Die Anteile an Inputs und Outputs durch Verwitterung und Austausch (zum Beispiel zum tiefgelegenen Sapropel oder oberen Bodenschichten) sind in Prozentzahlen angegeben (nach Probst et al. 2000, modifiziert durch Bentley 2006).....	34
Abbildung 6 Messdaten des Trace Projektes (aus Voerkelius et al. 2010). Die farbigen Punkte markieren die Herkunftsgebiete verschiedener Mineralwasser.	36
Abbildung 7 Geologische Karte Westeuropas in Farbe. Modifiziert nach Asch 2005, BGR Hannover. Massstab 1 : 5000000. Die Farben orientieren sich an der standardisierten Farbgebung für geologische Zeitalter (siehe Anhang).	37
Abbildung 8 Geologische Karte Westeuropas in schwarz-weiß, mit eingetragenen Strontiummessdaten aus der Literatur (Tabelle 2). Modifiziert nach Asch 2005, BGR Hannover. Maßstab 1 : 5000000. Die Farbe der einzelnen Punkte entspricht dem Farbcode in der Legende. 38	
Abbildung 9 Konturlinien der extrapolierten $\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$-Werte des Jahresniederschlags in Deutschland (verändert nach Tütken et al. 2004). Die eingetragenen Wertepunkte stammen aus Bentley und Knipper (2005), die Sauerstoff aus Karbonat von Schweinehänen extrahierten und in $\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$ -Werte in V-SMOW umrechneten. Schnellerts ist eine mittelalterliche Fundstelle, während die anderen drei (Goddellau, Bruchenbrücken und Schwanfeld) in das Neolithikum (LBK) datieren. WU bezeichnet den Ort Wenigumstadt.	46
Abbildung 10 $\delta^{13}\text{C}$-Verteilung in verschiedenen Habitaten. Einfache Pfeile zeigen CO_2 -Flüsse. Doppelpfeile stehen für Gleichgewichtsfractionierungen. Zahlen stehen für $\delta^{13}\text{C}$ -Werte (‰). Zahlen bei Pfeilen zeigen Fraktionierungen an (‰) während des Kohlenstofftransports (aus Peterson und Fry 1987).	50

- Abbildung 11 Die Lage Wenigumstadts und des frühmittelalterlichen Bestattungsortes (Pfeil).**
Maßstab etwa 1:50000 (aus Stauch 2004)..... 55
- Abbildung 12 Lage Wenigumstadts in Bezug zum obergermanisch-rätischen Limes im 3. Jhdt. n.Chr. (dunkelrot) und im 5. Jhdt. n. Chr. (grau, entlang dem Rhein) (modifiziert nach Schach-Döriges 2001).** 56
- Abbildung 13 Gesamtplan der Befunde auf dem Gräberfeld Wenigumstadt (modifiziert nach Stauch 2004).**..... 57
- Abbildung 14 Gesamtgrabplan von Wenigumstadt mit alterbestimmten Individuen nach TCA. Rot hervorgehoben sind die älteren Individuen über 55 Jahre, hellrot diejenigen zwischen 50 und 55.**..... 61
- Abbildung 15 Markierte Bodenproben im Grabplan von Wenigumstadt.** Farblich markiert sind diejenigen Gräber, an deren Bodenproben Strontiumisotopenanalysen durchgeführt wurden. 66
- Abbildung 16 Ausschnitt für den Bereich um Wenigumstadt (roter Kreis) aus der Bodenübersichtskarte (BÜK5000) der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Bodenkundlicher Kartenserver). Legende siehe Abbildung 17.** 67
- Abbildung 17 Legende zur Bodenübersichtskarte BÜK5000 der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (siehe Abbildung 16).** Rot markiert ist der vorherrschende Bodentyp in Wenigumstadt. 68
- Abbildung 18 Nähere geologische Umgebung Wenigumstadts.** Kartenausschnitt aus dem GeoFachdatenAtlas im Bodeninformationssystem Bayerns des Bayerischen Landesamt für Umwelt (www.bis.bayern.de). Grundlage bildet die Geologische Karte 1:500000, hier in einem Maßstab von 1:13000. 69
- Abbildung 19 Lage der Fundplätze Vron und Neuville-sur-Escout in Nordfrankreich (Kartenausschnitt aus Google Earth, letzter Zugriff 10.10.2010).**..... 72
- Abbildung 20 Gräberfeldplan der spätrömischen Phase des Fundplatzes in Vron.** Die fünf untersuchten Gräber dieser Phase sind gelb markiert (mit freundlicher Genehmigung von J. Blondiaux). 73
- Abbildung 21 Gräberfeldplan des Fundplatzes Neuville-sur-Escout.** Die vier untersuchten Gräber sind gelb markiert (mit freundlicher Genehmigung von J. Blondiaux). 75
- Abbildung 22 Lage der Ausgrabungsstätte von Tišice und Mlékojedy.** Da das Grabungsareal auf zwei Flächen aufgeteilt ist (rotes Rechteck) und dazwischen eine Bezirksgrenze verläuft, tragen die Fundstellen verschiedene Bezeichnungen, obwohl sie zum gleichen Grabungskomplex gehören.... 77
- Abbildung 23 Lineare Regression zwischen der Sauerstoffisotopie des Trinkwassers ($\delta^{18}\text{O}_{\text{MW}}$) und dem Phosphat des Apatits ($\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$) moderner Menschen nach Daux u. a. (2008).** Die Regression basiert auf einer Verknüpfung verschiedener für den Menschen vorliegenden Datensätzen: schwarze Rauten (Daux et al. 2008), offene Dreiecke (Longinelli 1984), offene Kreise (Levinson et al. 1987) und offene Quadrate (Luz et al. 1984). 91
- Abbildung 24 Darstellung der Verteilung der UV-Indices.** 47,6% zeigten einen Index-Wert von 3 und damit einen eher gutem Erhaltungszustand mit einer Fluoreszenz in Hellblau bis Dunkelblau. 38,1%

