
Wie realitätsnah sind klassisch-anthropologische Proxydaten wirklich? Der Testfall einer Skelettserie aus der Zeit des demographischen Übergangs

Andrea Maria Grigat



München 2014

**Wie realitätsnah sind klassisch-anthropologische Proxydaten wirklich?
Der Testfall einer Skelettserie aus der Zeit des
demographischen Übergangs**

Andrea Maria Grigat

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

vorgelegt von
Andrea Maria Grigat
aus München

München, 4. März 2014

1. Gutachterin:
2. Gutachter:

Prof. Dr. Gisela Grupe
Prof. Dr. Klaus Schönitzer

Arbeit eingereicht am:

4. März 2014

Tag der mündlichen Prüfung:

4. September 2014



Dankenswerterweise wurde die vorliegende Arbeit durch ein Stipendium der gemeinnützigen Stiftung zur Förderung der Archäologie im Rheinischen Braunkohlenrevier gefördert.

Für meine Lieben

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
Die Arbeit mit menschlichen Überresten - ethische und moralische Aspekte.....	3
1.1 Ziele der Arbeit.....	5
1.2 Entwicklung und Komponenten des menschlichen Knochens.....	6
1.2.1 Knochenhistologie.....	7
1.2.2 Knochenremodeling	7
1.2.3 Die organischen Komponenten des Knochens	8
1.2.4 Die mineralischen Komponenten des Knochens.....	9
1.2.5 Fluoreszenzeigenschaften von Knochengewebe.....	10
1.3 Entwicklung und Komponenten der menschlichen Zähne	11
1.3.1 Aufbau der Zähne und des Zahnhalteapparats.....	12
1.3.2 Bildung der Dauerzähne	12
1.3.3 Der Zahnschmelz	12
1.4 Stabile Isotope.....	13
1.4.1 Kohlenstoffkreislauf und Kohlenstoffisotope (¹²C/¹³C)	14
1.4.2 Stickstoffkreislauf und Stickstoffisotope (¹⁵N/¹⁴N)	16
1.4.3 Sauerstoffkreislauf und Sauerstoffisotopie (¹⁸O/¹⁶O).....	18
1.5 Die Diagenese von bodengelagertem Knochengewebe - ein Überblick	19
1.5.1 Veränderungen der Mikrostruktur des bodengelagerten Knochens.....	20
2. Material	22
2.1 Ausgrabung und Fundsituation im Bereich der ehemaligen Kirche in Altdorf.....	22
2.2 Zeitstellung der Skelettpopulation.....	22
2.3 Charakterisierungen des Fundortes	26
2.3.1 Geschichte der Region.....	27
2.3.2 Leben in Altdorf	28
2.3.3 Historisches Quellenmaterial	29
3. Methoden.....	31
3.1 Morphologischer Befund	31
3.1.1 Vorarbeiten	31
3.1.2 Bestimmung des biologischen Sterbealters	31
3.1.3 Morphologische Geschlechtsbestimmung	32

3.2 Zahnpathologien.....	33
3.3 Gelenkstatus.....	35
3.4 Schätzung der Körperhöhen	36
3.5 Statistische Analysemethoden	37
3.5.1 Beschreibende Statistik	38
3.5.2 Signifikanztest.....	38
3.5.3 Statistische Abhängigkeit (Korrelation).....	39
3.5.4 Bestimmung von Einflussfaktoren mittels Varianzanalyse.....	41
3.5.5 Clusterbildung mittels Diskriminanzanalyse.....	41
3.5.6 Ein neuer statistischer Ansatz zur Geschlechtsbestimmung.....	42
3.6 Demographische Methoden.....	45
3.7 Histologische und makroskopische Analysen zur Diagenese	48
3.7.1 Makroskopische Fluoreszenz-Analyse.....	48
3.7.2 Betrachtung makroskopischer Merkmale	48
3.7.3 Herstellung von Knochendünn schnitten, Mikroskopie und Auswertung.....	49
3.8 Karbonatextraktion	52
3.9 Kollagenextraktion.....	54
3.10 Aminosäureanalyse	55
3.11 Prinzip der Massenspektrometrie.....	56
3.12 Isotopie Mischungsmodell	57
4. Ergebnisse und Diskussionen	62
4.1 Untersuchungen im Hinblick auf die Rekonstruktion der Lebensumstände der Altdorfer Bevölkerung	62
4.2. Demographische Analysen	64
4.2.1 Die Repräsentanz der Skelettserien	68
4.2.2 Der Maskulinitätsindex.....	69
4.2.3 Der Abhängigkeitsindex.....	69
4.2.4 Die Mortalitätsrate	69
4.2.5 Die Wachstumsrate.....	69
4.2.6 Lebenserwartung	69
4.2.7 Sterbewahrscheinlichkeit.....	70
D 4.1/4.2 Diskussion und Zusammenfassung der demographischen Analysen.....	71
4.3. Körperhöhenschätzung und Geschlechtszuordnung mittels Diskriminanzanalyse..	72
4.3.1 Diskriminanzanalyse	73

4.3.2 Identifikation von Geschlechts- und Zeitstellungszugehörigkeit mittels Regression	76
4.3.3 Bestimmung von Einflussfaktoren mittels Varianzanalyse	79
4.3.4 Indizes der Langknochen	80
4.3.5 Die Körperhöhenbestimmung	85
D 4.3 Diskussion Körperhöhe und Robustizität	89
4.4 Zahnstatus	91
4.5 Krankheiten der Zähne	92
4.5.1 Intravitaler Zahnverlust	92
4.5.2 Karies	93
4.5.3 Schmelzhypoplasien	95
4.5.4 Gebrauchsspuren an Zähnen	97
4.5.5 Konservierender und prothetischer Zahnersatz	97
D 4.4/4.5 Diskussion Zahngesundheit	98
4.6 Degenerative Gelenkerkrankungen	99
4.6.1 Intensität der degenerativen Gelenkerkrankungen	103
4.6.2 Frequenz der Gelenkerkrankungen	105
4.6.3 Untersuchung zur Existenz von Kopplung von Arthrosen unterschiedliche Gelenke	105
4.6.4 Korrelation von Robustizitätsindex und Arthrose	110
D.4.6 Diskussion der Ergebnisse: Degenerative Gelenkerkrankungen	110
4.7 Auflagerungen und periostale Reaktionen	112
4.7.1 Periostitisintensität	117
4.7.2 Periostitisfrequenz	118
4.8 Zusammenfassende Betrachtung des Gesundheitszustand der Altdorfer Bevölkerung und Entwicklungstendenzen im Laufe Zeit	118
4.9 Ausgewählte palaeopathologische Fälle	120
4.9.1 Rachitis	120
4.9.2 Subperiostales Hämatom	121
4.9.3 Patellafraktur	122
4.9.4 Schussverletzung	123
4.9.5 Polytrauma	124
4.10 Anatomische Varianten oder Discreta	126
4.10.1 Metopismus	126
4.10.2 Worm'sche Knochen	127

4.10.3 Foramen supratrochleare	128
4.11 Isotopenmessung.....	129
4.11.1 Herkunftsanalysen über stabile Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopen aus dem Karbonat des Knochens und Zahnschmelzes	129
4.11.2 Kohlenstoffisotope aus dem Karbonat	136
4.12 Stickstoff- und Kohlenstoff-Isotope aus dem Kollagen	137
4.12.1 Qualität des extrahierten Kollagens	137
4.12.2 Carbon Spacing	148
4.12.3 Isotopie - Mischungsmodell	149
D 4.11/4.12 Zusammenfassung der Isotopendaten.....	155
4.13 Ergebnisse zum Diagenesestatus des Knochenmaterials.....	156
4.13.1 Aminosäureanalyse (ASA)	156
4.13.2 ASA des Rippen- und Femurkollagens - ein Qualitätsvergleich.....	160
4.14 Histologischer Diagenese Status.....	163
4.14.1 Korrelation der Diageneseparameter	164
4.14.2 Korrelation der Kompaktastärke mit den Diageneseparametern	164
4.14.3 Diageneseparameter - histologische Gesamtbetrachtung unter Berücksichtigung der Grablegung	165
D 4.13/4.14 Diskussion Diagenesestatus	172
5. Zusammenfassung und Ausblick	174
6. Literaturverzeichnis.....	177
7. Anhang	192
7.1 Tabellen mit Originaldaten	192
7.3 Abbildungsverzeichnis	215
7.4 Tabellenverzeichnis	220
Erklärung.....	223
Danksagung.....	225

1. Einleitung

„Das Leben kann nur rückwärts verstanden,
muss aber vorwärts gelebt werden.“

Sören A. Kierkegaard (1813–1855)

1. Einleitung

Menschliche Skelettfunde sind Kulturdenkmäler, was sich in der im Jahre 2002 erfolgten Ratifizierung der „Konvention von La Valetta“¹ (Council of Europe 1992) als Bundesgesetz niederschlägt. Während prähistorische, römische, frühgeschichtliche und mittelalterliche Skelettfunde seit jeher das Untersuchungsgut der physischen Anthropologie mit dem Ziel der Rekonstruktion von menschlicher Bevölkerungsentwicklung in Zeit und Raum darstellt, ist die anthropologische Bearbeitung neuzeitlicher und insbesondere spätneuzeitlicher Skelettserien bis heute weltweit sehr selten, was u. a. mit deren Verfügbarkeit zu begründen ist, denn in der Regel ist die Wiederbestattung der Skelette bei lebenden Angehörigen gewünscht und üblich. Mit der Skelettserie des Kirchhofs von St. Pankratius von Altdorf bei Düren in Nordrhein-Westfalen liegt daher ein sehr seltenes Untersuchungsgut aus dem 19. Jahrhundert vor. Die anthropologische Bearbeitung und Interpretation der Ergebnisse wird unter besonderer Berücksichtigung einer modernen Umwelt vorgenommen, die, was die politische, wirtschaftliche und soziale Lage der Gesamtbevölkerung betrifft, zum Teil schriftlich gut dokumentiert ist. Die sich entwickelnden Unterschiede der Lebensbedingungen in der Zeit des demographischen Übergangs in Deutschland bedürfen einer profunden Recherche, um die anthropologischen Daten interpretieren zu können. Dabei konnten die Skelette aufgrund der Grablage in zwei zeitlich aufeinanderfolgende Populationen eingeteilt werden (siehe Materialteil), die zeitlich zum einen vor dem demographischen Wandel und zum anderen während des demographischen Wandels lebten. Damit war es möglich, Trends und Entwicklungen des ersten demographischen Übergangs in Deutschland, die aus schriftlichen Quellen und theoretischen Ansätzen bekannt sind (z.B. Ehmer 2004, Gehrmann 2007, Imhof 1975, 1976, 1981, 1984) am vorliegenden Skelettmaterial zu überprüfen. Das erhalten gebliebene Material umfasste nicht nur Knochen und Zähne, sondern auch zahlreiche Artefakte, die in Befund und Interpretation übernommen wurden. Dazu gehören unter anderem auch Gewebe aus Keratin, wie Nägel und Haare, aber auch Zeichen von medizinischer Versorgung, wie Zahnbehandlungen und Prothesen. Aufgrund der beginnenden Industrialisierung in Deutschland und Fortschritten in der medizinischen Versorgung, änderten sich die Arbeits- und Lebensbedingungen sowie die Lebensqualität und Lebenserwartung des Menschen. Dessen Zusammenspiel mit seiner Umwelt aus seiner Biologie heraus zu verstehen und gleichzeitig die kulturellen und wirtschaftlichen Aspekte mit einzubeziehen ist unter anderem das Ziel dieser Arbeit. Dabei steht für die Anthropologie das Skelettmaterial als Quelle zur Verfügung. Ferner können aufgrund der guten Quellenlage die Ergebnisse der anthropologischen Analysen mit den sogenannten medizinischen Topographien der Region, die relativ objektiv die Lebensumstände der Bevölkerung beschreiben, verglichen werden.

¹ Die Konvention von La Valetta zum Schutz des archäologischen Erbes ist geltendes Bundesrecht nach Art. 1 ff. (BGBl. 2002 II, 2709 ff.)

1. Einleitung

Der Grad der Aussagekraft des Knochens hängt entscheidend von dem morphologischen, histologischen und molekularen Erhaltungszustand der einzelnen Knochenkomponenten ab. Das vorliegende Skelettmaterial ist mit einer Liegezeit von nur 100-200 Jahren für die biologische Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Diagenese ein enorm wertvolles Ausgangsmaterial. Denn es ist ein großes Anliegen der Anthropologie zu erfahren, welche Prozesse nach der Bestattung den Körper im Boden beeinflussen, und wie jene auf die verschiedenen Knochenkomponenten wirken. (Tütken und Vennemann 2011, Turner-Walker und Jans 2008). Das Verständnis darüber ist enorm wichtig, um die Ergebnisse diverser archäometrischer Methoden, wie beispielsweise Isotopen- oder DNA-Analysen auf ihre Authentizität überprüfen zu können. Nicht selten ist der zu untersuchende Knochen durch diverse chemische, physikalische und biologische Einflüsse histologisch und molekular verändert, wirkt aber morphologisch völlig intakt. In vielen Arbeiten wird versucht die Prozesse, die zum Erhalt oder zur Zerstörung der unterschiedlichen Knochenkomponenten führen, zu erhellen und die Auswirkungen auf die Ergebnisse zu klären. (Balzer et al. 1997, Child 1995a, b, Collins et al. 2002, Dent et al. 2004, Fernandez-Jalvo et al. 2010, Harbeck und Grupe 2009, Hedges 2002, Hoke et al. 2011, van Klinken 1999). Während der Liegezeit durchläuft der Knochen unterschiedlichste Stadien diagenetischer Veränderungen, die von den äußeren Bedingungen wie der Bestattungsweise, Sargbeschaffenheit, Grabtiefen, Temperatur, Grund- und Regenwasserkontakt, Chemie des Bodens, Liegedauer, aber auch vom Zustand des Bestatteten selbst abhängen, wie zum Beispiel Alter, Gesundheitszustand und die Unversehrtheit des Körpers zum Zeitpunkt des Todes und der Bestattung.

In dieser Arbeit wird nun der Zustand des Knochens unter Berücksichtigung der in Altdorf gegebenen äußeren Einflüsse, wie oben beschrieben, möglichst umfassend untersucht, beginnend mit der Einstufung der histologischen Erhaltung, bis hin zur Anwendung molekularer Methoden für die Beurteilung der chemischen Integrität. Der intraskelettale Vergleich des Aminosäureprofils von Rippenkollagen und Femurkompakta kollagen konnte zeigen, dass für Isotopenuntersuchungen auch Rippen statt Femurkompakta verwendet werden können. Diese Möglichkeit führt zu einem deutlich geringeren Zerstörungsgrad des Skelettmaterials bei Probennahme. Bisher wurde davon ausgegangen, dass Kollagen oder Karbonat aus kompaktem Knochen des Femur oder Humerus resistenter gegen diagenetische Einflüsse ist als aus kleineren und spongiöseren Bestandteilen des Skelettes.

Zunächst wurden, um Aussagen über die vorliegende Altdorfer Bevölkerung machen zu können, die Basisdaten an allen vorhandenen Skeletten erhoben. Dafür werden die Funde, auch unter Berücksichtigung des historischen Kontextes und archäologischen Befunds (bspw. Fundort, Zeitstellung, Grabbeigaben) rein morphologisch betrachtet. Dabei werden u. a. die Vollständigkeit, das Alter und Geschlecht, die Körperhöhe, der Zahnstatus, sowie pathologische Veränderungen und Verletzungen des Knochens aufgenommen (Acsadi und Nemeskeri 1970, Adler 2004, Pearson 1899, Brothwell 1981, Ferembach 1979, Herrmann et al. 1990, Todd 1920, Ubelaker 1978). Für eine statistische Bestimmung der Geschlechtszugehörigkeit wurde auf Basis einer neuen Trennfunktion ein entsprechendes Modell entwickelt, das bei Fehlen der geschlechtsbestimmenden Merkmale am Skelett über die Langknochenlängen eine Bestimmung möglich macht, oder eine a priori Bestimmung des Geschlechterverhältnisses der zu untersuchenden Skelettpopulation anbietet.

1. Einleitung

Die statistische Auswertung der erhobenen Daten bildet, unter Bezugnahme auf Vergleichswerte anderer der Literatur entnommener historischer und rezenter Populationen, die Grundlage für eine Einschätzung der Lebensumstände der zu untersuchenden Individuen. Die in dieser Arbeit betrachteten Merkmale und verwendeten Methoden werden in Kapitel 3 detailliert behandelt.

Die Arbeit mit menschlichen Überresten - ethische und moralische Aspekte

In vielen Bereichen wird heute auf humanes Material zurückgegriffen. Beispielsweise werden in der Medizin und Biotechnologie Leichen, Gewebe und Organe für Forschung, Lehre und kurative Maßnahmen verwendet. In Museen werden menschliche Überreste als Anschauungsmaterial verwendet, z.B. in Form von Mumien oder Skeletten. Im medizinischen Bereich allerdings werden in der Regel nur dann Leichen oder deren Organe für medizinische Forschung verwendet, wenn zuvor vom Verstorbenen selbst oder dessen Angehörigen eine Einwilligung dazu erfolgte. Obduktionen an Leichen werden nur in zwingenden Fällen durch einen Richter oder Staatsanwalt nach Benachrichtigung der Angehörigen in einem Strafverfahren angeordnet, beispielsweise, wenn es nachträglich Anhaltspunkte für eine Fremdeinwirkung gibt. Exhumierungen werden aus unterschiedlichen Gründen vorgenommen, beispielsweise, um Gräber auf Friedhöfen wieder nutzbar zu machen, indem Überreste von Verstorbenen in Beinhäuser überführt oder verbrannt werden. Aber auch nach Kriegen aufgefundene Massengräber werden exhumiert um die Verstorbenen in Einzelgräbern würdevoll zu bestatten, wie dies nach dem Massaker von Srebrenica² 1995 geschah. Funde von menschlichen Überresten aus archäologischem Kontext werden beispielsweise bei Baumaßnahmen oder wie im Falle der Altdorfer Skelettserie im Zuge der Devastierung im Braunkohlentagebau gemacht. Im vorliegenden Fall liegen die Funde mit einer Liegezeit zwischen 100 und 200 Jahren zeitlich gesehen zwischen rezentem und archäologischem Kontext, demnach sind lebende Nachfahren vorhanden. Wie soll nun mit menschlichen Überresten, die aus einem Kontext zwischen dem rezenten und archäologischen stammen, umgegangen werden? Es ist nahezu unmöglich allgemeingültige Regeln aufzustellen, da auf der einen Seite ein berechtigtes wissenschaftliches Interesse besteht, Lebensumstände historischer Bevölkerungen zu erforschen und es auf der anderen Seite eine moralisch-ethische Verantwortung gegenüber dem Toten selbst und dessen Nachfahren gibt, die zwangsläufig zu Konflikten führt. Rechtliche Lösungsansätze zum Umgang mit Verstorbenen bietet das sogenannte „Mephisto-Urteil“ des Bundesverfassungsgerichts von 1971, wonach der Schutz der Würde einer Person mit dem Tod nicht endet, sich im Laufe der Zeit aber abschwächt (Preuss 2007), oder die im Jahre 2002 erfolgte Ratifizierung der „Konvention von La Valetta“, die sich als Bundesgesetz niederschlägt. Mit den Altdorfer Skeletten wurde auf diese Weise verfahren, dass Gräber, die noch mittels Grabstein zugeordnet werden konnten, exhumiert und umgebettet wurden. Die übrigen Skelettfunde wurden für wissenschaftliche Untersuchungen freigegeben, welche von der Stiftung „Archäologie im Rheinischen Braunkohlerevier“ finanziell gefördert werden.

² United Nations International Criminal Tribunal for the former Yugoslavia.Srebrenica investigation summary of forensic evidence –execution points and mass graves by Dean Manning, ICTY investigator 16 may 2000

1. Einleitung

Der ethische Umgang mit menschlichen Überresten orientiert sich in der Regel an den Lebenden. Handlungen, die am Lebenden als ethisch verwerflich empfunden werden, sind an Verstorbenen ebenfalls verwerflich. Dieses Empfinden hängt aber auch vom Zustand der menschlichen Überreste ab. Im Allgemeinen ist die Würde, - der Begriff ist laut Duden von dem mittelhochdeutschen Begriff „Wert³“ abgeleitet – die die Leiche besitzt, hoch, bei Mumien und bei Skeletten abgeschwächt. Da in dieser Arbeit mit menschlichem Knochen- und Zahnmaterial aus mitteleuropäischem Kulturraum gearbeitet wird, möchte ich mich im Folgenden ausschließlich auf diesen beziehen. In der Öffentlichkeit wird sehr kontrovers darüber diskutiert, ob, wann und welche wissenschaftliche Untersuchungen an menschlichem Skelettmaterial vertretbar sind. Viele Methoden sind destruktiv und mit Materialverlust verbunden (DNA, Isotopen, Mikroskopie), andere sind zerstörungsfrei (morphologischer Befund, Röntgentechniken). Laut Preuss (2007) ist die destruktive Beprobung, wenn es sich um kleine Mengen handelt und die wesentlichen Strukturen der Überreste gewahrt bleiben, vom ethischen Standpunkt aus für Funde unseres Kulturraumes relativ unbedenklich. Harbeck (in Vorbereitung) fasste Aspekte zusammen, die zur Abschätzung der Notwendigkeit einer destruktiven Beprobung von archäologischem menschlichem Skelettmaterial unter Berücksichtigung der Empfehlungen von Alfonso u. Powell (2007), Andrews et al. (2004), DCMS (2005), Grupe et al. (2004), English Heritage u. The Church of England (2005), ICOM (2006) und Mulligan (2006) bedacht werden sollten. Folgende Punkte sind demnach zu bedenken: Eignung der Fragestellung, Schlüssigkeit des geplantes Vorgehens, bedachte Auswahl der Menge und Art des zu beprobenden Materials, Notwendigkeit einer aussagekräftigen Dokumentation der morphologische Befunderhebung, Berücksichtigung zukünftiger Forschungsvorhaben und Beachtung von möglichen Auswirkungen auf heute lebende Menschen oder Gesellschaften. Alle Aspekte wurden bei der Bearbeitung des vorliegenden Materials berücksichtigt.

³ Vgl. zur Etymologie und zur Verwendung in älterer deutschsprachiger Literatur: Jacob Grimm / Wilhelm Grimm: Deutsches Wörterbuch, 16 Bde. [in 32 Teilbänden], S. Hirzel, Leipzig 1854-1960, Bd. 30, 2060-2088

1.1 Ziele der Arbeit

Klassisch-anthropologische Daten sind in der Regel unscharf. Osteologisch lässt sich zwar das Geschlecht erwachsener Skelettfunde mit einer für nachfolgende demographische Analysen hinreichenden Sicherheit bestimmen, andere biologische Basisbefunde sind dagegen mehrheitlich deutlich unschärfere Proxydaten. Das morphologische Sterbealter ist z.B. nur in recht weiten Kategorien zu fassen, da sich osteologisch die Alterungsrate, nicht aber das kalendarische Alter eines Individuums manifestiert. Weitere Aspekte betreffen z.B. die Dauer einer am Skelett fassbaren Erkrankung, aber auch archäometrische Daten wie z.B. die Analyse stabiler Isotope, welche ihren Unschärfecharakter durch Isotopenmischungen über lange individuelle Zeiträume erhält. Eine unmittelbare Einschätzung der Sicherheit klassisch-anthropologischer Befunde ist lediglich anhand alters- und geschlechtsbekannter Funde möglich (z.B. „Spitalfield Coffin Plate Collection“, Adams und Reeve 1987), welche aber absolut selten sind.

Die im Rahmen dieser Arbeit im Wesentlichen morphologisch untersuchte Skelettserie aus Altdorf stellt einen idealen Testfall für die Osteologie dar, denn die Individuen sind zwar namentlich nicht bekannt, jedoch datiert die Skelettserie in die historisch ausgezeichnet dokumentierte Zeit der demographischen Transition (siehe Kapitel 2.2). Die Stratifizierung der Funde in zwei Perioden der Industrialisierung gestattet somit die Überprüfung von Proxydaten aus osteologischen und archäometrischen Befunden. Ferner gehört der Fundort in dieser Region Nordrhein-Westfalens zur Wiege der Industrialisierung und ist über zahlreiche schriftliche Quellen aus dieser Zeit, insbesondere zur wirtschaftlichen, sozialen und medizinischen Entwicklung der Region, gut beschrieben (siehe Kapitel 2.3.3). Archäologische Skelettfunde derart jungen Datums stehen einer anthropologischen Untersuchung in der Regel nicht zur Verfügung, da lebende Nachfahren existieren und die Funde der Wiederbestattung zugeführt werden. Die Skelettserie aus Altdorf stellt daher ein seltenes Fundgut dar, um in der Form eines deduktiven Forschungsansatzes zu prüfen, ob die Rekonstruktion von Lebensbedingungen einschließlich eines demographischen Wandels tatsächlich osteologisch fassbar ist, was vielfach kritisch angemerkt wurde (z. B. Bocquet-Appel und Masset 1982, Jackes 1992, Hoppa und Vaupel 2002, Rost 2011).

So ist beispielsweise zumeist die morphologische Sterbealtersbestimmung nicht mit ausreichender Genauigkeit durchführbar.

Diese kritische Betrachtung der demographischen Methoden fördert die Suche nach Alternativen und Verbesserungen besonders auch im Hinblick auf die Sterbealtersbestimmung, die zu den Basisdaten für die demographischen Untersuchungen einer historischen Bevölkerung ohne schriftliche Dokumentation gehört (Wood et al. 2002).

Folgende Ziele wurden im Rahmen dieser Dissertation im Einzelnen verfolgt:

- **Rekonstruktion der Bevölkerungsstruktur und Demographie der Altdorfer Bevölkerung.**
- **Modell für die Bestimmung der Geschlechtszugehörigkeit auf Basis einer neuen Trennfunktion.**
- **Suche nach Anhaltspunkten für veränderte Belastungen an Skelett und Zähnen der Individuen, die auf eine Veränderung der Lebensbedingungen im Zuge der fortschreitenden Industrialisierung und des medizinischen Fortschritts hindeuten.**
- **Rekonstruktion von Ernährungsgewohnheiten mittels Proxydaten aus Messungen von Kohlenstoff- und Stickstoffisotopie einer Unterstrichprobe und Darstellung einer möglichen Veränderung im Zuge der Industrialisierung.**
- **Untersuchungen zum Diagenesestatus des Knochens mittels folgender Methoden: Histologie an Kompakta-Dünnschliffen, Aminosäureanalyse des Kollagens, Isotopenanalyse und UV-Fluoreszenz.**
- **Untersuchung auf intraskelettale Unterschiede des Aminosäureprofils zwischen Rippen-Kollagen und Kompakta-Kollagen.**

1.2 Entwicklung und Komponenten des menschlichen Knochens

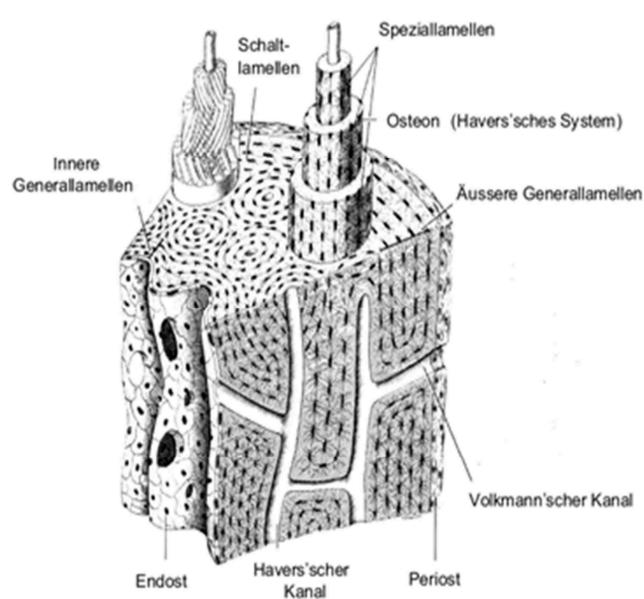


Abbildung 1: Aufbau der Kompakta. Abbildung modifiziert nach Wintermantel et al. (2008)

Das menschliche Skelett besteht aus dem Kompositmaterial Knochen, das als Schutz-, Stütz- und Speicherorgan fungiert. Die einzigartige Eigenschaft der Festigkeit bei gleichzeitiger Flexibilität und die wichtige Funktion des Knochens im Zusammenhang mit der Speicherung von Spurenelementen resultieren aus dem Zusammenspiel der einzelnen organischen und anorganischen Bestandteile. Den größten Anteil bildet die mineralische Komponente mit zwischen 65-80%, gefolgt von der organischen Komponente Kollagen vom Typ I (Grupe et al. 2012). Weitere organische Bestandteile sind NCPs (nicht-kollagene

Proteine), Lipide, Gefäßstrukturen und Wasser (Boskey 1999).

Die Struktur des ausdifferenzierten menschlichen Knochens entsteht nicht primär. Zunächst wird in der Embryonalperiode, aber auch bei der Kallusbildung nach Frakturen, Geflechtknochen gebildet.

1. Einleitung

Im Geflechtknochen bestehen große physiologische Hohlräume, ferner sind die Anordnung der Blutgefäße und der Verlauf der Kollagenfaserbündel diffus, er entspricht einem erhärteten, faserreichen Bindegewebe. Der Geflechtknochen kann durch eine direkte desmale oder durch eine indirekte chondrale Knochenbildung entstehen. Im Zuge der Knochenreifung werden konzentrische Lamellen um die vorhandenen Blutgefäße gebildet, bis ein primäres Osteon entstanden ist, die mikrostrukturelle Einheit des Knochens. Die desmale Ossifikation ist die direkte Bildung von Knochen aus embryonalem Bindegewebe und kann deshalb als biomechanische Antwort auf Zugspannung in elastischen Membranen gesehen werden.

Bei der desmalen Ossifikation differenzieren sich einzelne Mesenchymzellen zu Osteoblasten, d.h. zu knochenbildenden Zellen. Die Osteoblasten sezernieren um sich herum Grundsubstanz ab, die als Osteoid bezeichnet wird.

Extrazellulär gebildete Kollagenfasern werden in das Osteoid eingeschlossen. Durch Ausfällung von Phosphatsalzen kommt es zur Ausbildung von Ossifikationskernen, die Knochentrabekel ausbilden und anschließend zu größeren Knochenarealen fusionieren. Das weitere Wachstum des Knochens vollzieht sich appositionell. Die desmale Ossifikation kommt bspw. bei der Bildung der Schädelknochen, wie dem Os frontale, Os parietale oder der Mandibula und ferner der Clavicula vor.

Die chondrale oder indirekte Ossifikation ist eine Form der Ossifikation, bei der der Knochen nicht direkt aus dem Bindegewebe, sondern über eine Zwischenstufe aus Knorpel gebildet wird. Der Umbau des Knorpels in Knochensubstanz erfolgt durch perichondrale und enchondrale Verknöcherung. Bei der perichondralen Verknöcherung des Röhrenknochens findet die Verknöcherung ringförmig um das Knorpelmodell statt, wobei eine Knochenmanschette im Diaphysenbereich entsteht, auf deren Grundlage der Knochen in die Breite wächst. Die Umwandlung des Knorpelmodells selbst erfolgt durch enchondrale Ossifikation, die im Kern der Knorpelanlage beginnt. Dabei werden die Knorpelzellen durch Chondroblasten abgebaut und durch Osteoblasten zuerst in Geflecht- und dann in Lamellenknochen umgewandelt.

1.2.1 Knochenhistologie

Lamellärer Knochen hingegen bildet sich langsam durch Umbau des Geflechtknochens und führt zu einem geordneten System, dessen zylindrische Grundeinheit als Havers'sches-System oder Osteon bezeichnet wird (siehe Abb.1) Osteone bestehen aus konzentrischen Lamellen, die um einen Havers'schen Kanal gebildet werden und die Blutgefäße und Nerven enthalten. Volkmann'sche Kanäle verbinden diese transversal. Durch Abbau alter Osteone und Osteoneubildung entstehen Strukturen aus alten und neu gebildeten Osteonen. Die Reste alter Osteone werden Schaltlamellen genannt. Äußere und innere Generallamellen grenzen die Kompakta subperiostal und endostal ab.

1.2.2 Knochenremodeling

Im lebenden Knochen findet zeitlebens ein ständiger Umbau statt, der als Remodeling bezeichnet wird. Dabei wird der primär gebildete Knochen durch Osteoklasten hydrolytisch und enzymatisch resorbiert. In die entstehenden Kanäle wandern Osteoblasten, die knochenbildenden Zellen, ein, die zunächst die kollagenfreie Zementschicht ausbilden.

1. Einleitung

Diese ist für sekundär gebildete Osteone charakteristisch und schützt die Kompakta vor potentiellen ermüdungsbedingten Mikrofissuren. Im weiteren Verlauf sezernieren die Osteoblasten, die in den Lacunen sitzen, Kollagenfasern und Hydroxylapatit, die den Hohlraum von außen nach innen auskleiden und im Zentrum den Havers'schen Kanal für ein Blutgefäß aussparen. Die eingeschlossenen Osteoblasten werden zu Osteozyten, die für den Knochenstoffwechsel zuständig sind. Im Laufe der Ontogenese nimmt die Knochendichte zu, was aus einer Erhöhung der Mineralisation bei gleichzeitiger Verminderung des Kollagen- und Wassergehalts resultiert. Verschiedene Bereiche des Knochens weisen unterschiedliche Remodelingraten auf. Kompakter Knochen, wie z.B. Femur und Humerus benötigen Jahrzehnte für einen vollständigen Umbau, wohingegen der spongiöse Knochen einer Rippe nur wenige Jahre braucht.

Der Knochen eines Individuums spiegelt, immer in Abhängigkeit von seinem Stoffwechsel, seinem Alter und seiner Remodelingrate, die verstoffwechselten Element- und Isotopenzusammensetzungen der letzten Lebensjahre wider.

1.2.3 Die organischen Komponenten des Knochens

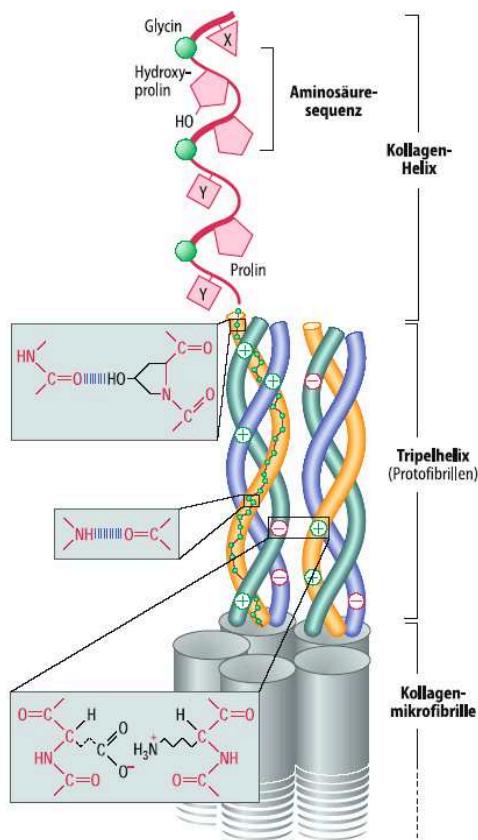


Abbildung 2: aus (Felsenberg 2001) Aufbau und Quervernetzung des Kollagenmoleküls

Die organische Knochenmatrix, auch Osteoid genannt, besteht zu etwa 90% aus Kollagen vom Typ I, die restlichen Bestandteile bilden Osteocalcin und weitere nichtkollagene Proteine (NCP) und Lipide. Das Kollagen ist ein tripelhelikales Molekül mit zwei identischen $\alpha 1(I)$ - und einer $\alpha 2(I)$ -Kette. Es besteht aus 1014 Aminosäuren, von denen 20 unterschiedliche vorkommen. Charakteristisch sind dabei die Triplettrichtungen der Aminosäuren $(\text{Gly-X-Y})_n$ (Persikov et al. 2000). An jeder dritten Position innerhalb der Polypeptidkette steht die kleinste innen sitzende Aminosäure Glycin, was zu einer sehr engen Windung der Tripelhelix führt und zur Stabilität des 300nm langen und 1,5nm dicken Moleküls beiträgt. X wird häufig mit Prolin und Y mit Hydroxyprolin und in geringerer Anzahl durch Hydroxylysin besetzt. Innerhalb der Polypeptidkette sind die Aminosäuren durch kovalente Bindungen miteinander verbunden, bei der jeweils eine Carboxylatgruppe mit einer Aminogruppe eine Peptidbindung eingeht.

1. Einleitung

Die 3 Stränge werden zum einen durch die Aminosäure Hydroxyprolin über den Gauche-Effekt⁴, und zusätzlich durch Lysinseitenketten miteinander vernetzt (Cross-Links) (Fratzl et al. 2004). Dieser Aufbau bedingt die Wasserunlöslichkeit des Kollagens (Collins et al. 1995). Mehrere Kollagenmoleküle bilden durch Zusammenlagerung Kollagenfibrillen, die das Gerüst für die Einlagerung der mineralischen Apatitkristalle zwischen die linear angeordneten Kollagenmoleküle vorgibt (Miller und Parker 1984). Diese sehr enge Verbindung von Hydroxylapatit und Kollagen führt zu der besonderen Eigenschaft und Struktur des Kompositmaterials Knochen. Die gute Resistenz gegen diverse postmortale Diageneseprozesse, wie sie beispielsweise durch mikrobiellen Enzymabbau im Boden entstehen, sind dem besonderen Aufbau geschuldet (Collins et al. 1995).

Intaktes Kollagen I weist charakteristische Mengenverhältnisse an Aminosäuren auf, die in der Abbildung 3 dargestellt sind (Ambrose 1993). Da jede Aminosäure eine eigene stabile Isotopensignatur besitzt, beeinflussen und verfälschen diagenetisch bedingte Ausfälle die Isotopensignaturen und führen zu nichtauthentischen Ergebnissen.

Verhältnis der Aminosäuren im rezenten Kollagen I

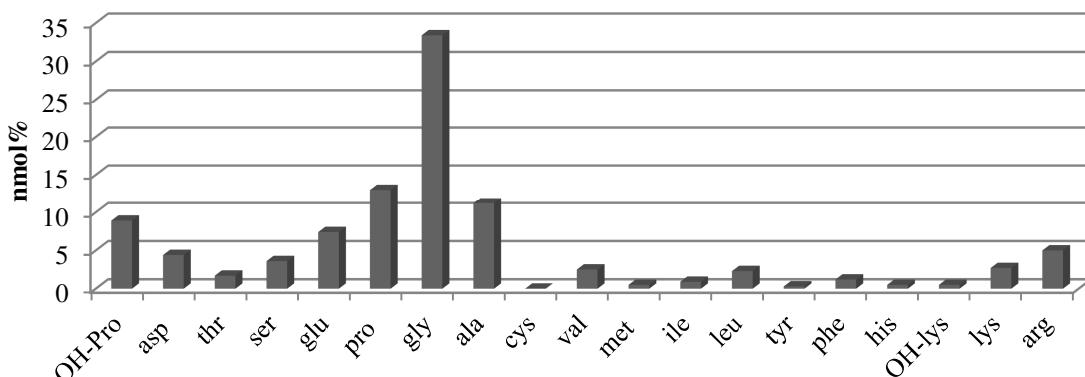
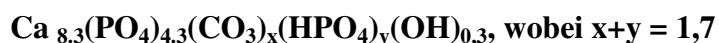


Abbildung 3: Verhältnis von Aminosäuren im rezenten Kollagen I nach (Ambrose 1993)

1.2.4 Die mineralischen Komponenten des Knochens

Die mineralische Komponente besteht im Wesentlichen aus Calciumphosphat, das dem Aufbau des Hydroxylapatits sehr ähnlich ist. Allerdings weist das Knochenmineral geringere Mengen an Calcium und Hydroxylionen auf. Ferner ist es durch Karbonatsubstitutionen charakterisiert. Karbonat kommt in zwei Formen im biologischen Apatit vor. Als strukturelles Karbonat, welches als Substituent für Phosphat (PO_4^{3-}) oder die Hydroxylgruppe (OH^-) innerhalb der kristallinen Form fungiert, sowie als adsorbiertes Karbonat auf der Kristalloberfläche (Lee-Thorp und van der Merwe 1991). Das strukturelle Karbonat beeinflusst die Löslichkeit des Minerals je nach Menge und Art der Substituierung (Boskey 1999). Die Mineralfraktion des menschlichen Knochens setzt sich wie folgt zusammen:



⁴ Liegen zwei Substituenten mit großem sterischen Anspruch, also einer großen räumlichen Ausdehnung an benachbarten C-Atomen vor, so ordnen sie sich bevorzugt antiperiplanar an.

1. Einleitung

Die Summe aus Phosphationen und Karbonationen ist dabei stets konstant. Im Laufe des Erwachsenenalters beobachtet man steigende Anteile der Karbonatfraktion und im gleichen Maße sinkende Anteile der Phosphatfraktion.

Die sehr kleinen Hydroxylkristalle sind in die Kollagenmatrix eingelagert und unregelmäßig und flach ausgebildet (Fratzl et al. 2004, Reiche et al. 2002).