- fluoreszierten hellblau mit gelben Flecken, was einem guten Erhaltungszustand entspricht, während nur 14,3% mit gelber Fluoreszenz als tendenziell schlecht erhalten zu gelten haben..... 101
- Abbildung 25 Anzahl der Gräber in den einzelnen Phasen.** Blau gekennzeichnet ist die Anzahl der Bestattungen, die sicher einer Phase zugeordnet werden können, grün diejenigen, die frühestens in diese Phase gehören. Bei Bestattungen, die zwischen 2 Phasen lagen, wurden diese zwischen den Phasen aufgeteilt, wodurch es zu halben Anzahlen kommen kann. Rot markiert sind die 30 nicht datierbaren Gräber, die auf die Phasen 9 bis 12 aufgeteilt wurden (nach Stauch 2004). 103
- Abbildung 26 Errechnete Lebendbevölkerung in den einzelnen Phasen.** Für diese Darstellung wurden die 30 nicht-datierbaren Gräber miteinbezogen, und zwar nur auf die Phasen 9 bis 12 verteilt (s. **Tabelle 12**) (Stauch 2004). 104
- Abbildung 27 Darstellung der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Ergebnisse des SRM 1400.** Eingezeichnet ist der Bereich der einfachen Standardabweichung (Mittelwert \pm SD; 0,71303 \pm 0,000105). 105
- Abbildung 28 Grafischer Vergleich der Ergebnisse des σ -outlier-Tests.** Die blauen Datenpunkte markieren die als sicher lokal deklarierten Daten. Grüne Punkte wurden mit einem σ -Testfaktor von 2 als Ausreißer berechnet, die gelben Punkte markieren die mit einem Faktor von 1,77 und die roten, die mit Faktor 1,54 berechneten Ausreißer. 109
- Abbildung 29 Grafischer Vergleich der Ergebnisse des σ -outlier-Tests für die Bodenproben.** Die blauen Datenpunkte markieren die als sicher deklarierte lokale Daten. Der grüne Punkt wurde mit einem σ -Testfaktor von 2 und die roten Datenpunkte mit Faktor 1,54 als Ausreißer berechnet. ... 111
- Abbildung 30 Spanne für die Ergebnisse der $\delta^{18}\text{O}_{\text{mw}}$ -Berechnung (V-SMOW) mit fünf Gleichungen (3 bis 5c, s. **Tabelle 25**) für die angenommene Trinkwasserquelle.** Das Rechteck markiert den $\delta^{18}\text{O}$ -Wert für Oberflächenwasser in Wenigumstadt..... 118
- Abbildung 31 Verteilung der Sauerstoffisotopien auf die einzelnen Zahntypen (im Dauergebiss).** I1, I2 = erster bzw. zweiter Schneidezahn (jeweils n = 1), C = Eckzahn (n = 2), P1, P2 = erster (n = 3) bzw. zweiter (n = 9) Vorbackenzahn, M1, M2, M3 = erster (n = 128), zweiter (n = 32) und dritter (n = 5) Backenzahn..... 121
- Abbildung 32 $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aus Knochen und Zahnschmelz im Vergleich. Die blaue Linie markiert eine Differenz von 0‰.** Die Daten der Kinder sollten sich entlang dieser Linie aufreihen, während sich die Daten der Erwachsenen, die eine, durch den Stilleffekt verursachte, Differenz zwischen Knochen Zahnschmelz, aufweisen sollten, in der rechten Hälfte kumulieren sollten. Beides ist nicht der Fall, und die Daten von Kindern und Erwachsenen lassen sich nicht von einander trennen.... 124
- Abbildung 33 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Daten für Neuville-sur-Escout und Vron.** 131
- Abbildung 34 Darstellung der $\Delta^{18}\text{O}$ - und $\Delta^{13}\text{C}$ -Werte für Vron und Neuville.** Die Linien markieren jeweils eine Differenz von 0‰ in $\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^{13}\text{C}$ 133
- Abbildung 35 Der lokale $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Bereich (blauer Bereich) in Wenigumstadt berechnet nach der konventionellen Art der zweifachen Standardabweichung (Mittelwert (rote Linie) \pm 2x STABW).**..... 142
- Abbildung 36 Kartenausschnitt für das östliche Hessen und das nordwestliche Bayern mit eingezeichneten Literaturangaben für $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte in der Umgebung Wenigumstadts.** 1) Wenigumstadt (diese Arbeit); 2) Schwanfeld, Unterfranken; 3) Bruchenbrücken, Wetterau, Hessen;

- 4) Goddelau, Rheinebene; 5) Schnellerts, Odenwald; 6) Mörlenbach, Odenwald; 7) Mackenheim, Odenwald; 8) Schönau, Odenwald; 9) Dossenheim, Odenwald Niederung; 10) Schriesheim, Hohensachsen, Odenwald Niederung (2-5 Bentley und Knipper 2005, 6-10 Bentley et al. 2003). Die exakten Daten sind in **Tabelle 38** aufgeführt. Die Farbe der Markierungspunkte entspricht der Zuordnung der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Mittelwerte der jeweiligen Fundorte in die farbkodierten Wertebereiche der Legende, die auch schon bei **Abbildung 8** verwendet wurde. Der Kartenausschnitt stammt aus dem Dienst GeoViewer des BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2010), Legende siehe **Abbildung 37**. **146**
- Abbildung 37 Kleinerer Ausschnitt aus Abbildung 36 für die Umgebung von Wenigumstadt (roter Punkt)**..... **146**
- Abbildung 38 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Bereich für Wenigumstadt basierend auf zehn Bodenproben mit den Grenzwerten 0,70882 und 0,7102 (Tabelle 39).**..... **148**
- Abbildung 39 Thünensche Ringe modifiziert nach Wiskemann (1859) und Irsigler (1991).** Die verschiedenen Wirtschaftszonen umgeben die Siedlung in der Mitte ringförmig, so dass immer der kürzest mögliche Weg bei optimaler Transportkostenrechnung gegeben ist; Kühe sollten zum Beispiel nicht mehr Energie verbrauchen, um auf die Weide zu gelangen, als sie dort wieder aufnehmen können. **156**
- Abbildung 40 a) Nutzflächenbereich von Wenigumstadt mit verschobenem Siedlungszentrum.** Die blauen Kreise markieren die kleinstmögliche ($r_a = 165\text{m}$, Phase 5 a) und die größtmögliche ($r_b = 1025\text{m}$, Phase 13b) Ausdehnung. Der rote Kreis markiert diejenige Ausdehnung ($r = 462\text{m}$), die mindestens erreicht werden muss, um in das Gebiet hineinzureichen, dem Buntsandstein unterliegt. **162**
- Abbildung 41 Grafischer Vergleich von Literaturdaten (s. Kapitel 1.6.3, Tabelle 2) mit den Daten aus Wenigumstadt.** Eingezeichnet sind die Bereiche basierend auf den Gesteinsdaten für Löss (orange) und Buntsandstein (rot). WU 78 wird separat dargestellt, da der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert mit extremen Abstand zu dem Rest der Daten gesondert zu bewerten ist. **167**
- Abbildung 42 Vergleich der Strontiumdaten aus der Literatur (s. Kapitel 1.6.3, Tabelle 2) für Löss und Buntsandstein mit den Sedimentproben aus Wenigumstadt sowie den Messdaten für das Schneckenhaus und die Messergebnisse der Menschen**..... **168**
- Abbildung 43 Vergleichende Abbildung verschiedener Regressionsgeraden für Menschen aus der Literatur** (Longinelli (1984): $n = 10$; Luz et al. (1984): $n = 6$; Levinson et al. (1987): $n = 14$; Daux et al. (2008): $n = 12$). **174**
- Abbildung 44 Verteilung der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte (V-PDB), der nach $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ als lokal eingestuft Individuen ($n = 88$) im Verlauf der chronologischen Phasen nach Stauch (2004).** Der mit einem Stern markierte extreme Ausreißer ist WU 30. Der dunklere Bereich markiert in etwa den Bereich zwischen dem Mittelwert aus WU (-7,2‰) und dem Wert von Bentley und Knipper (-6,47‰). Der hellere, breitere Bereich markiert die mögliche lokale Varianz von $\pm 1\%$ **178**
- Abbildung 45 Darstellung der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte (V-PDB) aus Knochen und Zahnschmelz im Vergleich von fünf nach $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ lokalen Erwachsenen und sechs lokalen Kindern.** Die blaue Linie

markiert eine Differenz zwischen ZS und K von 0‰, zu erwarten bei Kindern. Die rote Linie markiert den Erwartungswert für einen Stilleffekt von bis zu 1‰, zu erwarten bei Erwachsenen.	179
Abbildung 46 Abbildung der Differenzen $\Delta^{18}\text{O}$ nach dem Alter der Kinder (n = 6, lokal nach $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$).	181
Abbildung 47 Darstellung der $\delta^{18}\text{O}$-Werte (V-PDB) aus Knochen und Zahnschmelz im Vergleich von elf nach $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ nicht-lokale Erwachsenen und einem nicht-lokalen Kind. Die blaue Linie markiert eine Differenz zwischen ZS und K von 0‰, zu erwarten bei Kindern. Die rote Linie markiert den Erwartungswert für einen Stilleffekt von bis zu 1‰, zu erwarten bei Erwachsenen. .	182
Abbildung 48 $\delta^{18}\text{O}$ aus Zahnschmelz vs. $\delta^{15}\text{N}$ von 16 Kindern aus Wenigumstadt. Die Stickstoffdaten stammen aus Dittmann (1999).	183
Abbildung 49 Vergleich von Stilleffekt im $\delta^{15}\text{N}$ aus Kollagen und im $\delta^{18}\text{O}$ im Karbonat aus Knochen und Zahnschmelz. Der Effekt im Stickstoff ist deutlich zu sehen: das einjährige Kind (WU 174) zeigt die höchsten $\delta^{15}\text{N}$ -Werte, während das älteste Kind (6a, WU 38) den niedrigsten Wert aufweist. $\delta^{18}\text{O}$ sollte im Zahnschmelz gegenüber dem Knochen ebenfalls erhöht sein (WU 38 und WU186) parallel zum Stickstoff. Allerdings zeigen zwei Kinder (WU 177 und WU 174) genau das Gegenteil.	184
Abbildung 50 Darstellung der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$-Werte aus Vron und Neuville-sur-Escout, sowie die zugehörigen $\delta^{18}\text{O}$-Werte aus Knochen und Zahnschmelz. Das blaue Rechteck markiert den möglichen lokalen $\delta^{18}\text{O}$ -Bereich. Die hellgrünen und hellblauen Markierungen stehen für Zahnschmelzdaten (ZS), die dunklen Punkte für Knochendaten (K).	187
Abbildung 51 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$-Ergebnisse für Tier- und Menschenproben	190
Abbildung 52 Formeln für die Umrechnung von $\delta^{18}\text{O}$-V-PDB-Karbonat-Daten in $\delta^{18}\text{O}$-V-SMOW-Oberflächenwasserwerte, verwendet in Tabelle 60.	228
Abbildung 53 Stratigraphische Tabelle der Gesteine im Laufe der Erdgeschichte. Die Farben entsprechen den offiziellen Vorgaben der Kommission für die Geologische Weltkarte (Bouysse 2009; CGMW).	231