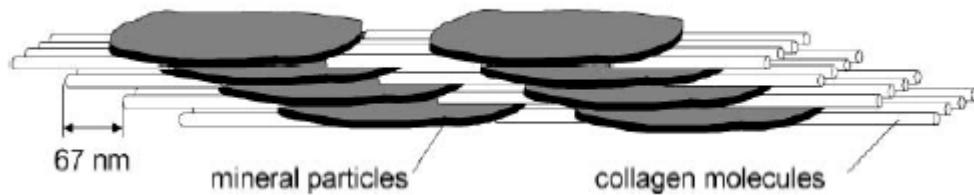


Abbildung 4: Die Skizze aus Fratzl et al. 2004 zeigt die Lage der Apatitkristalle (dunkel) innerhalb des Kollagengerüsts

1.2.5 Fluoreszenzeigenschaften von Knochengewebe

„Lumineszenz ist die spontane Emission von elektromechanischer Strahlung im ultravioletten, sichtbaren oder infraroten Spektralbereich, ausgehend von elektronisch angeregten Gasen, Flüssigkeiten oder Festkörpern. Die Besetzung elektronisch angeregter Zustände in Atomen, Molekülen oder kondensierter Materie, erfolgt durch Energieabsorption, wobei die absorbierte Energie anschließend entweder unmittelbar oder über einen längeren Zeitraum, als Licht, emittiert wird“ (Schilling 2005). Als Photolumineszenz bezeichnet man die Lumineszenz, bei der die Anregung des Systems durch Photonen geschieht. Je nachdem, ob das Aufleuchten mit Beendigung der Energieeinwirkung erlischt oder weiterhin anhält, unterscheidet man zwischen Fluoreszenz und Phosphoreszenz. Im Falle des durch UV-Licht angeregten Knochengewebes spricht man von Fluoreszenz. Die Bestimmung von Liegezeiten von Skelettmaterial ist Voraussetzung für die Klärung der Zuständigkeit einer forensischen oder anthropologischen Einrichtung. Ab einer Liegezeit von 50-100 Jahren fällt das Skelett in der Regel nicht mehr in den forensischen Zuständigkeitsbereich, da kein kriminologisches Interesse mehr besteht (Knight und Lauder 1969). Die vorliegende Skelettserie stellt aufgrund ihrer Liegezeit zwischen 100 und 200 Jahren, die sich an der Grenze zwischen forensischem und anthropologischem Zuständigkeitsbereich befindet, ein für die Grundlagenforschung zur Diagenese wichtiges Untersuchungsgut dar, da sehr selten Skelettmaterial dieser späten Zeitstellung zur Verfügung steht. Dabei sind die frühdiagenetischen Vorgänge der ersten Jahre ausschlaggebend für den Erhalt oder die Zerstörung der Knochenkomponenten. Großes Interesse bestand und besteht immer noch, eine einfache Methode zu etablieren, mit der eine schnelle und günstige Bestimmung der Liegezeit zu bewerkstelligen ist. In der Forensik wird üblicherweise durch Betrachtung von angeschliffenen Knochenquerschnitten unter UV-Licht die Liegedauer bestimmt (Berg und Specht 1958, Knight und Lauder 1969, Berg 1975). In der Regel nimmt mit zunehmender Liegedauer die Fluoreszenz ab. Frischer Knochen fluoresziert demnach hellblau, wobei hoher Fettgehalt die Fluoreszenz mindert und Sekundärmineralisierung bei sehr alten Knochen ebenfalls eine hellblaue Fluoreszenz hervorrufen kann (Berg und Specht 1958).

1. Einleitung

Dass die Fluoreszenzfarbe nur indirekt mit der verbrachten Zeit im Boden zusammenhängt und vielmehr der Erhaltungszustand der Knochenkomponenten, vor allem des Kollagens ausschlaggebend sein könnte, nimmt Berg 1975 schon an. Er postuliert, dass die hellblaue Fluoreszenz bis 100 Jahre erhalten bleibt. Knochen, die über 1000 Jahre im Boden verbracht haben weisen dieser Arbeit zur Folge keine Fluoreszenz mehr auf.

Mit dem Diagenesezustand von Knochenkomponenten und einer möglichen Abhängigkeit der Fluoreszenzfarbe von bodengelagertem Knochenmaterial befasste sich beispielsweise die Arbeit von Harbeck (2007) und Hoke et al. (2013). Sie sieht den intakten Komplex aus mineralischer und organischer Komponente als Ursache für die hellblaue Luminiszenz. Innerhalb der organischen Matrix kann die hellblaue Fluoreszenz von Cross-Links zwischen den Kollagen-Molekülen hervorgerufen werden (Fujimori 1985). Doppler (2008) bestätigt in ihrer Arbeit ebenfalls die Vermutung, dass mit großer Wahrscheinlichkeit das Kollagen die Ursache für die hellblaue Fluoreszenz ist. Hoke et al. (2011) konnten u.a. darstellen, dass Fluoreszenztests an Knochenmaterial eine gute Vorhersagbarkeit für schlechte Kollagenqualität bietet und somit schon im Vorfeld von beispielsweise Isotopenuntersuchungen für Ernährungs- und Herkunftsanalysen Proben mit schlechtem Kollagenerhalt ausgeschlossen werden können.

1.3 Entwicklung und Komponenten der menschlichen Zähne

Für erfolgreiche bioarchäologische Untersuchungen sind die Fundsituation und der Erhaltungsgrad von menschlichen und tierischen Überresten in Form von Knochen und Zähnen ein wesentlicher Faktor. Zähne überstehen im Vergleich zu Knochen weitaus extremere äußere Einflüsse, wie zum Beispiel Zerstörung durch Mikroorganismen, Frostsprenzungen, Umlagerungen während der Liegezeit, oder Hitze (Brothwell 1981). Dies liegt daran, dass Zähne zum größten Teil aus kompaktem, anorganischem Material aufgebaut sind. (siehe Kap. 1.3.1) Der in der Regel bessere Erhaltungsgrad der Zähne im Vergleich zum Knochen ist nur ein Aspekt, der für die Bioarchäologie wichtig ist. Zähne bieten die Möglichkeit, sie als Archiv zu nutzen, was durch die Azellularität des Schmelzes, das Fehlen von Gefäßen und das strikt apositionelle lebenslange Wachstum des Wurzelzements gewährleistet ist. Chronologisches Sterbealter mittels der Methode der Tooth Cementum Annulation (TCA), Entwicklungsstörungen, Ernährungsweise, Krankheiten, Gewohnheiten wie Rauchen oder Alkoholkonsum, sogar die emotionale Situation (Bruxismus) des Individuums können an den diversen Komponenten der Zähne abgelesen werden. Gesundheitszustand und Pflege der Zähne können aufgrund des unterschiedlichen Stellenwertes in verschiedenen sozialen Schichten und Gesellschaften Hinweise auf die Zugehörigkeit geben. In dieser Arbeit werden das Vorkommen von Karies, Zahnstein, Parodontose und weitere pathologische Veränderungen an den Zähnen und des Zahnhalteapparates der Altdorfer Population untersucht. Dabei wird hier gezielt nach Veränderungen und Unterschieden der Zahngesundheit im Laufe der Industrialisierung gefahndet. Molekulare Untersuchungen an Zähnen, wie die O- und C-Isotopen-Untersuchungen aus dem Karbonat des Zahnschmelzes werden für Klimarekonstruktion und Herkunftsbestimmung, aber auch für eine grobe Nahrungsrekonstruktion, die Stilldauer und den Entwöhnungszeitraum der Individuen genutzt.

1.3.1 Aufbau der Zähne und des Zahnhalteapparats

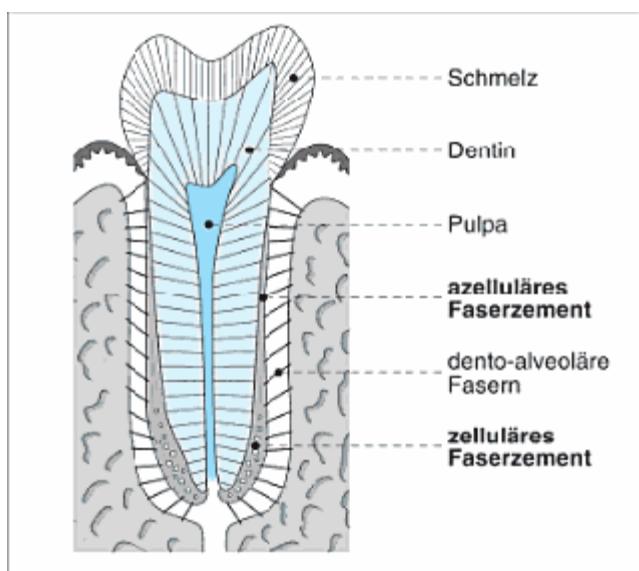


Abbildung 5: aus Hellwig et al. 2010 zeigt den Zahnaufbau

Das menschliche Gebiss unterliegt einem einmaligen Zahnwechsel. Das Milchgebiss, dessen Zähne spezifische Durchbruchszeiten aufweisen, die zum größten Teil genetisch bedingt sind, wird deshalb zur Altersbestimmung nicht erwachsener Individuen herangezogen. Es wird später durch das Dauergebiss im Erwachsenenalter ersetzt. Ein menschlicher Zahn gliedert sich in drei Abschnitte: Die Zahnkrone, den Zahnhals und die Zahnwurzel. Diese Abschnitte können durch unterschiedliche Hartgewebsqualitäten voneinander abgegrenzt werden. Zahnkrone und -wurzel sind zum größten Teil aus Dentin aufgebaut, wobei die Krone mit

zellfreiem Zahnschmelz überzogen ist und die Wurzel von Wurzelzement umhüllt ist. Der Zahnhals ist jene Region, in der Schmelz und Zement aufeinander treffen. Die Zahnwurzel umschließt die Pulpahöhle, die Blutgefäße und Nerven enthält. Die Alveole, das Desmodont und die Gingiva bilden zusammen den Zahnhalteapparat, der die Aufgabe hat, den Zahn im Kieferknochen zu verankern und die auftretenden Kaudrücke auf den Kiefer zu übertragen.

1.3.2 Bildung der Dauerzähne

Mit dem Zahndurchbruch, der definiert ist als die Bewegung des entstehenden Zahns innerhalb und durch den Kieferknochen und die darüber liegende Alveolarschleimhaut bis zum Erscheinen auf der Zahnleiste der Mundhöhle (Liversidge und Molleson 2004), beginnt auch die Zahnezementbildung. Das Durchbrechen der Dauerzähne ist genetisch festgelegt und von äußeren Einflüssen weitgehend unabhängig (Wedl et al. 2002). Er vollzieht sich deshalb in einem für jeden Zahntyp charakteristischen, engen Zeitfenster. Die Stabilität des Zahndurchbruchs ist für die Altersbestimmung am Zahnezement mittels Tooth Cementum Annulation (TCA) wichtig, da zu den gezählten Ringen das Durchbruchsalter hinzugezählt werden muss, um das korrekte Individualalter feststellen zu können.

1.3.3 Der Zahnschmelz

Der Zahnschmelz kann als härtestes biologisches Material innerhalb des menschlichen Skeletts bezeichnet werden. Der zwischen 93 und 98 Gew. % liegende Hydroxylapatit-Anteil ist deutlich höher als beim Knochen. Er unterscheidet sich vom Dentin und Zement schon in seinem epidermalen Ursprung. Die Mineralisation des Zahnschmelzes erfolgt durch Ameloblasten, die eine organische Matrix abscheiden, die wiederum durch Apatitkristalle verdrängt wird. Dieser Prozess beginnt ontogenetisch sehr früh und dauert einige Monate bis 2 Jahre, in Abhängigkeit der Ausbildung der einzelnen Zähne eines Gebisses (Hillson 1996).

1. Einleitung

Gereifter Zahnschmelz enthält keine lebenden Zellen und ist damit totes Hartgewebe, das, anders als Knochen, keinem Umbau mehr unterliegt. Aufgrund seiner deutlich höheren Härte, Dichte, seiner geringen Porosität und seinem geringen Gehalt an organischem Material, konserviert der Schmelz die zu Lebzeiten erworbenen Isotopenzusammensetzungen besser als Dentin und Knochen und ist zudem auch gegen postmortale diagenetische Prozesse besser geschützt. Ferner kann die Morphologie des Zahnschmelzes Krankheiten und Mangelernährung anzeigen. Schmelzbildungsstörungen sind irreversible Schmelzdefekte, die sich in Rillen und Furchen äußern können. Dabei handelt es sich um Ameloblastendefekte und deren Aktivitätsstörung während der Entwicklung, die bereits in Utero beginnt und bei den Dauerzähnen bis zum achten Lebensjahr andauert.

1.4 Stabile Isotope

Verschiedene Isotope eines Elementes haben die gleiche Protonen- und Elektronenzahl, unterscheiden sich aber in der Anzahl ihrer Neutronen. Die Isotope eines Elementes haben unterschiedliche natürliche Häufigkeiten. Stabile Isotope sind natürliche Bestandteile der meisten chemischen Elementen und sind von radioaktiv zerfallenden Isotopen zu unterscheiden.

Die Isotope eines Elements unterscheiden sich nur in ihrer Neutronenzahl und damit in ihrer Flüchtigkeit. Schwerere Isotope eines Elements kommen in der Biosphäre nur in geringen Mengen vor. In der Umweltforschung können die daraus resultierenden Unterschiede in der Reaktivität der Isotope zur Aufklärung der Herkunft von Menschen und Tieren, Stoffwechselwegen und klimatischen Bedingungen behilflich sein (Hoefs 1997, Koch et al. 1994, Kohn und Cerling 2002). Dabei spielt die Isotopenfraktionierung, d.h. die Änderung der Isotopenverhältnisse im Verlauf physikalischer und chemischer Reaktionen, eine Rolle. Diese sehr geringen Massenunterschiede zeigen einen Isotopieeffekt, d.h. die Isotope reagieren unterschiedlich.

In dieser Arbeit werden die stabilen Isotope des Sauerstoffs (^{18}O , ^{16}O) und des Kohlenstoffs (^{13}C , ^{12}C) aus dem Karbonat von Knochen und Zahnschmelz, sowie des Kohlenstoffs (^{13}C , ^{12}C) und Stickstoffs (^{15}N , ^{14}N) aus dem Kollagenanteil des Knochens betrachtet. Die Messung der Isotopenverhältnisse von schwerem zu leichtem Isotop, bezogen auf einen international festgesetzten Standard, erfolgt in δ -Notation in Promille (Faure 1986). Im Falle der Kohlenstoff- und Sauerstoffverhältnisse wird gegen den PDB-Standard gemessen, der ursprünglich aus dem Fossil Belemnites americana aus der PeeDee-Formation in South Carolina (USA) gewonnen wurde. Dieser wird mittlerweile synthetisch hergestellt.

$$\delta(\text{\textperthousand}) = [(\text{R}_{\text{Probe}} / \text{R}_{\text{Standard}}) - 1] \times 1000 \text{ (McKinney et al. 1950)}$$

Dabei bezeichnet R das Verhältnis von schwerem zu leichtem Isotop. Ein negativer δ -Wert deutet dementsprechend auf eine im Verhältnis zum Standard mit schwererem Isotop abgereicherte Probe hin.

Die Knochen eines Individuums konservieren über lange Zeiträume indirekt über die Aufnahme und Verstoffwechselung von Wasser und Nahrung die Umweltbedingungen und Subsistenzstrategien der letzten Lebensjahre.

1. Einleitung

Zahnschmelz hingegen gibt einen Einblick in die Bedingungen während Kindheit und Jugend. Das Kollagen beinhaltet hauptsächlich Isotopensignaturen aus dem Proteinanteil der tierischen und/oder pflanzlichen Nahrung, da es hauptsächlich aus Kohlenstoff und Stickstoff besteht. Im Apatit hingegen wird die Zusammensetzung des gesamten Nahrungsspektrums „gespeichert“. In der Nahrungskette werden die stabilen Isotope eines Elements vom Produzenten an die Primär-, Sekundär- und Tertiärkonsumenten weitergegeben. Die stabilen Isotope eines Elements treten in der Natur als Isotopengemisch auf. Isotopieeffekte können zu einer messbaren Fraktionierung der Verhältnisse der Isotope führen, wobei es zu einer relativen An- bzw. Abreicherung der jeweiligen Isotope in den Organismen kommt. Diese Prozesse werden als Isotopenfraktionierung bezeichnet. In den folgenden Kapiteln wird ein Überblick über die wichtigsten Fraktionierungsprozesse gegeben, welche für die in dieser Arbeit untersuchten Elemente relevant sind.

1.4.1 Kohlenstoffkreislauf und Kohlenstoffisotope ($^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$)

Der Kohlenstoff in der Biosphäre stammt im Wesentlichen aus der Atmosphäre und der Hydrosphäre, die als CO_2 -Reservoirien dienen. Abbildung 6 stellt eine Übersicht über den Kohlenstoffkreislauf auf der Erde dar.

Aufgrund von thermodynamischen Isotopeneffekten, die beim Austausch von CO₂ zwischen diesen beiden Reservoiren auftreten, ist der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert des CO₂ der Atmosphäre ca. 7 ‰ kleiner als der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von gelöstem HCO₃ in den Ozeanen (Hydrosphäre, 0 ‰). In Industrieregionen kann atmosphärisches CO₂ aufgrund der Verbrennung fossiler Brennstoffe, z.B. von Kohle, auch deutlich negativere Werte von bis zu -30 ‰ aufweisen.

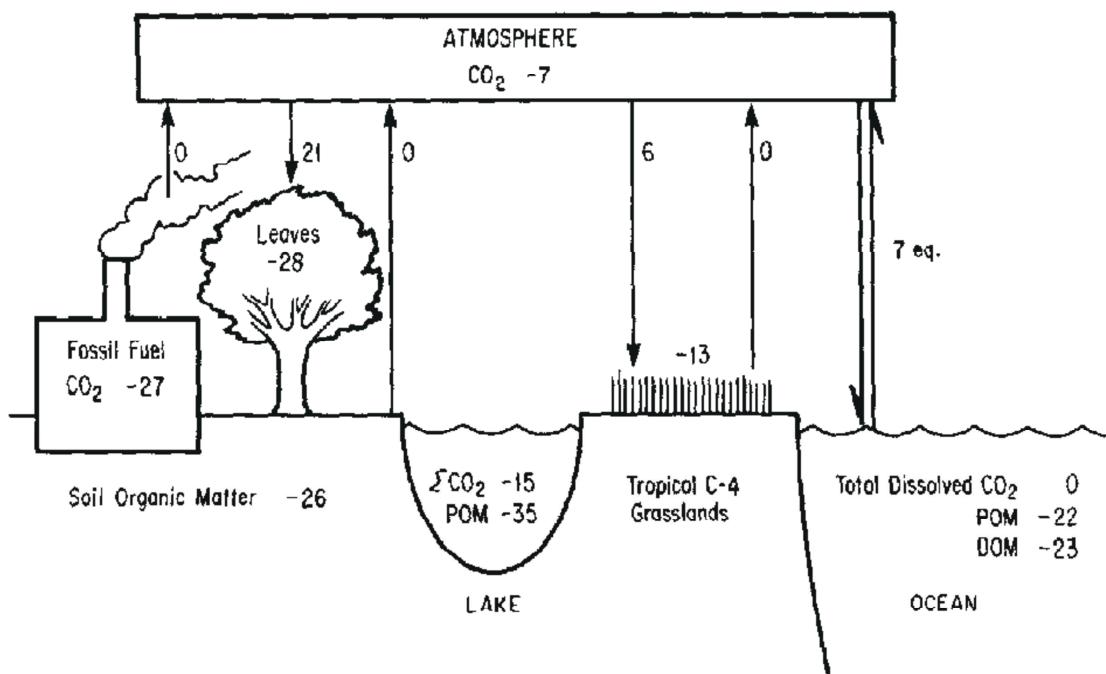


Abbildung 6: Kohlendioxid-Kreislauf nach Peterson und Frey (1987). Zahlenangaben sind $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in ‰.

Anhand der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte besteht die Möglichkeit, den verzehrten Pflanzentyp (C₃- oder C₄-Pflanze), der als Ernährungsgrundlage diente, zu bestimmen (Krueger und Sullivan 1984).

1. Einleitung

Aus dem atmosphärischen Kohlenstoffdioxid wird der Kohlenstoff mit -8‰ bis -7‰ über die Stomata der Pflanzen aufgenommen und durch die Photosynthese in organisches Material umgewandelt (Schwarcz und Schöninger 1991). Die Fixierung von CO₂ wird bei C₃-Pflanzen durch das Enzym Ribulose-1,5-Biphosphat und bei C₄-Pflanzen durch Phosphoenolpyruvatcarboxylase gesteuert (Straßburger 1991). Aufgrund der unterschiedlichen Photosynthesewege diskriminieren C₃-Pflanzen, wie Weizen, Reis, Zuckerrübe, Kartoffel und Leguminosen stärker gegen das atmosphärische ¹³C. C₃-Pflanzen zeigen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen -24‰ und -32‰ mit einem Mittelwert von -27‰. Die CO₂-Aufnahme der C₃-Pflanzen ist demzufolge mit einer Abreicherung von ¹³C von ca. 21‰ gegenüber atmosphärischem CO₂ verbunden, was zu einem durchschnittlichen $\delta^{13}\text{C}$ Wert von -26,5‰ führt. Die Werte sind darüber hinaus abhängig von Temperatur, Lichtintensität, sowie Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit (Ambrose 1991). So erhöhen sich die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von C₃-Pflanzen bei höheren Temperaturen bzw. größerer Trockenheit, oder auf Böden mit hohem Salzgehalt. Erhöhter Niederschlag führt hingegen zu einer Absenkung der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte. Zudem beeinflusst die geographische Lage den ¹³C-Gehalt von C₃-Pflanzen (Körner et al. 1991). Mit zunehmender Höhe und zunehmender Entfernung vom Äquator nehmen die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von C₃-Pflanzen zu (Farquhar et al. 1989, O' Leary 1981, Tieszen 1991).

Die wärmeliebenden C₄-Pflanzen, zu denen auch Mais und Zuckerrohr gehören, diskriminieren weniger gut und weisen Werte zwischen -16‰ und -9‰ bei einem Mittelwert von -13‰ auf (van der Merwe und Medina 1989). Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der klimasensitiven Pflanzen späterer Zeitstellungen sind, wie im vorliegenden Fall, um +1,5 ‰ angereichert (siehe Abb. 6), was auf das Verbrennen von fossilen Brennstoffen in den letzten 150 Jahren (fossil fuel effect) zurückzuführen ist (Leuenberger et al. 1992b). Mit einem Fraktionierungsfaktor von +5‰ wird der $\delta^{13}\text{C}$ Wert der Pflanze in das Kollagen des Konsumenten eingebaut, was dazu führt, dass eine Aussage über die konsumierten Pflanzengruppen getroffen werden kann (Ambrose und Norr 1993). Die Isotopenzusammensetzung im Konsumenten ist eng verknüpft mit der Isotopenzusammensetzung der aufgenommenen Nahrung. Bei jedem Schritt in der Nahrungskette kommt es zu einer Isotopenfraktionierung, die zu einer Anreicherung des schwereren Isotops führt (siehe Abb. 7). Verschiedene Gewebeteile des Konsumenten weisen unterschiedliche Kohlenstoffisotopenzusammensetzungen auf. Fette sind im Vergleich zu anderen Kompartimenten und der aufgenommenen Nahrung stark an $\delta^{13}\text{C}$ abgereichert und besitzen im Vergleich zu den anderen Kompartimenten die negativsten $\delta^{13}\text{C}$ -Werte. Bei der Biosynthese von Fetten kommt es zu einer kinetischen Isotopenfraktionierung, die zu einer Isotopendiskriminierung gegenüber ¹³C und somit zu niedrigen $\delta^{13}\text{C}$ -Werten führt (DeNiro und Epstein 1978). Knochenkollagen ist im Vergleich zur Nahrung und anderen biologischen Gewebeteilen am stärksten mit ¹³C angereichert, gefolgt von Haut, Muskel und Haaren (Lee-Thorp und Sponheimer 2006). Unterschiedliche biochemische Kompartimente zeigen oftmals verschiedene $\delta^{13}\text{C}$ -Werte, da bei der Biosynthese dieser körpereigenen Stoffe, zum Beispiel beim Muskelaufbau oder Haarwachstum, erstens verschiedene Prozesse ablaufen und zweitens dafür unterschiedliche Nahrungsbestandteile eingebaut und umgesetzt werden.

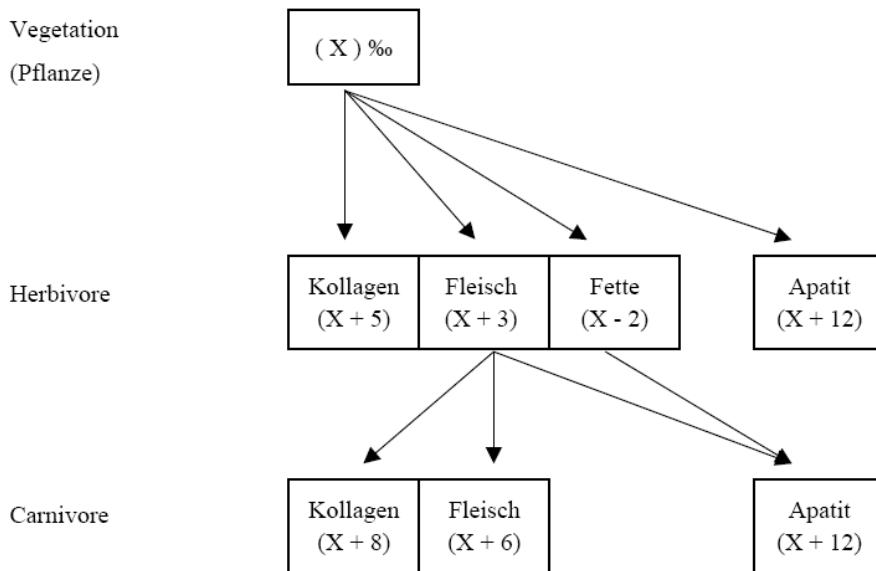


Abbildung 7: Stabile schwere Kohlenstoffisotope im Nahrungsnetz, nach Lee-Thorp et al. (1989), basierend auf dem Modell von Krueger und Sullivan (1984)

Im Gegensatz zum $\delta^{13}\text{C}$ -Wert aus dem Kollagen drückt der Wert aus dem Karbonat alle Bestandteile der konsumierten Nahrung (Kohlehydrate, Fette und Proteine) aus (Ambrose und Norr 1993, Tieszen und Fagre 1993).

Zu beachten ist, dass sich die Fraktionierungsfaktoren ändern, so dass der Unterschied der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aus dem Karbonat und $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aus dem Kollagen bei Herbivoren deutlich höher ist als bei Karnivoren (Siehe Abb.7).

1.4.2 Stickstoffkreislauf und Stickstoffisotope ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$)

Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in der Biosphäre variieren zwischen $-10\text{\textperthousand}$ und $+10\text{\textperthousand}$. Pflanzen spiegeln in der Regel die Isotopenverhältnisse des Bodens wider, auf dem sie gewachsen sind. Die Aufnahme des Stickstoffs aus dem Boden erfolgt meist ohne Isotopenfraktionierung hauptsächlich als Nitrat (NO_3^-). Die Stickstoffisotopenverhältnisse im Boden wiederum werden vorwiegend durch verwendete Düngemittel, Niederschlag, Industrieemissionen und durch von Mikroorganismen verursachte Fraktionierungsprozesse (Nitrifikation, Denitrifikation und Ammonifikation) bestimmt (Bateman und Baggs. 2005). Abbildung 8 zeigt den Stickstoffkreislauf des Bodens.

1. Einleitung

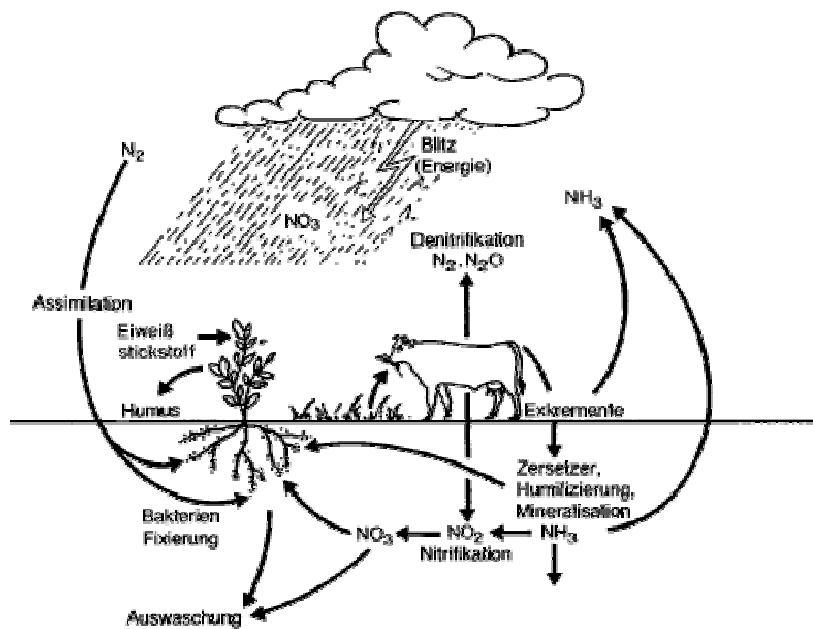


Abbildung 8: Stickstoffkreislauf: http://www.chemievorlesung.uni-kiel.de/1992_umweltbelastung/dueng2.htm

$\delta^{15}\text{N}$ -Werte des Kollagens von Menschen und Tieren zeigen, auf welcher Trophiestufe sich das zu untersuchende Individuum befindet. Es reichert sich von Trophiestufe zu Trophiestufe um ca. 3‰ bis 4‰ an (Schöniger und DeNiro 1984). Da Kohlenhydrate und Fette keinen Stickstoff aufweisen, stehen die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte des Kollagens von Konsumenten in direktem Bezug zum Nahrungsprotein unter Berücksichtigung des Trophiestufeneffekts (Ambrose et al. 1997).

Bei der Interpretation der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte sind einige beeinflussende Umweltfaktoren zu berücksichtigen, die in der Tabelle 1 aufgeführt sind.

Tabelle 1: Faktoren, die die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte beeinflussen können

Faktoren die den $\delta^{15}\text{N}$ -Wert beeinflussen	Literatur
Aufnahme von Stickstoff aus Nitrat und Ammonium aus dem Boden, sowie über Symbiose mit N ₂ -fixierenden Bakterien möglich	Ambrose (1991)
Klimatische Bedingungen beeinflussen den Boden	Ambrose (1991)
Höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte beidürretoleranten Tieren	Ambrose (1991)
Höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte bei Proteinmangel: Mangel wird durch körpereigene Stickstoffverbindungen ausgeglichen	Koch et al. (1994)
Veränderte Werte bei Krankheiten wie Osteomyelitis	Katzenberg und Lovell (1999)
Menopause	White & Armelagos (1997)
Schwangerschaft	Fuller et al. (2004)
Verwendung von Düngemitteln	Bateman et al. 2005

1. Einleitung

$\delta^{15}\text{N}$ -Werte des Kollagens können auch als Indikatoren für einen Still-, bzw. Abstillprozess bei Kleinkindern verwendet werden. Ein Neugeborenes hat einen nahe bei dem der Mutter liegenden $\delta^{15}\text{N}$ -Wert, der im Laufe des Stillprozesses durch Anreicherung des schwereren Stickstoffisotops zunimmt. Es befindet sich somit auf einer höheren Trophiestufe als seine Mutter. Der Wert sinkt mit dem Abstillprozess wieder auf das Niveau der Mutter (Dittmann und Grupe 2000, Fogel et al. 1989, Fuller et al. 2003). Bei Untersuchungen von Kollagen aus Fingernägeln von Mutter-Kind-Paaren konnte Fuller et al. (2006b) auch Stillsignale gewinnen. Es wurde festgestellt, dass beim Abstillen die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte deutlich schneller auf das mütterliche Niveau absinken und damit der Zeitpunkt des Zufütterns gut bestimmbar ist. Der $\delta^{15}\text{N}$ -Wert kann hingegen den Zeitraum des gesamten Stillvorgangs eingrenzen (Fuller et al. 2006b).

1.4.3 Sauerstoffkreislauf und Sauerstoffisotopie ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$)

Mittels der Sauerstoffisotopenverhältnisse im Apatit von Zahnschmelz und Knochen können Aussagen über die geographische Herkunft und über den Verlauf einer potentiellen Migration eines Individuums gemacht werden. Auch zur Rekonstruktion klimatischer Bedingungen vergangener Zeitperioden werden die Sauerstoffisotopenverhältnisse eingesetzt. Darüber hinaus kann bei Kleinkindern die Stilldauer und der Entwöhnungszeitraum eingegrenzt werden, da Körperflüssigkeiten wie Milch, im Vergleich zum konsumierten Trinkwasser, mit dem schwereren Isotop angereichert sind. Säuglinge, die durch ihre Mutter gestillt werden, haben einen höheren Anteil an schwererem ^{18}O . Nach dem Abstillen sinken die Werte wieder auf das Niveau der Mutter (Katzenberg 2000, Wright und Schwarcz 1999, White et al. 2004). Der Organismus bezieht seine Sauerstoffisotopie aus drei Sauerstoffquellen: Wasser, Nahrung und Luft, wobei der Luftsauerstoff aufgrund seines konstanten $\delta^{18}\text{O}$ Wertes in der Atmosphäre ebenso zu vernachlässigen ist, wie der Wert aus der Nahrung.

Das Trinkwasser, und damit der verstoffwechselte $\delta^{18}\text{O}$ Wert des meteorischen Wassers, bestimmt hauptsächlich den $\delta^{18}\text{O}$ Wert des Blutes in Abhängigkeit von den physiologischen Eigenschaften des Individuums (Bryant und Froehlich 1995, Kohn 1996). Für den warmblütigen Menschen mit einer Körpertemperatur von ca. 37 °C besteht eine eindeutige Beziehung zwischen $\delta^{18}\text{O}$ aus dem Karbonat des Knochens bzw. Zahnschmelzes und der Temperatur des Trinkwassers, welche auf dem Isotopengleichgewicht zwischen der Sauerstoffzufuhr (hauptsächlich Trinkwasser) und der Sauerstoffabgabe (Schweiß, Urin und Exhalation) beruht. Da sich die Sauerstoffisotopie des Niederschlagswassers in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Lufttemperatur ändert, spiegeln sich gegebenenfalls Höhenunterschiede, Entfernung zum Meer, sowie andere geographische Unterschiede in den Werten wieder und zeigen so auch die ökologische Herkunft an.

Die Sauerstoffisotopie wird relativ zu dem Bezugsstandard VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) gemessen und in Promille ausgedrückt.

1.5 Die Diagenese von bodengelagertem Knochengewebe - ein Überblick

„Only a small part of what once existed was buried in the ground, only a part of what was buried escaped the destroying hand of time, of this part all has not yet come to light again; and we all know only too well how little of what has come to light has been of service for our science.“ (O. Montelius 1888:5)

Ganz allgemein wird der Begriff „Diagenese“, der ursprünglich aus der Geologie stammt, für alle Vorgänge verwendet, die unmittelbar nach der Ablagerung von Objekten im Boden beginnen und mit der Metamorphose enden. Die Taphonomie hingegen fasst alle Prozesse zusammen, die ab dem Tod auf das Untersuchungsgut einwirken. Dazu gehören sowohl die Biostratonomie, die das Schicksal eines Körpers vom Zeitpunkt des Todes bis zu seiner endgültigen Einbettung beschreibt, als auch die Diagenese.

Zahlreiche Arbeitsgruppen beschäftigen sich mit der Untersuchung der diagenetischen Vorgänge in bodengelagertem Knochenmaterial (bspw. Collins et al. 2002, Dent et al. 2004, Fernández-Jalvo et al. 2010, Harbeck und Grupe 2009, Hoke et al. 2011, Hoke et al. 2013, Jans et al. 2002, Harbeck 2007, Nielsen-Marsh und Hedges 2000, Smith et al. 2007, Trueman et al. 2008, Tütken 2003, Tütken und Vennemann, 2011). Das Verständnis dieser Prozesse soll zu einer Vorhersagbarkeit der Erhaltung der Biomoleküle und möglicherweise auch zu der Bestimmung der Liegedauer führen. Die Diagenese von Knochen ist ein komplexer Prozess und hängt von zahlreichen äußeren Faktoren, aber auch vom Knochenmaterial selbst ab.

Dabei haben sich zwei mögliche Wege des Abbaus von Knochen herauskristallisiert. Zum einen die rein chemische Degradation der organischen und mineralischen Komponenten (Collins et al. 2002) durch Hydrolyse von Peptidbindungen und zum anderen der mikrobielle Abbau dieser Komponenten durch Oxidation und Denitrifikation (Grupe 2001). Vom Ausmaß der diagenetischen Veränderung des Knochens kann aber nicht direkt auf die Liegedauer geschlossen werden, vielmehr führen die Bedingungen des Fundortes, wie beispielsweise pH-Wert, Temperatur oder Grundwasserstand zu unterschiedlichen Veränderungen und Zerstörungen der Knochenkomponenten.

Die Weichen für eine dauerhafte Erhaltung des Knochens als Fossil oder die vollständige Auflösung werden schon sehr bald nach Tod und Bestattung gestellt. Über lange Zeit im Boden erhalten gebliebene, fossilisierte Knochen zeigen im Gegensatz zu subfossilien Knochen häufig keine bakterielle Degradation, was zeigt, dass mikrobieller Befall das Schicksal eines Knochens entscheidend beeinflussen kann (Trueman und Martill 2002).

Für die Archäobiologie steht die Erhaltung der einzelnen Knochenkomponenten im Vordergrund. Diese sind Voraussetzung und Grundlage für weiterführende Untersuchungen an den einzelnen Komponenten und sollten im besten Fall in ihrer chemischen Zusammensetzung weitgehend intakt sein, um authentische Signale für bspw. Isotopenanalysen liefern zu können (Grupe und Turban-Just 1998).

Hierbei ist zu beachten, dass die Knochenkomponenten sich wechselseitig in ihrer Resistenz gegen degenerative Veränderungen schützen. Die Kollagenfibrillen schützen die relativ großen Apatitkristallite gegen Umwelteinflüsse, wohingegen die mineralische Komponente durch ihre enge Packung das Eindringen von bakteriellen Proteinassen, die das Kollagen angreifen, verhindert (Gernaey et al. 2001).

1.5.1 Veränderungen der Mikrostruktur des bodengelagerten Knochens

Die Mikrostruktur von Knochen kann unterschiedliche Anzeichen von Veränderungen aufweisen, die mittels der Betrachtung von histologischen Dünnschnitten beurteilt werden können (siehe Kap. 3). Dabei können Mikroorganismen, Bakterien und Pilze, deren Enzymaktivitäten und Stoffwechselprodukte vom Liegemilieu abhängig sind, die Ursache sein. Ferner kann die Diffusion beispielsweise von Huminstoffen aus dem Boden, das Fortschreiten der Diagenese beeinflussen, oft erkennbar an einer bräunlich-bernsteinfarbenen Einfärbung des Knochens. Außerdem ist ein hydrolytischer, also ein nicht bakterieller Abbau des Kollagens möglich. Bell et al. (1996) konnten feststellen, dass der mikrobielle Abbau durch Bodenbakterien schon sehr bald nach der Bestattung beginnt. Bakterien gelangen so an das Kollagen, dessen Kohlenstoffatome sie aus den vornehmlich kohlenstoffreichen Aminosäuren mittels Kollagenasen verwerten können (Grupe und Turban-Just 1998). Lichtmikroskopische Betrachtungen der Dünnschnitte können die im Folgenden beschriebenen Veränderungen der Mikrostrukturen zeigen.

Fokale Zerstörung

Die Bodenchemie und das Liegemilieu fördern die Aktivität von diversen Bakterien und Mikroorganismen. Sie gelangen vornehmlich über physiologische Hohlräume in den Knochen und bilden saure Metabolite, mit denen sie den Apatit anlösen um an das Kollagen zu gelangen. Bei lichtmikroskopischer Betrachtung der Dünnschnitte ist dieser Vorgang durch tunnelartige Strukturen in unterschiedlicher Ausprägung nachweisbar. Vier typische Formen fokaler Zerstörungen sind von Hackett beschrieben worden (siehe Abb. 9): 1: Wedl Tunnel (durch Pilzhyphen hervorgerufen), 2: linear longitudinal, 3: knospig und 4: lamellare Typen werden durch Bakterien verursacht. (Hackett 1981, Herrmann et al. 1990, Garland 1987, 1989). Einschlüsse von Fremdmaterial, Mikrofissuren und Verfärbungen zeigen die Erhaltung der Knochenmikrostruktur. Ziel ihrer Untersuchung ist es, mögliche Zusammenhänge zwischen mikrostruktureller Erhaltung und biochemischer Integrität der Knochenkomponenten aufzuzeigen.

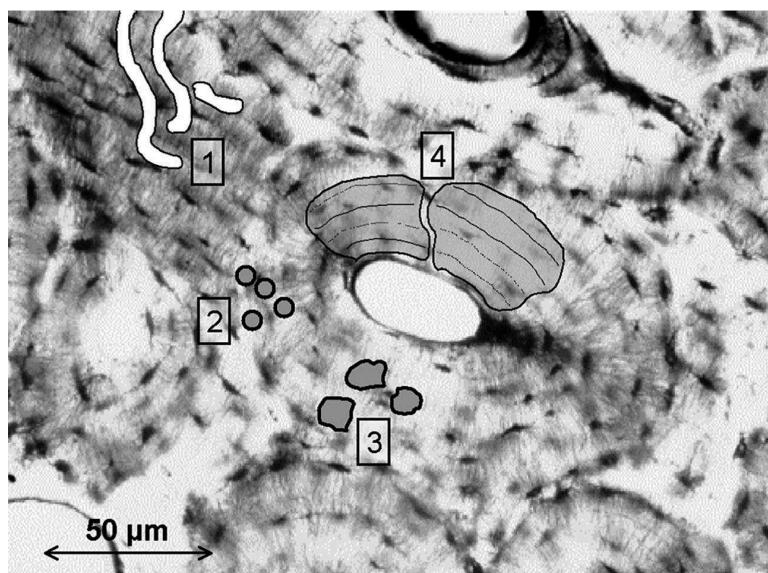


Abbildung 9: Schema zu den 4 Typen fokaler Zerstörung nach Hackett aus Jans et al. (2002)

Doppelbrechung

Die Doppelbrechung ist ein physikalisches Phänomen, das bei der Betrachtung von Knochendünnschliffen unter polarisiertem Licht sichtbar wird. Kollagenfibrillen sind ihrer Ausrichtung (longitudinal bzw. transversal) alternierend in dem Havers'schen System angeordnet und bilden dadurch unterschiedliche Winkel bezogen auf das Auftreffen des polarisierten Lichts. Die Intensität des Lichts wird dadurch teilweise abgeschwächt, was zu dem optischen Phänomen der Brewster-Kreuze führt. Bei der Intensität des Doppelbrechungsphänomens spielen diverse Faktoren eine Rolle. Die wichtigsten sind das Individualalter, der Gesundheitszustand und die Belastung des Knochens zu Lebzeiten. Diese Faktoren beeinflussen die Anzahl der Fibrillen, sowie die Apatitmenge. Auch liegemilieurbedingte diagenetische Veränderungen des Kochens führen zu veränderten Doppelbrechungseigenschaften (Collins et al. 2002). Ist diese nicht erkennbar oder partiell stark reduziert, kann von einer gestörten Knochenmikrostruktur ausgegangen werden (Jans et al. 2002).