8.8 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1 Typische Werte (geordnet nach Größe) von Strontium- und Kalziumkonzentrationen/-größenordnungen in ppm sowie Rb/Sr-Verhältnisse verschiedener natürlicher biologischer und geologischer Materialien (Bentley 2006). Dies sind ungefähre Angaben, einzelne Werte können variieren. Die meisten Werte stammen aus Capo et al. (1998), mit Ergänzungen von Aubert et al. 2002; Bashkin 2002; Burton et al. 1999; Elias et al. 1982; Kohn et al. 1999.	31
Tabelle 2 Zusammenfassung der Strontiummesswerte aus der Literatur für die Angaben in der geologischen Karte (Abbildung 8).	39
Tabelle 3 Zusammenstellung der dokumentierten Gräber aus Wenigumstadt, sortiert nach den einzelnen Phasen nach der Chronologie von Stauch (2004) (n = 309). Getrennt aufgeführt sind diejenigen Gräber, die mittels Isotopenanalysen untersucht wurden.	59
Tabelle 4 Ausgewählte Proben für die Apatitextraktion aus Knochen. Die Proben wurden nach den Ergebnissen aus dem Zahnschmelz ausgewählt. Gleichzeitig wurde von diesen Probenstücken eine UV-Fluoreszenzanalyse durchgeführt, außer an den kursiv geschriebenen Proben.	65
Tabelle 5 $\delta^{18}\text{O}$-Werte (‰, in V-SMOW) für Wenigumstadt (49°53'27,3''N, 9°02'20,6''O, 165m) im Jahresverlauf (modern) (aus OIPC; Bowen 2010). Im Jahresmittel ergibt sich ein Wert von 8,2‰.	70
Tabelle 6 Materialliste der Proben aus Böhmen.	76
Tabelle 7 verwendeter Hellblauindex zur Beurteilung der hellblauen Fluoreszenz des Probenquerschnitts (nach Hoke et al. im Druck)	93
Tabelle 8 Ausgewählte Proben für Apatitextraktion aus Knochen. Proben in kursiv waren Kinder und hatten keine Oberschenkelknochen.	93
Tabelle 9 Übersicht über die anzuwendenden statistischen Tests. Aufgezählt sind Bedingungen, welche die Daten erfüllen müssen, die zu testenden Nullhypothesen und was gezeigt werden soll (Sachs 1969; Florentz 1974; Lorenz 1996).	96
Tabelle 10 Ergebnisse der Beurteilung der Bodenproben aus dem Gräberfeld Wenigumstadt	99
Tabelle 11 UV-Indices für die einzelnen Proben	101
Tabelle 12 Anzahl Bestattungen in den einzelnen Phasen. Summe = 279; 30 Bestattungen können keiner Phase zugeordnet werden. Da es keine Hinweise auf Beigaben gibt, werden sie eher den späteren Phasen zugeordnet. Sie wurden hier so aufgeteilt, um einem hypothetischen linearen Bevölkerungs-anstieg Rechnung zu tragen (s. Abbildung 25)	103
Tabelle 13 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$-Ergebnisse der acht ausgeschlossenen Proben. Error! Bookmark not defined.	
Tabelle 14 Deskriptive Statistik für die Messfehler der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$-Ergebnisse in WU.	106
Tabelle 15 Deskriptive Statistik für die Strontiumergebnisse des Gräberfeldes Wenigumstadt	107
Tabelle 16 σ-outlier-Test mit einem σ-Testfaktor von „2“. Dabei werden 37 von 137 Signaturen als Ausreißer bestimmt.	108