Einschlüsse von Fremdmaterial

Oft ist im histologischen Querschnitt Fremdmaterial zu erkennen. Dabei handelt es sich um Einschlüsse in den Havers'schen Kanälen oder Lakunen der Knochenkompakta, die durch Einwanderung von biogenem Material her stammen. (Piepenbrink 1986, Grupe 1995)

Mikrofissuren

Mikrofissuren sind kleine Risse in der Knochenstruktur, die postmortal aufgrund von starken Temperaturschwankungen auftreten können, oder durch raumgreifende Rekristallisationsvorgänge im Knochen entstehen. Da dieses Phänomen in der hier bearbeiteten Stichprobe nicht auftrat, soll auch nicht weiter darauf eingegangen werden (Piepenbrink 1986, Grupe 1995).

Verfärbung

Bräunliche Verfärbungen des Knochenquerschnitts gehen häufig mit einem Strukturerhalt des Knochens einher. Sie entstehen häufig durch eine Infiltration von Huminstoffen aus dem Boden. Dabei handelt es sich um organische Stoffe, die durch den Abbau von Pflanzenmaterial entstehen. Charakteristisch ist dabei, dass der Verfärbungsvorgang von der Knochenoberfläche nach innen fortschreitet. Es wird vermutet, dass durch die Crosslink-Bindung des Kollagens mit den relativ großen Huminstoffmolekülen die Kollagenasen daran gehindert werden, diese zu zersetzen (Nicholson 1998). Alternativ könnte auch die Kondensation von Kohlehydraten und Proteinen die letztendlich zu Melanoidinbildung führt für eine bräunliche Verfärbung verantwortlich sein. Dieses Phänomen wird „enzymatisches Bräunen“ oder Maillard-Reaktion genannt (van Klinken und Hedges 1995).

2. Material

2.1 Ausgrabung und Fundsituation im Bereich der ehemaligen Kirche in Altdorf



Abbildung 10: Karte (modifiziert) von Thomas Römer/OpenStreetMap data, http://de.wikipedia.org/wiki/Rheinisches_Braunkohlerevier

Im Frühjahr 2006 wurde im Rahmen einer Lehrgrabung von 19 Studenten der vor- und frühgeschichtlichen Archäologie aus München, Berlin, Heidelberg und Frankfurt a. M. unter der Leitung von Prof. Bernd Päffgen, Lehrstuhl für Vor- und Frühgeschichtliche Archäologie und provinzialrömische Archäologie der LMU München, ein Areal von ca. 300 Quadratmetern freigelegt. Auf diesem befand sich die katholische Kirche St. Pankratius von Altdorf, Kreis Düren mit zugehörigem Kirchhof. Der Braunkohleabbau in dieser Region führte dazu, dass, wie viele andere Dörfer in diesem Gebiet auch das gesamte Dorf dem Tagebau weichen musste. Das ehemalige Altdorf lag im Kreis Düren in Nordrhein-Westfalen,

das an der Inde gelegen war. Ziel der Grabungskampagne war es, den Vorgängerbau der Kirche, der 1858-1868 nach einem Brand neu errichtet wurde zu untersuchen. Dabei wurden der gesamte Kircheninnenraum, der aus dem 19. Jahrhundert stammte, und ein großer Teil des ehemaligen Friedhofs mit ca. 240 Gräbern untersucht. Die Ältesten stammen aus dem späten Mittelalter, die Jüngsten wurden noch im 20. Jahrhundert angelegt. Moderne Bestattungen wurden in Sargkisten zur Umbettung der Umsiedlungsabteilung der Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG (RWE AG) übergeben. Gräber, die seit 1868 angelegt wurden, waren in der Regel nord-süd orientiert, ältere Bestattungen waren hingegen ost-west ausgerichtet, zum Teil aber nur noch als Bodenverfärbungen überliefert.

2.2 Zeitstellung der Skelettpopulation

Die Zeitstellung der gefundenen Skelette ist bedeutend, denn diese stammen aus einem Gebiet, in dem die Industrialisierung in Deutschland ihren Anfang nahm. Zudem repräsentieren diese zeitlich gesehen die Phasen der Bevölkerungsentwicklung zwischen der präindustriellen Periode, die in Deutschland in dieser Region bis ca. 1840 andauerte und dem sogenannten Demographischen Übergang. Ein vereinfachtes Modell der Bevölkerungsentwicklung ist in Abb. 11 dargestellt.

2. Material

Der Demographische Übergang bezeichnet den parallel zum Industrialisierungsprozess verlaufenden und von England ausgehenden Bevölkerungsprozess, der sich über ganz Europa ausbreitete und in dessen Verlauf es zum ersten Mal in der Geschichte der Menschheit zu einer starken Zunahme der Bevölkerung kam. Anders ausgedrückt entwickelte sich ausgehend von ursprünglich hohen Geburten- und Sterberaten ein gegenläufiger Trend. Ferner verschob sich die Altersstruktur: Der Anteil der jungen Erwachsenen sank relativ zur Anzahl in der maturen und senilen Altersgruppe. Dieser Transformationsprozess verlief in verschiedenen Ländern zeitlich versetzt. Für Deutschland und insbesondere für Nordrhein-Westfalen, das die Kernregion der Industrialisierung in Deutschland bildete, geht man davon aus, dass die präindustrielle Phase bis 1840 andauerte. Hier wies das agrarisch geprägte Deutschland noch sehr hohe Sterberaten, insbesondere für Säuglinge, und hohe Geburtenziffern auf. Als Ursachen dafür werden geringe Medizin- und Hygienekenntnisse, Infektionskrankheiten, aber auch eine oft schlechte Ernährungssituation genannt, da Ernteausfälle aufgrund extremer klimatischer Ereignisse noch oft Hungersnöte zur Folge hatten. Kinder waren Arbeitskräfte und Altersversorgung zugleich, weshalb die Kinderzahl pro Familie hoch war. Diese Entwicklungsphase wird durch jene bestatteten Individuen vertreten, welche unterhalb der Kirche und somit vor 1860 bestattet wurden.

Die erste transformative Phase begann ab ca. 1840 mit einer sinkenden Sterberate bei gleich hoch bleibender Geburtenrate. Diese Phase korrespondiert zeitlich sehr gut mit der Gruppe von Einwohnern Altdorfs, die ab 1860 bestattet wurden und Menschen repräsentieren, die während der beginnende Industrialisierung lebten. Als Ursachen dafür werden eine verbesserte Ernährungssituation durch Fortschritte in Landwirtschaft und die Möglichkeit der besseren Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln durch schnellere Transportmittel genannt. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts setzt die mitteltransformative Phase ein, welche von einer deutlich fallenden Sterberate und dem Rückgang der Geburten geprägt ist. Die Zeit des wirtschaftlichen Aufschwungs um 1900 ist geprägt von sozialen Neuerungen.

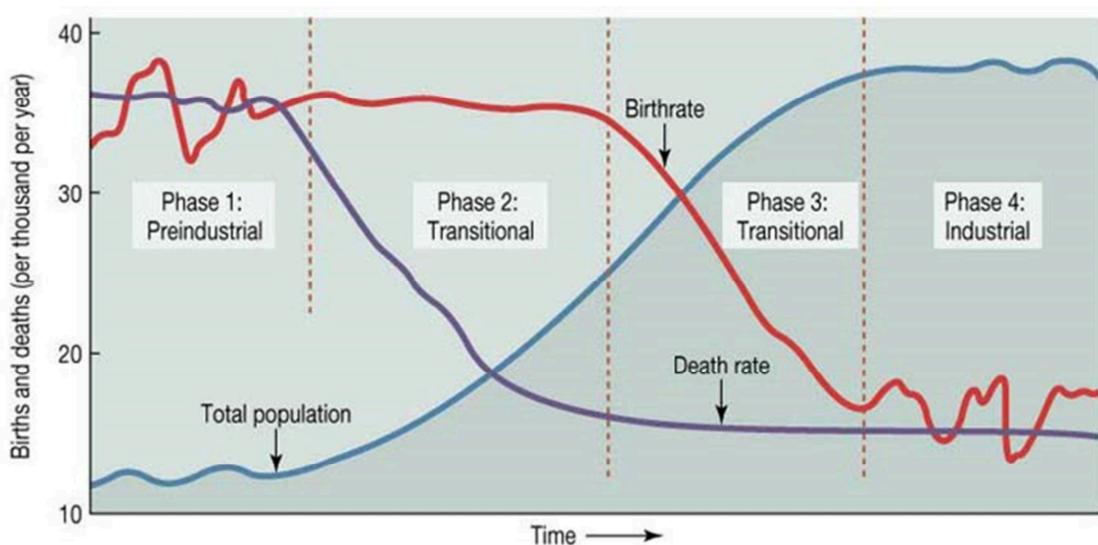


Abbildung 11: Geography 110 Maps, Wesleyan University, Ohio, USA. Retrieved 09.08.2013

Es gilt das Verbot der Kinderarbeit, die Schulpflicht wurde eingeführt, zudem wurde durch Bismarck 1880 ein soziales Sicherungssystems etabliert.

2. Material

Kinder verloren zunehmend die Funktion von Arbeitskräften und Altersvorsorge. Medizinische Fortschritte wurden ebenso erzielt, wie erneute Verbesserungen in landwirtschaftlichen Wirtschaftsbereichen. In der spättransformativen Phase, im Zeitraum zwischen 1915 und 1945, sinkt die Geburtenrate weiter, die Sterberate erreicht, abgesehen von den Kriegsopfern des Ersten Weltkrieges, ein niedriges Niveau, auf dem sie sich vorerst einpendelt. Gründe für den endgültigen Rückgang der Sterberate war der medizinische Fortschritt, wie die Entdeckung des Penizillins und verbesserte Operationstechniken. Neue technische Errungenschaften, die oftmals in engem Zusammenhang mit militärischen Nutzungsmöglichkeiten standen, wie z.B. der Pkw, der Zeppelin oder Propellerflugzeuge, führten zu einer deutlichen Hebung des technischen Standards (Woods 1982, Ehmer 2004, Rödel 1975, Imhof 1975).

Das Konzept des Epidemiologischen Übergangs konkretisiert das oben beschriebene Konzept des Demographischen Übergangs von Abdel Omran (1971, 1977) und betrachtet die durchschnittliche Sterblichkeit, nach Alter und Geschlecht, sowie nach Todesursachen. Das Konzept beinhaltet allgemein 3 Phasen:

1. Phase: „Das vormoderne Zeitalter der Seuchen und Hungersnöte“ Die Sterblichkeit weist starke Fluktuationen um ein hohes Niveau auf, die Lebenserwartung liegt in der Regel unter 40 Jahren.

2. Phase: „Zeitalter der rückläufigen großen Epidemien“. Die Lebenserwartung steigt auf 50 Jahre.

3. Phase: „Zeitalter der degenerativen und gesellschaftlich verursachten Krankheiten“. Die Sterblichkeit pendelt sich auf einem niedrigen Niveau ein.

Imhof (1981) und Spree (1986) griffen dieses Konzept auf und bemühten sich um eine Datierung der Phasen für Deutschland. Imhof postulierte, dass die Phase 1 bis zum Ende des 19. Jahrhunderts gedauert hat. Phase 2 wurde von Imhof und Spree unterschiedlich definiert: Für Imhof umfasste die Phase 2 eine kurze Zeitspanne bis der Schwellenwert von 50 Jahren für die Lebenserwartung erreicht war, da Phase 3 schon während des frühen 20. Jahrhunderts einsetzte. Spree hingegen postulierte, dass dieser Wert das Ende der Phase 2 markiert. Beide sind sich einig, dass Phase 2 des Konzeptes mit dem 1. Weltkriegs endet und nach dessen Ende die 3. Phase die der degenerativen und gesellschaftlich verursachten Krankheiten beginnt (Spree 1988/1989). Skelette aus beiden Zeitstellungen waren in gestreckter

Rückenlage mit über der Brust oder dem Becken gefalteten Händen bestattet worden. Aufgrund der zum Teil kurzen Liegezeiten der späteren Zeitstellung sind sowohl die Skelette, als auch die zahlreichen Beigaben und Sargbestandteile gut erhalten. Vielfach fanden sich Sargbestandteile wie Nägel, Griffe, Sargfüße und Kruzifix-förmige Beschläge aus Eisen oder Zinnlegierungen (Abb.12). Reste der Totenkleidung, wie Knöpfe, Nadeln oder Schnallen konnten vereinzelt geborgen werden.



Abbildung 12: Sargschmuck (Bef. 238)

2. Material

Persönliche Gegenstände und Grabbeigaben der Toten in Form von Ringen, Perlen, Rosenkränzen, Wahlfahrtsmedallions, Kreuzanhängern, Ohrringen, Totenkrönchen und sogar ein Gebetsbuch sind in einigen Fällen gut erhalten geblieben.

Der 1856 abgebrannte Kirchenbau lag bei leichter Überschneidung etwas nördlich der neoromanischen Backsteinkirche. Die zugehörigen Gräber waren Ost-West ausgerichtet und befanden sich zum größten Teil unterhalb des Fundaments des neuesten Kirchenbaus. An dieser Stelle kamen ebenfalls die Grundrisse eines Gebäudes zum Vorschein, das Nord-Süd ausgerichtet war und mit einem ehemaligen Altdorfer Adelssitz in Verbindung gebracht werden konnte, da es rechtwinklig zur mittelalterlichen Kirche lag, so dass es als eine hochmittelalterliche Hofanlage angesehen werden kann (Päffgen, pers. Mitt.).



Abbildung 13: Grabungsplan mit eingezeichneten Gräbern

Für die Untersuchungen standen 85 Individuen der präindustriellen Phase und 74 aus der Phase des Demographischen Übergangs zur Verfügung, 16 Skelette konnten keiner Zeitstellung zugeordnet werden. Die Aufstellung der untersuchten Skelette befindet sich im Anhang (Kapitel 7.3).

2.3 Charakterisierungen des Fundortes

Altdorf, ein Ortsteil von Inden, lag am linken Indeufer, zwischen Inden im Süden und Kirchberg im Norden zwischen der Jülicher und Zülpicher Börde des Rheinlandes in Nordrhein-Westfalen. Die Inde hat ihren Ursprung in Belgien, durchfließt die Städte



Abbildung 14: SRTM Höhenmodell aus Jarvis et al. 2008, Darstellung R. Löhner, Geographisches Institut Aachen 2010, bearbeitet von Schmidt-Wygasch (2011)

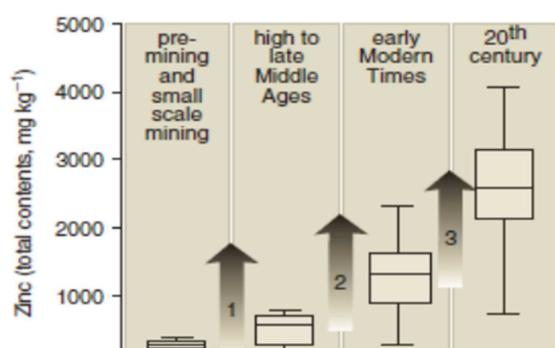


Abbildung 15: Zinkkontamination im Laufe der Zeit. Aus Schmidt - Wygasch et al. (2010)

das zu untersuchende Skelettmaterial ausgeübt haben. Seit dreißig Jahren werden zwar keine Polder mehr angelegt und bestehende sind trocken gefallen, durch Regenwasser werden aber aus den braunkohlenhaltigen Schichten Huminsäuren gelöst und in den Saubach geleitet, der wiederum in die Inde mündet. Die Polder gehören zu den größten industriellen Altlasten der nordrheinwestfälischen Region um Aachen.

Aufgrund der vorherrschenden Westwinde liegt die Börde im Lee der Eifel und ist deshalb relativ trocken und warm. Die Niederschläge betragen nur etwa 550-600 mm pro Jahr.

Inden/Altdorf und Kirchberg und mündet schließlich südwestlich von Jülich in die Rur (siehe Abb.14). Die Inde wurde im Zuge des Tagebaus auf die Verkippungsseite verlegt (siehe Karte Abb. 10). Die Inde und die zugehörigen Auenbereiche wurden im Laufe der Geschichte insbesondere durch Schwermetalle wie Zink und Blei aufgrund des natürlichen Vorkommens von Blei-Zink-Erzen entlang der Inde und zusätzlich durch die Abfallprodukte der Bergbau- und Hüttenindustrieaktivitäten sowohl geogen als auch anthropogen verunreinigt (Schmidt-Wygasch et al. 2010, Abb.15). Aus der Kaliindustrie in Atsch bei Stolberg sind Abfallhalden entstanden, die das Flusswasser belasteten.

Durch regelmäßige Überflutungen der niedriger gelegenen Bereiche in der Umgebung von Altdorf durch die Inde, gelangten die Schwermetalle auch in Flussufer fernerer Bereiche. Zusätzlich entstanden durch Abfallprodukte der Glasindustrie, Auflandungsflächen, auf die Quarzsand mit Wasser und Glasabrieb gepumpt und aufgespült wurde (Polder). Da Altdorf im direkten Einzugsgebiet der Inde und der Indeaue lag, könnte dies auch einen Einfluss auf

2. Material

Bei einer Höhenlage des Gebietes von ca. 120 - 160 m über NN beträgt die Jahresdurchschnittstemperatur ca. 9,5 °C. (<http://www.wald-und-holz.nrw.de>, Stand 11.03.2012)

Ursprünglich war die Region von Laubmischwäldern geprägt, die auf dem nährstoffreichen Lössboden sehr gut gediehen. Der Wald wurde auf vielfältige Weise genutzt, wie beispielsweise zur Brennholzgewinnung und zur Schweinemast, das Laub wurde als Einstreu für die Ställe gebraucht. Die Industrie benötigte ebenfalls Holz. Gerbereien nutzen Eichenrinde und die Holzkohleherstellung benötigte für 20 kg Holzkohle 100 kg Holz. Die Nutzung des Waldes war bis Ende des 18. Jahrhunderts unkontrolliert und so entstand durch Rodung im Laufe von 2 Jahrtausenden eine monotone baumlose Agrarfläche.

2.3.1 Geschichte der Region

Diese Region um Düren war im 16. Jahrhundert aufgrund der geographischen Nähe zu den Niederlanden und Belgien von kriegerischen Auseinandersetzungen oft direkt und indirekt betroffen. Dies lag an der Reformationsbewegung in den Niederlanden, die sich unter der Herrschaft des katholischen Kaisers Philipp II von Spanien befand. Er ging gegen die protestantische Bewegung massiv mit Hinrichtungen und Zerstörung von Kirchen vor. Es flüchteten viele Niederländer nach Deutschland in die Jülicher Region, was eine Verlagerung der Auseinandersetzungen in das Gebiet um Jülich zur Folge hatte. Viele der dort Ansässigen flüchteten daraufhin in die Kölner Gegend.

Im 17. Jahrhundert durchzogen im Jülich-Klevischen Erbfolgekrieg brandenburgische, pfalzneuburgische und kaiserliche Truppen mit Hilfstruppen aus Spanien und den Niederlanden das Gebiet. Die Ortschaften der Umgebung litten unter der Einquartierung dieser Truppen und Kontributionen. Es wurde neben Geld vor allem Lebensmittel für Menschen und Vieh gefordert. Kam man dem nicht nach, wurde geplündert und zerstört. Von den Bewohnern wurden auch Arbeitsdienste, beispielsweise der Brückenbau über die Inde erzwungen.

Von 1794 an fiel das linksrheinische Rheinland unter französische Herrschaft.

Nach fast 20 Jahren, 1813, zogen die französischen Truppen ab, das Herzogtum Jülich fiel an Preußen, welches nach dem Wiener Kongress 1815 aus dem Rheinland ihre Rheinprovinz machten. Während der preußischen Zeit wurde die Infrastruktur in Form von Fernstraßen und Eisenbahnlinien ausgebaut. Um 1820 entstanden bei Eschweiler, Liblar und Zülpich die ersten Braunkohlegruben. Doch erst mit der Entwicklung der Maschinentechnik gegen Ende des 19. Jahrhunderts begann die großflächige Umgestaltung der Landschaft. Die erste Zuckerfabrik des Rheinlands wurde 1859 eröffnet. Der fruchtbare Lössboden und das milde Klima begünstigten den Anbau der Zuckerrübe in dieser Region.

Die Ausweitung der Ackerflächen und der zunehmende Holzbedarf der Bergwerke im Aachener Steinkohlenrevier führten zu einer großflächigen Abholzung der Waldgebiete.

Im 2. Weltkrieg bildete die Rur mehrere Monate lang, vom November 1944 bis zum Februar 1945, die Frontlinie, was zu schlimmen Zerstörungen führte.

2. Material

Düren und Jülich gehörten zu den am stärksten zerstörten Städten Deutschlands. Zahlreiche Kirch- und Wassertürme wurden gesprengt, weil sie in der flachen Landschaft als gute Landmarken und Aussichtspunkte dienten (Tischler 1951, Offermanns 1912).

2.3.2 Leben in Altdorf

Seit der Bauernbefreiung des 17. und 18. Jahrhunderts änderten sich die gesellschaftlichen Strukturen auch der Landbevölkerung grundlegend. Altdorfs Einwohnerzahl stieg zwischen den Jahren 1767 und 1933 von 337 Einwohnern kontinuierlich bis auf 765 an. Das zunächst rein landwirtschaftlich geprägte Dorf wurde zum größten Teil von Landwirten und landwirtschaftlichen Hilfsarbeitern geprägt. Im Zuge der beginnenden industriellen Revolution - das Rheinland war Kerngebiet der Industrialisierung (Ehmer 2004) - kamen zunehmend andere Berufssparten hinzu. Der Lebensunterhalt wurde nun immer häufiger auch mit Fabrikarbeit beispielsweise in den nahe gelegenen Zuckerrüben- und Papierfabriken, im Bergbau, Handwerk und im Eisenbahnwesen verdient, wie aus dem Auszug aus einer Einwohnerliste der Gemeinde Altdorf von 1910 mit insgesamt 664 Einwohnern zu entnehmen ist.

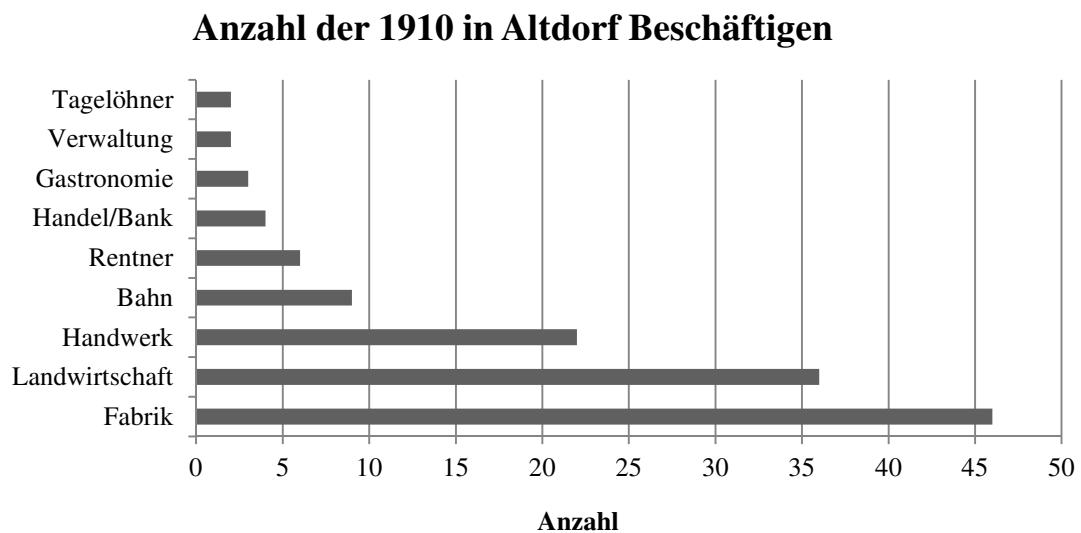


Abbildung 16: Anzahl der in verschiedenen Berufsfeldern beschäftigte, Daten entnommen aus der Einwohnerliste der Gemeinde Altdorfs von 1910

Bei 131 Personen war der Beruf angegeben. Diese Angaben wurden in der Abb. 16 zusammengefasst, die Quelle gibt allerdings nur die Berufe der männlichen Mitglieder einer Familie an, mit Ausnahme von verwitweten Frauen. Die Abbildung 17 fasst die aus der Literatur entnommene Entwicklung der Einwohnerzahlen Altdorfs von 1767 bis 1933 zusammen.

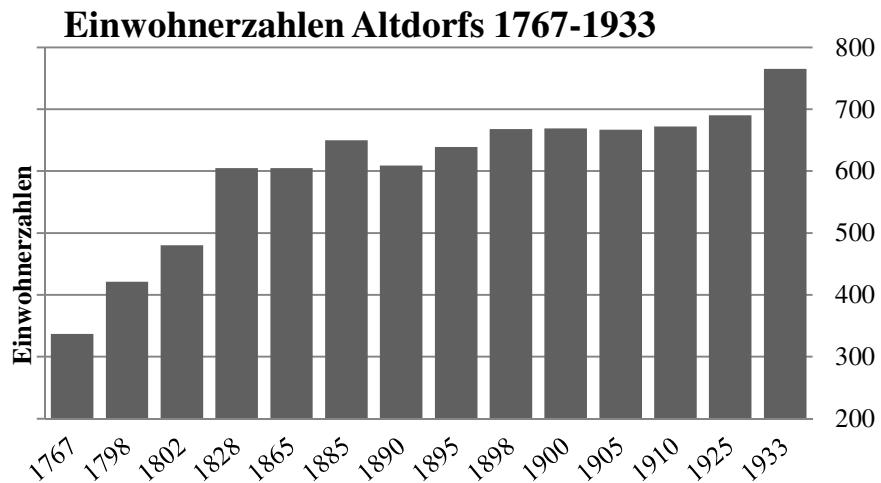


Abbildung 17: Aus „Altdorf, die Geschichte seines Werdens und Schicksals“ (1951), Zusammenstellung Heinrich Tischler

Bis ins 19. Jahrhundert war die Landwirtschaft die wichtigste wirtschaftliche Grundlage im Gebiet um Jülich. In den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts vollzog sich mit der Etablierung des Zuckerrübenanbaus in der Landwirtschaft in der bäuerlichen Struktur ein tiefgreifender Wandel. Im Jahr 1869 eröffneten Dürener Fabrikanten die erste Zuckerfabrik innerhalb der linksrheinischen Börde. Beliebt war die Zuckerrübe deshalb, weil sie auf dem Markt hohe Preise erzielte. Zudem konnten die Rübenblätter und die gepressten Rückstände als Viehfutter verwendet werden. Um die Jahrhundertwende war diese das ertragreichste Anbauprodukt, deren Verbreitung infolge dessen immer weiter voranschritt. Der Anbau führte auch dazu, dass der Einsatz mineralischer Düngung notwendigerweise verstärkt wurde. Das Jülicher Land übertraf um 1900 bereits alle anderen Agrargebiete in Deutschland bei den Verbrauchszahlen an mineralischem Dünger. Textil und Papierfabriken boten den Menschen ebenfalls Arbeit. Letztlich blieb das Jülicher Umland weiterhin landwirtschaftlich orientiert. Auf der Grundlage des Zuckerrübenanbaus und des damit in hohem Maße vorhandenen Viehfutters, steigerte sich auch die Viehhaltung. Nachdem sie bis Mitte des vorigen Jahrhunderts lediglich zur Düngerproduktion und zur Deckung des Eigenbedarfs diente, entstand nun ein Wirtschaftszweig, dessen Ziel der Verkauf von Fleisch und Milch war (Künster 1967).

Heute dominiert der Braunkohletagebau in diesem Gebiet.

2.3.3 Historisches Quellenmaterial

Im Rheinland wurde im Anschluss an den Wiener Kongress (1814/15) von der Preußischen Regierung in Berlin nach der fast zwanzigjährigen Besetzung durch Frankreich eine Bestandsaufnahme der Rheinprovinzen in Auftrag gegeben, die sogenannten medizinischen Topographien. Diese wurden von dem Amtsphysikus Dr. Johann Georg Müller (1780-1842) erstellt, welcher eine sehr umfassende und authentische Beschreibung des Lebens und des Alltags vor der wenig später einsetzenden Industrialisierung aufzeichnete. Die Dokumentation der Geologie und des Klimas, das Vorkommen und Halten von Tieren, die Vegetation, die Beschreibung der Einwohner, ihrer Ess- und Trinkgewohnheiten und der Gesundheitszustand von Erwachsenen und Kindern, sind nur ein Teil der darin behandelten Themen.

2. Material

Für die vorliegende Arbeit wird die von Sabine Graumann bearbeitete Medizinische Topographie des Kreises Bergheims (Müller 2006) als ergänzendes und bestätigendes Material zur Interpretation der anthropologischen und archäometrisch erzeugten Ergebnisse hinzugezogen. Da Bergheim lediglich 30 km Luftlinie nordöstlich vom ehemaligen Altdorf entfernt liegt und der untersuchte Zeitraum gut korrespondiert, können die für Bergheim dokumentierten Lebensbedingungen sehr gut für die Interpretation der Altdorfer Strukturen bezüglich der Lebensumstände übernommen werden.

3. Methoden

3.1 Morphologischer Befund

3.1.1 Vorarbeiten

Für die morphologische Untersuchung wurden die Skelette gewaschen und mindestens zwei Tage zum Trocknen auf ein Trockenregal gelegt. Anschließend wurden fragmentierte Knochen mit lösungsmittelfreiem und wasserlöslichem Holzleim der Firma Ponal geklebt. Zähne wurden, wenn lose, nicht im Zahnfach festgeklebt.

Alle Skelettelemente wurden in anatomisch korrekter Lage ausgelegt, um die Repräsentanz der Knochen und Zähne pro Skelett bestimmen zu können. Der makroskopische Erhaltungszustand wurde in die drei Gruppen, „gut“, „mittel“ und „schlecht“ eingeteilt. Zusätzlich zu der Aufnahme in Befundbögen wurden die Befunde in digitale, standardisierte Aufnahmebögen eingegeben, die für das Global History of Health Project (<http://global.sbs.ohio-state.edu/>) erstellt worden sind.

3.1.2 Bestimmung des biologischen Sterbealters

Bei erwachsenen Individuen ist die Diskrepanz zwischen dem biologischen Skeletalter und dem erreichten chronologischen Alter darauf zurückzuführen, dass das Skeletalter von diversen äußeren aber auch individuellen konstitutionellen Faktoren abhängt. In welcher Zeit hat das Individuum gelebt, welchen körperlichen, aber auch seelischen Belastungen war es ausgesetzt, wie war die Ernährungssituation, das Klima und gab es Krankheiten? Das Geschlecht und die genetischen Anlagen als Beispiele für inhärente Faktoren haben ebenfalls großen Einfluss auf das Altern des Körpers und damit des Skeletts.

Das Individualalter eines erwachsenen Individuums lässt sich deshalb im Vergleich zu nicht erwachsenen Individuen nur grob schätzen. Um eine höhere Bestimmungsgenauigkeit zu erzielen, wurden nach Möglichkeit die Veränderungen an den Schambeinsymphysen (Todd 1920, 1921a), der Grad des ectocranialen Schädelnahtverschlusses (Buikstra und Ubelaker 1994), degenerative Veränderungen an den großen Gelenken und der Wirbelsäule, Verknöcherung knorpeliger Skeletteile wie Kehlkopf und sternale Enden der Rippenknorpel (İşcan und Loth 1986 a, b) und der Zahnarbrasionsgrad (McKee und Molnar 1988, Walker et al. 1991) in Kombination verwendet. Aufgrund der höheren Genauigkeit der Altersdiagnose bei subadulten Individuen, konnte das Individualalter präziser angegeben werden. Der Zahnstatus stellt die maßgeblichste Sterbealterdiagnose bei Kindern dar (Ubelaker 1978), da die Stadien der Entwicklung von Zahnkrone, Zahnhals und Zahnwurzel in relativ stabiler Reihenfolge ablaufen. Das Längenverhältnis der Langknochen kann ebenfalls als ein aussagekräftiger Indikator für das Entwicklungsalter von Kindern genannt werden (Stloukal und Hanáková 1978). Für die Altersbestimmung der juvenilen und frühadulten Individuen hingegen ist die Synostose der Epiphysen und Apophysen des postcranialen Skeletts als die verlässlichste Methode anzusehen (Brothwell 1981).

3. Methoden

Die Individuen werden (nach Herrmann et al. 1990, in Anlehnung an Martin 1928) in folgende Altersklassen eingeteilt:

Altersklasse: Jahre

perinatal	0
neonat	0-1 Monat
infans I:	0-6 Jahre
infans II:	7-12 Jahre
juvenil:	13-20 Jahre
adult:	20-40 Jahre
matur:	40-60 Jahre
senil:	> 60 Jahre

3.1.3 Morphologische Geschlechtsbestimmung

Da die geschlechtsspezifischen Ausprägungen am Skelett erst bei ausgewachsenen Individuen am deutlichsten zu erkennen sind, kann in der Regel bei erwachsenen Individuen das Geschlecht mit der größten Sicherheit bestimmt werden. Hilfreich ist es, innerhalb der zu untersuchenden Serie die als typisch weiblich und typisch männlich bestimmten Skelette als Referenz für die übrigen Individuen zu nutzen, da die Variabilität zwischen unterschiedlichen Populationen und über die Zeiträume und Regionen hinweg sehr hoch sein kann.

Die Bewertung erfolgte nach den Schemata aus dem Codebook von Steckel et al. (2006) des Global History of Health Project, das sich auf die Merkmalsausprägungen nach Ascadi und Nemeskeri 1970 bezieht.

Für die Geschlechtsbestimmung am adulten Skelett wurden, wenn möglich, sowohl Merkmale am Schädel, als auch am postcranialen Skelett verwendet. Für die Geschlechtsbestimmung am Schädel wurden das Planum nuchale, der Arcus supraciliaris, der Processus mastoideus, die Margo orbitalis, die Glabella, das Mentum und das Gonion verwendet.

Die großen anatomischen Unterschiede zwischen dem weiblichen und männlichen Becken stellen vor allem eine Anpassung an die biologische Funktion des weiblichen Beckens bei Schwangerschaft und Geburt dar. Aufgrund dieses deutlichen Geschlechtsdimorphismus sind die Merkmale am Becken für eine Geschlechtsdiagnose sehr gut geeignet. Für die Geschlechtsbestimmung am postcranialen Skelett wurde deshalb vornehmlich das Becken betrachtet. Die einzelnen Merkmale am Becken sind im Folgenden aufgeführt und schematisch dargestellt.

3. Methoden

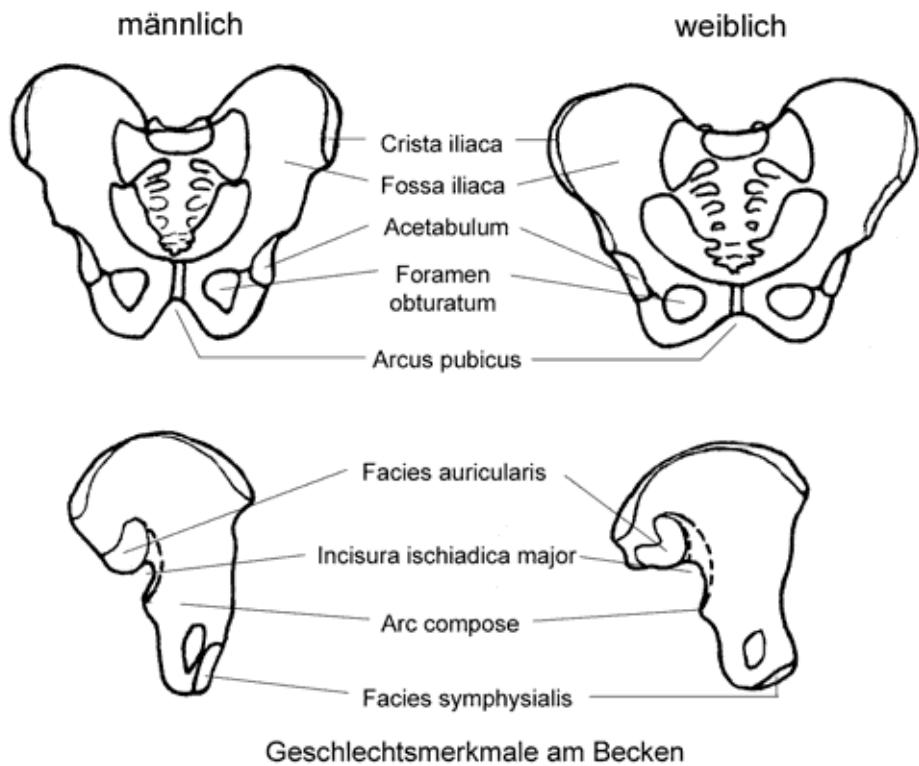


Abbildung 18: Geschlechtsunterschiede am Becken (Herrmann et al. 1990)

3.2 Zahnpathologien

Zähne und insbesondere der Zustand der Zähne sind Indikatoren für den Gesundheitszustand einer Population. Deshalb werden hier unterschiedliche Kenngrößen betrachtet. Es wurden ausschließlich erwachsene Individuen in die Untersuchung einbezogen. Erkrankungen der Zähne und des Zahnhalteapparates wurden hinsichtlich ihrer geschlechts- und zeitabhängigen Verteilung in der Altdorfer Population untersucht. Dafür wurden folgende Erkrankungen berücksichtigt:

Karies

Die Volkskrankheit Karies ist eine Infektionskrankheit, die gegenwärtig mit ca. 93% die häufigste odontogene Erkrankung in Deutschland darstellt (Mittermayer 1993). Als Ursachen für eine Erkrankung sind mehrere Faktoren zu nennen. Neben den wirtsabhängigen Faktoren, wie die individuelle genetische Disposition, Zahnstellung, Speichelfluss und das Verhalten, ist die orale Besiedelung mit Bakterien vor allem durch *Streptococcus mutans*, sowie der zeitliche Faktor, der die Wirkung der Bakterienbesiedelung und Plaquebildung verstärkt, förderlich. Eine große Rolle spielt die Ernährung, denn Bakterien im Zahnbefall produzieren aus niedermolekularen Kohlenhydraten, die besonders in hochverarbeiteten Nahrungsmitteln mit einem hohen Zucker- und/oder Weißmehlanteil enthalten sind, organische Säuren (Milchsäure), die den Zahnschmelz angreifen.

3. Methoden

Kariesintensität nach Stloukal (1963)

Die Kariesintensität beschreibt die Anzahl kariöser und intravital verlorener Zähne bezogen auf die vorhandenen Zähne bzw. die beobachtbaren Alveolen.

Kariesfrequenz nach Stloukal (1963):

Die Kariesfrequenz drückt die Anzahl der an Karies Erkrankten an der Gesamtpopulation aus.

Zahnstein

Zahnstein entsteht durch Ausfällung von mineralischen Komponenten des Speichels bei vorherrschendem alkalischem Milieu. Es wurde hier nur das Auftreten von Zahnstein in die Untersuchung mit einbezogen, sodass nicht die Intensität und Lokalisation des Befalls, sondern das Vorkommen an sich quantifiziert wurde.

Schmelzhypoplasien

Die Ursachen liegen in einer peri- oder postnatalen Störung der Mineralisierung des Schmelzes während der Mineralisationsphase der betroffenen Zähne oder in einer Funktionsstörung der Ameloblasten. Ursachen dafür können schwere Infektionen während der Schwangerschaft der Mutter und/oder des Ungeborenen bzw. Kleinkindes sein. Ferner kann ein chronischer Vitamin-D-Mangel der Mutter durch zu langes Stillen und damit die Unterversorgung des Kleinkindes ebenfalls zu Schmelzhypoplasien führen. Diese äußern sich in Form von in Zahnzirkumferenz angeordneter Grübchen oder bandförmiger Schmelzdefekte, bevorzugt an den ersten Molaren und den Incisivi, seltener an den Prämolaren und den zweiten Molaren. Bis zum Ersten Weltkrieg traten derartige Veränderungen bei 18% der Bevölkerung auf (Eder und Schuder 2010). Auch hier wird der Schwerpunkt auf Unterschiede im Auftreten in den unterschiedlichen zeitlichen Phasen und potentielle Unterschiede zwischen den Geschlechtern der Altdorfer Bevölkerung gelegt und nicht auf die Ausprägung im Einzelnen eingegangen.

Parodontopathien

Parodontitis ist eine multifaktorielle Erkrankung, die primär durch bakterielle Beläge hervorgerufen wird und den Zahnhalteapparat schädigt. Dabei kommt es zum Abbau der Desmodontalfasern und des Alveolarknochens, Vertiefung der Zahnfleischtaschen und Zahnfleischrückgang und letztendlich zur Lockerung der Zähne (Dannewitz und Eickholz 2009).

Abszesse

Ursache für die Eröffnung der Pulpa ist häufig starker Kariesbefall. In sie eindringende Bakterien führen zu Entzündungen, welche das umgebenden Gewebe und den Knochen infizieren können, was wiederum zu Zahnverlust und zur Entstehung periapikaler Osteolysen in Form von Abszessen, Granulomen oder Zysten führen kann (Hillson 2005, Lieverse 1999, Schroeder 1997).

Zahnärztliche Behandlungen

Aufgrund der spätneuzeitlichen Zeitstellung wurde bei der Untersuchung der Zähne auf mögliche zahnärztliche Behandlungsanzeichen geachtet und die Häufigkeit und Art der Behandlung beschrieben.

3.3 Gelenkstatus

Gelenkschädigungen entstehen am häufigsten durch dauerhafte Nutzung und Abnutzung des Gelenkapparates. Dabei geht der Abnutzung des ossären Teils des Gelenks eine Schädigung des Gelenkknorpels voraus. Es kommen mehrere Ursachen hierfür in Frage. Zu nennen sind hier degenerativ, entzündlich, traumatisch und metabolisch bedingte Arthrosen. Außerdem führen dauerhafte unphysiologische Belastungen eines Gelenks ebenfalls zu einer Schädigung der Knorpelmasse und in der Folge zu arthrotischen Veränderungen am Knochen. Hinzu kommt auch die genetische Disposition. Von Arthrosen am häufigsten betroffen sind die großen Gelenke wie Hüfte, Knie und Schulter, aber auch die Wirbelsäule.

Für die Einteilung des Arthrogrades wurde das Beurteilungsschema aus dem Data Collection Book für die Gelenk- und Wirbelveränderungen nach Steckel et al. (2006) angewandt (siehe Abb. 19). Die Einteilung in 5 bzw. 4 Stufen ermöglicht eine relativ objektive Beurteilung und eine Vergleichbarkeit innerhalb eines Kollektivs, aber auch zwischen den meist von anderen Anthropologen beurteilten Skelettpopulationen. Die Einteilung für große Gelenke und Wirbel ist wie folgt.

- 0.** Das Gelenk ist nicht vorhanden
- 1.** Das Gelenk zeigt keine Anzeichen von pathologischen Veränderungen
- 2.** Leichte Osteophytenbildung (geringer als 3mm) und leichte degenerative Veränderungen. Linke Körperseite weniger als 50% betroffen, rechte Körperseite mehr als 50% betroffen. Keine Eburnisierung, die Gelenkfläche kann leichte Porositäten aufweisen.
- 3.** Stärkere Osteophytenbildung (mehr als 3mm) und stärkere degenerative Veränderungen. Die Gelenkfläche ist immer porös.
- 4.** Mindestens 80% der Gelenkfläche sind zerstört. Eine Ankylose ist möglich.
- 5.** Gelenk ist durch Synostose immobil.

Die Beurteilung der Wirbelkörper wurde getrennt nach Hals-, Brust- und Lendenwirbeln vorgenommen.

- 0.** Wirbel nicht vorhanden
- 1.** keine degenerativen Veränderungen an den vorhanden Wirbeln
- 2.** Osteophytenbildung an mindestens einem Wirbelkörper
- 3.** Starke Osteophytenbildung an mindestens einem Wirbelkörper

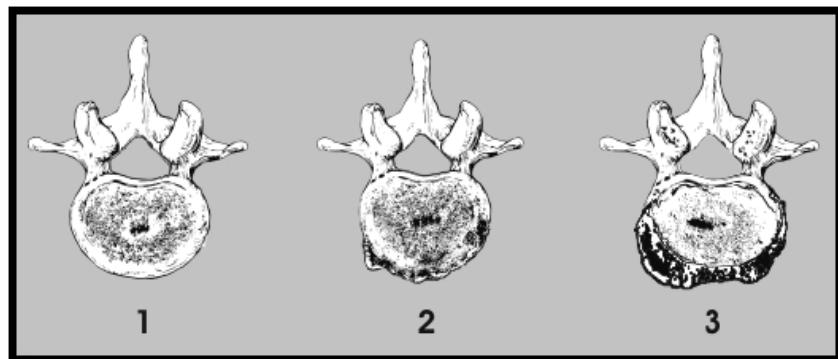


Abbildung 19: Beurteilung der degenerativen Veränderungen an den Wirbelkörpern (aus Steckel et al. 2006)

Die tatsächlichen subjektiven Beschwerden der Betroffenen folgen nicht den aufsteigenden Ziffern der hier vorgenommenen Einteilung nach Steckel et. al. (2006). Gelenkschäden im Anfangszustand sind symptomlos, da die Knorpelstruktur nicht innerviert ist. Erst stärkerer Abrieb der oberen Knorpelpartikel führt zu einer Entzündung, die zu Schmerzen und Schwellungen bei Belastung der Gelenke führt. In diesem Stadium ist der Knochen noch nicht involviert. Es treten folglich Schmerzen schon zu einem Zeitpunkt auf, an dem der morphologische oder röntgenologische Befund noch völlig unauffällig ist. In den folgenden Phasen der Knorpeldegeneration kommt es infolge des Aufschwellens des Knorpels bei gleichzeitiger Reduktion der Knorpelstabilität zu Rissen, welche die Reibung der Gelenkflächen erhöht. Die Knorpeloberfläche verliert zunehmend durch Abrieb an Substanz. Mit zunehmender Störung des Knorpelschichtaufbaus ist der subchondrale Knochen mitbetroffen, da dieser kompensatorisch versucht, die Oberfläche zu vergrößern, indem Randosteophyten an den Gelenkflächen gebildet werden. Des Weiteren wird ebenfalls eine subchondrale Sklerosierung des betroffenen Knochens beobachtet, die zu einer starren, wenig elastischen Knochenoberfläche führt. Schreitet der Prozess bis zum totalen Knorpelverlust fort, folgt eine schmerzfreie Phase ohne Gelenkschwellung. Es hat sich ein mechanisches Gleichgewicht zwischen freiliegendem subchondralen Knochen durch Sklerosierung und der Belastung eingestellt. Lediglich die Osteophytenbildung schränkt die Funktionalität und Beweglichkeit ein. Menschen mit stark zerstörter Gelenkstruktur sind oft symptomlos (Buckwalter et al. 2005, Steinwachs 2010). Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass die Stadien 2 und 3 nach Steckel et al. (2006) diejenigen Phasen repräsentieren, die am schmerhaftesten für die Betroffenen sind. Die Stadien 4 und 5 sind demnach in der Regel eher schmerzfrei, schränken aber die Beweglichkeit unter Umständen ein.

3.4 Schätzung der Körperhöhen

Für die Schätzung der Körperhöhen sind die langen Extremitätenknochen, vorzugsweise die Femora und Humeri erwachsener Individuen, vermessen worden. Dabei wurde mittels eines Anthropometers die größte Länge (A) des Femurs bzw. Humerus wie in Abb. 20 gemessen. Ferner wurden der medial-laterale (B) bzw. anterior-posteriore (C) Durchmesser der mittleren Diaphyse des Femurs und Humerus, sowie der maximale Femurkopfdurchmesser (D) wie abgebildet, erhoben.

3. Methoden

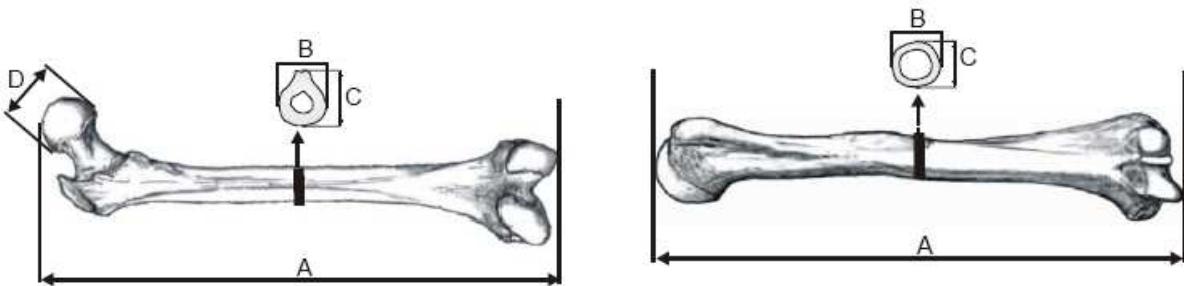


Abbildung 20: Messstrecken an Femur und Humerus aus Steckel et.al. (2006)

Für eine Schätzung der Körperhöhen aus gemessenen Längen von Knochen existiert eine große Anzahl von aus entsprechenden Regressionsanalysen gewonnenen Formeln (siehe z.B. Siegmund 2010). Entsprechend der Diskussion und Empfehlung in Siegmund (2010) wird für die hier vorliegenden Populationen der Ansatz nach Pearson verwendet. Basierend auf Messungen der Länge (in cm) des Humerus (H) und der Femur (F) können mittels der folgenden Formeln für weibliche

$$h_H = 71.475 + 2.754 \cdot H$$

$$h_F = 72.844 + 1.945 \cdot F$$

$$h = \frac{h_H + h_F}{2}$$

und männliche

$$h_H = 70.641 + 2.894 \cdot H$$

$$h_F = 81.306 + 1.880 \cdot F$$

$$h = \frac{h_H + h_F}{2}$$

Individuen die Körperhöhen h geschätzt werden. Da die Formeln von Pearson auf Messungen der Knochenlängen der rechten Körperhälfte beruhen, werden für die hier vorgenommenen Körperhöhenschätzungen auch jeweils Messungen des rechten Humerus bzw. der rechten Femur verwendet. Zieht man auch Knochen der linken Körperhälfte in die Betrachtung mit ein, so ist nach Pearson für eine korrekte Schätzung der Körperhöhe zur Länge des (linken) Humerus 4,5mm zu addieren, die Länge der (linken) Femur kann direkt ohne einen solchen Aufschlag verwendet werden.

3.5 Statistische Analysemethoden

Bei der Analyse des im vorigen Kapitel beschriebenen Materials kamen die im Folgenden beschriebenen statistischen Methoden zur Anwendung. Die beiden Gruppen (*frühe* und *späte* Zeitstellung) der untersuchten Individuen werden dabei mit ihren jeweiligen Merkmalen (Alter, Größe, Geschlecht, Erhaltungszustand usw.) statistisch gesehen als eine Stichprobe aus einer *Grundgesamtheit* (Population) betrachtet. Da über die jeweiligen Populationen die benötigten entsprechenden statistischen Daten nicht exakt verfügbar sind wird für diese Arbeit in der Regel näherungsweise von einer Normalverteilung ausgegangen.

3. Methoden

Insgesamt werden Daten aller drei Ausprägungen

- *metrisch*, z.B. Körperhöhen
- *ordinal*, z.B. Altersklasse, -gruppe
- *nominal*, z.B. Geschlecht

untersucht, wobei metrische Daten auf ordinale durch Klassenbildung mit Rangzuweisung und ordinale auf nominale durch Nichtberücksichtigung der Rangwerte zurückgeführt werden können.

Die konkrete Bestimmung der wesentlichen statistischen Kennwerte einschließlich der Durchführung entsprechender Tests erfolgte mit Hilfe des nicht-kommerziellen aber etablierten Software-Pakets PAST (PAleontological STatistics), Version 2.12 (Hammer et al. 2001).

3.5.1 Beschreibende Statistik

Ausgangspunkt der statistischen Analyse des untersuchten Materials ist die Bestimmung der wesentlichen deskriptiven statistischen Parameter. Dies dient zum einen dazu, einen ersten Überblick über eine doch sehr umfangreiche Datenmenge zu gewinnen. Zum anderen kann diese Analyse auch als Vorbereitung für weitergehende komplexere Untersuchungen betrachtet werden, da dafür benötigte Kenngrößen wie z.B. Mittelwerte dann bereits vorliegen und man außerdem erste Hinweise erhält, welche Untersuchungen überhaupt sinnvoll sind und welche nicht.

Konkret werden zu diesem Zweck für die in metrischer Form vorliegenden Daten für jedes Merkmal die Größe der Stichprobe, d.h. die Anzahl der Individuen, bei denen das entsprechende Merkmal untersucht werden kann, der Mittelwert, die Standardabweichung (Varianz) und in einem Box Plot Median, Maximum, Minimum, sowie die 25-75 Prozent Quartile (unter anderem auch zur Identifizierung von Ausreißern) bestimmt. Für ordinale und nominale Daten beschränkt sich die Analyse unter Angabe der Stichprobengröße auf die Bestimmung von Häufigkeiten.

3.5.2 Signifikanztest

Ausgangspunkt statistischer Tests ist die sogenannte *Nullhypothese* H_0 , d.h. eine Annahme über eine bestimmte Eigenschaft einer oder mehrerer erhobener Datenreihen (z.B. H_0 : Das erhaltene Ergebnis entstand zufällig). Für diese Hypothese und ein sogenanntes *Signifikanzniveau* α ist nun als *Fehler erster Art* definiert, dass man die Nullhypothese verwirft, obwohl sie richtig ist. Dabei gibt α die maximal zulässige Irrtumswahrscheinlichkeit an. Einen statistischen Test, der sich auf die Untersuchung der Nullhypothese beschränkt und keine weiteren (Alternativ-)Hypothesen in Betracht zieht nennt man *Signifikanztest*. Die Bezeichnung verschiedener Signifikanzniveaus α in der Literatur ist durchgehend uneinheitlich; falls nicht anders definiert heißt in der vorliegenden Arbeit das Ergebnis eines statistischen Tests

- *signifikant*, falls die Irrtumswahrscheinlichkeit $\leq \alpha = 0.05$
- *hochsignifikant*, falls die Irrtumswahrscheinlichkeit $\leq \alpha = 0.01$

3. Methoden

Welcher Test für eine spezielle Anwendung aus der großen Zahl der in der Literatur beschriebenen Signifikanztests verwendet wird ist im Folgenden stets bei der Beschreibung der jeweiligen statistischen Analysemethode erwähnt. Da allerdings für die Grundgesamtheit (Population), aus der die untersuchten Funde stammen, hinsichtlich der betrachteten Merkmale weder Mittelwerte noch Standardabweichungen bekannt sind, wird häufig der für diesen Fall geeignete sogenannte *t-Test* (auch *Welch-Test* für ungleiche Varianzen) angewendet. Die Tests selbst werden in der vorliegenden Arbeit nicht näher beschrieben.

3.5.3 Statistische Abhängigkeit (Korrelation)

Einer der wesentlichen Aspekte bei der Analyse und Bewertung des zur Verfügung stehenden Materials ist die Untersuchung auf (paarweise) statistische Abhängigkeit einzelner Merkmale (beispielsweise Länge von Femur und Humerus) innerhalb der betrachteten Stichprobe (Kreuzkorrelation). Von den drei möglichen Typen von Abhängigkeiten

- *einseitig*
- *wechselseitig*
- *gemeinsame Abhängigkeit von einem (dritten) Merkmal*

wird in der vorliegenden Arbeit, außer wenn die Abhängigkeitsbeziehung bereits a priori explizit bekannt ist, nur die wechselseitige in Betracht gezogen. Dabei werden wie oben bereits erwähnt metrische, ordinale und nominale Merkmale unterschieden. Auch bei einer bestehenden Korrelation zweier Merkmale ist unbedingt darauf zu achten, dass nicht direkt auf einen Kausalzusammenhang geschlossen werden kann. Eine bestehende Abhängigkeit führt zwar zu einer Korrelation, diese wiederum kann aber nur als Hinweis auf eine mögliche Abhängigkeit interpretiert werden (notwendige aber nicht hinreichende Bedingung).

Der in dieser Arbeit am häufigsten betrachtete Fall ist hierbei der Vergleich einer Gruppe metrischer Merkmale. Ein entsprechender Zusammenhang wird dabei als *Maßkorrelation* oder schlicht *Korrelation* bezeichnet. Dazu wird für je zwei Merkmale der *Korrelationskoeffizient*

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

nach Pearson (1899) als eine Art normierter Kovarianz gebildet, wobei \bar{x} und \bar{y} die jeweiligen Mittelwerte der beiden untersuchten Merkmale/Messreihen sind. Dabei ist unbedingt zu beachten, dass dieser Wert nur Auskunft gibt über eine mögliche lineare Abhängigkeit der beiden jeweils betrachteten Merkmale. Er entspricht einer Art normierten Steigung der entsprechenden Ausgleichs- bzw. Regressionsgeraden. Offensichtlich nimmt r Werte zwischen -1 und +1 an, wobei ± 1 eine vollständige (ideale) Abhängigkeit anzeigt, d.h. sämtliche Wertepaare liegen exakt auf einer Geraden positiver ($r=+1$) oder negativer ($r=-1$) Steigung. Im Fall $r = 0$ kann davon ausgegangen werden, dass zwischen den beiden betrachteten Merkmalen überhaupt keine lineare Abhängigkeit besteht.

3. Methoden

Je näher r also bei 0 liegt, desto unwahrscheinlicher und umgekehrt je näher r bei ± 1 liegt, desto wahrscheinlicher ist eine lineare Korrelation der beiden jeweils untersuchten Merkmale. Zusätzlich wird durch Anwendung eines t-Tests ein Wahrscheinlichkeitswert dafür bestimmt, dass die Abweichung des ermittelten Korrelationskoeffizienten von Null signifikant ist. Da a priori für die einzelnen mittels metrischer Daten dargestellten Merkmale keine Anzeichen für eine nichtlineare Abhängigkeit bekannt ist, bleibt die Untersuchung in der vorliegenden Arbeit auf den linearen Fall beschränkt. Auch die Möglichkeit einer partiellen linearen Korrelation (eine Abhängigkeit zwischen zwei Merkmalen besteht hauptsächlich aufgrund einer starken Abhängigkeit beider Merkmale von einem dritten Merkmal, wie bereits oben erwähnt) wird in diesem Zusammenhang nicht untersucht.

Im Fall von ordinalen Daten spricht man bei der Untersuchung von Abhängigkeiten einzelner Merkmale untereinander von *Rangkorrelation* und verwendet zur Identifizierung und Quantifizierung entsprechender Korrelationen analog zum Korrelationskoeffizienten r nach Pearson den *Rangkorrelationskoeffizienten*

$$r_s = \frac{\sum (rg(x_i) - \overline{rg}_x)(rg(y_i) - \overline{rg}_y)}{\sqrt{\sum (rg(x_i) - \overline{rg}_x)^2 \cdot \sum (rg(y_i) - \overline{rg}_y)^2}}$$

nach Spearman, wobei $rg(x_i)$ der Rang von x_i und \overline{rg}_x der Mittelwert der Ränge von x ist. Die wesentlichen Vorteile dieses Rangkorrelationskoeffizienten sind seine Robustheit gegenüber Ausreißern, sowie die Tatsache, dass er keiner Linearitätsbedingung unterliegt. Aus diesem Grund kann es im Einzelfall auch sinnvoll sein, metrische Daten in ordinale umzuwandeln (z.B. Lebensjahre in Dekaden) und dann mittels r_s zu untersuchen. Bei nicht äquidistant verteilten Ordinalskalen oder sehr kleinen Stichprobengrößen kann statt r_s auch Kendall's τ verwendet werden. Analog zu diesen Koeffizienten kann eine Abhängigkeit ordinaler Stichproben auch mittels des Kruskal-Wallis Tests untersucht werden, der eine Erweiterung des nur für zwei Gruppen gültigen Mann-Whitney-U-Tests (bzw. des aufgrund des funktionalen Zusammenhangs der Teststatistiken äquivalenten Wilcoxon-Tests) auf mehrere Gruppen ist und im Prinzip eine nichtparametrische (also für ordinale Daten) ANOVA (wie unten beschrieben) darstellt. Bei Verwerfung der Nullhypothese, dass die Stichproben z.B. aus unterschiedlichen Zeitstellungen sich nicht in ihrer zentralen Tendenz unterscheiden, kann davon ausgegangen werden, dass die Belegungsphase Einfluss auf das untersuchte Merkmal hat. Diese Tests sind geeignet für ungepaarte Daten. Für gepaarte Stichproben eignet sich der Friedmann-Test (z.B. bei Arthrosen mit der Nullhypothese, dass einzelne Gelenke dieselbe Tendenz hinsichtlich des Ausprägungsgrades haben).

Abhängigkeiten bei nominalen Merkmalen werden mittels Kontingenztafeln ermittelt. Dabei werden in einer zwei- (oder auch mehr-) dimensionale Tabelle für jede mögliche Kombination von Merkmalsausprägungen die jeweiligen (absoluten oder relativen) Häufigkeiten eingetragen, so z.B. für die Merkmale Geschlecht und Altersgruppe wie häufig weibliche adulte Individuen auftreten. Die Auswertung und Bestimmung des Signifikanzniveaus wird mittels eines χ^2 -Tests realisiert. Der Spezialfall der Abhängigkeit des Auftretens zweier Merkmale wird mittels des Vierfelder-Tafel Unabhängigkeitstests behandelt, dem wiederum ebenfalls ein χ^2 -Test zugrunde liegt.

3. Methoden

3.5.4 Bestimmung von Einflussfaktoren mittels Varianzanalyse

Zur Untersuchung, ob sich die Erwartungswerte (Mittelwerte) einer oder mehrerer metrischer Merkmale und damit auch die Merkmale selbst in Abhängigkeit bestimmter Einflussfaktoren unterscheiden, wird eine sogenannte *Varianzanalyse* (engl. ANalysis Of VAriance, ANOVA) durchgeführt. Damit kann man statistische Indikatoren hinsichtlich des Einflusses einzelner (nomineller) Faktoren (z.B. Geschlecht oder Zeitstellung) auf bestimmte untersuchte (metrische) Merkmale (z.B. Länge von Humerus/Femur) erhalten. Generell wird dabei unterschieden zwischen einfacher/einfaktorieller (lediglich ein Einflussfaktor) und multipler/mehrfaktorieller (mehrere Einflussfaktoren) Varianzanalyse.

Wird mehr als ein Merkmal untersucht, spricht man auch von einer *multivariaten Varianzanalyse* (engl. Multivariate ANalysis Of VAriance, MANOVA). Unterscheiden sich die auf den jeweiligen Varianzen basierten statistischen Prüfgrößen signifikant, so kann davon ausgegangen werden, dass in den untersuchten Gruppen unterschiedliche Gesetzmäßigkeiten wirken, d.h. dass eine unterschiedliche Auswirkung von zumindest zwei (möglicherweise auch mehreren) Einflussfaktoren hinsichtlich des/der untersuchten Merkmals/e vorliegt. Die Signifikanz wird mittels des F-Tests von Fischer bzw. bei voneinander abweichenden Varianzen mittels eines Welch-Tests bestimmt.

3.5.5 Clusterbildung mittels Diskriminanzanalyse

Mittels der sogenannten *Diskriminanzanalyse* wird hingegen untersucht, ob und wenn ja, welche Einflussfaktoren geeignet sind, bestimmte Merkmale sinnvoll in (vordefinierte) Gruppen (z.B. hinsichtlich Geschlecht oder Zeitstellung) einzuteilen. Dazu wird bei der in der Praxis häufig eingesetzten (und auch in dieser Arbeit verwendeten) *linearen Diskriminanzanalyse* im allgemeinen Fall von m untersuchten Merkmalen (z.B. $m=4$ bei anterior-posterior und medial-lateral Durchmessern von Humerus bzw. Femur) und k zugrunde gelegten Gruppen (z.B. $k=2$ bei Bestimmung des Geschlechts) eine sogenannte (lineare) *Diskriminanzfunktion* oder *Trennfunktion* der Form

$$D = b_0 + b_1 \cdot X_1 + \dots + b_m \cdot X_m$$

gebildet, wobei die (kanonische) *Diskrimanzvariable* D , die Konstante b_0 sowie die *Diskriminanzfaktoren* b_i Vektoren der Dimension $k-1$ sind. Im Spezialfall zweier Gruppen (z.B. m/w) und eines Merkmals (z.B. Länge des Humerus) erhält man somit die vereinfachte eindimensionale Funktion

$$D = b_0 + b_1 \cdot X_1$$

Ein Indikator für die *Trennkraft* einer so konstruierten Diskriminanzfunktion und damit letztendlich für die Sinnhaftigkeit der vorgenommenen Klassifizierung, ist dann beispielsweise der über eine *Klassifikationsmatrix* bestimmte relative Anteil der durch D richtig klassifizierten Individuen. Daneben sind *Wilkes' Lambda* bzw. die sogenannte *Effektgröße* sowie der *kanonische Korrelationskoeffizient* die gebräuchlichsten Bewertungskriterien für die Trennkraft einer Diskriminanzfunktion.

3. Methoden

Mit Hilfe der oben beschriebenen Diskriminanzfunktion können dann auch Individuen, die a priori nicht einer bestimmten Klasse zugeordnet werden können (z.B. wenn das Geschlecht nicht eindeutig bestimmt werden kann), bei entsprechender Trennkraft von D mit hinreichender Sicherheit klassifiziert werden. Dazu werden die Merkmalsdaten (X_1 bis X_m) für das entsprechende Individuum in die Diskriminanzfunktion eingesetzt und das Individuum derjenigen Gruppe zugeordnet, deren mittlerer Diskriminanzwert minimalen Abstand zum resultierenden ($k-1$ -dimensional vektorwertigen) Funktionswert \tilde{D} hat. Im Spezialfall lediglich Gruppen A und B der Größe n_A bzw. n_B , wird gewöhnlich ein vereinfachtes und anschaulicheres Klassifikationskriterium angewendet. Der (dann skalare) Funktionswert \bar{D} aus der Diskriminanzfunktion wird mit dem sogenannten *kritischen Diskriminanzwert* (gewichtetes arithmetisches Mittel)

$$\bar{D} = \frac{n_A \cdot \bar{D}_A + n_B \cdot \bar{D}_B}{n_A + n_B}$$

verglichen und in die dem Ergebnis (\bar{D} größer oder kleiner \tilde{D}) entsprechende Klasse eingeteilt.

3.5.6 Ein neuer statistischer Ansatz zur Geschlechtsbestimmung

Daneben wird in dieser Arbeit ein neuartiger schneller und mit nur geringem Aufwand (auch ohne Benutzung eines Computers) durchführbarer ergänzender Ansatz zur Gruppenzuordnung (z.B. Geschlechtsbestimmung) verwendet. Ausgangspunkt sind wohlbekannte Formeln (Pearson 1899) zur Bestimmung der Körperhöhen von Individuen basierend auf bekannten (gemessenen) Knochenlängen. Am Beispiel der in Abbildung 21 dargestellten Formeln von Pearson für männliche kann durch Gleichsetzen der jeweiligen aus Humerus und Femur bestimmten Körperhöhe für männliche sowie weibliche Individuen ein universeller (bzw. für alle Populationen, bei denen das Pearson Modell sinnvoll angewendet werden kann gültiger) funktionaler Zusammenhang zwischen den Längen für Femur und Humerus hergestellt werden.

$$h_H = 70.641 + 2.894 \cdot H$$

$$h_F = 81.306 + 1.880 \cdot F$$

und weibliche Individuen

$$h_H = 71.475 + 2.754 \cdot H$$

$$h_F = 72.844 + 1.945 \cdot F$$

3. Methoden

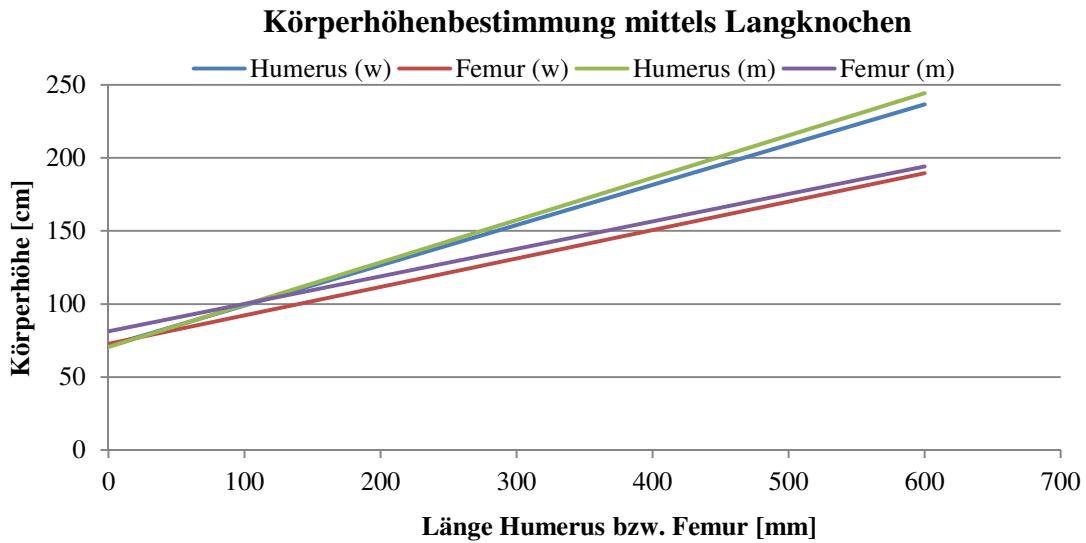


Abbildung 21: Körperhöhenschätzung nach Pearson (1899)

$$H = \frac{(81.306 - 70.641) + 1.880 \cdot F}{2.894} = 3.685 + 0.650 \cdot F \quad \text{für männliche Individuen}$$

$$H = \frac{(72.884 - 71.475) + 1.945 \cdot F}{2.754} = 0.497 + 0.706 \cdot F \quad \text{für weibliche Individuen}$$

Dieser Zusammenhang kann in einer Humerus-Femur Ebene (Humerus-Femur Diagramm) dargestellt werden (Abb. 22).

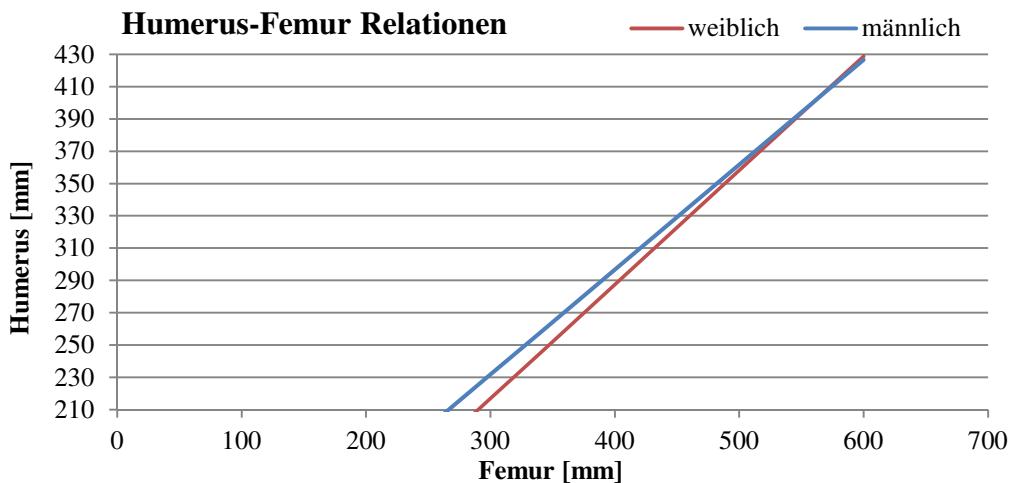


Abbildung 22: Funktionaler Zusammenhang Humerus und Femur aus Pearson-Formeln (1899)

3. Methoden

Definiert man nun für diese beiden Funktionen eine Trennkurve in Form der Winkelhalbierenden der beiden oben definierten Kurven (Geraden) für weibliche und männliche Individuen

$$H = 2.112 + 0.678 \cdot F,$$

für die in jedem Punkt die Abstände zu den beiden obigen Kurven identisch ist, so kann man analog zur oben beschriebenen Auswertung der Diskriminanzfunktion überprüfen, ob für ein Individuum mit a priori nicht bestimmbarer Geschlecht der aus den gemessenen Längen für Humerus und Femur bestimmte Punkt in der Humerus-Femur Ebene ober- oder unterhalb der Trennkurve liegt und damit als weiblich oder männlich klassifiziert werden kann. Rechnerisch geschieht dies durch Einsetzen der gemessenen Femurlänge in die Gleichung für die Trennkurve und einem Vergleich des resultierenden Humerus-Wertes mit dem gemessenen Wert. Anschaulicher kann das Humerus-Femur Wertepaar auch in ein geeignet skaliertes Humerus-Femur Diagramm mit Trennkurve (Abb. 23) eingetragen und damit das Geschlecht grafisch ermittelt werden.

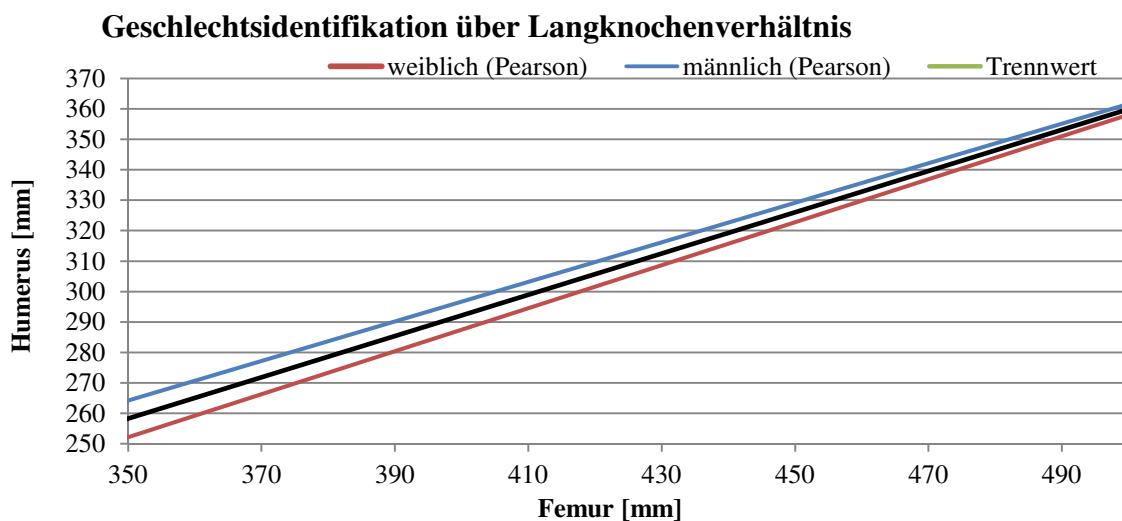


Abbildung 23: Humerus-Femur-Diagramm mit Trennkurve (Ausschnitt)

Voraussetzung für diese Methode ist natürlich, dass die Längen sowohl für Humerus als auch für Femur bekannt sind und dass zwischen diesen beiden Größen in der Stichprobe ein Zusammenhang besteht. Letztes kann über eine Korrelationsanalyse wie sie weiter oben beschrieben wurde mathematisch nachgewiesen werden. Eine Validierung des Ergebnisses, d.h. der Gruppenzugehörigkeit, im Nachgang kann dann beispielsweise über eine Diskriminanzanalyse durchgeführt werden, wofür nun aber wieder der Einsatz eines Computers notwendig ist. Dieser neue Ansatz ist natürlich in gleicher Form auch für andere Modelle zur Körpergrößenbestimmung (z.B. nach Breitinger 1937 und Bach 1965, oder für andere Langknochen) anwendbar und somit für eine große Bandbreite an Fundorten und Zeitstellungen übertragbar.

Einen Hinweis auf die generelle Qualität des hier beschriebenen neuen Ansatzes zur Geschlechtsbestimmung erhält man durch Überprüfung der Individuen, deren Geschlecht bereits morphologisch bestimmt wurde.

3. Methoden

Zu diesem Zweck wurden aus der Gesamtheit der hier untersuchten Individuen mit bereits bestimmtem Geschlecht diejenigen, bei denen Humerus- und Femurlänge bekannt ist, auf richtige Geschlechtszuordnung durch diese Methode überprüft.

Der Anteil der richtig klassifizierten Individuen lag dabei für den hier vorliegenden Fall bei lediglich 64%. Obwohl das a priori kein sehr überzeugender Wert ist, müssen für eine seriöse Bewertung dieser Methode noch weitere detailliertere Untersuchungen durchgeführt werden.

- Überprüfung, ob die Voraussetzung der Korreliertheit von Humerus- und Femurlänge erfüllt ist
- Einzelfallbetrachtung von "Ausreißern"
- Untersuchung der Ergebnisse auf Abhängigkeit von Zeitstellung und/oder Geschlecht
- Analyse der Eignung der hier verwendeten Schätzformeln nach Pearson und Untersuchung analoger Ergebnisse für alternative Formeln (z.B. Breitinger/Bach)
- Untersuchung der Ergebnisse der Anwendung dieser Methode auf weitere repräsentative Skelettserien

Offensichtlich sprengen die oben beschriebenen zusätzlich notwendigen Untersuchungen den Rahmen dieser Arbeit bei weitem und werden deshalb an dieser Stelle nicht durchgeführt.

3.6 Demographische Methoden

Nach Einteilung der Individuen in Altersklassen,

perinatal	0 Jahre
neonat	0-1 Monat
infans I	1-6 Jahre
infans II	6-12 Jahre
juvenil	12-20 Jahre
früh adult	20-25 Jahre
adult	25-40 Jahre
matur	40-60 Jahre
senilis	> 60 Jahre
a-x	nicht näher bestimmbarer Erwachsener (adult-x)

werden für jene, folgende Parameter ermittelt und in eine Tabelle eingetragen.

a_x	Größe der Altersklasse in Jahren	
D_x	Anzahl der Verstorbenen in der Altersklasse	
d_x	Sterberate	$D_x/D * 1000$
I_x	Anzahl der Überlebenden	$I_{x-1} - d_{x-1}$
q_x	Sterbewahrscheinlichkeit	d_x/I_x
L_x	Anzahl der durchlebten Jahre der Überlebenden	$a_x * (I_x + I_{x+1}) / 2$
T_x	Anzahl der noch zu durchlebenden Jahre der Überlebenden	$T_{x-1} - L_{x-1}$
e_x	Lebenserwartung	T_x/I_x

3. Methoden

Aus Gründen der Vergleichbarkeit sind alle Werte (außer D_x) auf eine hypothetische Größe, die *Radix* ($=1000$) bezogen. Um Altersspannen ähnlicher Größe zu erhalten und damit einen ausreichenden Grad an Vergleichbarkeit unter den Altersklassen zu gewährleisten, werden die oben definierten Klassen "neonat" und "perinatal" der Klasse "infans I" zugeordnet. Eine Besonderheit stellt die Altersklasse "a-x" dar, die (erwachsene) Individuen aus den Gruppen "adult", "matur" und "senilis" umfasst, die nicht eindeutig einer Klasse zuordenbar sind. Da es sich dabei um insgesamt 41 Individuen, also fast ein Viertel der Gesamtheit handelt, sollten sie nach Möglichkeit in die Analyse miteinbezogen werden. Dies wird hier dergestalt umgesetzt, dass diese Individuen entsprechend dem Verhältnis adult zu matur zu senilis auf ebendiese Altersklassen verteilt werden.

Daneben werden noch eine Reihe weiterer aussagekräftiger Parameter bestimmt.

Um den Effekt des "Kleinkinderdefizits" von Skelettpopulationen zu korrigieren wird nach Formeln von Bocquet-Appel und Masset (1977) die Sterbewahrscheinlichkeit innerhalb des ersten Lebensjahres bestimmt zu

$$q_{0-1} = 0.568 \cdot \sqrt{\log_{10} \left(200 \cdot \frac{D_{5-14}}{D_{20-x}} \right)} - 0.438 \pm 0.016$$

und analog die Sterbewahrscheinlichkeit innerhalb der ersten fünf Lebensjahre zu

$$q_{0-5} = 1.154 \cdot \sqrt{\log_{10} \left(200 \cdot \frac{D_{5-14}}{D_{20-x}} \right)} - 1.014 \pm 0.041$$

sowie die Lebenserwartung bei Geburt zu

$$e_0 = 78.721 \cdot \log_{10} \left(\sqrt{\frac{D_{20-x}}{D_{5-14}}} \right) - 3.384 \pm 1.503$$

Dort finden sich mit

$$\frac{D_{5-9}}{D_{10-14}} \geq 2 \quad \text{und} \quad \frac{D_{5-14}}{D_{20-x}} \geq 0.1$$

auch Bedingungen für die Repräsentanz einer Skelettserie. Zu diesem Zweck können nach Weiss (1973) mit der *Mortalitätsrate*

$$Q_x = 1 - \frac{l_{x+1}}{l_x}$$

und den damit gebildeten Größen

$$Q_0 = 1 - \frac{l_{5-9}}{l_{0-4}}$$

$$Q_{10} = 1 - \frac{l_{15-19}}{l_{10-14}}$$

$$Q_{15} = 1 - \frac{l_{20-24}}{l_{15-19}}$$

auch die Bedingungen

$$Q_{10} < Q_{15} \quad \text{und} \quad Q_{15} < Q_0$$

überprüft werden.