Tabelle 17 σ-outlier-Test mit einem σ-Testfaktor von „1,77“ und „1,54“. Dabei werden 43 bzw. 57 von 137 Signaturen als Ausreißer bestimmt.	109
Tabelle 18 Ergebnisliste der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$-Werte für die Bodenproben aus Wenigumstadt.	110
Tabelle 19 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$-Ergebnisse der Analyse eines Schneckenhauses aus Grab WU 234. S234 1N wurde mit 1N HCl bearbeitet S234 6N dagegen mit 6N HCl.	111
Tabelle 20 σ-outlier-Test für die Bodenproben mit einem σ-Testfaktor von „2“. Dabei wurde eine Probe als Ausreißer bestimmt.	111
Tabelle 21 Zusammenfassung der Ergebnisse für die Eingrenzung der lokalen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$-Signatur mittels mathematische Methoden und der Bodenproben. Grau hinterlegt sind die Wertebereiche, die auf jeden Fall ausgeschlossen werden können und nicht die bioverfügbare Strontiumsignatur von Wenigumstadt widerspiegeln.	112
Tabelle 22 Ausbeute in mg und in Prozent der Apatitextraktion aus Zahnschmelz (Wenigumstadt) exklusive WU 232 und WU 68	113
Tabelle 23 Deskriptive Statistik der Sauerstoffisotope (V-PDB) aus Knochenapatit in Wenigumstadt.	114
Tabelle 24 Test auf Normalverteilung und zufällige Verteilung der Sauerstoffisotopendaten (V-PDB) aus Zahnschmelzapatit.	114
Tabelle 25 Spanne der $\delta^{18}\text{O}$-Werte der nach den Strontiumisotopenanalysen als lokal eingestuften Individuen (n=94).	115
Tabelle 26 Zusammenfassende Ergebnisse für die Umformungen der $\delta^{18}\text{O}$-Werte aus Karbonat (V-PDB) (Reihe 0).	117
Tabelle 27 Deskriptive Statistik der Kohlenstoffisotopendaten aus Zahnschmelzkarbonat des Kollektivs Wenigumstadt	120
Tabelle 28 Test auf Normalverteilung und zufällige Verteilung der Kohlenstoffisotopendaten aus dem Zahnschmelzkarbonat des Wenigumstädter Kollektivs.	120
Tabelle 29 Spanne der $\delta^{13}\text{C}$-Werte der nach den Strontiumisotopenanalysen als lokal eingestuften Individuen (n=94). Der Wert von WU 30 wurde nicht mit einbezogen, da der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert	120
Tabelle 30 Deskriptive Statistik für die Isotopendaten aus Knochenapatit von ausgewählten Individuen aus Wenigumstadt.	122
Tabelle 31 $\delta^{18}\text{O}$- und $\delta^{13}\text{C}$-Werte aus Knochenkarbonat und Zahnschmelz von 26 Individuen aus Wenigumstadt. Kursiv geschriebene Individuen wurden durch die Fluoreszenzanalyse ausgeschlossen.	123
Tabelle 32 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$-Ergebnisse für Vron und Neuville-sur-Escaut.	131
Tabelle 33 Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopenergebnisse aus Vron und Neuville-sur-Escaut.	132
Tabelle 34 Daten der $\Delta^{18}\text{O}$- und $\Delta^{13}\text{C}$-Differenzen für Vron und Neuville-sur-Escaut (Zahnschmelz – Knochen).	133
Tabelle 35 Umrechnung der $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$-Werte von Vron und Neuville-sur-Escaut (V-PDB) in $\delta^{18}\text{O}_{\text{mw}}$ (V-SMOW).	134

Tabelle 36 Strontiumergebnisse des böhmischen Fundmaterials	135
Tabelle 37 Deskriptive Statistik der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$-Ergebnisse der böhmischen Proben.	136
Tabelle 38 Literaturdaten für biologisch verfügbares Strontium in der Umgebung von Wenigumstadt, siehe auch Abbildung 36. 1 Diese Arbeit, Menschen (lokal); 2-5 Bentley und Knipper 2005; 6-10 Bentley et al. 2003. Die mit * markierten Werte werden als Ausreißer behandelt und nicht in den Mittelwert mit einberechnet.	145
Tabelle 39 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$-Grenzwerte für Wenigumstadt basierend auf den Bodenproben. Die beiden angegebenen Proben aus WU sind die letzten demzufolge als lokal geltende Individuen.	147
Tabelle 40 Liste der als lokal eingestuften Gräber (n=103). Weiß = sicher lokal (σ -Faktor 1,54), Blau = wahrscheinlich lokal (σ -Faktor 1,77), Grün = vielleicht lokal (σ -Faktor 2), Orange = vielleicht lokal (Bodenwerte). Der schwarze Balken markiert die Grenze, die durch die Bodenprobe WU 265 als Maximum gezogen wird.	150
Tabelle 41 Bodengüteklassen, zusammengefasst aus der „Bodengüterkarte 1:1000000 der Bundesrepublik Deutschland“ von 1958, nach Irsigler 1991.	157
Tabelle 42 Berechnung der benötigten Nutzfläche für Wenigumstadt nach der Formel von Irsigler (1991), bei verändertem kalkulierten Getreideverbrauch von 350 kg/ Jahr. Zur Berechnung wurden verschieden angenommene Einwohnerzahlen verwendet, einmal eine Gesamtpopulation von 421 (a) und ein weiteres Mal von 773 (b) (s. 4.1.3).	161
Tabelle 43 Bekannte Strontiumdaten des Oberrheintals und anderen Lössgebieten aus Literaturdaten (nach Stephan 2009).	164
Tabelle 44 Daten aus Bentley und Knipper (2005) für bodengelagerte Schweinezähne. Die Sauerstoffdaten aus Karbonat waren in V-SMOW angegeben, deswegen wurden sie für diese Arbeit nach Hoefs (2004) und Lonignelli (1984) umgerechnet (s. Kapitel 3.2.5).	171
Tabelle 45 $\delta^{18}\text{O}$-Mittelwerte in V-PDB und V-SMOW zum Vergleich aus Vron und Neuville-sur-Escaut.	188
Tabelle 46 Anzahl der lokalen und nicht-lokalen Individuen verteilt in den Chronologie-Phasen nach Stauch (2004), sortiert nach Geschlecht.	192
Tabelle 47 Verwendete Geräte, Materialien und Software	218
Tabelle 48 Verwendete Chemikalien und Materialien	219
Tabelle 49 Zusammenfassung der Kriterien für die Konsistenz von Bodenproben (nach Fitzpatrick 2008)	220
Tabelle 50 Beurteilung der Bodentextur anhand der Eigenschaften eines feuchten Klumpens (nach Fitzpatrick 2008). Die zehn Texturgrade können auch in Cluster zusammengefasst werden, die durch die Rahmen gekennzeichnet sind.	221
Tabelle 51 Ergebnisse der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$-Messung des Laborstandards SRM 1400	222
Tabelle 52 Ergebnisse der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$-Messung des Messstandards SRM 987	222
Tabelle 53 Überprüfung der Strontiumergebnisse von Wenigumstadt auf Normalverteilung durch einen Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest.	223
Tabelle 54 Gewichteter Mittelwert nach dem σ-outlier-Test. Der gewichtete Fehler basiert auf dem Messfehler. Allerdings sind die Grenzwerte dadurch zu eng gefasst.	223

Tabelle 55 Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest zur Überprüfung der Normalverteilung der Strontiumisotopendaten der Bodenproben aus Wenigumstadt.	223
Tabelle 56 Test der Homogenität der Varianzen der Sauerstoffisotopenverteilungen (ZS) in den einzelnen Phasen von Wenigumstadt. Daten, deren zeitliche Zuordnung nicht klar ist, wurden nicht berücksichtigt (nd, n = 12).	224
Tabelle 57 Oneway ANOVA zur Überprüfung der Gleichheit der $\delta^{18}\text{O}$-Varianzen in den einzelnen Phasen (1-15). Daten, deren zeitliche Einordnung nicht klar ist, wurden nicht berücksichtigt (nd, n = 12).	224
Tabelle 58 Korrelation nach Spearman zwischen den Sauerstoffisotopen der lokalen Individuen (n=94) und den einzelnen Phasen von Wenigumstadt.	224
Tabelle 59 Ergebnisse der Umrechnungen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{Karbonat}}$ in V-PDB in $\delta^{18}\text{O}_{\text{mw}}$ in V-SMOW mit verschiedenen Gleichungen. Formeln siehe Abbildung 51.	224
Tabelle 60 Korrelation nach Spearman zwischen den $\delta^{13}\text{C}$-Werten aus Zahnschmelzapatit und den Phasen.	228
Tabelle 61 Test auf Homogenität der Varianzen der Sauerstoffisotopen in den einzelnen Zahntypen.	229
Tabelle 62 Einfaktorielle ANOVA zur Überprüfung der Varianzgleichheit der Sauerstoffisotopen zwischen den verschiedenen Zahntypen.	229
Tabelle 63 Ergebnisse der Berechnung nach dem modifizierten σ-outlier Test für Sauerstoffisotope (n = 94).	229
Tabelle 64 Vergleich der $\delta^{18}\text{O}$-Mittelwerte von lokalen Individuen in den Phasen nach Stauch (2004).	229
Tabelle 65 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$-Gesamtergebnisdaten für Vron und Neuville-sur-Escaut	230
Tabelle 66 Gesamtergebnisliste der Isotopendaten für Vron und Neuville-sur-Escaut.	230
Tabelle 67 Levene-Test auf Homogenität der Sauerstoffdifferenzen ($\Delta^{18}\text{O}$) zwischen Knochen und Zahnschmelz der Proben aus Vron und Neuville-sur-Escaut.	230
Tabelle 68 Oneway ANOVA zum Mittelwertvergleich der $\Delta^{18}\text{O}$-Werte zwischen Knochen und Zahnschmelz zwischen Vron und Neuville-sur-Escaut.	230

9 LEBENS LAUF

Name Marina Andrea Vohberger
Geburtsdatum und -ort 08.05.1980 in München
Staatsangehörigkeit deutsch

Ausbildung

1990-1999 Abitur am Deutschherren Gymnasium, Aichach

Nov 1999 – Apr 2004 Studium der Biologie an der Ludwig-Maximilians-Universität München; Hauptfach: Anthropologie und Humangenetik; Nebenfächer: Zellbiologie, Mikrobiologie, Ökologie

Apr 2004 – Mrz 2005 Diplomarbeit am Department Biologie I Bereich Biodiversitäts-forschung/ Anthropologie
Thema: „Rekonstruktion von Migration in der Latènezeit anhand von stabilen Strontium- und Sauerstoffisotopen“

Nov 2005 Beginn des Promotionsvorhabens an der Ludwig-Maximilians-Universität, Betreuung durch Prof. Dr. G. Grupe

Anstellungen

Jan 2008 – Jul 2010 Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Projektstelle, Staatssammlung für Anthropologie und Paläoanatomie München; Projekttitle: Settlement continuity, changing economy, and palaeoecology: Comparing Viking Haithabu and medieval Schleswig

Seit Aug 2010 Wissenschaftlichen Assistentin an der LMU München, Department Biologie I Bereich Biodiversitätsforschung/ Anthropologie, Arbeitsgruppe Anthropologie

Beiträge in Fachzeitschriften und –bänden

Vohberger M, Doppler S, Von Carnap-Bornheim C, Peters J, Grupe G (in Bearbeitung): Rise and Fall of a Trade Center: Nutritional Status in Viking Haithabu and Medieval Schleswig explored by stable isotope analyses. *International Journal of Osteoarchaeology*