3. Methoden

Mit Hilfe des *Maskulinitätsindex*

$$MI = \frac{\text{Männer}}{\text{Frauen}} \cdot 100$$

kann überprüft werden, ob innerhalb der Population ein ausgewogenes Geschlechterverhältnis besteht. Mit dem *Abhängigkeitsindex*

$$AI = \frac{D_{0-14} + D_{60-x}}{D_{15-59}}$$

wird das Verhältnis von Versorgten zu Versorgern abgebildet. Schließlich haben wiederum Bocquet-Appel und Masset (1977) eine Regressionsgleichung zur Berechnung der Mortalitätsrate

$$m = 0.127 \cdot \frac{D_{5-14}}{D_{20-x}} + 0.016 \pm 0.002$$

sowie eine Schätzformel für die Wachstumsrate (Bocquet-Appel und Masset 1977)

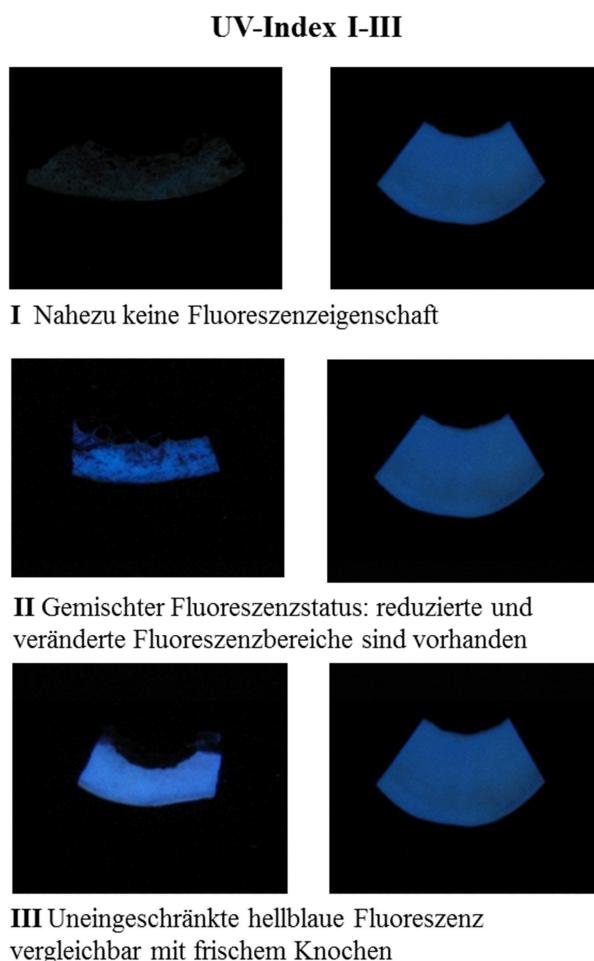
$$t = 1.484 \left[\log_{10} \left(200 \cdot \frac{D_{5-14}}{D_{20-x}} \cdot \frac{D_{60-x}}{D_{20-x}} \right) \right]^{0.03} - 1.485 \pm 0.006$$

angegeben.

3.7 Histologische und makroskopische Analysen zur Diagenese

3.7.1 Makroskopische Fluoreszenz-Analyse

Tabelle 2: UV-Index (rechts positiv Kontrolle)



der auf jeweils 3 Bereiche des Querschnitts angewendet wird. Von außen nach innen sind dies der ecto-, meso- und endostale Bereich des Knochenquerschnitts. Die Einteilung der Fluoreszenzeigenschaft wird in Tabelle 2 dargestellt und stellt einen auf der Einteilung von Harbeck (2007) beruhenden, aber reduzierten Index dar.

3.7.2 Betrachtung makroskopischer Merkmale

Um ein besseres Verständnis der verschiedenen diagenetischen Einflüsse auf den Knochen gewinnen zu können, wurden diverse äußerlich sichtbare makromorphologische Merkmale des Knochens (siehe unten) betrachtet. Ferner wurde ein möglicher Einfluss der geschlechts- und altersabhängigen Kompaktastärke im Hinblick auf das Fortschreiten der Diagenese untersucht. Nach dem Heraussägen eines ca. 1x1 cm großen Kompaktafragmentes wurde die Stärke in mm mittels einer digitalen Schieblehre (GT.DC-01, Globaltronics GmbH & Co.KG) gemessen.

Für die Fluoreszenz-Analyse wurde aus dem proximalen Drittel des mechanisch gereinigten Femurschaftes ein circa 1cm x 1cm großes Knochenfragment mittels eines Dremel Multitools herausgesägt. Die so entnommenen Knochenproben wurden mittels eines Tellerschleifers an der Schnittfläche gereinigt und plan geschliffen. In einem abgedunkelten Raum wurden die Proben senkrecht von oben mit einer UV-Lampe (Benda Ultraviolett Lampe, NU-4KL) mit der Wellenlänge 366nm bestrahlt und die Fluoreszenz sofort beurteilt und fotografiert. Ein frischer diagenetisch nicht veränderter Knochen wurde als Kontrolle mitgeführt. Die Fotografien der Querschnitte wurden anschließend mit Hilfe der Software Adobe Photoshop CS Version 8.0.1 ausgewertet. Dabei wurde bei jeder Fotografie der Farbbebalance-Wert auf -100 reduziert, um den dominierenden Blauton zu dämpfen, der sonst Details der Aufnahmen maskieren könnte. Für die Beurteilung wurde ein 3-stufiger Index verwendet,

3. Methoden

3.7.3 Herstellung von Knochendünnsschnitten, Mikroskopie und Auswertung

Für die Herstellung der Dünnschnitte sind die für die Fluoreszenzanalyse gewonnenen Proben weiter verwendet worden. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde aus jedem Femurschaft aus dem proximalen Drittel der mechanisch gereinigten Diaphyse ein circa 1cm x 1cm großes Knochenfragment (mittels Dremel Multitool) so herausgesägt, dass eine Querschnittherstellung möglich ist.

Verwendete Geräte und Materialien:

- Trockenschrank (Fa. Heraeus)
- Epoxidharz Biodur E12 (Fa. Gunter von Hagens, Heidelberg)
- Härter E1 (Fa. Gunter von Hagens, Heidelberg)
- Analysenwaage (Mettler PM 4600)
- Glasstab
- Einbettungsform (Kleinbildfilmdöschen)
- Exsikkator
- Tellerschleifmaschine (Struers Dap-V)
- Nassschleifpapier, Körnung 800 (Fa. Struers)
- Sekundenkleber (Fa. Uhu)
- Dremel Multitool
- Sägeschnittmikrotom mit Innenlochsäge und Diamantsägeblatt (WinterD46N S35D)
- Pinzette
- Nagelschere
- Objektträger (76 x 26, Fa. Menzel bzw. Fa. Roth)
- Deckgläschchen (24 x 40, Fa. Roth)
- Eukitt (Fa. Kindler GmbH & Co)

Zum Einbetten wurde das Knochenfragment mechanisch gereinigt und in ein mit Fundnummer beschriftetes Döschen gegeben. Um beim Schneidevorgang zu hohe Querkräfte, die den Knochen zerstören könnten, zu minimieren, wird dieser in klares Epoxidharz Biodur E12 (Fa. Gunter von Hagens, Heidelberg) eingebettet. Dafür wird, um eine optimale Härtung zu erreichen, das Biodur E12 mit einem Härter E1 im Verhältnis 100 zu 28 vorsichtig, um Blasen zu vermeiden, vermischt. Dazu muss der Härter zuvor ca. 24 Stunden angewärmt werden, da er bei Zimmertemperatur auskristallisiert. Wichtig ist dabei, dass nach dem Einfüllen des Kunstharzes der Knochen in der Dose zentriert wird. Die Probe sollte vollständig mit Harz bedeckt sein und wird dann, um Lufteinschlüsse zu entfernen, 48 Stunden bei -0,8 bar im Exsikkator evakuiert. Anschließend erfolgt die Aushärtung für 24 Stunden im Trockenschrank bei 30 °C. Die eingebetteten Proben werden aus den Dosen gelöst und mit einer Schleifmaschine an einem Ende des Probenblocks flach geschliffen. An dieser Stelle wird die Probe auf der Metallhalterung des Innenlochsägemikrotoms mittels Sekundenkleber der Firma Uhu fixiert. Dies ist sehr sorgfältig zu tätigen, da ein Lösen des Blocks während des Sägevorgangs die Probe und das Sägeblatt zerstören würde. Pro Probe wurden je nach Erhaltungsgrad 4-8 Schnitte mit einer Schnittdicke von in der Regel 80µm angefertigt. Die einzelnen Dünnschnitte wurden in destilliertem Wasser gereinigt und zum Trocknen auf einen Objektträger aufgebracht.

3. Methoden

Nach zweitägigem Trocknen können die Schnitte auf neue Objektträger derselben Größe aufgebracht, mit Kunstharklebstoff Eukitt überschichtet und mit Deckgläschen versiegelt werden. Alle Transfers (vom Sägeblatt ins destillierte Wasser, von dort auf den vorübergehenden Objektträger und dann auf den endgültigen Objektträger) wurden mit feinen Pinzetten getätigt. Um die Präparate senkrecht aufbewahren zu können, müssen diese zuvor mindestens 2 Wochen liegend trocknen.

Lichtmikroskopie

Verwendete Geräte und Software:

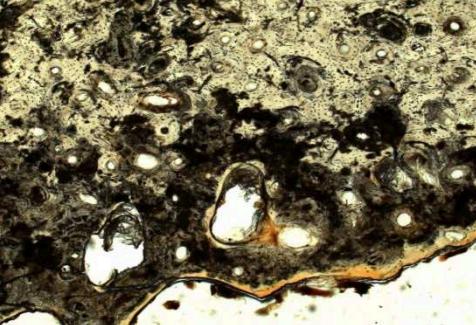
- Durchlichtmikroskope: Axioskop 2 plus (manuell) und Axioskop 2,
- MOT (Zeiss, Jena)
- CCD-Kamera: AxioCam MRc color (Zeiss, Jena)
- AxioVision Version 3.0 (Zeiss, Jena)
- Adobe Photoshop Version 6.0
- Drucker (hp LaserJet 1200 series)

Das Programm „AxioVision“ ist ein Bildbearbeitungsprogramm, das die Funktionen wie Bildaufnahme, Bildbearbeitung und Bildarchivierung beinhaltet. Ist das mikroskopische Bild auf den PC übertragen, wird der Maßstab im linken unteren Bildrand eingefügt. Die CCD-Kamera wird so gedreht, dass der periostale Bereich des Knochens oben erscheint, wobei jeweils Aufnahmen vom periostalen, mittigen und endostalen Bereich des Knochenquerschnitts gemacht wurden. Alle Bilder werden bei 50facher Vergrößerung aufgenommen und im tiff-Format abgespeichert. Alle Bereiche wurden zudem mit einem Polfilter aufgenommen, um die Doppelbrechungseigenschaften darstellen zu können. Die weitere Bearbeitung erfolgt über das kommerzielle Programm Adobe Photoshop. Hier können die Bilder in Kontrast, Farbgebung und Schärfe verbessert werden.

Bewertung des histologischen Erhaltungszustandes

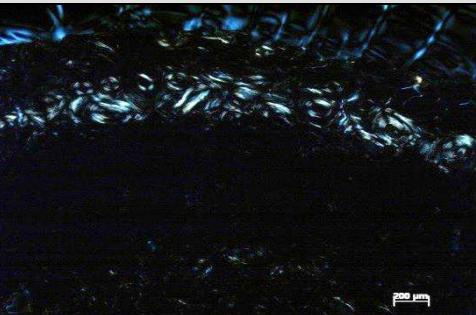
Die Bewertung des histologischen Erhaltungsgrades der Knochenproben erfolgte auf der Basis der Einteilung des Oxford Histologischen Index (OHI) nach Hedges et al. 1995. Das fünfstufige System wurde hier lediglich in ein dreistufiges umgewandelt. (Harbeck 2007, Hoke et al. 2011). Die Doppelbrechungsbeurteilung nach Jans et al. (2002) wurde ebenfalls auf ein dreistufiges System reduziert. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurde die Benennung der Erhaltungsstufen angeglichen. Die Einteilungen von histologischem und Doppelbrechungs Index sind in Tabelle 3 und 4 dargestellt. Ferner wurden Verfärbungen unter Strukturerhalt, Materialeinschlüsse und Infiltrationen beurteilt.

Tabelle 3: Oxford-Histologischer Index

Histologischer Index		
Index	Beispiel	Erhaltungsstatus
I		< 15 % Erhaltung Sehr starke Dekompositionerscheinungen, keine oder kaum mikrostrukturell erhaltene Bereiche (mit Ausnahme der Havers'schen Kanäle)
II		> 15% Erhaltung Mittlere bis große Flächen mit mikrostrukturell gut erhaltenem Knochen, lamelläre Strukturen (auch zwischen zerstörten Stellen) klar erkennbar
III		> 85% Erhaltung Keine oder nur geringe Zerstörung des Knochens, Großteil des Querschnitts von frischem Knochen nicht unterscheidbar

3. Methoden

Tabelle 4: Doppelbrechungseigenschaften

Doppelbrechung Index		
Index	Beispiel	Erhaltungsstatus
I		Keine Doppelbrechung zu erkennen
II		Reduzierte Doppelbrechung
II		Uneingeschränkte Doppelbrechung

3.8 Karbonatextraktion

Verwendete Geräte und Chemikalien

Probenvorbereitung

- Porzellan-Mörser und Pistill (Haldenwanger)
- Kugelschwingmühle (Retsch, Typ MM200)
- Mahlbecher und Kugeln aus Edelstahl/ aus Teflon mit Stahlkern
- Metallspatel
- Schnappdeckelgläser, 10ml (Roth)
- Aceton
- Destilliertes Wasser

Extraktion

- Präzisionswaage (OHAUS® Analytical plus)
- Teflonrörchen, 10ml (Fischer, Oak-Ridge-Zentrifugenrörchen)
- Metallspatel
- Wägepapier
- Schüttler (neoLab Shaker Dos -10L)
- Zentrifuge (Sigma 2K15 und Hermle Z233MK-2)
- Wasserbad (Memmert)
- Vortex-Mixer (neoLab® 7-2020)
- Lyophilisator (CHRIST®, Alpha 1-4 LD)
- pH-Indikatorpapier (Macherey-Nagel, Universalindikatorpapier pH 1-11)
- Aceton
- 4% NaOCl-Lösung (Fa. Roth, Karlsruhe)
- 1M Ca-Acetat-Essigsäure-Puffer (pH 4,75, Fa. Roth, Karlsruhe)

Zur Entfernung des organischen Anteils (modifiziert nach Balasse et al.1999) werden 100mg Knochenmehl in 5mL 4% NaOCl-Lösung auf dem Rollenschüttler inkubiert, bis keine Bläschenbildung mehr zu erkennen ist. Dies dauert in der Regel zwei bis drei Tage, ggf. muss nach einem Tag das NaOCl gewechselt werden. Anschließend wird das Knochenpulver für fünf Minuten bei 2100g zentrifugiert und mittels destillierten Wassers neutral gewaschen. Das Pellet wird danach in 5mL 1M Ca-Acetat-Essigsäure-Puffer (pH4, 75) überführt und für ca. fünf Stunden auf den Rollenschüttler gegeben. Durch diese Behandlung wird adsorbiertes Karbonat entfernt (Lee-Thorp und van der Merwe 1991). Das adsorbierte Karbonat sollte bei der Extraktion zur Analyse der stabilen Isotope vollständig entfernt werden, da sonst andere $\delta^{13}\text{C}$ -Werte als die des strukturellen Karbonats gemessen werden: Adsorbiertes Karbonat besitzt negativere $\delta^{13}\text{C}$ -Werte als das strukturelle Karbonat (Mays 2000). Zudem ist strukturelles Karbonat gegenüber Verunreinigungen durch Calciumkarbonat (CaCO_3) aus Boden und Grundwasser besser geschützt als adsorbiertes Karbonat. Auch dieses CaCO_3 muss bei der Extraktion entfernt werden. Apatit enthält etwa zwei bis vier Gewichtsprozent Karbonat (Mays 2000). Anschließend wird wiederum zentrifugiert und bis zu dem pH-Wert von ca. 5 für destilliertes Wasser gewaschen. Die Proben werden mit etwas Wasser in Schnappdeckelgläschen überführt und drei bis vier Tage lyophilisiert. Diese werden daraufhin in Eppendorf-Cups eingewogen und mit offenem Deckel mehrere Stunden bei 50°C im Ofen inkubiert, um den störenden Hintergrund durch Sauerstoff in den Wassermolekülen während der Massenspektrometrie-Messung zu minimieren.

3.9 Kollagenextraktion

Verwendete Geräte und Chemikalien

Probenvorbereitung

- Porzellan-Mörser und Pistill (Haldenwanger)
- Kugelschwingmühle (Retsch, Typ MM200)
- Mahlbecher und Kugeln aus Edelstahl/ aus Teflon mit Stahlkern
- Metallspatel
- Schnappdeckelgläser, 10ml (Roth)
- Aceton
- Destilliertes Wasser

Extraktion

- Präzisionswaage (Ohaus Analytical plus)
- Teflonrörchen, 10ml (Fischer, Oak-Ridge-Zentrifugenrörchen)
- Metallspatel
- Wägepapier
- Schüttler (neoLab Shaker Dos -10L)
- Zentrifuge (Sigma 2K15 und Hermle Z233MK-2)
- Wasserbad (Memmert)
- Vortex-Mixer (neoLab 7-2020)
- Lyophilisator (CHRISTÒ, Alpha 1-4 LD)
- Glasnutschen, 100ml (Schott Duran)
- Glas-Filternutschen, 50ml, Porengröße 3 (Schott Duran)
- pH-Indikatorpapier (Macherey-Nagel, Universalindikatorpapier pH 1-11)
- Rundfilterpapier, 55mm (Roth, Typ MN 615)
- Aceton
- 1 M HCl (40,35ml 37% HCl, Roth, ad 500ml Aqua dest.)
- 0,125 M NaOH (2,5g NaOH-Plätzchen, Sigma Aldrich, ad 500ml Aqua dest.)
- 0,001 M HCl (40ml 37% HCl, Roth, ad 500ml Aqua dest.)

Der Isolierung von Kollagen aus dem Knochen dient die Kollagen-Gelatine-Extraktion nach Longin (1971), modifiziert von Schoeninger und DeNiro (1984). Zur Kollagen-Gelatine-Extraktion sind überwiegend Rippen und Femora herangezogen worden. Nach Reinigung mit destilliertem Wasser im Ultraschallbad und anschließender Trocknung wurden die Proben zunächst im Mörser und bei Bedarf in der Kugelschwingmühle homogenisiert. Auf eine Einwaage von rund 500 mg pro Probe wirkten etwa 20 Minuten auf dem Rollenschüttler 10 ml 1 M Salzsäure (HCl) ein, um mineralische Anteile sowie adsorbierte Karbonate zu entfernen. Daraufhin ist das Knochenmehl mehrmals für 5 Minuten bei 3.000 U/min zentrifugiert und jeweils bis zu dem pH-Wert von destilliertem Wasser gewaschen worden. Die Teflonrörchen mit dem Pellet sind anschließend mit 10 ml 0,125 M Natronlauge (NaOH) versetzt, aufgeschüttelt und 20 Stunden auf dem Rollenschüttler inkubiert worden, so dass sich aus dem demineralisierten Knochen Huminsäuren lösen konnten. Erneut ist das Knochenmehl zentrifugiert und bis zu dem pH-Wert von destilliertem Wasser gewaschen worden.

3. Methoden

Maximal 17 Stunden ist das Pellet dann mit 10 ml 0,001 M Salzsäure (HCl) bei 90 °C dem Wasserbad ausgesetzt worden. Aus dem Pellet löst sich unter diesen Bedingungen das Kollagen in Form von Gelatine. Mittels Filternutschen wurde das gelöste Kollagen abfiltriert, so dass sich organische Substanzen, wie zum Beispiel Mikroorganismen, entfernen ließen. Die aufbereiteten und in Schnappdeckelgläschen überführten Proben zeigten nach ca. drei Tagen Gefriertrocknung eine wattige Konsistenz. Die lyophilisierten Proben wurden zur Bemessung der prozentualen Kollagenkonzentration gewogen, davon werden ca. 0,5 mg Lyophylisat in Zinnkapseln verpackt. Das Kriterium der prozentualen Kollagenausbeute dient als Qualitätsüberprüfung. Gut erhaltenes Kollagen ergibt eine Ausbeute von mehr als 1 % (Ambrose 1993). Nach Schwarcz und Schoeninger (1991) muss jedoch eine Kollagenausbeute von 5 % vorliegen, um valide Ergebnisse aus der Isotopenanalyse zu erhalten. Ausbeuten von unter 1 % deuten auf sehr schlecht erhaltenes Kollagen hin, welches für die Analyse der stabilen Isotope nicht verwendet werden sollte.

3.10 Aminosäureanalyse

Verwendete Geräte, Materialien, Chemikalien und Software:

- Präzisionswaage (OHAUSÒ Analytical plus)
- Teflongefäße (Fischer)
- Heizplatte (Stuart, PTFE hotplate CP300)
- HPLC-Aminosäureanalysator (SYKAM)
- 6N HCl
- HPLC-Analysenrörchen und PP Schraubkappen(neoLab)
- Pufferlösungen: Washing Solution 0,30 N, pH 4,20; Regeneration Solution 0,5 N; Sample-Dilution-Buffer 0,12 N, pH 2,20; Lithium Citrate Buffer A1 0,12 N, pH 2,90; Lithium Citrate Buffer B1 0,30 N, pH 4,20, Lithium Citrate Buffer C4 0,30N, pH8,0 , (alles SYKAM)
- Ninhydrin (Sykam)
- Reducing Agent for Ninhydrin Solution 1ml für 1000ml Ninhydrin (Sykam)
- Aminosäuren Kalibrierstandard PH (Sykam)
- Software ChromStar 7.0

Das Prinzip der Aminosäureanalyse:

Die Aminosäureanalyse wird in zwei Stufen durchgeführt: Im ersten Schritt werden die Proteine/Peptide mittels der sauren Hydrolyse hydrolysiert, d.h. in die einzelnen Aminosäuren aufgespalten. Jeweils ca. 2mg Lyophilisat werden in Teflongefäßen mit 1mL 6N HCl versetzt und für 11 bis 15 Stunden bei 115°C auf einer Heizplatte hydrolysiert. Nach Abrauchen der Salzsäure wird das Hydrolysat in 1ml 0,2M Lithium-Citrat-Puffer pH 2,2 aufgenommen.

Die Flüssigchromatographie (HPLC) ist eine Methode, bei der das gelöste Kollagen in Aminosäuren aufgetrennt wird, die dann über eine stationäre Phase geleitet und dabei in ihre Bestandteile zerlegt werden. Die Proben werden durch eine vorgegebene Methode mit Puffern unterschiedlicher pH-Werte über eine Ionenaustauscher-Säule gepumpt.

3. Methoden

Die Aminosäuren werden abhängig von ihrem jeweiligen isoelektrischen Punkt von der Säule eluiert und reagieren mit Ninhydrin zu einem violetten Komplex. Das Photometer misst bei den Wellenlängen 440nm und 570nm.

Alle Aminosäuren, mit Ausnahme der sekundären Aminosäuren Prolin und Hydroxyprolin, können bei 570nm detektiert werden. Mit dieser Methode soll der Erhaltungsgrad des Kollagens bestimmt werden.

Aminosäuren im gut erhaltenen Kollagen zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus (Grupe 1992, Schwarcz und Schoeninger 1991):

- 1 mg Protein soll mehr als 250 nmol Aminosäuren enthalten
- Der relative Anteil von Glycin soll ca. 33 % betragen (Grupe 1992)
- Prolin, Hydroxyprolin und Alanin sollen zusammen ebenfalls einen relativen Anteil von etwa 33 % ergeben (Grupe 1992)
- Der prozentuale Anteil von Prolin und Hydroxyprolin beläuft sich auf ca. 20-25 % (Schwarcz & Schoeninger 1991).

Das gemessene Aminosäureprofil wird mit einem im rezenten Knochen gemessenen (Ambrose 1993) verglichen.

3.11 Prinzip der Massenspektrometrie

Die Massenspektrometrie wird in dieser Arbeit für die Untersuchung der stabilen Sauerstoff- und Kohlenstoffisotope aus Karbonat, und Kohlenstoff- und Stickstoffisotope aus dem Kollagen verwendet. Die Massenspektrometrie beruht auf der Messung der Masse von Teilchen. Dazu wird das zu untersuchende hydrolysierte Lyophylisat des Kollagens bzw. Karbonats in die Gasphase überführt, mittels einer Ionenquelle ionisiert und die ionisierten Teilchen in einem elektrischen Feld beschleunigt. Die Teilchen werden im Folgenden im Detektor nach ihrem Masse zu Ladung Verhältnis aufgetrennt. Elektronen werden mit hoher Geschwindigkeit durch eine stark verdünnte, gasförmige Verbindungsprobe geschickt. So können die Gaspartikel durch den Zusammenstoß mit den Elektronen in Ionen überführt werden. Die gebildeten Kationen oder Anionen werden in einem elektrischen Feld beschleunigt und in einem magnetischen Sektorfeld aufgrund ihrer unterschiedlichen Masse bzw. Ladung verschieden stark abgelenkt (die leichteren und höher geladenen stärker als die schwereren und weniger geladenen Ionen). Alle Ionen werden so nach dem Verhältnis von Masse zu Ladung (m/z) getrennt.

3. Methoden

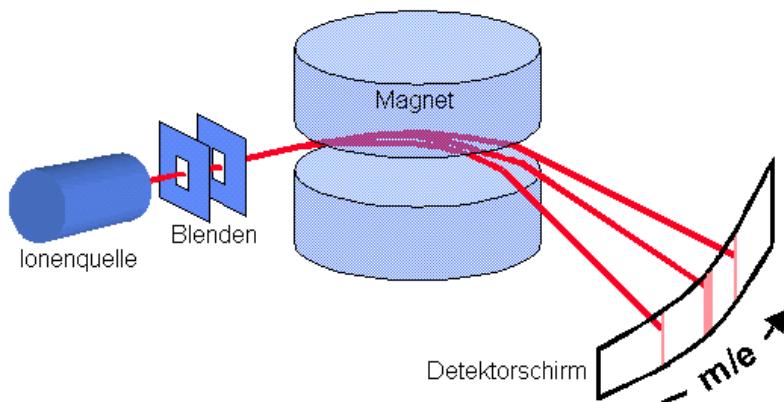


Abbildung 24: Prinzip der Massenspektrometrie (<http://www.mbgc.icbm.de/Barni/Image2.gif>)

Zur Charakterisierung der Isotopenzusammensetzung einer Substanz wird das Verhältnis der beiden häufigsten stabilen Isotope zueinander herangezogen und eine Bezugsgröße, der delta-Wert, definiert: Kohlenstoff- und Sauerstoffisotopenanalysen an Karbonaten werden mit einer Kiel III Karbonataufbereitung, welche online an ein ThermoFinnigan 252 Massenspektrometer gekoppelt ist, durchgeführt. Die Reproduzierbarkeit der Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopenanalysen an Karbonaten ist kleiner als 0,06 permil (1 Std. abw.). Die Isotopenverhältnisse werden gegen einen kalibrierten gasförmigen Laborstandard bestimmt. Die Kalibration wird für CO_2 gegen die IAEA Standards (International Atomic Energy Agency) NBS 19 und NBS 20 vorgenommen. Die Messwerte werden auf PDB-Standard für Karbonat bezogen und als Abweichung von diesem in δ -Notation und ‰ dargestellt. Die Kalibration wird für Kohlenstoff und Stickstoff aus Kollagen gegen den USGS40 Standard vorgenommen. Die Messwerte für Kohlenstoff werden ebenfalls auf den PDB-Standard bezogen, für Stickstoff auf den AIR-Standard für Stickstoff. Die Reproduzierbarkeit war hier geringer als 0,03 ‰ für die Kohlenstoffisotopenmessungen und kleiner als 0,1 ‰ für die Stickstoffisotopenmessungen. Das Verfahren erlaubt es neben den Isotopenverhältnissen von Kohlenstoff und Stickstoff aus dem Kollagen auch den prozentualen Anteil von Kohlenstoff und Stickstoff zu messen und bietet damit die Möglichkeit diese mit den Werten von rezentem Kollagen zu vergleichen und damit das molare C/N-Verhältnis bestimmt werden kann. Diese sind Größen, die für die Beurteilung der Integrität des Kollagens zugrunde gelegt werden (siehe Kap.4.12.1). Proben mit einem C/N-Quotienten von 2,9-3,6 weisen gut erhaltenes Kollagen auf (DeNiro 1985). Kollagen mit mehr als 3 Gewichtsprozente Kohlenstoff und mehr als 1 Gewichtsprozent Stickstoff gilt als gut erhalten (Ambrose 1993).

3.12 Isotopie Mischungsmodell

Zur Bestimmung der wahrscheinlichen Nahrungszusammensetzung eines Individuums mit Hilfe von Isotopenmessungen ist die Verwendung sogenannter *Mischungsmodelle* (Phillips und Koch 2002, Phillips und Gregg 2003, Phillips et al. 2005, Phillips 2012) eine bewährte Herangehensweise. Der Grundgedanke dabei ist, dass sich der gemessene Isotopenwert bei einem Individuum als Linearkombination der Isotopenwerte seiner (vermuteten) Nahrungsquellen darstellen lässt. Der einfachste Ansatz besteht dabei in der Betrachtung

3. Methoden

eines Isotops (z.B. des Kohlenstoffisotops $\delta^{13}C$) bei zwei angenommenen Nahrungsquellen (Index 1 und 2). Dementsprechend kann folgendes Gleichungssystem aufgestellt werden.

$$\begin{aligned}\delta^{13}C_{mix} &= f_1 \cdot \delta^{13}C_1 + f_2 \cdot \delta^{13}C_2 \\ 1 &= f_1 + f_2\end{aligned}$$

Die untere Gleichung stellt die Annahme dar, dass sich die Nahrung ausschließlich aus den beiden aufgeführten Quellen zusammensetzt. Dabei sind f_1 und f_2 die letztlich zu bestimmenden Faktoren, die die Anteile der Nahrungsquellen an der Ernährung insgesamt festlegen. Da es sich um ein Gleichungssystem mit zwei Unbekannten (f_1 und f_2) und zwei Gleichungen handelt ist dieses eindeutig lösbar. Explizit ergibt sich dann folgende Lösung.

$$\begin{aligned}f_1 &= \frac{\delta^{13}C_{mix} - \delta^{13}C_2}{\delta^{13}C_1 - \delta^{13}C_2} \\ f_2 &= 1 - f_1\end{aligned}$$

Natürlich ist obiger Ansatz stark vereinfacht, da das Spektrum der Nahrungsquellen eines Individuums normalerweise sehr viel umfangreicher ist. Dementsprechend kann das Modell, z.B. auf die Betrachtung zweier Isotopen (z.B. des Kohlenstoffisotops $\delta^{13}C$ sowie des Stickstoffisotops $\delta^{15}N$) bei drei angenommenen Nahrungsquellen, erweitert werden.

$$\begin{aligned}\delta^{13}C_{mix} &= f_1 \cdot \delta^{13}C_1 + f_2 \cdot \delta^{13}C_2 + f_3 \cdot \delta^{13}C_3 \\ \delta^{15}N_{mix} &= f_1 \cdot \delta^{15}N_1 + f_2 \cdot \delta^{15}N_2 + f_3 \cdot \delta^{15}N_3 \\ 1 &= f_1 + f_2 + f_3\end{aligned}$$

Mittels dieses Gleichungssystems kann nun für ein Individuum, das durch den Punkt

$(\delta^{13}C_{mix}, \delta^{15}N_{mix})$ charakterisiert ist, die Nahrungszusammensetzung (f_1, f_2, f_3) aus den durch die Punkte $(\delta^{13}C_1, \delta^{15}N_1)$, $(\delta^{13}C_2, \delta^{15}N_2)$ und $(\delta^{13}C_3, \delta^{15}N_3)$ festgelegten Quellen bestimmt werden. Dies funktioniert allerdings nur für diejenigen Individuen, deren Isotopenkombination innerhalb des von den (drei) die Nahrungsquellen repräsentierenden Punkten aufgespannten Dreiecks liegen. Diese Bedingung kann entweder visuell oder rechnerisch überprüft werden, wobei die die Punkte der Nahrungsquellen verbindenden Strecken folgender Form (exemplarisch für die Verbindung der Nahrungsquellen 1 und 2, d.h. $f_3 = 0$) der Vektorschreibweise unterliegen.

$$\begin{pmatrix} \delta^{13}C_2 + f_1 \cdot (\delta^{13}C_1 - \delta^{13}C_2) \\ \delta^{15}N_2 + f_1 \cdot (\delta^{15}N_1 - \delta^{15}N_2) \end{pmatrix} \quad \text{wobei } f_1 \in [0;1]$$

Allgemein betrachtet kann mit diesem Ansatz ein beliebig großes Modell definiert werden unter Berücksichtigung der Randbedingung, dass für eine Anzahl n gemessener unterschiedlicher Isotope genau $n+1$ Nahrungsquellen betrachtet werden müssen, damit das zugrundeliegende Gleichungssystem eindeutig lösbar ist. Diese Abhängigkeit ist allerdings für viele praktische Anwendungen eine zu starke Einschränkung, da oftmals deutlich mehr potentielle Nahrungsquellen für ein Individuum berücksichtigt werden müssen, als Messungen für unterschiedliche Isotope vorhanden sind. Dementsprechend kann obiges Modell folgendermaßen erweitert werden.

3. Methoden

1. Ermittlung aller "zulässigen" Individuen, für die die folgende Analyse überhaupt durchführbar ist. Analog zum obigen Vorgehen muss die Isotopenkombination für ein entsprechendes Individuum innerhalb des von den Punkten aufgespannten Vielecks liegen, die die betrachteten Nahrungsquellen charakterisieren.
2. Bestimmung aller möglichen gültigen Kombinationen von (mit den Faktoren f_i gewichteten) Nahrungsquellen. Die f_i durchlaufen dabei den Bereich [0;1] in äquidistanten Schritten (empfohlen ist ein Inkrement von beispielsweise 1%). Kriterium für die Gültigkeit einer Kombination ist die Erfüllung der Bedingung $\sum f_i = 1$. Für drei mögliche Nahrungsquellen Rind, Schwein und Schaf sind demnach 1% Rind / 1% Schwein / 98% Schaf aber auch 70% Rind / 5% Schwein / 25% Schaf gültige Kombinationen.
3. Einsetzen der gültigen Kombinationen in die Gleichungen des Mixing Models und Berechnung der jeweiligen Isotopenwerte des "Verbrauchers" für alle untersuchten Isotope (z.B. $\delta^{13}C$ und $\delta^{15}N$).
4. Vergleich mit den bekannten (gemessenen) Isotopenwerten des "Verbrauchers". Ist der Unterschied zwischen den mittels des Mixing Models berechneten und den durch Messung bestimmten Isotopenwerten geringer als eine vorgegebene Toleranz (Richtwert beispielsweise 2%), so ist die zugrundeliegende anteilmäßige Kombination von Nahrungsquellen zulässig und wird in eine entsprechende Liste gültiger Kombinationen eingetragen. Dieses oben beschriebene Vorgehen wurde in der frei zugänglichen Software IsoSource Version 1.3 ein auf Microsoft Visual Basic™ basierendes Software Paket, erhältlich auf der Homepage der U.S. EPA.

(Environmental Protection Agency)

<http://www.epa.gov/wed/pages/models/stableIsotopes/isosource/isosource.htm>

5. Die Verteilung der Häufigkeit des Auftretens aller möglichen Anteile f_i (also z.B. 0%, 1%, ..., 99%, 100%) unter allen gültigen Kombinationen für eine Nahrungsquelle gibt einen guten Überblick über die möglichen Ernährungsgewohnheiten des "Verbrauchers". So bestimmen z.B. das Minimum und Maximum in einer solchen Verteilung die mögliche Bandbreite des anteilmäßigen Beitrags einer Nahrungsquelle zur gesamten Ernährung.
6. Zusätzlich können a priori oder a posteriori noch einzelne Nahrungsquellen zusammengefasst werden (z.B. zu Fleisch, Fisch, Pflanzen o.ä.), was oft die Übersichtlichkeit der Ergebnisse deutlich erhöht (Phillips et al. 2005). Für die Entscheidung, welche Methode im Einzelfall am sinnvollsten anzuwenden ist, werden in Phillips et al. (2005) entsprechende Kriterien vorgeschlagen.

Eine Schwäche dieses einfachen Ansatzes ist es, dass implizit in etwa gleich große Anteile der Elemente (z.B. Kohlenstoff und Stickstoff) in den einzelnen potentiellen Nahrungsquellen angenommen werden. Ist nun z.B. die Konzentration eines speziellen Elements in einer Nahrungsquelle besonders hoch im Vergleich zu den übrigen, verfälscht dies das Gesamtergebnis wesentlich. Um solche Einflüsse zu berücksichtigen, wurde obiges Modell erweitert und verfeinert, indem die C/N Verhältnisse der Nahrungsquellen durch Bezug auf die Biomasse und einer entsprechender Gewichtung der Isotopenwerte Eingang in die

3. Methoden

Betrachtung finden. Dieser Ansatz wurde, wie nachfolgend beschrieben, formal umgesetzt (Phillips 2012) und in der Software (eigentlich eine Rechenschablone in einem Excel-Tabellenkalkulationsblatt) IsoConc implementiert. Im Wesentlichen wird die Einführung der Konzentrationsabhängigkeit in zwei Schritten vollzogen.

1. Die Faktoren f_1, f_2, f_3 , die die Nahrungsquellenanteile bestimmen, werden jetzt auch hinsichtlich der Isotope unterschieden, d.h. betrachtet werden nun insgesamt sechs Faktoren $f_{C1}, f_{C2}, f_{C3}, f_{N1}, f_{N2}, f_{N3}$. Dies führt auf das Gleichungssystem

$$\begin{aligned}\delta^{13}C_{mix} &= f_{C1} \cdot \delta^{13}C_1 + f_{C2} \cdot \delta^{13}C_2 + f_{C3} \cdot \delta^{13}C_3 \\ \delta^{15}N_{mix} &= f_{N1} \cdot \delta^{15}N_1 + f_{N2} \cdot \delta^{15}N_2 + f_{N3} \cdot \delta^{15}N_3 \\ 1 &= f_{C1} + f_{C2} + f_{C3} \\ 1 &= f_{N1} + f_{N2} + f_{N3}\end{aligned}$$

2. Die (jetzt isotopenabhängigen) Nahrungsquellenanteile können durch Einführung von Konzentrationen $[C]_1, [C]_2, [C]_3, [N]_1, [N]_2, [N]_3$ der Isotopen in den jeweiligen Nahrungsquellen, sowie von entsprechenden auf die Biomasse bezogenen Nahrungsquellenanteilen f_{B1}, f_{B2}, f_{B3} neu definiert werden zu

$$\begin{aligned}f_{C1} &= \frac{f_{B1} \cdot [C]_1}{f_{B1} \cdot [C]_1 + f_{B2} \cdot [C]_2 + f_{B3} \cdot [C]_3} \\ f_{C2} &= \frac{f_{B2} \cdot [C]_2}{f_{B1} \cdot [C]_1 + f_{B2} \cdot [C]_2 + f_{B3} \cdot [C]_3} \\ f_{C3} &= \frac{f_{B3} \cdot [C]_3}{f_{B1} \cdot [C]_1 + f_{B2} \cdot [C]_2 + f_{B3} \cdot [C]_3} \\ f_{N1} &= \frac{f_{B1} \cdot [N]_1}{f_{B1} \cdot [N]_1 + f_{B2} \cdot [N]_2 + f_{B3} \cdot [N]_3} \\ f_{N2} &= \frac{f_{B2} \cdot [N]_2}{f_{B1} \cdot [N]_1 + f_{B2} \cdot [N]_2 + f_{B3} \cdot [N]_3} \\ f_{N3} &= \frac{f_{B3} \cdot [N]_3}{f_{B1} \cdot [N]_1 + f_{B2} \cdot [N]_2 + f_{B3} \cdot [N]_3} \\ 1 &= f_{B1} + f_{B2} + f_{B3}\end{aligned}$$

Durch Einsetzen der $f_{C1}, f_{C2}, f_{C3}, f_{N1}, f_{N2}, f_{N3}$ in die Modellgleichungen für $\delta^{13}C_{mix}, \delta^{15}N_{mix}$ erhält man wieder ein System von drei Gleichungen für die drei Unbekannten f_{B1}, f_{B2}, f_{B3} . Nach Lösung dieses Gleichungssystems erhält man $f_{C1}, f_{C2}, f_{C3}, f_{N1}, f_{N2}, f_{N3}$ durch Rücksubstitution von f_{B1}, f_{B2}, f_{B3} . Ein weiterer wesentlicher Unterschied im Vergleich zum konzentrationsunabhängigen Ansatz besteht in der Bestimmung der für das Modell zulässigen Individuen. Der mittels der Isotopenwerte der Nahrungsquellen aufgespannte "zulässige Bereich" wird nun nicht mehr durch Geraden (d.h. eigentlich Strecken) zwischen den einzelnen Punkten begrenzt, sondern durch (gekrümmte) Kurven, die durch Einsetzen obiger

3. Methoden

Bestimmungsgleichungen für $f_{C1}, f_{C2}, f_{C3}, f_{N1}, f_{N2}, f_{N3}$ in die ursprünglichen (linearen) Ausdrücke für die Verbindungsstrecken entstehen.

So lautet z.B. für die Verbindung der Nahrungsquellen 1 und 2, d.h. $f_{B3} = f_{C3} = f_{N3} = 0$ die formale Beschreibung in Vektorschreibweise

$$\left(\begin{array}{l} \frac{\delta^{13}C_2 \cdot [C]_2 + f_{B1} \cdot (\delta^{13}C_1 \cdot [C]_1 - \delta^{13}C_2 \cdot [C]_2)}{[C]_2 + f_{B1} \cdot ([C]_1 - [C]_2)} \\ \frac{\delta^{13}N_2 \cdot [N]_2 + f_{B1} \cdot (\delta^{13}N_1 \cdot [N]_1 - \delta^{13}N_2 \cdot [N]_2)}{[N]_2 + f_{B1} \cdot ([N]_1 - [N]_2)} \end{array} \right) \quad \text{wobei } f_{B1} \in [0;1]$$

Trotz bestehender Kritik an diesem Ansatz, da er laut Robbins et al. (2002) zu viele das Ergebnis verfälschende Annahmen und Vereinfachungen enthält, ist er doch zum aktuellen Stand der Forschung insbesondere bei Nahrungsquellen, die sich wesentlich im C/N Konzentrationsverhältnis unterscheiden, diejenige Methode, die der Realität am nächsten kommt.

Eine Erweiterung dieses konzentrationsabhängigen Ansatzes mit IsoConc auf (bei zwei betrachteten Isotopen) mehr als drei Nahrungsquellen (analog zum oben beschriebenen Programm IsoSource) verspricht zwar eine weitere Verfeinerung der Ergebnisse (Newsome et al. 2004), ist aber als Software bisher nicht verfügbar. Dieser Ansatz setzt eine entsprechende Änderung des (öffentlich nicht frei verfügbaren) Quellcodes voraus, was selbst bei Vorliegen der Quellprogramme weit über den Rahmen der vorliegenden Arbeit hinausginge.

In ähnlicher Weise gibt es auch neuere Ansätze (Moore und Semmens 2008), die beispielsweise Modell- bzw. Datenunsicherheiten, sowie zusätzlich bekannte Information, wie z.B. aus der Analyse von Mageninhalten mittels eines statistischen Ansatzes basierend auf dem Satz von Bayes für bedingte Wahrscheinlichkeiten, mit einbeziehen. Auch hier gilt, dass eine Anwendung dieser Methode schon alleine aufgrund der sehr umfangreichen a priori zu erhebenden Eingabedaten (Wahrscheinlichkeitsverteilungen für Isotopen bei Beutetieren, Analyse von Mageninhalten usw.) bei weitem über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen würde.

4. Ergebnisse und Diskussionen

4.1 Untersuchungen im Hinblick auf die Rekonstruktion der Lebensumstände der Altdorfer Bevölkerung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der statistischen Auswertung des untersuchten Materials hauptsächlich im Hinblick auf die Rekonstruktion der Lebensumstände der Altdorfer Bevölkerung beschrieben. Dabei werden unter anderem vorbereitend für die Körperhöhenschätzung einzelne, hinsichtlich Zeitstellung oder Geschlecht a priori nicht bestimmbare Individuen mittels einer Diskriminanzanalyse der entsprechenden Merkmalsausprägung zugeordnet und somit der Umfang der zu untersuchenden Stichprobe vergrößert, was gemeinhin die statistischen Aussagen (zumindest etwas) zuverlässiger macht. Danach werden zunächst die relevanten statistischen Kennwerte der betrachteten Merkmale (deskriptive Statistik) bestimmt und in der Folge mögliche Abhängigkeiten analysiert, sowie geeignete Kennwerte ermittelt.

Ausgangsmaterial

Nach den zunächst durchgeführten ersten morphologischen Untersuchungen ergibt sich für die befundeten Individuen die folgende Ausgangssituation. Wie in Abb. 25 dargestellt, wird eine Gesamtzahl von 175 Individuen aus zwei Zeithorizonten betrachtet. Individuen, die keiner Zeitstellung zugeordnet werden konnten (ebenso wie diejenigen, deren Geschlecht a priori nicht bestimbar war) werden mit "n.b." (nicht bestimmt) bezeichnet. Diese bilden mit einer Gesamtzahl von 16 von insgesamt 175 Individuen (also etwa 9%) einen nicht unerheblichen Anteil. Deshalb sollte für die folgenden Untersuchungen, wann immer möglich, mit entsprechenden Methoden, wie z.B. der Diskriminanzanalyse, für diese Individuen die Zeitstellung bzw. zumindest ein Indikator dafür bestimmt werden, um so die Stichprobengröße zu erhöhen und damit die statistischen Ergebnisse qualitativ zu verbessern.

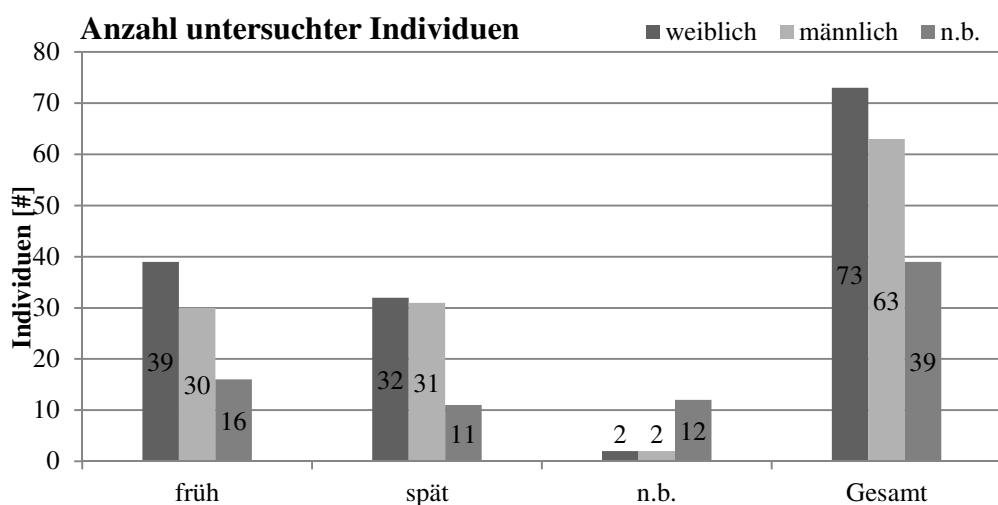


Abbildung 25: Anzahl der untersuchten Individuen nach Zeitstellung und Geschlecht

4. Ergebnisse und Diskussionen

Geht man zur entsprechenden Darstellung der relativen Häufigkeiten (in Prozent) über, so zeigt sich in Abb. 26 ein ähnliches Bild.

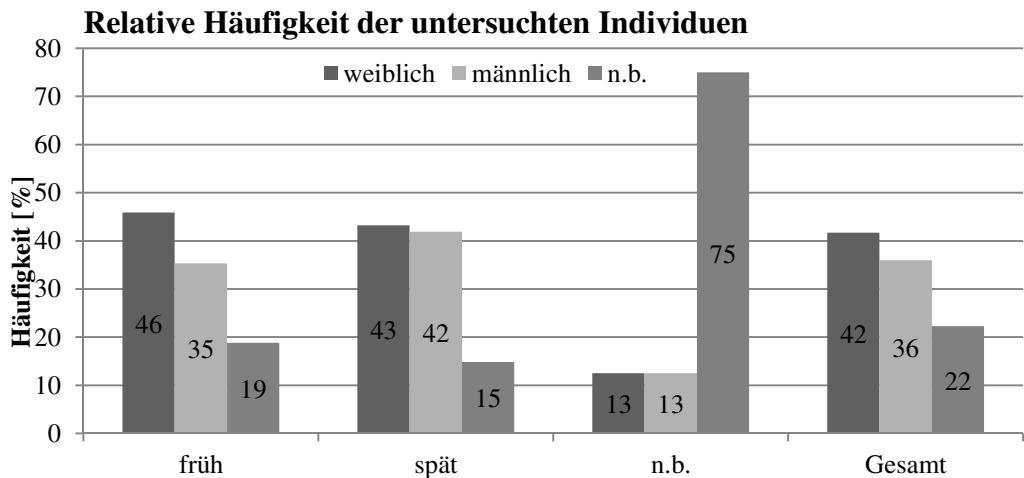


Abbildung 26: Relative Häufigkeit der untersuchten Individuen

Offensichtlich ist die Geschlechterverteilung für frühe und späte Zeitstellung ähnlich, wobei der Anteil der männlichen Individuen für die späte Zeitstellung im Vergleich etwas höher ist. Für die untersuchten Individuen wurde nun des Weiteren eine Einteilung in Altersklassen vorgenommen. Entsprechend der obigen Klassifikation können die befundenen Individuen also hinsichtlich ihres Sterbealters eingeteilt werden. Abbildung 27 stellt die Sterbealtermverteilung der frühen und späten Phase unter Berücksichtigung des Geschlechts dar.

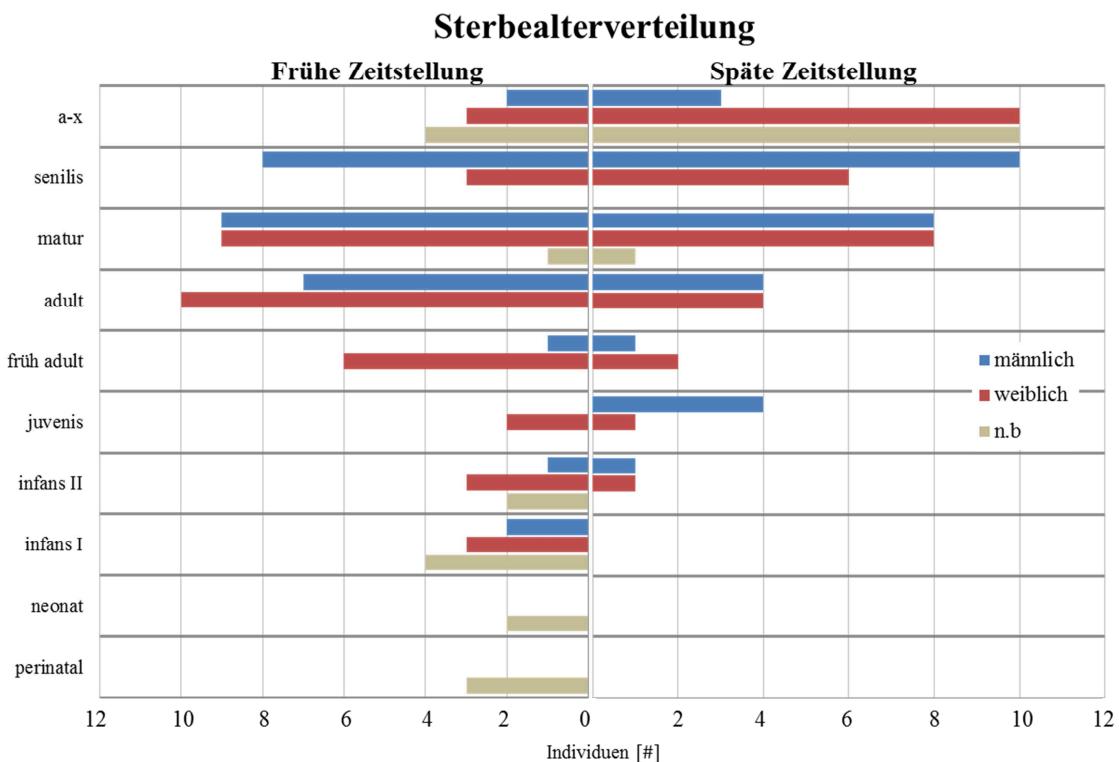


Abbildung 27: Einteilung der Individuen der frühen und späten Zeitstellung in Altersklassen

4. Ergebnisse und Diskussionen

Offensichtlich sind für die frühe Zeitstellung die Sterbealter für Erwachsene als auch für Kinder etwas gleichmäßiger verteilt, als in der späten Belegungsphase, für die sich die Anzahl der Sterbefälle mit zunehmendem Alter häuft. Insgesamt 16 Individuen konnten keiner Zeitstellung zugeordnet werden. Diese sind zusammen mit den bereits oben aufgeführten in der untenstehenden zusammenfassenden Darstellung (Abb. 28) enthalten.

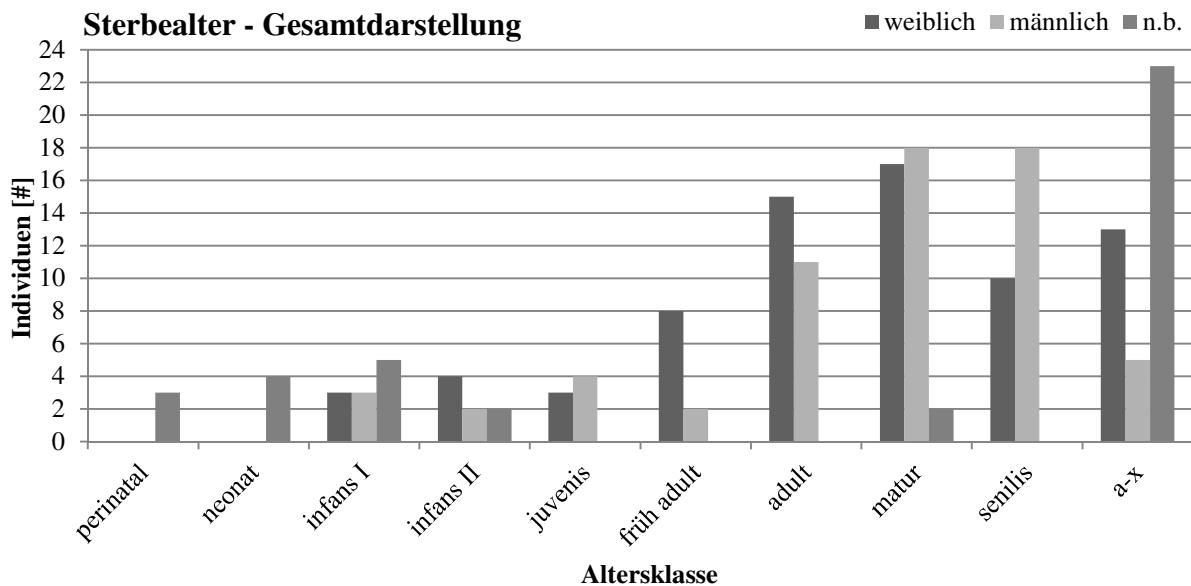


Abbildung 28: Einteilung der Individuen in Altersklassen – Gesamtübersicht

4.2. Demographische Analysen

Etwas detaillierter können die oben gezeigten Verhältnisse mittels geeigneter Sterbetafeln analysiert werden. Hierfür werden für die einzelnen Altersklassen die im Methodenteil (Kapitel 3.6) beschriebenen Parameter ermittelt und in einer Tabelle eingetragen. Dabei bezeichnet der Index "x" die jeweilige Altersklasse und D die Gesamtzahl der betrachteten Individuen, sowie a_x die Anzahl der Jahre, die eine Altersklasse umfasst.

Tabelle 5: Korrigierte Sterbetafel für weibliche Individuen der frühen Zeitstellung

Altersklasse	a_x	D_x	d_x	l_x	q_x	L_x	T_x	e_x
infans I	6	24	400,00	1000,00	0,400	4800,00	23391,7	23,392
infans II	6	3	50,00	600,00	0,083	3450,00	18591,7	30,986
juvenil	8	2	33,33	550,00	0,061	4266,67	15141,7	27,530
früh adult	5	6	100,00	516,67	0,194	2333,33	10875,0	21,048
adult	15	11	183,33	416,67	0,440	4875,00	8541,7	20,500
matur	20	10	166,67	233,33	0,714	3000,00	3666,7	15,714
senilis	20	4	66,67	66,67	1,000	666,67	666,7	10,000
Gesamt	80	60	1000	0		23391,67		

4. Ergebnisse und Diskussionen

Tabelle 6: Korrigierte Sterbetafel für männliche Individuen der frühen Zeitstellung

Altersklasse	a_x	D_x	d_x	l_x	q_x	L_x	T_x	e_x
infans I	6	2	66,67	1000,00	0,067	5800,00	46500,0	46,500
infans II	6	1	33,33	933,33	0,036	5500,00	40700,0	43,607
juvenil	8	0	0,00	900,00	0,000	7200,00	35200,0	39,111
früh adult	5	1	33,33	900,00	0,037	4416,67	28000,0	31,111
adult	15	7	233,33	866,67	0,269	11250,00	23583,3	27,212
matur	20	10	333,33	633,33	0,526	9333,33	12333,3	19,474
senilis	20	9	300,00	300,00	1,000	3000,00	3000,0	10,000
Gesamt	80	30	1000,00	0,00		46500,00		

Tabelle 7: Korrigierte Sterbetafel für die frühe Zeitstellung gesamt

Altersklasse	a_x	D_x	d_x	l_x	q_x	L_x	T_x	e_x
infans I	6	39	354,55	1000,00	0,355	4936,36	27913,6	27,914
infans II	6	6	54,55	645,45	0,085	3709,09	22977,3	35,599
juvenil	8	2	18,18	590,91	0,031	4654,55	19268,2	32,608
früh adult	5	7	63,64	572,73	0,111	2704,55	14613,6	25,516
adult	15	20	181,82	509,09	0,357	6272,73	11909,1	23,393
matur	20	23	209,09	327,27	0,639	4454,55	5636,4	17,222
senilis	20	13	118,18	118,18	1,000	1181,82	1181,8	10,000
Gesamt	80	110	1000,00	0,00		27913,64		

Tabelle 8: Korrigierte Sterbetafel für weibliche Individuen der späten Zeitstellung

Altersklasse	a_x	D_x	d_x	l_x	q_x	L_x	T_x	e_x
infans I	6	9	219,51	1000,00	0,220	5341,46	38341,5	38,341
infans II	6	1	24,39	780,49	0,031	4609,76	33000,0	42,281
juvenil	8	1	24,39	756,10	0,032	5951,22	28390,2	37,548
früh adult	5	2	48,78	731,71	0,067	3536,59	22439,0	30,667
adult	15	6	146,34	682,93	0,214	9146,34	18902,4	27,679
matur	20	13	317,07	536,59	0,591	7560,98	9756,1	18,182
senilis	20	9	219,51	219,51	1,000	2195,12	2195,1	10,000
Gesamt	80	41	1000,00	0,00		38341,46		

4. Ergebnisse und Diskussionen

Tabelle 9: Korrigierte Sterbetafel für männliche Individuen der späten Zeitstellung

Altersklasse	a_x	D_x	d_x	l_x	q_x	L_x	T_x	e_x
infans I	6	10	243,90	1000,00	0,244	5268,29	36780,5	36,780
infans II	6	1	24,39	756,10	0,032	4463,41	31512,2	41,677
juvenil	8	4	97,56	731,71	0,133	5463,41	27048,8	36,967
früh adult	5	1	24,39	634,15	0,038	3109,76	21585,4	34,038
adult	15	5	121,95	609,76	0,200	8231,71	18475,6	30,300
matur	20	9	219,51	487,80	0,450	7560,98	10243,9	21,000
senilis	20	11	268,29	268,29	1,000	2682,93	2682,9	10,000
Gesamt	80	41	1000,00		0,00		36780,49	

Tabelle 10: Korrigierte Sterbetafel für die späte Zeitstellung gesamt

Altersklasse	a_x	D_x	d_x	l_x	q_x	L_x	T_x	e_x
infans I	6	17	186,81	1000,00	0,187	5439,56	40730,77	40,731
infans II	6	2	21,98	813,19	0,027	4813,19	35291,21	43,399
juvenil	8	5	54,95	791,21	0,069	6109,89	30478,02	38,521
früh adult	5	3	32,97	736,26	0,045	3598,90	24368,13	33,097
adult	15	12	131,87	703,30	0,188	9560,44	20769,23	29,531
matur	20	27	296,70	571,43	0,519	8461,54	11208,79	19,615
senilis	20	25	274,73	274,73	1,000	2747,25	2747,25	10,000
Gesamt	80	91	1000,00		0,00		40730,77	

Tabelle 11: Korrigierte Sterbetafel für weibliche Individuen gesamt

Altersklasse	a_x	D_x	d_x	l_x	q_x	L_x	T_x	e_x
infans I	6	34	326,92	1000,00	0,327	5019,23	29096,2	29,096
infans II	6	4	38,46	673,08	0,057	3923,08	24076,9	35,771
juvenil	8	3	28,85	634,62	0,045	4961,54	20153,8	31,758
früh adult	5	8	76,92	605,77	0,127	2836,54	15192,3	25,079
adult	15	20	192,31	528,85	0,364	6490,38	12355,8	23,364
matur	20	22	211,54	336,54	0,629	4615,38	5865,4	17,429
senilis	20	13	125,00	125,00	1,000	1250,00	1250,0	10,000
Gesamt	80	104	1000,00		0,00		29096,15	

4. Ergebnisse und Diskussionen

Tabelle 12: Korrigierte Sterbetafel für männliche Individuen gesamt

Altersklasse	a_x	D_x	d_x	l_x	q_x	L_x	T_x	e_x
infans I	6	12	166,67	1000,00	0,167	5500,00	41013,9	41,014
infans II	6	2	27,78	833,33	0,033	4916,67	35513,9	42,617
juvenil	8	4	55,56	805,56	0,069	6222,22	30597,2	37,983
früh adult	5	2	27,78	750,00	0,037	3680,56	24375,0	32,500
adult	15	12	166,67	722,22	0,231	9583,33	20694,4	28,654
matur	20	20	277,78	555,56	0,500	8333,33	11111,1	20,000
senilis	20	20	277,78	277,78	1,000	2777,78	2777,8	10,000
Gesamt	80	72	1000,00	0,00		41013,89		

Tabelle 13: Korrigierte kombinierte Sterbetafel aller untersuchten Individuen

Altersklasse	a_x	D_x	d_x	l_x	q_x	L_x	T_x	e_x
infans I	6	57	266,36	1000,00	0,266	5200,93	34182,2	34,182
infans II	6	8	37,38	733,64	0,051	4289,72	28981,3	39,503
juvenil	8	7	32,71	696,26	0,047	5439,25	24691,6	35,463
früh adult	5	10	46,73	663,55	0,070	3200,93	19252,3	29,014
adult	15	38	177,57	616,82	0,288	7920,56	16051,4	26,023
matur	20	54	252,34	439,25	0,574	6261,68	8130,8	18,511
senilis	20	40	186,92	186,92	1,000	1869,16	1869,2	10,000
Gesamt	80	214	1000,00	0,00		34182,24		

4. Ergebnisse und Diskussionen

Die Auswertung dieser Parameter für die hier zugrundeliegenden Populationen ist in folgender Tabelle angegeben

Tabelle 14: Wichtige aus der Sterbetafel abgeleitete Parameter, wobei für q_{0-1} , q_{0-5} und e_0 zum Vergleich unkorrigierte, sowie um den Effekt des Kleinkinddefizits korrigierte Werte angegeben sind.

	q_{0-1}	q_{0-1} kor.	q_{0-5}	q_{0-5} kor.	e_0	e_0 kor.	$\frac{D_{5-9}}{D_{10-14}}$	$\frac{D_{5-14}}{D_{20-24}}$	$\frac{Q_{10}}{Q_{15}}$	$\frac{Q_{15}}{Q_0}$	MI	AI	m	t
präind. w	0,00	0,26	0,06	0,40	34,4	27,8	4,00	0,16	0,92	0,15	-	1,14	0,04	-0,022
präind. m	0,00	0,09	0,06	0,06	46,5	53,0	n. b.	0,04	n. b.	0,00	-	0,67	0,02	-0,042
präind. gesamt	0,06	0,24	0,14	0,35	35,2	31,9	7,00	0,13	0,98	0,06	87,1	1,16	0,03	-0,016
Überg. w	0,00	0,16	0,00	0,21	48,3	42,9	0,00	0,07	n. b.	0,00	-	0,95	0,02	-0,023
Überg. m	0,00	0,18	0,00	0,24	47,7	40,5	0,00	0,08	0,60	0,49	-	1,28	0,03	-0,010
Überg. gesamt	0,00	0,15	0,00	0,18	49,4	44,8	0,00	0,06	1,24	0,25	86,7	1,02	0,02	-0,020
w gesamt	0,00	0,22	0,03	0,33	40,2	34,2	1,33	0,11	2,75	0,07	-	1,04	0,03	-0,019
m gesamt	0,00	0,14	0,04	0,17	46,4	46,0	0,50	0,06	0,64	0,33	-	0,95	0,02	-0,023
gesamt	0,04	0,19	0,09	0,27	41,1	38,9	1,40	0,08	1,19	0,12	85,7	1,02	0,03	-0,018

Abkürzungen **präind. w** bzw. **m**= Frauen bzw. Männer der präindustriellen Phase, **Überg. w** bzw. **m**= Frauen bzw. Männer der Übergangsphase, **präind. gesamt**: Frauen und Männer der präindustriellen Phase, **Überg. gesamt**= Frauen und Männer der Übergangsphase, **w gesamt**= alle Frauen, **m gesamt**= alle Männer

Ein Vergleich der originalen und korrigierten Sterbewahrscheinlichkeiten q_{0-1} und q_{0-5} zeigt erwartungsgemäß durchweg höhere Werte für die Korrektur. Hinsichtlich der Lebenserwartung bei Geburt e_0 erwartet man demzufolge durchweg niedrigere Werte für die Korrektur im Vergleich zu den Originaldaten, was sich bis auf den Fall männlicher Individuen der präindustriellen Zeitstellung auch so darstellt. Die Ausnahme für ebendiese Gruppe kann darauf zurückgeführt werden, dass hierfür die Anzahl nur 1 beträgt, was realistischerweise relativ betrachtet ein zu geringer Wert ist und wohl der Tatsache geschuldet ist, dass die Stichprobe insgesamt vergleichsweise klein ist, wohingegen die obige Formel zur Berechnung von e_0 umso besser geeignet ist, je umfangreicher die Stichprobe ist. Befänden sich beispielsweise zwei Individuen statt nur einem in dieser Altersklasse, würde sich das korrigierte e_0 auf 41,1 reduzieren. Man kann also hier von einem statistischen Effekt sprechen.

4.2.1 Die Repräsentanz der Skelettserien

Die in Tab.14 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Population der frühen Belegungsphase repräsentativ ist. Die Daten der späten Belegungsphase deuten hingegen auf eine nicht repräsentative Population hin, eine Folge der fehlenden Kleinkinder und Kinder. Die Wahrscheinlichkeit für die frühe Belegungsphase innerhalb des ersten Lebensjahres zu sterben beträgt 23,5 %, der tatsächlich beobachtete Wert lag bei 5 von insgesamt 85 Individuen, also 6 %. Es fehlen somit unter den befundenen Individuen mehr als 19 Kleinkinder.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Für die späte Belegungsphase ist die Sterblichkeit im ersten Lebensjahr mit 15% niedriger, als in der frühen Belegungsphase. Es konnten allerdings für diese Zeitstellung unter den insgesamt 74 befindeten Individuen keine Kleinkinderbestattungen gefunden werden, sodass anzunehmen ist, dass diese an einem separaten und bei der Grabung nicht erfassten Ort bestattet wurden. Demnach fehlen mindestens 13 Kleinkinder.

Die Sterbewahrscheinlichkeit innerhalb der ersten fünf Lebensjahre für die frühe Belegungsphase beträgt 35,4%, beobachtet werden konnten nur 16% (14 von 85 befindeten Individuen). Es fehlen demnach etwa 25 Kinder. Für die späte Phase beträgt die Sterbewahrscheinlichkeit 18,4%. In dieser Altersklasse fehlen demnach etwa 17 Individuen.

Die Lebenserwartung bei Geburt beträgt im frühen Belegungszeitraum 31,9 Jahre und in der späten Phase 44,8 Jahre. Der große Unterschied entsteht hier durch die nicht vorhandenen Säuglinge und Kleinkinder in der späten Phase. Eine höhere Anzahl an Säuglingen und Kleinkindern unter den befindeten Individuen führt zu einer niedrigeren Lebenserwartung.

4.2.2 Der Maskulinitätsindex

Der Maskulinitätsindex von 87,1 für die frühe Population und 86,7 für die späte Population weist in beiden Fällen auf einen leichten Frauenüberschuss hin. Das Verhältnis ist für frühe und späte Zeitstellung praktisch identisch.

4.2.3 Der Abhängigkeitsindex

Der Abhängigkeitsindex nach Korrektur der Sterbetafel beträgt für die präindustrielle Population 1,16 und für die sich im demographischen Übergang befindliche Population 1,02 und zeigt somit, dass in etwa jeweils eine Person eine weitere versorgt hat.

4.2.4 Die Mortalitätsrate

Die Mortalitätsrate beträgt für die frühe Zeitstellung 3,2 %, das sind 3,2 Todesfälle pro Jahr auf 100 Individuen und für die späte Zeitstellung 2,4%, das sind entsprechend 2,4 Todesfälle pro Jahr auf 100 Individuen.

4.2.5 Die Wachstumsrate

Die leicht negativen Wachstumsraten von -0,016 für die frühe Belegungsphase und -0,020 für die späte Belegungsphase deuten in beiden Fällen auf ein Schrumpfen der Bevölkerung hin.

4.2.6 Lebenserwartung

Tabelle 15: Überblick zur Lebenserwartung

Lebenserwartung														
e_x	♀ Prä.	♀ Überg.	Δ	♂ Prä.	♂ Überg.	Δ	♀ges.	♂ges.	Δ	Prä. ges.	Überg. ges.	Δ	Ges.	
Infans I	23,4	38,3	-14,9	46,5	36,8	9,7	29,1	41,1	-11,9	27,9	40,7	-12,8	34,2	
Infans II	31,5	42,3	-11,3	43,6	41,7	1,9	35,8	42,6	-6,8	35,6	43,4	-7,8	39,5	
juvenile	27,5	37,5	-10,0	39,1	37,0	2,1	31,8	38,0	-6,2	32,6	38,5	-5,9	35,5	
fr. adult	21,0	30,7	-9,6	31,1	34,0	-2,9	25,1	32,5	-7,4	25,5	33,1	-7,6	29,0	
adult	20,5	27,7	-7,2	27,2	30,3	-3,1	23,4	28,7	-5,3	23,4	29,5	-6,1	26,0	
matur	15,7	18,2	-2,5	19,5	21,0	-1,5	17,4	20,0	-2,6	17,2	19,6	-2,4	18,5	
senilis	10,0	10,0	0,0	10,0	10,0	0,0	10,0	10,0	0,0	10,0	10,0	0,0	10,0	

4. Ergebnisse und Diskussionen

Betrachtet man die Lebenserwartung in den Altersklassen und in Abhängigkeit von Geschlecht und Zeitstellung, kann Folgendes beobachtet werden. Die Lebenserwartung für Frauen der frühen Belegungsphase ist in allen Altersklassen deutlich niedriger (zwischen 10 und 15 Jahren), als die der Männer. Für die spätere Belegungsphase ist dieser Unterschied nur noch sehr gering (ca. 5 Jahre). Anders ausgedrückt ist die Lebenserwartung in der frühen Phase deutlich geschlechtsabhängig, diese Abhängigkeit verringert sich in der späten Belegungsphase. Früh adulte, adulte und mature Frauen zeigen aber dennoch eine geringfügig niedrigere Lebenserwartung. Betrachtet man nur die Männer der frühen und späten Zeitstellung, fällt auf, dass die Lebenserwartung keine großen Unterschiede aufweist. Bemerkenswert ist bei den Männern der späten Zeitstellung im Gegensatz zur frühen Zeitstellung, dass die Lebenserwartung der Altersklassen infans II und juvenis etwas und für infans I deutlich niedriger ist. Bei Betrachtung der Ergebnisse für die Frauen sind im Gegensatz dazu in allen Altersklassen deutliche Unterschiede zu erkennen, wobei für die frühe im Vergleich zur späten Zeitstellung die Lebenserwartung durchweg niedriger ist. Nur nach Zeitstellung betrachtet ist die Lebenserwartung in allen Altersklassen der frühen Phase niedriger, als in der späten Phase.

4.2.7 Sterbewahrscheinlichkeit

Tabelle 16: Überblick zur Sterbewahrscheinlichkeit

Sterbewahrscheinlichkeit														
q_x	♀ Prä	♀ Überg	Δ	♂ Prä	♂ Überg	Δ	♀ ges.	♂ ges.	Δ	Prä ges.	Überg ges.	Δ	Ges.	
Infans I	0,40	0,22	0,18	0,07	0,24	-0,18	0,33	0,17	0,16	0,36	0,19	0,17	0,27	
Infans II	0,08	0,03	0,05	0,04	0,03	0,00	0,06	0,03	0,02	0,09	0,03	0,06	0,05	
juvenil	0,06	0,03	0,03	0,00	0,13	-0,13	0,07	0,07	-0,02	0,03	0,07	-0,04	0,05	
fr. adult	0,19	0,07	0,13	0,04	0,04	0,00	0,04	0,04	0,09	0,11	0,05	0,07	0,07	
adult	0,44	0,21	0,23	0,27	0,20	0,07	0,23	0,23	0,13	0,36	0,19	0,17	0,29	
matur	0,71	0,59	0,12	0,53	0,45	0,08	0,50	0,50	0,13	0,64	0,52	0,12	0,57	
senilis	1	1	0,00	1	1	0,00	1	1	0,00	1	1	0,00	1	

Die Sterbewahrscheinlichkeit für die frühe Population zeigt geschlechtsspezifische Unterschiede. Weibliche Individuen weisen in jeder Altersklasse höhere Sterbewahrscheinlichkeiten auf. Die Altersklasse juvenil bei den Männern ist hier nicht vertreten. Die Sterbewahrscheinlichkeit steigt ab den Altersklassen früh adult und adult an. Die früh adulte und adulte Altersklasse weist nahezu identische Sterbewahrscheinlichkeiten für beide Geschlechter in der Spätphase auf. Die Altersklasse juvenil konnte aufgrund fehlender Daten nicht mit der späten Population verglichen werden. Die Altersklassen adult und matur zeigen für die frühen männlichen Mitglieder der Population eine leicht höhere Sterbewahrscheinlichkeit als für Männer der späten Phase. Bei den weiblichen Individuen zeigen sich die Unterschiede deutlich ab der früh adulten Altersklasse: Die Sterbewahrscheinlichkeit liegt in der frühen Phase über der der späten Phase. Die Betrachtung der Sterbewahrscheinlichkeit nur nach Zeitstellung ohne nach Geschlecht zu differenzieren verdeutlicht den bisher gezeigten Trend, dass die präindustrielle Population eine fast durchgehend höhere Sterbewahrscheinlichkeit aufweist als die der Übergangsphase.

D 4.1/4.2 Diskussion und Zusammenfassung der demographischen Analysen

Die Aussagekraft der paläodemographischen Methoden ist wesentlich von der Vollständigkeit des Fundmaterials und der Zuordnung zu einem bestimmten Belegungszeitraum des Friedhofs abhängig. Die Altdorfer Bevölkerung konnte, wie im Materialteil bereits beschrieben, aufgrund des Brandes der Kirche und der unterschiedlichen Lage und Ausrichtung der Bestattungen auf 2 Zeithorizonte aufgeteilt werden. Vorauszuschicken ist, dass die Daten aus den Sterbetafeln hier ausschließlich in Relation zueinander gestellt werden, indem die Daten aus den beiden Zeithorizonten verglichen werden. Da davon auszugehen ist, dass der Friedhof nicht vollständig ergraben worden ist und ein Teil der Skelette nur noch als Leichenschatten vorhanden war und deshalb nicht in diese Untersuchung miteinbezogen werden konnte, wird von einem Vergleich mit anderen Skelettpopulationen abgesehen. Zudem ist aus Kirchenbüchern ersichtlich, dass Kinderbestattungen an Stellen lokalisiert waren, an denen nicht gegeben worden ist, weshalb aus der späten Phase keine oder nur sehr wenige Kinder der Altersgruppe Infans I und Infans II zur Verfügung standen. Für das 18. und 19. Jahrhundert liegen aber demographische Daten aus Deutschland vor, die für einen Vergleich herangezogen werden können. Lee (1980) und Marschalck (1973) geben beispielsweise für das 18. Jahrhundert eine durchschnittliche Lebenserwartung für die Zeit um 1700 von knapp 30 Jahren, für 1750 von 32,5 Jahren und bis 1850 einen Anstieg auf 35 Jahre an; um 1875 waren es dann 37,5 Jahre. Diese Daten korrespondieren sehr gut mit den Werten für die Altdorfer Bevölkerung. Auch dort konnte eine Zunahme der Lebenserwartung von der präindustriellen Phase, also bis ca. 1840, mit 31,9 Jahren, zur Übergangsphase ab 1840-1910 mit 44,8 Jahren, beobachtet werden (siehe Tab. 14). Die Lebenserwartung nach Geschlecht betrachtet, ist ebenfalls mit den Daten des Berlin-Institutes für Bevölkerung und Entwicklung vergleichbar. Diese gibt eine Lebenserwartung für um 1880 geborene Frauen mit 42 Jahren und Männer mit 40,5 Jahren an. (http://www.berlin-institut.org/newsletter/Newsletter_13_09_2006.html). Für einen Vergleich der Lebenserwartung zwischen Männern und Frauen, sowie frühem und späten Zeithorizont, werden keine absoluten Werte, sondern die Werte relativ zueinander aus der Sterbetafel verwendet. Betrachtet man die Lebenserwartung e_x der Altdorfer Bevölkerung nach Zeitstellung, zeigt sich, dass alle Altersgruppen der späten Zeitstellung eine höhere Lebenserwartung aufweisen als die der frühen Zeitstellung. Besonders groß ist der Unterschied bei den Kindern der Altersklasse Infans I mit einem Unterschied von 12 Jahren. Ein annähernd halb so großer Unterschied kann bei der Gruppe Infans II beobachtet werden. Hier ist sehr gut zu erkennen, dass Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene Altdorfer vermutlich von Fortschritten in der Medizin, vor allem im Bereich der Hygiene und Desinfektion von Verletzungen, bei der Versorgung der Schwangeren und der Nachsorge, sowie in der Säuglingspflege, profitiert haben (von Ammon, 1864). Tatsächlich wurden beispielsweise Hebammen im Bereich der Hygiene besser ausgebildet und vor „säuglingsgefährdendem“ Verhalten, wie das Taufen des Säuglings in der Kirche spätestens 24 Stunden nach Geburt und anschließendem „Taufgelage“ gewarnt. Im Kreis Bergheim wurden beispielsweise zwischen 1822 und 1826 6012 Neugeborene gegen Pocken mit 80% Erfolg geimpft (Müller, 2006). Die Lebenserwartung e_x der Frauen aus dem frühen

4. Ergebnisse und Diskussionen

Zeithorizont ist in allen Altersgruppen deutlich niedriger als bei Männern, aber auch niedriger als die Werte der zusammengefassten Sterbetafel über beide Zeithorizonte und über beide Geschlechter. Am deutlichsten zeigt sich dieser Trend bei den Altersgruppen Infans I, Infans II, juvenis und früh adult mit einem durchschnittlichen Unterschied von 12 Jahren. Und dies obwohl Männer aus Altdorf nachweislich in Kriegen, oder an den Folgen der Kriege, wie bspw. an den Folgen von Cholera, Thypus, Erschöpfung und Hunger, die am Skelett nicht nachweisbar sind, starben. Explizite Sterbefälle erwähnte Offermanns (1912). Dessen Aufzeichnungen zu folge, starb im Feldzug gegen Dänemark 1864 einer von 70 Männern aus der Bürgermeisterei Altdorf. Von denjenigen, die am Krieg gegen Österreich teilnahmen, starb ebenfalls ein Mann und 1870/71, während des Deutsch-Französischen Krieges, verlor ein weiterer Altdorfer sein Leben. 1866 starben in Altdorf 5 Personen an Cholera.

4.3. Körperhöhenschätzung und Geschlechtszuordnung mittels Diskriminanzanalyse

Von den insgesamt 175 befundenen Individuen waren (unter den Erwachsenen) 100 einzelne Langknochen in einem für eine metrische Untersuchung ausreichendem Erhaltungsgrad vorhanden. Dementsprechend wurden, wo möglich, eines oder mehrere der folgenden Maße ermittelt.

- Femur
 - Größte Länge A
 - Durchmesser anterior-posterior (a/p) mittlere Diaphyse
 - Durchmesser medial-lateral (m/l) mittlere Diaphyse
 - Maximaler Durchmesser Femurkopf
- Humerus
 - Größte Länge A
 - Durchmesser anterior-posterior (a/p) mittlere Diaphyse
 - Durchmesser medial-lateral (m/l) mittlere Diaphyse

Allerdings konnten davon zunächst bei 3 Individuen das Geschlecht und bei weiteren 3 Individuen die Zeitstellung nicht ermittelt werden. Da für die folgenden Untersuchungen (z.B. Körperhöhenschätzung) eine Unterscheidung nach Geschlecht bzw. Zeitstellung essentiell ist, wären damit weitere 6% der vorhandenen Stichprobe nicht nutzbar. Um diese Situation zu verbessern werden nachfolgend vorbereitend Anstrengungen unternommen, um diese insgesamt 6 Individuen hinsichtlich Geschlecht bzw. Zeitstellung einzuordnen und so die zur Untersuchung geeignete Stichprobe zu vergrößern und damit letztendlich auch die Qualität und Aussagekraft der daraus folgenden statistischen Ergebnisse zu verbessern.

4. Ergebnisse und Diskussionen

4.3.1 Diskriminanzanalyse

Wie oben erwähnt werden die befundenen Individuen hinsichtlich Zeitstellung (früh/spät) sowie Geschlecht klassifiziert. Dementsprechend kann die Gesamtheit der untersuchten Individuen in folgende vier Untergruppen eingeteilt werden.

Frühe Zeitstellung / weiblich

Frühe Zeitstellung / männlich

Späte Zeitstellung / weiblich

Späte Zeitstellung / männlich

Mittels der Diskriminanzanalyse kann nun zunächst untersucht werden, ob diese Einteilung für das hier zugrunde liegende Material überhaupt aussagekräftig ist und damit Sinn ergibt. Zu diesem Zweck werden basierend auf den oben definierten insgesamt sieben Maßen für die Langknochen (Länge sowie Durchmesser a/p, m/l, Femurkopf und Länge sowie Durchmesser a/p, m/l für Humeri) Diskriminanzfunktionen der Form

$$D = b_0 + b_{F_L} \cdot F_L + b_{F_{a/p}} \cdot F_{a/p} + b_{F_{m/l}} \cdot F_{m/l} + b_{F_K} \cdot F_K + b_{H_L} \cdot H_L + b_{H_{a/p}} \cdot H_{a/p} + b_{H_{m/l}} \cdot H_{m/l}$$

aus folgenden Untergruppen gebildet.

D_f : Frühe Zeitstellung (weibliche und männliche Individuen) → Ist eine Unterscheidung weiblicher und männlicher Individuen für die frühe Zeitstellung sinnvoll?

D_s : Späte Zeitstellung (weibliche und männliche Individuen) → Ist eine Unterscheidung weiblicher und männlicher Individuen für die späte Zeitstellung sinnvoll?

D_w : Weibliche Individuen (frühe und späte Zeitstellung) → Ist eine Unterscheidung früher und später Zeitstellung für weibliche Individuen sinnvoll?

D_m : Männliche Individuen (frühe und späte Zeitstellung) → Ist eine Unterscheidung früher und später Zeitstellung für männliche Individuen sinnvoll?