Doppler S, Vohberger M, Von Carnap-Bornheim C, Peters J, Grupe G (im Druck): *Biodiversity of archaeological fauna in the estuarine palaeoecosystem of the Schlei fjord, Northern Germany: Isotopic evidence*. In: Grupe G & Peters J (Eds.): *Thema: Biodiversität*, Documenta Archaeobiologiae 8

Vohberger M, Doppler S, Finkböck S, Heck K, Grupe G, Von Carnap-Bornheim C, Peters J (2009): *Das Nahrungsnetz im Wikingerzeitlichen Haithabu und mittelalterlichen*

Schleswig: Aufstieg und Fall eines Handelszentrums In: Hauptmann A, Stege H (Hrsg): Archäometrie und Denkmalpflege 2009. Kurzfassungen. Metalla Sonderheft 2, Bochum

Doppler S, Vohberger M, Von Carnap-Bornheim C, Joris P, Grupe G (2009): *Rekonstruktion eines archäologischen Brackwasserökosystems mit Hilfe stabiler C-, O- und S-Isotope für das wikingerzeitliche Haithabu und das mittelalterliche Schleswig*. In: Hauptmann A, Stege H (Hrsg): Archäometrie und Denkmalpflege 2009. Kurzfassungen. Metalla Sonderheft 2, Bochum

Doppler S, Vohberger M, Grupe G, Peters J, Von Carnap-Bornheim C (2009): *Siedlungskontinuität, Wirtschaftswandel und Paläoökologie: Vorläufige Ergebnisse eines Vergleichs zwischen dem wikingerzeitlichen Haithabu und dem mittelalterlichen Schleswig*. In: Gesellschaft für Archäozoologie und Prähistorischen Anthropologie e. V. (Hrsg.): Beiträge zur Archäozoologie und Prähistorischen Anthropologie Band VIII. Verlag Beier & Beran, Weißbach

Poster

"Isotopic webs (C, N, S) in Viking Haithabu and Medieval Schleswig" (M. Vohberger, S. Doppler, C. von Carnap-Bornheim, O. Nehlich, M. Richards, J. Peters, G. Grupe). 4th International Symposium on Biomolecular Archaeology, Kopenhagen, 7. – 11. September 2010

„The early medieval graveyard of Wenigumstadt in Bavaria: unfolding migratory patterns with stable isotopes“. 8. internationaler Kongress der Gesellschaft für Anthropologie (GfA), München, 14. – 18.09.2009

„Das Nahrungsnetz im wikingerzeitlichen Haithabu und mittelalterlichen Schleswig: Aufstieg und Fall eines Handelszentrums“ (M. Vohberger, S. Doppler, C. von Carnap-Bornheim, J. Peters, G. Grupe). Tagung der Gesellschaft für Naturwissenschaftliche Archäologie Archäometrie, München, 25. – 28.03.2009 (Posterpreis)

"Reconstructing migration in the La Tène period of Southern Bavaria using $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ isotopic ratios" (M. Vohberger, M. M. Schweissing, G. Grupe). Kongress der Gesellschaft für Anthropologie e.V., München, 13.-16.09.2005

„Rekonstruktion von Migration in der Latènezeit anhand von stabilen Strontium- und Sauerstoffisotopen“. Spatenstich zum 2. Bauabschnitt des Biozentrums der LMU München, Planegg, 08.06.2005

Wissenschaftliche Vorträge

"Migration im Frühmittelalter – Isotopenanalysen am Gräberfeld von Wenigumstadt"
Fachschaftskolloquium der Fachschaft für Vor- und Frühgeschichtliche Archäologie und Provinzialrömische Archäologie der LMU München, 24./25. April 2010

"Migration in the La Tène period - stable strontium and oxygen isotopes keep track of celtic movement"

Tagung im Rahmen der Exzellenzinitiative TOPOI: Migrationen in der Vor- und Frühgeschichte Stabile Isotopen und Populationsgenetik – neue Antworten auf alte Fragen? Berlin, 24. – 26. März 2010

„*Wikingen, Kelten und Alamannen – Geschichten und Geschichte erzählt von Isotopen*“. Institutsvortrag in Freiburg, 13. November 2009

„*Does an economic crisis affect the nutritional status? The Rise and Fall of Viking Haithabu and Medieval Schleswig*“ (Vortragspreis). 8. internationaler Kongress der Gesellschaft für Anthropologie (GfA), München, 14. – 18. September 2009

„*Migratory patterns in an early medieval graveyard: stable isotopes (Sr, O, C) in Human Enamel*“. Vth International Anthropological Congress of Aleš Hrdlička, Prag (CZ), 2. – 5. September 2009

„*Settlement Continuity, Changing Economy, and Palaeoecology: Comparing Viking Haithabu with Medieval Schleswig: Preliminary Results*“ (geteilter Vortrag mit Dr. S. Doppler). 7. Tagung der Gesellschaft für Archäozoologie und Prähistorische Anthropologie e.V., Schleswig, 30. September - 2. Oktober 2008

„*Anthropologie und Archäologie – Die Herkunft der Kelten in Südbayern*“. Abendvortrag im Keltendorf Gabreta, Ringelai, 22. November 2007 (eingeladen)