Die für diese Fälle jeweils ermittelten und über ihre Koeffizienten unten dargestellten Funktionen geben dann über die Berechnung der beiden Bewertungsgrößen

Relativer Anteil A der über die Diskriminanzfunktion richtig klassifizierter Individuen

Wilks' λ (Wertebereich [0;1], ein niedriger Wert steht für hohe Trennkraft)

Auskunft über die sogenannte Trennkraft der Diskriminanzfunktion und damit über die Aussagekraft der zugrundeliegenden Gruppeneinteilung/Klassifikation.

Tabelle 17: Parameter der Diskriminanzfunktion

	b_0	b_{F_L}	$b_{F_{a/p}}$	$b_{F_{m/l}}$	b_{F_K}	b_{H_L}	$b_{H_{a/p}}$	$b_{H_{m/l}}$	A [%]	$\lambda [-]$
D_f	-26,6777	0,0226	-0,2439	-0,1305	-0,2408	-0,0446	0,1268	-0,2082	66.0	0.580
D_s	-47,8485	-0,0127	0,1153	0,1624	-0,6151	-0,0906	0,3984	-0,0526	93.6	0.290
D_w	5,9728	-0,0050	0,1143	-0,047	0,2904	-0,0252	0,4155	-0,2670	70.2	0.664
D_m	-24,5842	-0,0153	0,4089	-0,0989	-0,3237	-0,0784	0,8925	-0,1956	76.6	0.447

4. Ergebnisse und Diskussionen

Offensichtlich liegt für alle Diskriminanzfunktionen der relative Anteil A über 50% (genauer gesagt sogar über zwei Drittel), was eine notwendige (aber noch nicht hinreichende) Bedingung dafür ist, dass die entsprechende Klasseneinteilung tatsächlich sinnvoll ist. Insgesamt besitzen die Funktionen durchweg eine akzeptable aber (mit Ausnahme der Geschlechtsbestimmung der späten Zeitstellung, die sehr aussagekräftig ist) keine übermäßig ausgeprägte Trennkraft. Die damit erhaltenen Ergebnisse müssen also, wenn möglich, noch auf einem alternativen Weg bestätigt und validiert werden. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass nur eine relativ kleine Datenbasis für die Synthese der obigen Diskriminanzfunktionen zur Verfügung steht, wodurch sogenannte Ausreißer in den Daten das Ergebnis merklich verfälschen können, ist die Unterscheidung nach Zeitstellung und Geschlecht aber nach dieser Analyse zunächst auf jeden Fall sinnvoll.

Die oben beschriebene Diskriminanzanalyse kann aber auch dazu verwendet werden, um Individuen, die a priori keinem Geschlecht oder keiner Zeitstellung zugeordnet werden konnten, nun entsprechend zu klassifizieren. Dazu werden die vorhandenen Maße der Langknochen in die entsprechende Diskriminanzfunktion eingesetzt und damit mit Hilfe des Ergebnisses klassifiziert. Da aber für die insgesamt sechs hier zu klassifizierenden Individuen nicht jeweils alle (sieben) oben beschriebenen Maße an Langknochen bestimmt werden konnten, können die obigen Diskriminanzfunktionen nur zum Teil für diese Aufgabe verwendet werden.

Für insgesamt drei Individuen müssen entsprechend den jeweils vorhandenen Merkmalen spezielle Funktionen gebildet und anschließend ausgewertet werden. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die vorhandenen Maße in [mm].

Tabelle 18:Individuen mit zu bestimmendem/r Geschlecht/Zeitstellung

<i>Id.</i>	<i>Zeitstellung</i>	<i>Geschlecht</i>	<i>F_L</i>	<i>F_{a/p}</i>	<i>F_{m/l}</i>	<i>F_K</i>	<i>H_L</i>	<i>H_{a/p}</i>	<i>H_{m/l}</i>
178	früh	-	406	26	26	-	-	-	-
195	früh	-	434	-	-	-	322	-	-
219	spät	-	427	29	27	43	285	17	21
323	-	w	443	29	26	43	314	20	15
324	-	w	395	26	27	39	274	20	19
340	-	m	414	28	29	46	-	-	-

Abkürzungen: F_L = Femurlänge (F1), $F_{a/p}$ (F6)= Femurdurchmesser anterior /posterior, $F_{m/l}$ (F7)= Femurdurchmesser medial/lateral, F_K = Femurkopf (F19), H_L = Humeruslänge (H1), $H_{a/p}$ = Humerusdurchmesser anterior/posterior, $H_{m/l}$ = Humerusdurchmesser medial/lateral

Dementsprechend wurden für die Individuen 178, 195 und 340 neue Diskriminanzfunktionen gebildet und zusammen mit bereits weiter oben erzeugten Funktionen wie unten dargestellt verwendet. Die vorletzte Spalte enthält den Wert der Diskriminanzfunktion \tilde{D} bei Einsetzen der vorhandenen Maße für das entsprechende Individuum und in der letzten Spalte findet sich schließlich die aus dem Vergleich mit dem kritischen Diskriminanzwert \bar{D} folgende Klassifizierung.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Tabelle 19: Bestimmung von Geschlecht/Zeitstellung mittels Diskriminanzanalyse

<i>Id.</i>	b_0	b_{F_L}	$b_{F_{a/p}}$	$b_{F_{m/l}}$	b_{F_K}	b_{H_L}	$b_{H_{a/p}}$	$b_{H_{m/l}}$	A [%]	$\lambda [-]$	\bar{D}	\tilde{D}	
178	- 13.6768	- 0.0066	-0.2210	-0.1647	0	0	0	0	62.8	0.770	0.021	0.952	w
195	- 14.4152	- 0.0036	0	0	0	- 0.0407	0	0	64.4	0.742	0.023	- 0.266	m
219	- 47.8485	- 0.0127	0.1153	0.1624	- 0.6151	- 0.0906	0.3984	-0.0526	93.6	0.290	- 0.158	3.551	w
323	5,9728	- 0.0050	0.1143	-0.01047	0.2904	- 0.0252	0.4155	-0.2670	70.2	0.664	0.032	1.300	früh
324	5,9728	- 0.0050	0.1143	-0.01047	0.2904	- 0.0252	0.4155	-0.2670	70.2	0.664	0.032	- 0.131	spät
340	- 11.6216	- 0.0320	0.3211	0.1653	- 0.2246	0	0	0	77.5	0.604	0.000	1.834	früh

Offensichtlich zeichnen sich die meisten der oben konstruierten Diskriminanzfunktionen durch eher durchschnittliche bis mäßige Trennkraft aus, was zunächst einmal die Qualität des Ergebnisses der Klassifizierung hinsichtlich Geschlecht und Zeitstellung in Frage stellt. Bei näherer Betrachtung der einzelnen Diskriminanzwerte \tilde{D} im Vergleich zu den entsprechenden kritischen Diskriminanzwerten \bar{D} , die als gewichtetes arithmetisches Mittel im Prinzip eine Abstandsnorm darstellen, zeigt sich aber, dass bei fast allen Individuen \tilde{D} betragsmäßig deutlich größer als \bar{D} ist.

Das bedeutet, dass die Zugehörigkeit zur entsprechenden Gruppe (männlich oder weiblich bzw. frühe oder späte Zeitstellung) entsprechend der Diskriminanzanalyse weit überdurchschnittlich ausgeprägt ist und damit die so vorgenommene Klassifizierung hinreichend belegt ist. Lediglich für die Individuen 195 und insbesondere 324 gilt diese Aussage nur eingeschränkt, da neben der nicht sehr ausgeprägten Trennkraft der Diskriminanzfunktion auch der Diskriminanzwert \tilde{D} selbst vergleichsweise nahe an dem kritischen Diskriminanzwert \bar{D} liegt. Die Festlegung des Geschlechts bzw. der Zeitstellung alleine aufgrund der Diskriminanzanalyse ist in diesem Fall nicht sinnvoll. Das Ergebnis sollte durch den Einsatz zusätzlicher Methoden bestätigt oder gegebenenfalls widerlegt werden.

Wie im Methodenteil beschrieben, kann zur Geschlechtsbestimmung auch ein ergänzender neuer, auf den Formeln zur Körperhöhenschätzung nach Pearson basierender Ansatz angewendet werden. Die dafür notwendige Bedingung, dass Längenmessungen für Humerus und Femur vorliegen, ist für die Individuen 195 und 219 erfüllt. Setzt man also die Femurlängen 434mm bzw. 427mm (d.h. 43.4cm bzw. 42.7cm) in die Gleichung

$$H = 2.112 + 0.678 \cdot F$$

für die dort definierte Trennkurve ein, so erhält man für die Humeri die Werte 31.5cm bzw. 31.1cm. Da der für das Individuum 195 real gemessene Wert von 322mm den errechneten (315mm) übersteigt und der Punkt in der Humerus-Femur-Ebene wie in Abb. 29 ersichtlich deutlich über der Trenngeraden liegt, kann Individuum 195 als männlich klassifiziert werden.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Wie ebenfalls in Abb. 29 dargestellt, liegt andererseits der für das Individuum 219 real gemessene Humerus-Wert von 285mm deutlich niedriger als der errechnete (311mm), wodurch dieses Individuum als weiblich klassifiziert werden kann.

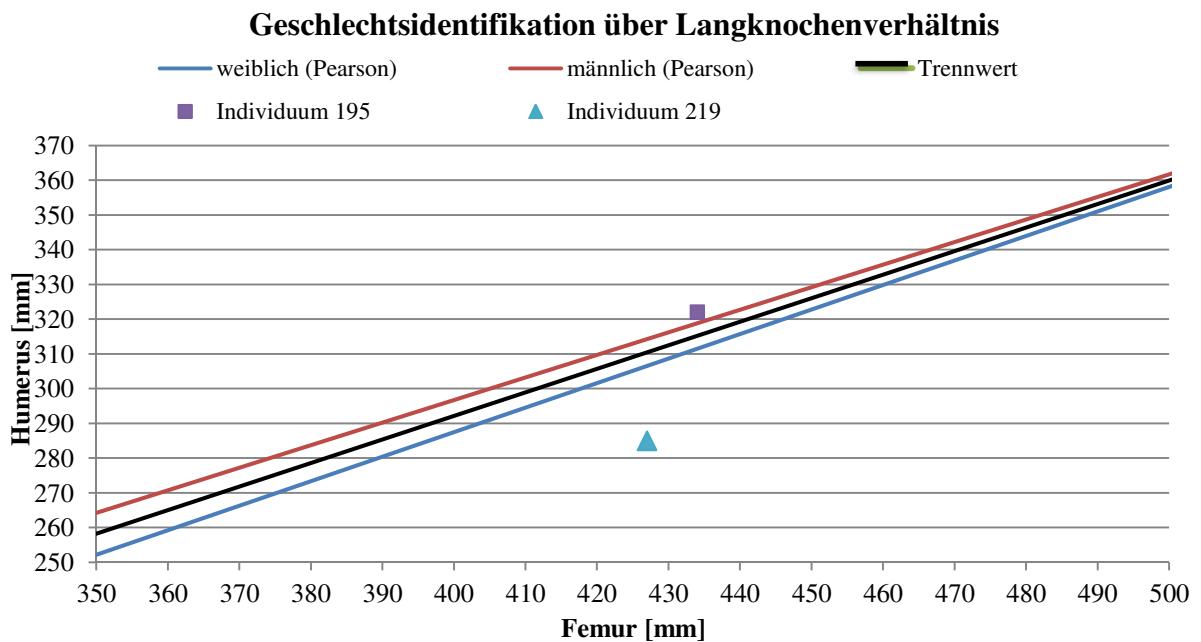


Abbildung 29: Humerus-Femur-Diagramm mit Individuen 195 und 219

Dies stützt die Ergebnisse aus der Diskriminanzanalyse, sodass für die weiteren Untersuchungen Individuum 195 als männlich und Individuum 219 als weiblich klassifiziert wird.

4.3.2 Identifikation von Geschlechts- und Zeitstellungszugehörigkeit mittels Regression

Ein der obigen Herangehensweise verwandter, aber wesentlich spezifischerer Ansatz besteht darin, jeweils für die frühe und späte Zeitstellung für weibliche wie männliche Individuen eine Korrelationsanalyse für den Zusammenhang zwischen Humerus- und Femurlänge durchzuführen und die entsprechenden Regressionsgeraden in Diagramme wie oben beschrieben einzutragen. Ganz analog kann dafür auch wieder eine Trenngerade für weibliche und männliche Individuen ermittelt und damit letztendlich eine Geschlechtszuordnung durchgeführt werden, die aber spezifisch für das jeweils untersuchte Kollektiv ist. Für die frühe Zeitstellung ergeben sich dabei die Regressionsgeraden

$$H = 118.630 + 0.436 \cdot F \quad (\text{weiblich})$$

$$H = -3.440 + 0.737 \cdot F \quad (\text{männlich})$$

und daraus folgend die Trenngerade

$$H = 61.561 + 0.577 \cdot F \quad (\text{frühe Zeitstellung})$$

In Abb. 30 sind die jeweiligen Regressions- und Trenngeraden für die frühe Zeitstellung dargestellt. Offensichtlich kann Individuum 195 auch nach diesem Ansatz als männlich klassifiziert werden, was die Ergebnisse der Diskriminanzanalyse sowie des neuen hier vorgestellten Ansatzes zur Geschlechtsbestimmung bestätigt.

4. Ergebnisse und Diskussionen

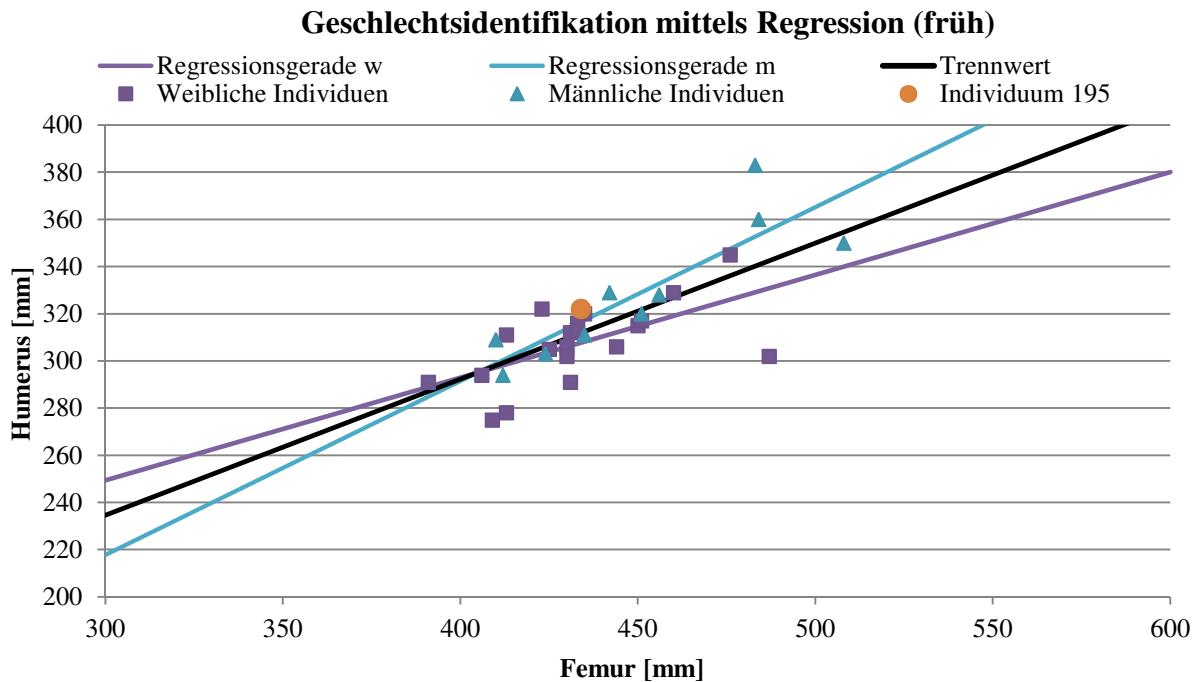


Abbildung 30: Regressionsgeraden für frühe Zeitstellung mit Individuum 195

Analog ergeben sich für die späte Zeitstellung die Regressionsgeraden

$$H = 150.879 + 0.361 \cdot F \quad (\text{weiblich})$$

$$H = 170.879 + 0.361 \cdot F \quad (\text{männlich})$$

und daraus folgend die Trengerade

$$H = 160.750 + 0.367 \cdot F \quad (\text{späte Zeitstellung})$$

In Abb. 31 sind dementsprechend die jeweiligen Regressions- und Trengeraden für die späte Zeitstellung dargestellt. Auch hier kann die oben durchgeführte Geschlechtsbestimmung bestätigt und damit Individuum 219 als weiblich klassifiziert werden.

4. Ergebnisse und Diskussionen

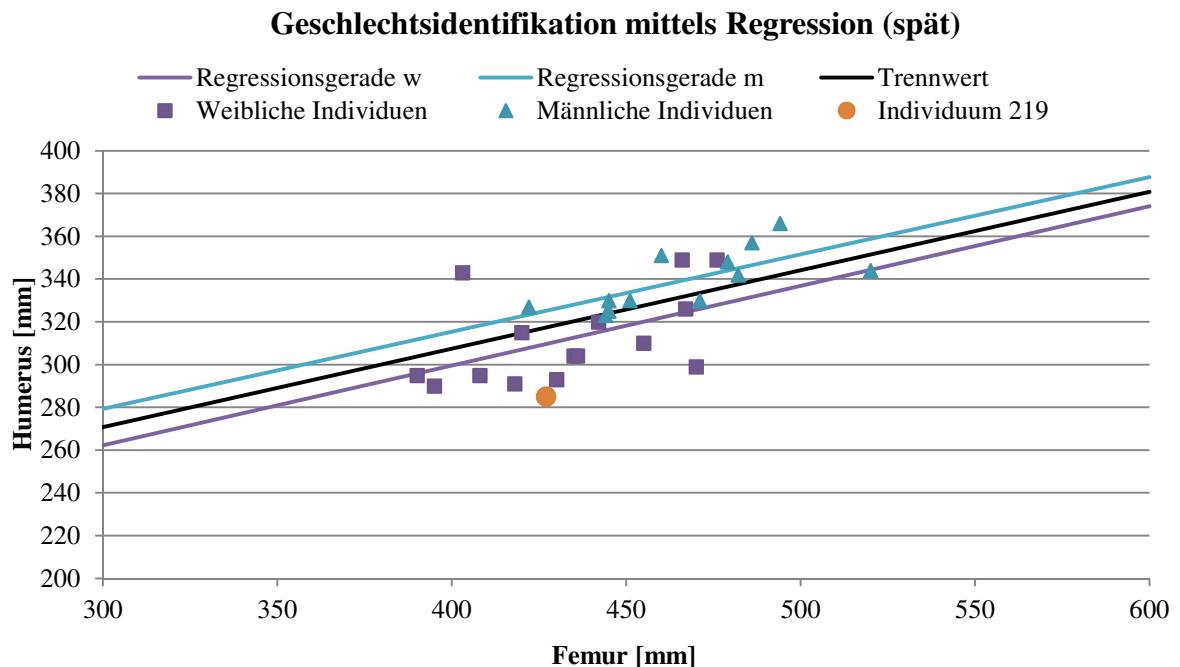


Abbildung 31: Regressionsgeraden für späte Zeitstellung mit Individuum 219

Da für die Individuen 323 und 324 ebenfalls Messungen für beide Langknochen Humerus und Femur vorliegen, können diese in gleicher Weise hinsichtlich der Gültigkeit der Festlegung ihrer Zeitstellung untersucht werden. Es werden also für weibliche Individuen die Regressionsgeraden

$$H = 118.630 + 0.436 \cdot F \quad (\text{frühe Zeitstellung})$$

$$H = 150.585 + 0.372 \cdot F \quad (\text{späte Zeitstellung})$$

und daraus folgend die Trenngerade

$$H = 134.783 + 0.404 \cdot F \quad (\text{weibliche Individuen})$$

gebildet. In Abb. 32 sind die jeweiligen Regressions- und Trenngeraden zusammen mit den Werten für die Individuen 323 und 324 dargestellt.

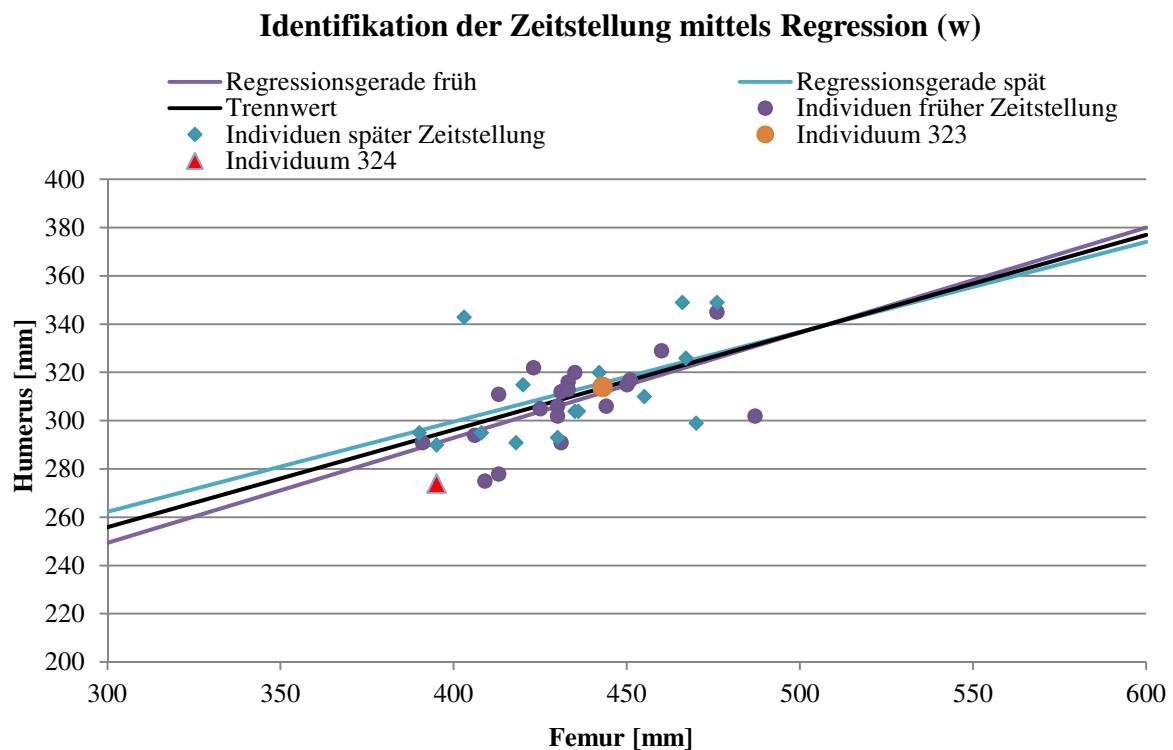


Abbildung 32: Regressionsgeraden für weibliche Individuen

Offensichtlich kann die oben (unter Vorbehalt) erfolgte Klassifizierung des Individuums 324 in die späte Zeitstellung mit dieser Untersuchung nicht bestätigt werden, es zeigt sich im Gegenteil eine klare Ausprägung hinsichtlich der **frühen** Zeitstellung, der Individuum 324 nun auch zugeordnet wird. Dagegen kann Individuum 323 dieser Analyse nach nicht eindeutig zugeordnet werden. Da aber das Ergebnis aus der Diskriminanzanalyse zuverlässig erscheint, wird Individuum 323 für die folgenden Untersuchungen der frühen Zeitstellung zugeordnet.

4.3.3 Bestimmung von Einflussfaktoren mittels Varianzanalyse

Zusätzlich zur oben beschriebenen Diskriminanzanalyse kann die vorgegebene Klassifizierung der Daten nach Geschlecht bzw. Zeitstellung mittels der Varianzanalyse auch hinsichtlich des Einflusses dieser beiden Faktoren untersucht werden. Die insgesamt sechs oben zusätzlich klassifizierten Individuen werden dabei jetzt von Beginn an in die Untersuchung miteinbezogen. Entsprechend den hier vorliegenden Daten wird definitionsgemäß eine mehr (zwei-) faktorielle multivariate Varianzanalyse (MANOVA) durchgeführt. Faktisch wird für alle sieben oben definierten und bestimmten Langknochen-Maße untersucht, ob sich die Daten für eine Zeitstellung hinsichtlich des Geschlechtes oder innerhalb eines Geschlechts hinsichtlich der Zeitstellung signifikant unterscheiden. Geprüft wird dabei jeweils die Nullhypothese

H_0 : Die untersuchten Individuen stammen aus Populationen mit demselben Mittelwert

Die Ergebnisse der Tests sind in Form von Signifikanzwahrscheinlichkeiten (in Prozent) in der folgenden Tab. 20 dargestellt.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Dabei deuten sehr kleine Werte auf eine signifikante Ablehnung der Nullhypothese hin, was eine Unabhängigkeit der Messreihen nahelegt und die Unterscheidung nach den Faktoren/Einflussgrößen Geschlecht bzw. Zeitstellung rechtfertigt.

Tabelle 20: Ergebnisse (Signifikanzniveaus) der ANOVA für Langknochenmaße

[%]	Einflussgröße	F_L	$F_{a/p}$	$F_{m/l}$	F_K	H_L	$H_{a/p}$	$H_{m/l}$
früh	Geschlecht (m/w)	8.09	2.44	4.45	0.07	0.52	2.68	4.32
spät	Geschlecht (m/w)	0.01	52.42	26.17	0.00	0.00	4.52	10.60
weiblich	Zeitstellung (f/s)	76.16	14.37	48.63	3.90	84.16	2.03	38.86
männlich	Zeitstellung (f/s)	3.80	8.57	52.97	26.11	4.68	14.42	61.44

Offensichtlich wird insbesondere für die Unterscheidung nach Geschlecht die Nullhypothese relativ häufig signifikant abgelehnt, was ein deutlicher Indikator für die statistische Unabhängigkeit von weiblichen und männlichen Individuen ist und somit die Sinnhaftigkeit dieser Klassifikation unterstreicht. Für die Unterscheidung nach Zeitstellung gilt dies nicht in gleichem Maße, wobei auch hier die Nullhypothese insbesondere für männliche Individuen tendenziell eher abzulehnen als anzunehmen ist. Auch die separate Betrachtung der Knochenlängen für Humerus und Femur als aussagekräftigste Größen bestätigt dieses Ergebnis. Für weibliche Individuen könnte ein Zusammenhang zwischen früher und später Zeitstellung bestehen, allerdings kann diese Annahme nicht durch statistische Signifikanz belegt werden. Insgesamt zeigt sich allerdings ein eher uneinheitliches Bild, was unter Umständen am vergleichsweise geringen Umfang der Stichprobe (Anzahl der Individuen) liegt, wodurch sogenannte "Ausreißer" einen unverhältnismäßig großen (verfälschenden) Einfluss auf das Gesamtergebnis haben.

4.3.4 Indizes der Langknochen

Von insgesamt 100 der untersuchten Individuen waren Langknochen (Humeri und/oder Femora) vorhanden und hinreichend gut erhalten. Die Größen bzw. Merkmale der rechten Extremität, sofern vorhanden, wurden, wie im Methodenteil besprochen, gemessen und daraus unter Berücksichtigung eben des Geschlechts und der Zeitstellung die relevanten statistischen Größen gebildet.

Für das Merkmal "Größte Länge" ergeben sich dabei für die für diese Untersuchung geeigneten (d.h. Zeitstellung und Geschlecht sind eindeutig bestimmbar) Individuen folgende Werte:

4. Ergebnisse und Diskussionen

Tabelle 21: Statistische Auswertung der Länge von Humerus bzw. Femur

Zeitstellung	früh				spät			
	w		m		w		m	
Geschlecht	H	F	H	F	H	F	H	F
Knochenart (Humerus bzw. Femur)								
Stichprobengröße	24	25	15	19	19	20	18	18
Mittelwert [mm]	305.1	431.4	326.8	446.4	306.4	429.0	341.6	465.4
Standardabweichung [mm]	19.60	23.06	22.82	30.39	22.00	28.60	16.45	22.81
Minimum [mm]	260	391	294	403	278	372	316	422
Maximum [mm]	345	487	383	508	349	476	381	520

Weitere Information über die Verteilung der Werte liefert der entsprechende Boxplot.

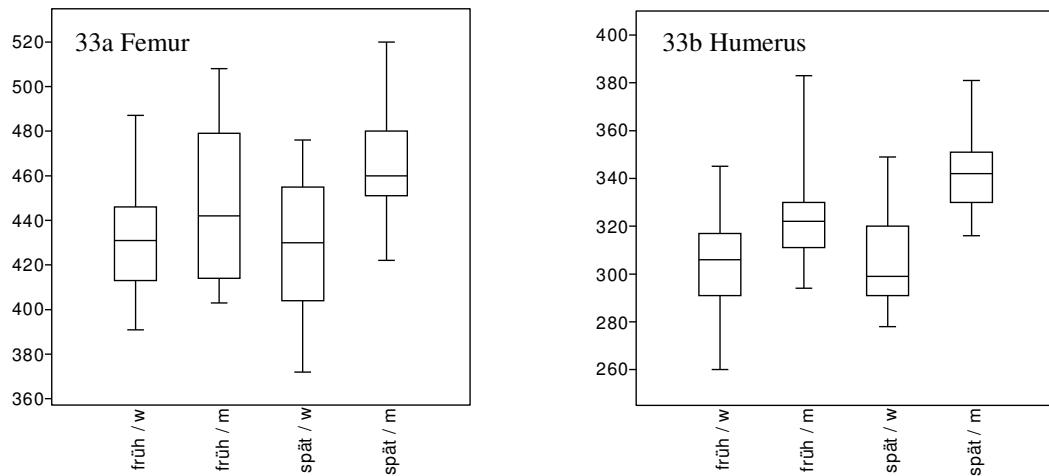


Abbildung 33a und 33b: Boxplot für die Länge von Femur bzw. Humerus

Langknochen der Frauen sind erwartungsgemäß kürzer als die der Männer. Bei Betrachtung der Boxplots zu den Längenmaßen von Femora und Humeri (Abb. 33a,b) fällt auf, dass sich die Längen der weiblichen Femora der Altdorfer im Laufe der Zeit im Mittel nicht verändert haben, aber eine größere Streuung zeigen. Die männlichen Femora sind im Laufe der Zeit länger geworden, und zeigen den gegenläufigen Trend, nämlich eine deutlich geringere Streuung. Bei den Längen der Humeri zeigt sich über das Geschlecht und die Zeitstellung betrachtet insgesamt eine geringe Streuung und nach Zeitstellung betrachtet ein Verhalten wie die Femora: Die weiblichen Oberarmknochen bleiben ungefähr gleich lang, männliche werden deutlich länger.

Die Auswertung für das Merkmal "Durchmesser Femurkopf" wird in Tabelle 22, sowie in dem entsprechenden Boxplot (Abb.34) gezeigt.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Tabelle 22: Statistische Auswertung des Durchmessers Femurkopf

Zeitstellung	früh		spät	
	w	m	w	m
<i>Stichprobengröße</i>	23	16	20	16
<i>Mittelwert [mm]</i>	43.3	46.4	41.4	47.6
<i>Standardabweichung</i>	2.60	2.66	3.28	3.18
<i>Minimum [mm]</i>	39	42	36	43
<i>Maximum [mm]</i>	49	53	49	53

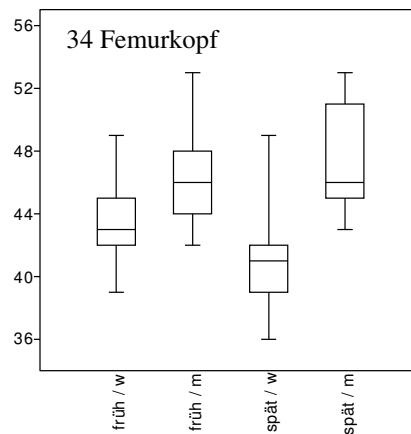


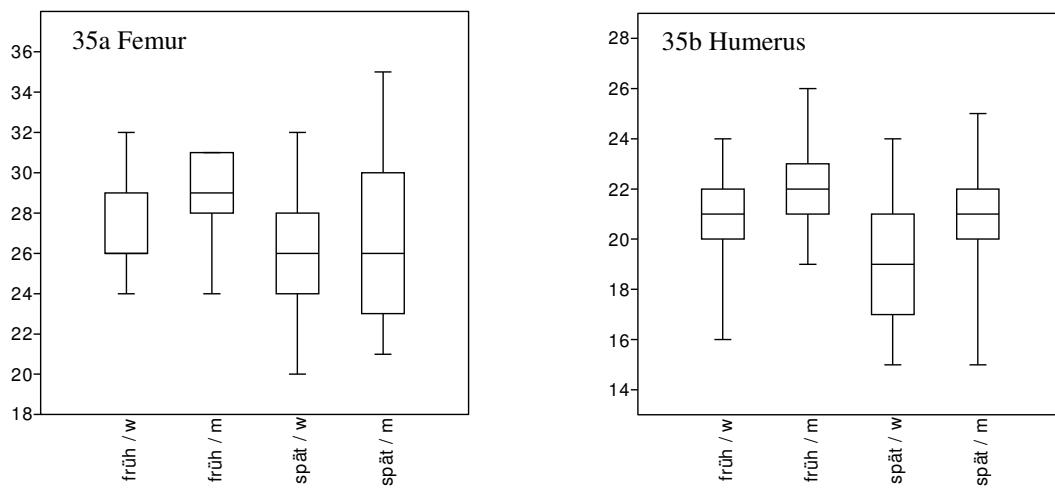
Abbildung 34: Boxplot für den Durchmesser Femurkopf

Neben dem erwarteten Ergebnis, dass die Mittelwerte für männliche Individuen durchweg über denen für weibliche liegen, lässt sich für eine Unterscheidung hinsichtlich der Zeitstellung kein eindeutiger Trend beobachten. Analog ergibt die Auswertung für das Merkmal "Durchmesser anterior-posterior"(Tab. 23) mit dem entsprechenden Boxplots 35a und 35b.

Tabelle 23: Statistische Auswertung anterior-posterior von Humerus/Femur

Zeitstellung	früh				spät			
	w	m	w	m	w	m	w	m
Knochenart (Humerus/Femur)	H	F	H	F	H	F	H	F
<i>Stichprobengröße</i>	21	23	16	19	20	21	15	15
<i>Mittelwert [mm]</i>	20.6	27.2	22.0	28.8	18.8	25.9	20.7	26.7
<i>Standardabweichung</i>	2.04	2.41	1.71	2.09	2.59	3.30	2.79	4.11
<i>Minimum [mm]</i>	16	24	19	24	15	20	15	21
<i>Maximum [mm]</i>	24	32	26	31	24	32	25	35

4. Ergebnisse und Diskussionen



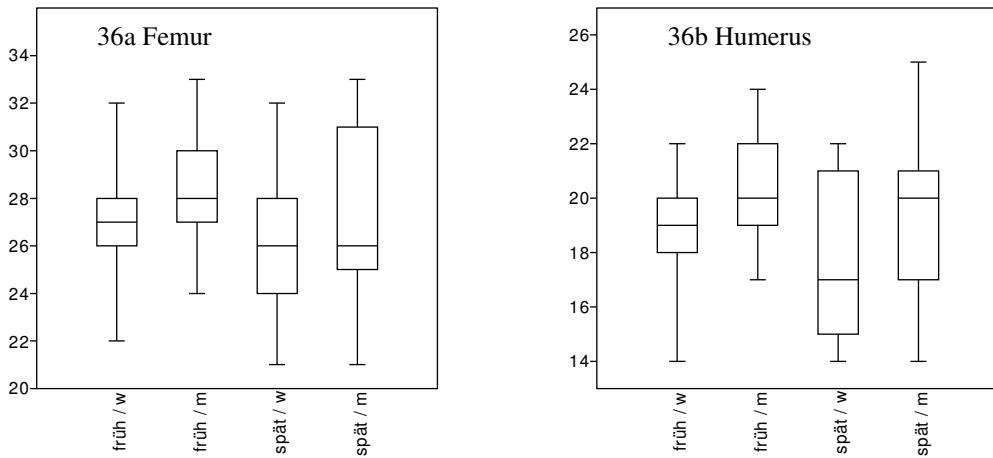
Abbildungen 35a und 35b: Boxplot für den Durchmesser anterior-posterior von Femur bzw. Humerus

Analog zeigen Tabelle 24 und die Boxplots 36a und 36b die Werte für das Merkmal "Durchmesser medial-lateral" von Humerus und Femur.

Tabelle 24: Statistische Auswertung medial-lateral von Humerus bzw. Femur

Zeitstellung	früh				spät			
	w		m		w		m	
Geschlecht	H	F	H	F	H	F	H	F
Knochenart (Humerus/Femur)								
<i>Stichprobengröße</i>	21	23	17	19	20	21	15	15
<i>Mittelwert [mm]</i>	18.7	26.9	20.1	28.3	18.0	26.3	19.7	27.6
<i>Standardabweichung</i>	2.08	2.07	2.03	2.23	3.04	3.24	2.85	3.50
<i>Minimum [mm]</i>	14	22	17	24	14	21	14	21
<i>Maximum [mm]</i>	22	32	24	33	22	32	25	33

4. Ergebnisse und Diskussionen



Abbildungen 36a und 36b: Boxplot für den Durchmesser medial-lateral von Femur bzw. Humerus

Die Ergebnisse der Messungen der Durchmesser der Femurdiaphyse geben Aufschluss über die Belastung der unteren Extremitäten einer Bevölkerung. Dabei deutet ein höherer Index-Wert auf einen größeren Durchmesser in Bezug auf die Länge des Femur hin. Hier wird der Vergleich angestellt, um potentielle Unterschiede zwischen den Individuen aus den beiden Zeithorizonten zu detektieren. Indirekt könnte auf die Intensität der Beanspruchung von Bein- und Armmuskulatur geschlossen werden. Für die Beurteilung des Femur wurde der Femur Robustizitäts-Index verwendet:

$$\text{Femur-Robustizitäts-Index} = \frac{\phi \text{ Diaphysenmitte anterior/posterior} + \phi \text{ Diaphysenmitte medial/lateral}) * 100}{\text{natürliche Länge Femur}}$$

Tabelle 25: Femur-Robustizitäts-Index

Zeitstellung	früh		spät	
	w	m	w	m
Geschlecht	w	m	w	m
Stichprobengröße	22	16	20	14
Mittelwert	12.6	12.8	12.1	11.9
Standardabw.	0.7	0.6	1.5	1.2
Minimum	11.1	11.6	9.3	10.2
Maximum	13.9	13.8	15.4	14.6

Die Mittelwerte des Femur Robustizitäts-Index zeigen eine sehr geringe Abnahme der Robustizität des Oberschenkels von früher zu später Phase, bei Männern deutlicher als bei Frauen, wobei Männer der frühen Zeitstellung den höchsten Mittelwert zeigen. Die Unterschiede liegen aber jeweils noch innerhalb der einfachen Standardabweichung.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Die Extremwerte unterscheiden sich dahingehend, dass die Minimal- und Maximalwerte für beide Geschlechter in der späten Phase weiter auseinander liegen im Gegensatz zur frühen Phase, in der Frauen und Männer annähernd die gleichen Extremwerte zeigen. Diese Ergebnisse können vorsichtig darauf hindeuten, dass einige Menschen durch Fortschritte in der Industrie womöglich spezialisiertere, einseitige Tätigkeiten ausübten, die demnach die Oberschenkelmuskulatur entweder stark oder wenig beanspruchten und sich dies damit auf die Femurrobustizität auswirkte

Die Maße des Humerus wurden zur Berechnung der Robustizität der Oberarme analog zum Femur-Robustizitäts-Index verwendet.

$$\text{Humerus-Robustizitäts-Index} = \frac{\phi \text{ Diaphysenmitte anterior/posterior} + \phi \text{ Diaphysenmitte medial/lateral}}{\text{natürliche Länge Humerus}} * 100$$

Tabelle 26: Humerus Robustizitäts Index

Zeitstellung	früh		spät	
	w	m	w	m
Geschlecht	w	m	w	m
Stichprobengröße	20	12	19	20
Mittelwert	12.9	12.9	12.1	11.9
Standardabw.	1.46	1.12	1.42	1.40
Minimum	9.3	10.7	10.00	9.81
Maximum	15.64	14.3	14.24	14.53

Interessanterweise zeigen die Index-Werte unabhängig vom Geschlecht eine leichte Tendenz zur Verringerung der Robustizität in der späten Zeitstellung. Allerdings liegen diese noch innerhalb der einfachen Standardabweichung. Den höchsten Wert zeigt eine Frau der frühen Phase. Möglicherweise können Gelenkerkrankungen mit der Robustizität entsprechender Langknochen korreliert werden. Eine Untersuchung dazu folgt in Kapitel 4.6.4.

4.3.5 Die Körperhöhenbestimmung

Für die Schätzung der Körperhöhen aus den gemessenen Längen von Humerus und Femur (in cm) werden die im Methodenteil beschriebenen Formeln für weibliche

$$h_H = 71.475 + 2.754 \cdot H$$

$$h_F = 72.844 + 1.945 \cdot F$$

und männliche

$$h_H = 70.641 + 2.894 \cdot H$$

$$h_F = 81.306 + 1.880 \cdot F$$

Individuen nach Pearson (1899) verwendet.