„*Anthropologie – ein Partner der Archäologie*“. 78. Jahrestagung des West- und Süddeutschen Verbandes für Altertumsforschung e.V., Xanten, 6.-11. Juni 2006

„*Herkunftsanalyse anhand stabiler Strontiumisotope*“. Internationales Kolloquium „Siedlungsdynamik und Gesellschaft“ zur keltischen Siedlungsgeschichte im bayerischen Donaauraum, Österreich und der Tschechischen Republik, Gäubodenmuseum Straubing, 02.-04. März 2006 (eingeladen)

„*Die Kelten im Münchner Osten*“. Jahreshauptversammlung des Vereins NordOstKultur München, 21. Februar 2006 (eingeladen)

„*Lauter Böhmisches Dörfer? Zur Nachweisbarkeit von Migrationen während der Latènezeit*“. 1. Fachschaftskolloquium des Instituts für Vor- und Frühgeschichtliche Archäologie und Provinzialrömische Archäologie der LMU München, 12. Februar 2005 (eingeladen)

„*Neues zur Herkunft der Kelten in Südbayern anhand der Analyse des Skelettmaterials. Kamen Sie aus Böhmen?*“. Mitarbeitertreffen der Gesellschaft für Archäologie in Bayern, Siegsdorf, 09./10.10.2004

„*Migration in der Latènezeit*“. Tagung der Arbeitsgemeinschaft „Paläoanthropologie und Prähistorische Anthropologie“ der Gesellschaft für Anthropologie e.V., Göttingen, 01./02.10.2004

10 DANKSAGUNG

Dank gilt allen, die zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben.

Vor allem möchte ich mich bei Frau Prof. Dr. G. Grupe für die sehr gute Betreuung meiner Arbeit bedanken, ihre gelegentliche Einnordung und ihre Diskussionsbereitschaft. Sie hat mir interdisziplinäres Denken und Arbeiten vorgelebt, mich darin bestärkt und mir das faszinierende Arbeitsfeld der Isotopenanalytik eröffnet.

Herrn Prof. Dr. M. Starck danke ich, dass er sich sofort für das Zweitgutachten meiner Arbeit bereit erklärt hat und sich wohlwollend einem fachfremden Thema widmete.

Ein herzlicher Dank geht an Herrn Prof. Dr. S. Hölzl (Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und Geologie, München), für die wohlwollende Unterstützung, die Nutzung der Laborkapazitäten und des Massenspektrometers, sowie für sein stets offenes Ohr für Fragen und Probleme und die allzeit bereite espressomaschine.

Herrn Dr. C. Dekant und Frau Dipl.-Geol. S. Rummel (Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und Geologie, München) möchte ich danken für die Unterstützung im Labor, bei Messproblemen und bei der Vernichtung von Kuchen und Espresso.

Herrn Prof. Dr. F. Söllner (Department für Geo- und Umweltwissenschaften, Sektion Geologie) möchte ich für die Unterstützung bei der Berechnung mit Isoplot danken und für die Möglichkeit zur Nutzung des Labors. Herrn Dr. M. Schweissing danke ich dafür, dass er mir die Strontiumisotopenanalyse nahe gebracht hat. Herrn Prof. Dr. M. Joachimski (Geozentrum Nordbayern, Erlangen) danke ich für die zuverlässige und schnelle Messung der Sauerstoff- und Kohlenstoffisotope.

Der gesamten Arbeitsgruppe möchte ich für ihr Unterstützung, ihre Diskussionsbereitschaft und die Arbeitsatmosphäre danken, in der man hervorragend abarbeiten aber auch sich ablenken lassen kann.

Insbesondere möchte ich mich bei Frau Dr. M. Harbeck und Frau Dr. I. Wiechmann bedanken, die stets mit Rat und Hilfe bei der Hand waren.

Meinen ehemaligen Zimmergenossinnen Dipl.-Biol. K. von Heyking und Dipl.-Biol. R. Schleuder danke ich für ihre Bereitschaft für Diskussionen, Hilfe und Kaffeepausen.

Dipl.-Biol. F. Neuberger und Frau Dipl.-Biol. A. Grigat waren immer zur Stelle, wenn es um Computerprobleme, Krankheitssymptome und seltsame Datensätze ging.

Mein besonderer Dank gilt Frau Dipl.-Biol. N. Hoke und Roxie, die nicht nur zur sprachlichen, sondern auch zur atmosphärischen und seelischen Verbesserung beigetragen haben.

Mein herzlicher Dank gilt Frau C. Ettl, M.A. für Ablenkungen aller Art, archäologischen Ratschlag und ihre unverzichtbare Unterstützung in allem. Ebenso möchte ich Herrn Dr. C. Later, M.A. meinen Dank für archäologische Hilfestellungen aller Art aussprechen.

Lobenswert erwähnt werden soll die Besetzung der Vor- und Frühgeschichtlichen Archäologie und Provinzialrömischen Archäologie, die mir stets ein Quell der Inspiration, Prokrastination und Erheiterung waren.

Besonders bedanken möchte ich mich bei Andi und Jens, für eine schöne Zeit im Biozentrum.

Ebenso danke ich Rike mit Momo für das Kaffeeasyl, sowie Nadine mit Merlin und Kaya und Caro mit Kiara für die Hunde-Treffen und leckeren Kochrunden.

Hilmar: Danke, dass Du immer für mich da warst und mir stets zur Seite standest.

Mein größter Dank geht an meine Eltern, die mich vorbehaltlos unterstützten und immer an mich glaubten.