Da in der Gruppe der oben bereits untersuchten Individuen, für welche Abmessungen an einem oder beiden Langknochen ermittelt werden konnten, für insgesamt drei Individuen

4. Ergebnisse und Diskussionen

weder die maximale Länge von Humerus noch von Femur bestimmbar war, wird also in der Folge auf eine Gesamtheit von **97** Individuen Bezug genommen. Wieder wird hinsichtlich Zeitstellung und Geschlecht unterschieden. Die deskriptive statistische Analyse der geschätzten Körperhöhen ergibt dabei folgende Werte. (Tab. 27, Abb. 37)

Tabelle 27: Statistische Auswertung der nach Pearson geschätzten Körperhöhe

Zeitstellung	früh		spät	
	w	m	w	m
Stichprobengröße	27	23	23	24
Mittelwert [mm]	156.0	165.0	155.4	169.3
Standardabweichung	4.86	5.59	5.35	4.33
Minimum [mm]	143.1	157.1	145.2	162.1
Maximum [mm]	166	176.8	166.5	180.9

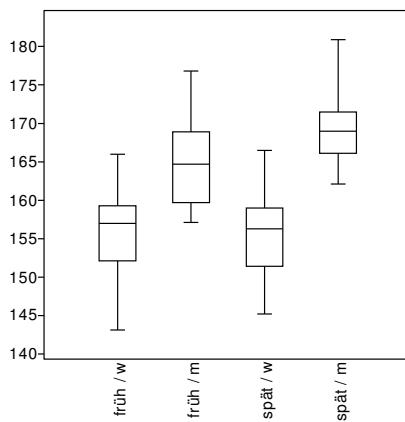


Abbildung 37: Boxplot für die nach Pearson geschätzten Körperhöhen

Die grafische Darstellung der Mittelwerte (Abb.38) mit den zugehörigen Standardabweichungen zeigt, ähnlich wie der Boxplot (Abb.37), nur geringe Unterschiede für die beiden Zeitstellungen, aber erwartungsgemäß einen deutlichen Kontrast hinsichtlich des Geschlechts. Frauen und Männer der späten Zeitstellung weisen einen höheren Unterschied in ihrer mittleren Körperhöhe auf, da Frauen über die Zeit stagnierten, die Männer aber im Mittel größer geworden sind.

4. Ergebnisse und Diskussionen

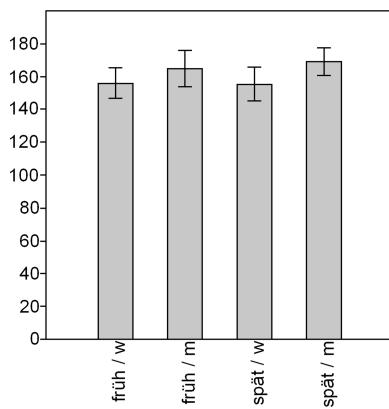
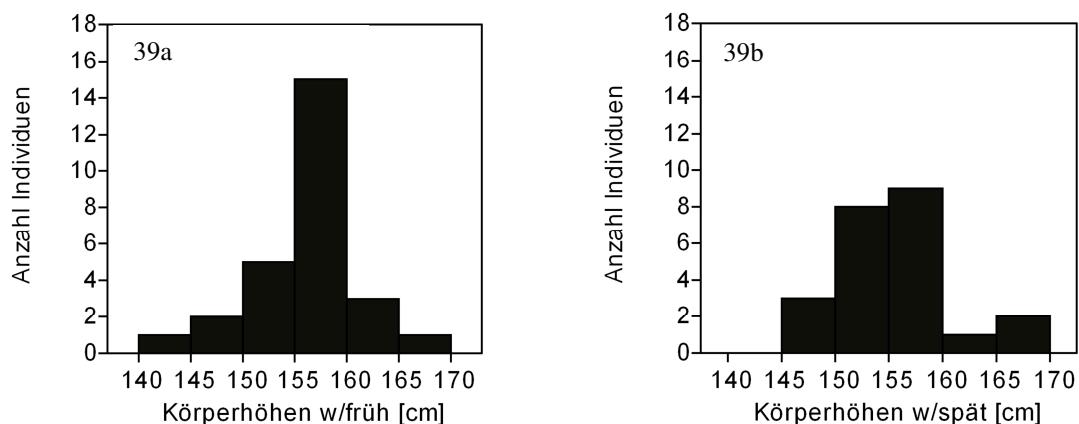


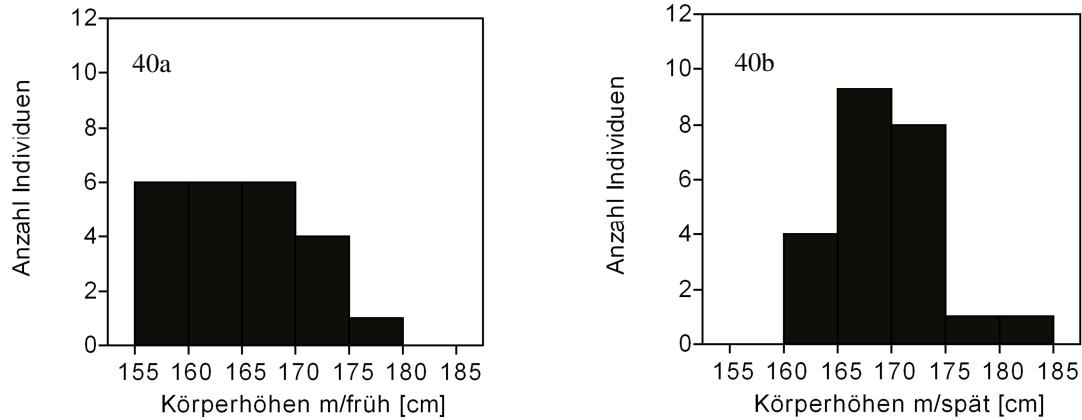
Abbildung 38: Mittelwerte für die nach Pearson geschätzten Körperhöhen

Über die Verteilung, d.h. die jeweiligen Häufigkeiten der einzelnen geschätzten Körperhöhen, geben die folgenden Abbildungen Auskunft. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass für die hier verwendeten Schätzformeln nach Pearson Toleranzen zwischen 3.3 cm und 4.1 cm gelten, wurden die geschätzten Körperhöhen in Klassen eingeteilt, die jeweils einen Bereich von 5 cm abdecken. In untenstehender Abb. 39a und 39b sind die entsprechenden Histogramme für weibliche Individuen und in Abb. 40a und 40b für männliche Individuen der jeweils frühen und späten Zeitstellung dargestellt.



Abbildungen 39a und 39b: Häufigkeiten Körperhöhen (w), frühe und späte Zeitstellung

4. Ergebnisse und Diskussionen



Abbildungen 40a und 40b: Häufigkeiten Körperhöhen (m), frühe und späte Zeitstellung

Wie für die Langknochenmaße selbst wurde auch für die daraus abgeleiteten Körperhöhenschätzungen eine Varianzanalyse durchgeführt. Für die Nullhypothese

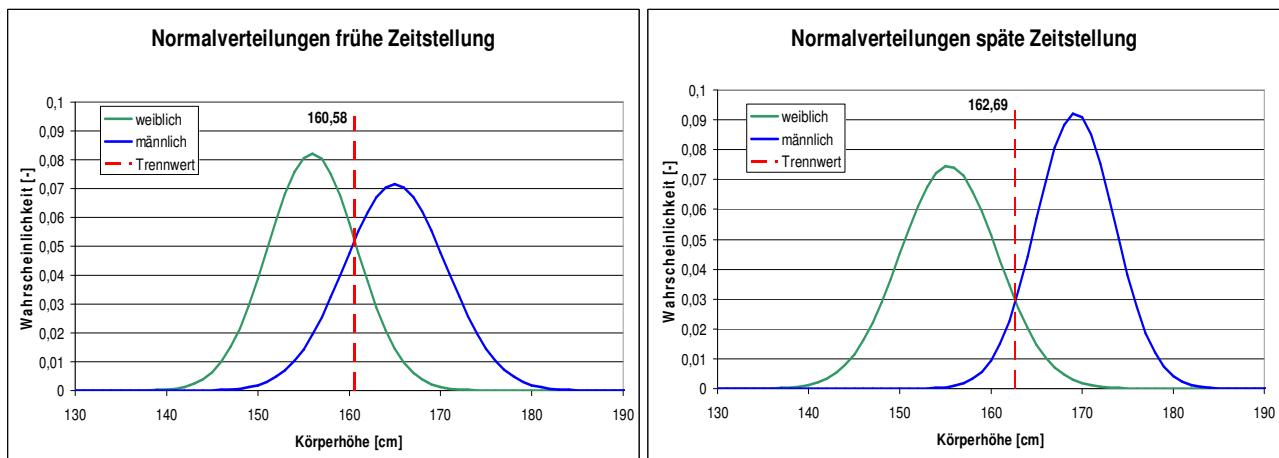
H_0 : Die untersuchten Individuen stammen aus Populationen mit demselben Mittelwert ergaben sich dabei die in Tab. 28 dargestellten Wahrscheinlichkeiten.

Tabelle 28: Ergebnisse (Signifikanzniveaus) der ANOVA für Körperhöhenschätzungen

[%]	Einflussgröße	F_L
früh	Geschlecht (m/w)	0.00
spät	Geschlecht (m/w)	0.00
weiblich	Zeitstellung (f/s)	69.12
männlich	Zeitstellung (f/s)	0.61

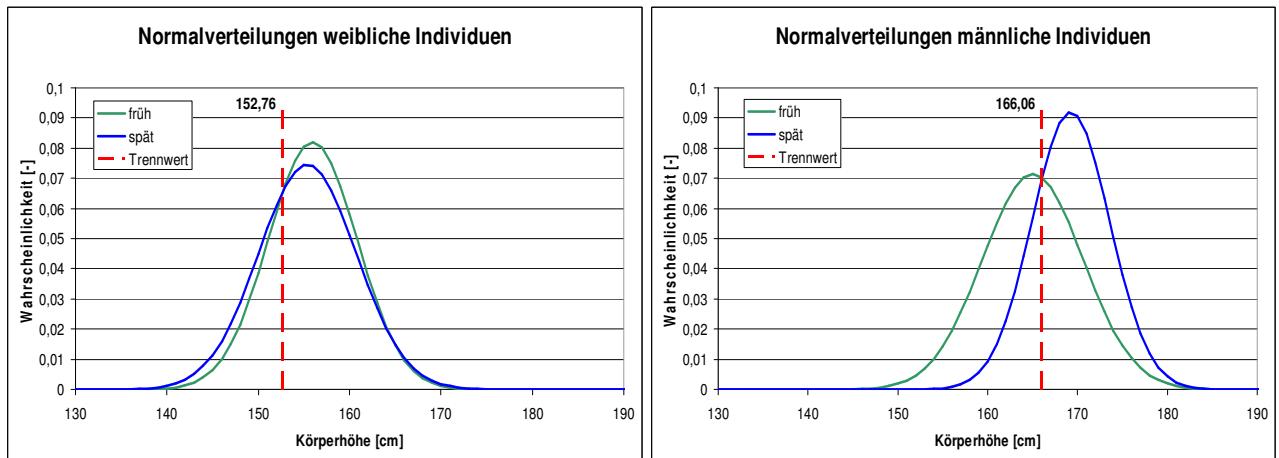
Offensichtlich ist die Unterscheidung nach Geschlecht für beide Zeitstellungen, wie auch die Unterscheidung nach Zeitstellung männlicher Individuen hochsignifikant. Die Signifikanz der Unterscheidung nach Zeitstellung für weibliche Individuen kann mit obiger Analyse nicht belegt werden, was aber im Gegenzug auch keinen Hinweis für eine statistische Abhängigkeit der beiden Zeitstellungen aufgrund ähnlicher Mittelwerte liefert, da das dafür notwendige Signifikanzniveau von 95% zur Annahme der Nullhypothese ebenfalls deutlich verfehlt wird. Dieser Fall ist also als unbestimmt zu betrachten. Ein Vergleich der mittels der jeweiligen Mittelwerte und Standardabweichungen gebildeten Normalverteilungen bestätigt dieses Ergebnis. Sowohl für die frühe (Abb. 41a), als auch die späte Zeitstellung (Abb. 41b) lässt sich auch anhand des Trennwertes sehr gut zwischen den Geschlechtern differenzieren.

4. Ergebnisse und Diskussionen



Abbildungen 41a und 41b: Trennwert für frühe und späte Zeitstellung

Wie Abb. 42a zeigt, ist dagegen für weibliche Individuen eine Unterscheidung von früher und später Zeitstellung eher unsicher.



Abbildungen 42a und 42b: Trennwerte für weibliche und männliche Individuen

Dies bestätigt die Ergebnisse obiger ANOVA, sowie die in den Abbildungen 42b dargestellte Trennung zwischen den Zeitstellungen für männliche Individuen. Hier lässt sich mittels des Trennwertes auch eine eindeutige Unterscheidung zwischen früher und später Zeitstellung treffen, wenn auch nicht ganz mit derselben hohen Trennschärfe wie die Differenzierung hinsichtlich des Geschlechts für die frühe und späte Belegungsphase.

D 4.3 Diskussion Körperhöhe und Robustizität

Die Langknochen der Frauen sind im Durchschnitt erwartungsgemäß kürzer als die der Männer. Bei Betrachtung der Boxplots zu den Längenmessungen von Femora und Humeri (Abb. 33a und b) fällt auf, dass sich die Längen der weiblichen Femora der Altdorfer im Laufe der Zeit im Mittel nicht verändert haben, aber eine größere Streuung zeigen. Die männlichen Femora sind im Laufe der Zeit länger geworden, und zeigen den gegenläufigen Trend, nämlich eine deutlich geringere Streuung. Bei den Längen der Humeri zeigt sich über das Geschlecht und die Zeitstellung betrachtet insgesamt eine geringe Streuung und nach Zeitstellung betrachtet ein Verhalten wie für die Femora: Längen der weiblichen Oberarmknochen bleiben ungefähr gleich lang, männliche werden deutlich länger.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Daraus resultieren auch die Ergebnisse der geschätzten Körperhöhen. Frauen bleiben über die Zeit gesehen im Mittel gleich groß, im Schnitt 156,0 cm +/- 3,3 cm, die Werte der Männer steigen von früher zu später Phase im Durchschnitt von 165,0 cm auf 169,3 cm +/-4,1 cm. Die Langknochen der Männer zeigten eine Tendenz zur Abnahme der Robustizität, aber eine größere Körperhöhe im zeitlichen Verlauf.

Für die Interpretation der Ergebnisse zur Körperhöhe sollen hier kurz die aktuell bekannten Einflüsse auf das Körperwachstum vorgestellt werden. Die genetisch festgelegte Körperhöhe wird durch Faktoren wie Ernährung, Hormonstatus, körperliche Belastung, Krankheiten und psychosoziale Einflüsse mitbestimmt. Studien zeigen, dass das Wachstum in Utero und die Geburtsgröße wesentlich von der Versorgung durch die Placenta und Faktoren in der Gebärmutter abhängen und mit der mütterlichen Körpergröße korreliert, nicht aber mit der späteren Erwachsenengröße des Säuglings. Wachstum hängt sehr stark von den Bedingungen in der frühen Kindheit ab, denn die Größe eines Zweijährigen korreliert eng mit der Erwachsenengröße (Tanner et al. 1956). Vor diesem Hintergrund stellt sich nun die Frage, warum die Altdorfer Männer des späten Zeithorizonts größer und tendenziell weniger robuster waren, Frauen hingegen in ihrer Körperhöhe stagnierten. Genetische Faktoren können, aufgrund der kurzen Zeitspanne ausgeschlossen werden, denn Veränderungen im „Genpool“ in einer Bevölkerung sind träge Prozesse; das Zeitintervall von einer Generation zur nächsten ist nicht ausreichend. Für einen Zuzug von Männern während der späten Phase, die die mittlere Körperhöhe und Robustizität beeinflusst haben könnten, sprechen weder schriftliche Quellen, noch die Sauerstoffisotopenanalysen (Kap. 4.11.1). Aktuelle Untersuchungen zeigten, dass mütterliche Zuwendung die Promotormethylierung und damit die Genexpression einzelner mit Wachstum und Reifung assoziierter Gene beeinflusst (Engelhardt et al 1995). Auch Ausmaß und Qualität pränataler und frühinfantiler Nahrungszufuhr können den Methylierungsgrad von Promotoren und damit die Expression wachstumsrelevanter Gene beeinflussen (Ostersehlt und Danker-Hopfe 1991). Veränderten sich bestimmte Faktoren, die sich vor allem auf Jungen auswirkten? Wurden männliche Kinder und Jugendliche in irgendeiner Weise bevorzugt behandelt und besser ernährt?

Bei der vergleichenden Betrachtung der Körperhöhen der Altdorfer mit den Angaben von Pearson (1899), der eine diachrone Entwicklung der Körperhöhe in Mitteleuropa vom Neolithikum bis in die Moderne feststellte (Siegmund 2010), konnten Übereinstimmungen beobachtet werden. Er fasste Daten aus verschiedenen Veröffentlichungen zusammen. Daraus schloss er, dass die Körperhöhen im Mittel kontinuierlich anstiegen, wobei die starke populationsinterne Variabilität (hier bis zu sd 5,6 siehe Tab. 27) den Anstieg der Körperhöhen über die Zeit relativiert. Pearson (1899) gibt für Neuzeit und Moderne für Männer eine durchschnittliche Körperhöhe von 167,6cm +/-2,4cm und für Frauen 155,7 +/-2,2cm an. Diese Werte stimmen sehr gut mit den Werten für die Altdorfer überein, deren Werte für Männer über beide Zeithorizonte gesehen im Schnitt bei 167,1cm und bei Frauen bei 155,7cm lagen.

4.4 Zahnstatus

Von den insgesamt 175 befundenen Individuen waren bei 80 Skeletten, davon 41 als weiblich und 39 als männlich bestimmte, in einem für eine Untersuchung des Zahnstatus ausreichenden Erhaltungsgrad vorhanden. Davon sind 46 Individuen der frühen und 34 der späten Zeitstellung zuzuordnen. In Abb. 43 ist dargestellt, wie viele Zähne aus der Gesamtzahl ursprünglich (also zu Lebzeiten der jeweiligen Individuen) vorhandener noch aufgefunden wurden.

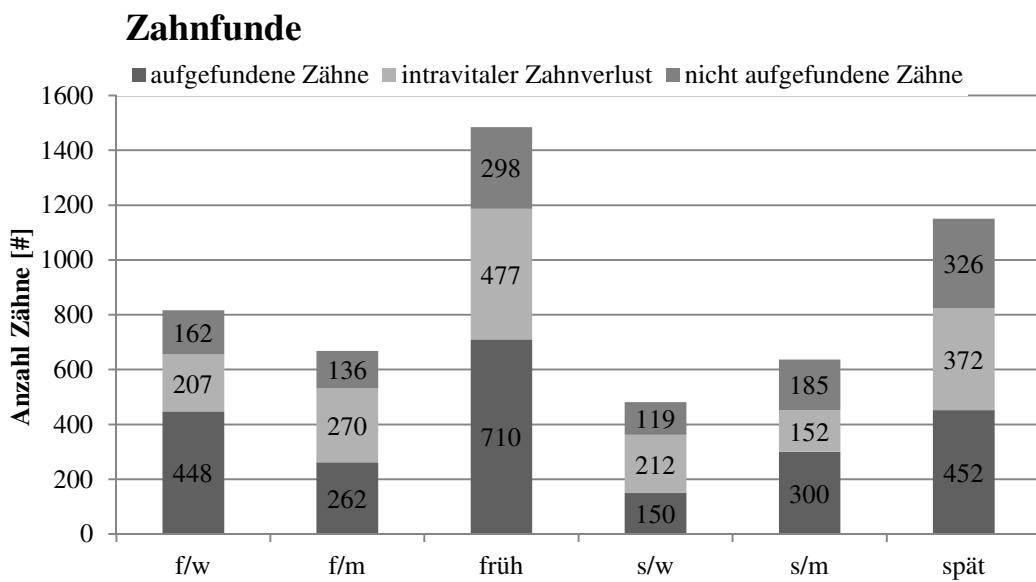


Abbildung 43: Gesamtüberblick über aufgefundene Zähne

Interessant ist bei relativer Betrachtung dieser Werte, dass der Anteil der Gesamtzahl intravital verlorener Zähne für die frühe und späte Belegungsphase in etwa identisch (~32%) ist. Eine etwas genauere Betrachtung des Sachverhalts erlaubt die explizite Darstellung des relativen intravitalen Zahnverlustes in Tab. 29, die aus der jeweiligen Summe der zu Lebzeiten verlorenen Zähne, bezogen auf die Summe der Zahnpositionen insgesamt, gebildet wird. Hier unterscheiden sich die Werte für frühe und späte Belegungsphase nur um zwei Zehntel Prozentpunkte. Bei zusätzlicher Berücksichtigung des Geschlechts fällt auf, dass die Häufigkeit hier gewissermaßen "über Kreuz" ausgeprägt ist, d.h. der intravitale Zahnverlust bei männlichen Individuen der frühen und weiblichen der späten Belegungsphase ist relativ betrachtet deutlich häufiger als bei weiblichen Individuen der frühen und männlichen der späten Belegungsphase. Das heißt, dass bei Frauen im Laufe der Zeit die Häufigkeit des intravitalen Zahnverlusts stieg, bei Männern aber deutlich sank. Dieses Phänomen kann aber auch (zumindest teilweise) seine Ursache in einer ungleichmäßigen Verteilung der Sterbealter der hier untersuchten Individuen haben.

In Abb. 44 findet sich eine Aufschlüsselung der Altersstruktur (wo bestimmbar), d.h. eine Verteilung nach Altersklassen der hier hinsichtlich ihres Zahnstatus untersuchten Individuen.

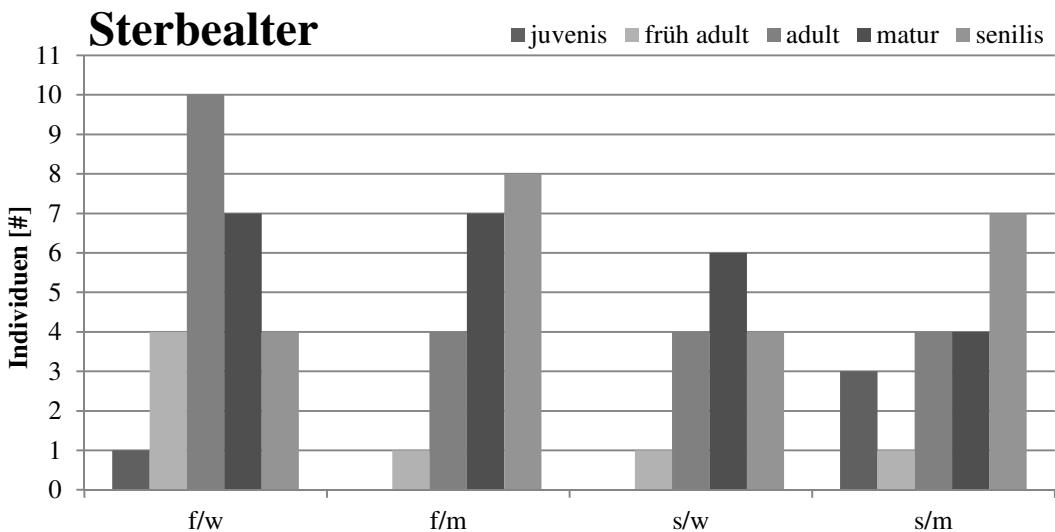


Abbildung 44: Sterbealterverteilung der hinsichtlich Zahnstatus untersuchten Individuen

Auffällig sind hierbei die vergleichsweise hohe Anzahl (38%) adulter weiblicher Individuen der frühen Zeitstellung, sowie die für die dieser Untersuchung zugrundeliegenden Daten ebenfalls relativ hohe Anzahl (16%) männlicher Individuen der Altersklasse juvenis in der späten Belegungsphase. Für Individuen dieser beiden Altersklassen (insbesondere für juvenis) sind im Allgemeinen relativ gesunde Zähne zu erwarten.

4.5 Krankheiten der Zähne

4.5.1 Intravitaler Zahnverlust

Der Verlust von Zähnen hat unterschiedliche Gründe. In der Regel sind Karies und Parodontose und die damit verbundene Lockerung der Zähne die Hauptursachen. Die zahnärztliche Tätigkeit, die auf dem Land eher von handwerklich orientierten Berufsgruppen, wie Barbieren, oder Hufschmieden ausgeübt wurde, beschränkte sich noch bis in ins 19. Jahrhundert auf Zahnektaktionen, hauptsächlich um Schmerzen zu beseitigen.

Tabelle 29: Durchschnittlicher intravitaler Zahnverlust in [%]

Frühe P. weiblich N=26	Späte P. weiblich N=15	Frühe P. männlich N=20	Späte P. männlich N=19	Frühe P. gesamt N=46	Späte P. gesamt N=34	W N=41	M N=39	Ges. N=80
25,3	44,1	40,4	23,9	32,1	32,3	32,3	32,3	32,2

Eine Darstellung der Verteilung des relativen intravitalen Zahnverlustes nach Altersklassen findet sich in Abb.45. Auffällig ist hier der vergleichsweise niedrige Wert für Individuen der Klasse senilis in der späten Belegungsphase.

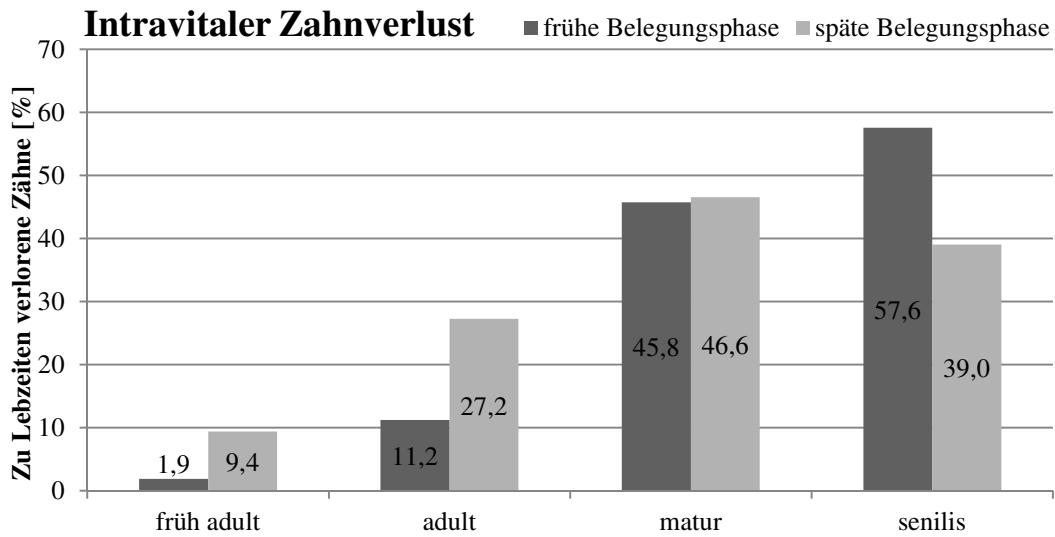


Abbildung 45: Verteilung des intravitalen Zahnverlustes auf Altersklassen

Die folgenden Untersuchungen beziehen sich nun auf tatsächlich vorhandene (aufgefundene) Zähne und betrachten die Zahngesundheit nach unterschiedlichen Kriterien

4.5.2 Karies

In Tab. 30 wird die sogenannte *Kariesintensität*

Kariesintensität = $(\Sigma \text{ kariöse Zähne} + \Sigma \text{ intravital verlorene Zähne}) / \Sigma \text{ Zahnpositionen}$
 aus den bei der Befundung ermittelten Häufigkeiten kariöser Zähne (unter gleichzeitiger Berücksichtigung intravitalen Zahnverlustes) der einzelnen Individuen dargestellt

Tabelle 30: Überblick Kariesintensität in [%]

Frühe P. weiblich N=26	Späte P. weiblich N=15	Frühe P. männlich N=20	Späte P. männlich N=19	Frühe P. gesamt N=46	Späte P. gesamt N=34	W N=41	M N=39	Ges. N=80
33,9	47,6	46,6	33,0	39,6	39,0	39,1	39,9	39,3

Auch hier zeigt sich wie für den intravitalen Zahnverlust eine "über Kreuz" Ausprägung der relativen Häufigkeiten bei gleichzeitiger Unterscheidung nach Belegungsphase und Geschlecht, sowie eine weitgehende Homogenität der Häufigkeiten bei alleiniger Unterscheidung nach Belegungsphase oder Geschlecht, die dementsprechend auch mit dem Gesamtwert in Einklang steht. In Abb. 46 ist die Verteilung der Kariesintensität nach Altersklassen dargestellt.

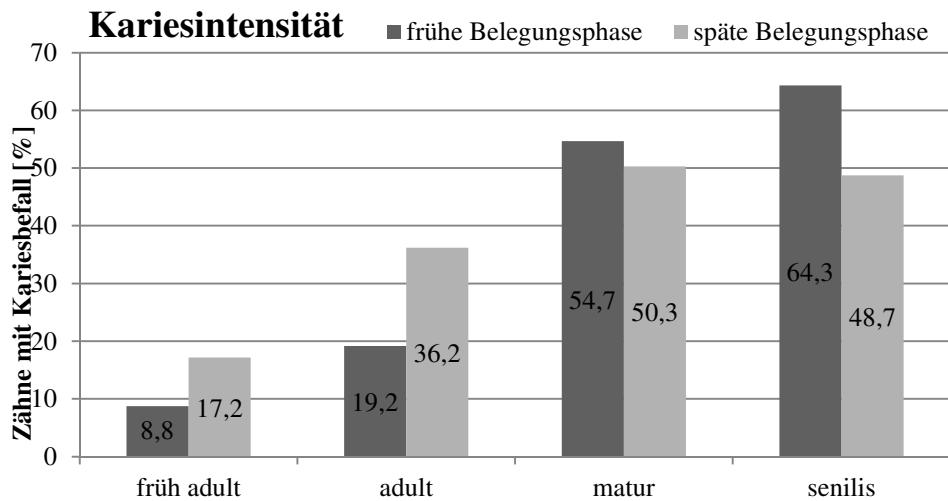


Abbildung 46: Verteilung der Kariesintensität auf Altersklassen

Ein χ^2 -Test unter der Nullhypothese, dass die Verteilung auf Altersklassen gleich (bzw. ähnlich) ist, ergibt einen signifikanten Unterschied (Signifikanzniveau 4.2%) hinsichtlich der Zeitstellung, berücksichtigt dabei aber nicht einen eventuell vorhandenen Einfluss des Geschlechts. Ein χ^2 -Test für eine Unterscheidung nach Geschlecht ergibt für die frühe wie die späte Zeitstellung einen hochsignifikanten (Signifikanzniveau < 0.01%) Unterschied in Bezug auf das Geschlecht. Demzufolge ist es sinnvoll, für die Unterscheidung der Kariesintensität hinsichtlich Zeitstellung auch nach Geschlecht zu differenzieren. Für männliche Individuen ist dabei das Signifikanzniveau sehr klein (nahe bei 0%), was einen hochsignifikanten Unterschied bedeutet, wohingegen für weibliche Individuen das Signifikanzniveau bei 15% liegt, was heißt, dass die Verteilung der Kariesintensität auf Altersklassen hinsichtlich Zeitstellung zwar nicht gleich (bzw. signifikant ähnlich) ist, vom Gegenteil (signifikante Unterscheidung) aber auch nicht unbedingt ausgegangen werden kann. Wurden bisher Merkmale an einzelnen Zähnen betrachtet, so beruhen die Werte der folgenden Untersuchungen nunmehr auf der Häufigkeit des Auftretens bestimmter Pathologien des Zahnhalteapparates innerhalb einer Population. Dementsprechend ist ein weiterer wesentlicher Indikator für die Zahngesundheit einer Population die in Tab. 31 dargestellte sogenannte *Kariesfrequenz*

Kariesfrequenz = Σ Schädel mit mind. 1 kariösen / intravital verlorenem Zahn / Σ Schädel , die die relative Häufigkeit von Individuen mit Karies anzeigt. Offensichtlich konnte bei etwa 90% der untersuchten Individuen Kariesbefall festgestellt werden. In Bezug auf den prozentualen Anteil der Altdorfer Individuen mit Abszessen im Bereich des Zahnhalteapparates fällt auf, dass ein deutlich höherer Prozentsatz der weiblichen Individuen des frühen im Vergleich zum späten Zeithorizont Abszesse aufweisen. Dieser Unterschied besteht in einem viel geringeren Maße auch bei den Männern. Der prozentuale Anteil von Individuen mit Zahnstein weist lediglich auf das Geschlecht bezogen keinen Unterschied auf.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Hingegen auf die Belegungsphasen bezogen nimmt die Anzahl der Individuen mit Zahnstein um ein Viertel ab. Nahezu 30% weniger Frauen und 10% weniger Männer der späten Belegungsphase wiesen Zahnstein auf. Die Häufigkeit der Parodontose in der Altdorfer Bevölkerung ging analog zum Zahnstein über die Zeit betrachtet sowohl bei Männern, als auch bei Frauen zurück. Wiederholt zeigt sich aber für die weiblichen Individuen ein deutlich stärkerer Rückgang als bei Männern, sodass hier ebenfalls ein geschlechtsspezifischer Unterschied im späten Zeithorizont zu erkennen ist. (Tab 31)

Tabelle 31: Prozentualer Anteil der Individuen mit Zahnpathologien in [%]

	Frühe P. weiblich N=26	Späte P. weiblich N=15	Frühe P. männlich N=20	Späte P. männlich N=19	Frühe P. gesamt N=46	Späte P. gesamt N=34	W N=41	M N=39	Ges. N=80
Kariesfrequenz	88,5	100,0	85,7	90,0	87,2	94,4	92,8	87,8	90,4
Abszesse	50,0	20,0	33,3	30,0	42,6	25,0	39,0	31,7	34,9
Zahnstein	88,5	53,3	81,0	70,0	85,1	61,1	75,6	75,6	74,7
Parodontose	88,5	53,3	85,7	75,0	87,2	63,9	75,6	80,5	77,1



Abbildung 47: Bef. 238: Durch einen Abszess gebildete Eitertasche (links) und Bef. 215 mit Zahnstein, Parodontose und „Pfeifenlücken“ (rechts, siehe S. 97).

4.5.3 Schmelzhypoplasien

Zuletzt wurde noch auf Hypoplasien an den Incisivi sowie Canini untersucht. Hierbei wurde die folgende in Schultz (1988) beschriebene Einteilung in drei Stufen (Index 1/2/3) zugrunde gelegt.

Intensitätsstufen für Schmelzhypoplasien nach Schulz (1988)

- 0 Zahn nicht vorhanden
- 1 Keine Hypoplasie
- 2 Eine Hypoplasielinie (tastbar)
- 3 Zwei oder mehr Hypoplasielinien

4. Ergebnisse und Diskussionen



Abbildung 48: Bef. 213 Adulte Frau mit Schmelzhypoplasien an Incisivi und Canini der Intensitätsstufe 3

Tabelle 32: Häufigkeit von Schmelzhypoplasien in Abhängigkeit der Intensität an Incisivi und Canini [%]

	Frühe P. weiblich N=26	Späte P. weiblich N=15	Frühe P. männlich N=20	Späte P. männlich N=19	Frühe P. gesamt N=46	Späte P. gesamt N=34	W N=41	M N=39	Ges. N=80
Hypoplasien Incisivi Index 2	18,2	16,7	15,4	15,4	17,1	15,8	17,9	15,4	16,7
Hypoplasien Incisivi Index 3	0,0	33,3	15,4	0,0	5,7	10,5	7,1	7,7	7,4
Hypoplasien Canini Index 2	22,7	33,3	15,4	15,4	20,0	21,1	25,0	15,4	20,4
Hypoplasien Canini Index 3	0,0	16,7	30,8	0,0	11,4	5,3	3,6	15,4	9,3

Auch hier zeigt sich wie oben wiederholt festgestellt eine "über Kreuz" Ausprägung der relativen Häufigkeiten bei gleichzeitiger Unterscheidung nach Belegungsphase und Geschlecht, sowie eine weitgehende Homogenität der Häufigkeiten bei alleiniger Unterscheidung nach Belegungsphase oder Geschlecht.

Eine prinzipiell mögliche Untersuchung in Form eines statistischen Tests, ob sich das Auftreten eines oder mehrerer der obigen Merkmale signifikant hinsichtlich Geschlecht und/oder Zeitstellung unterscheidet, wird hier (bis auf die Betrachtung der Kariesintensität, bei der allerdings nicht Individuen sondern einzelne Zähne betrachtet werden, womit eine deutlich breitere Datenbasis vorliegt) nicht durchgeführt, da hierfür wie oben beschrieben notwendigerweise mittels einer weiteren Klasseneinteilung auch das Sterbealter mit berücksichtigt werden müsste, wofür letztendlich für eine sinnvolle statistische Aussage die Anzahl jeweils geeigneter Individuen zu gering ist.

4.5.4 Gebrauchsspuren an Zähnen



Abbildung 49: Pfeifenlücken (oben), Tonpfeifenmundstück (unten)

Über charakteristische Formen von Abnutzung an Zähnen können Aussagen über besondere Gewohnheiten des Individuums getroffen werden. Treten solche charakteristischen Abnutzungsformen jedoch gehäuft in einer Population auf, oder tritt das Vorkommen solcher Abrasionen bei einer bestimmten Altersgruppe oder einem Geschlecht auf, können Aussagen über Gewohnheiten einer Population gemacht werden. An 5 männlichen Individuen konnten Abrasionen der Zähne festgestellt werden, die durch häufigen Tonpfeifengebrauch entstanden sind. Dabei fanden sich zum Teil Männer mit an mehreren Stellen lokalisierten Pfeifenlücken (Abb.49). In diesem Zusammenhang trat auch ausgeprägter Zahnstein (blauer Pfeil) und Parodontose (roter Pfeil) auf, der in der Regel durch alkalisches Milieu entsteht. Im Fundgut erhalten gebliebene Tonpfeifenmundstücke (Abb.49) untermauern die Ursachen der Abrasion. 4 Männer sind der Altersklasse senilis und einer

der Altersklasse frühadult zuzuordnen. Vermutlich war die Zahl der männlichen Pfeifenraucher aber deutlich höher. Aufgrund der schlechten Zahngesundheit mit einer doch recht hohen intravitalen Zahnverlustquote von insgesamt 32% kann dies aber nicht belegt werden. Bei Frauen konnten derartige Abnutzungsspuren nicht gefunden werden.

4.5.5 Konservierender und prothetischer Zahnersatz

Die Altdorfer Einwohner nahmen nachweislich zahnärztliche Behandlungen in Anspruch. Gefunden wurden Füllungen an Zähnen bei vier Individuen der späten Zeitstellung mit den Bef.-Nr. 63, 71, 74 und 213. Dabei handelt es sich um zwei weibliche mature Individuen, ein frühadultes weibliches Individuum und ein männliches adultes Individuum, das zusätzlich eine auf Basis von Kautschuk gefertigte Teilprothese für den Oberkiefer trug (Grigat 2008). Diese Art der Prothesen sind ab ca. 1850 mit der Erfindung von Verarbeitungsmöglichkeiten von Hartkautschuk als Prothesenbasismaterial im 19. und 20. Jahrhundert eingesetzt worden. Für die zahnfleischähnliche Färbung wurde quecksilberhaltiges Zinnober verwendet, das Vergiftungserscheinungen hervorrief. Auch wurden allergische Reaktionen durch den Kautschuk an sich beobachtet, das Krankheitsbild war in der Kautschukindustrie als „Gummikräuze“ bekannt. Dieses Naturprodukt wurde in der Zahnmedizin bis zur Einführung der Kunststoffe um 1950 verwendet (Schnettelker 2001).



Abbildung 50: Zahnteilprothese

quecksilberhaltiges Zinnober verwendet, das Vergiftungserscheinungen hervorrief. Auch wurden allergische Reaktionen durch den Kautschuk an sich beobachtet, das Krankheitsbild war in der Kautschukindustrie als „Gummikräuze“ bekannt. Dieses Naturprodukt wurde in der Zahnmedizin bis zur Einführung der Kunststoffe um 1950 verwendet (Schnettelker 2001).

4. Ergebnisse und Diskussionen

Eine weitere Kautschukprothese für den Unterkiefer wurde bei Bef.-Nr. 1d, einem spätmaturen männlichen Individuum gefunden. Insgesamt wurden 5 Zähne mit vermutlich bleihaltigen Füllungen und ein Incisivus mit einer der Zahnfarbe ähnlichem Füllstoff nachgewiesen.

D 4.4/4.5 Diskussion Zahngesundheit

Die Altdorfer Bevölkerung wies über beide Zeithorizonte betrachtet (Tab. 31) insgesamt eine Kariesfrequenz von 90% auf. Dieser Wert stimmt mit den Untersuchungen von Whittaker und Molleson (1996) von Skelettserien des späten 18. und Beginn des 19. Jahrhunderts überein, in der diese einen Anstieg der Kariesprävalenz auf bis zu 90% beobachteten. Bei der Gesamtbetrachtung der Krankheiten der Zähne und des Zahnhalteapparates konnte insbesondere bei der Bestimmung der Kariesintensität ein deutlicher Anstieg von der frühen zur späten Phase bei Frauen festgestellt werden, Männer des späten Zeithorizontes hingegen zeigten deutlich weniger mit Karies befallene Zähne als Männer des frühen Zeithorizontes. Die berechnete Kariesfrequenz zeigt hingegen weit weniger Tendenzen in diese Richtung. Man kommt zu dem Ergebnis, dass von Karies und damit verbundenem Zahnverlust nahezu jeder Bewohner von Altdorf, ob Frau oder Mann betroffen war (90%), die Anzahl kariöser, oder verlorener Zähne pro Individuum bei Frauen stieg mit der Zeit an, bei Männern reduzierte sich hingegen der Befall. Ursachen für dieses Ergebnis liegen wie oben bereits erwähnt sehr wahrscheinlich auch in der unterschiedlichen Altersstruktur der Populationen aus den Zeithorizonten.

Ende des 19. Anfang des 20. Jahrhunderts änderten sich die Nahrungsgewohnheiten. Die Konsumierung von verarbeiteten und haltbargemachten Nahrungsmitteln und raffiniertem Zucker stieg deutlich an, wo die Familien in Fabriken beschäftigt waren.

Betrachtet man aber die Häufigkeit von Abszessen, Zahnstein und Parodontosen zeigt sich die Tendenz der Abnahme dieser Krankheitsbilder im Laufe der Zeit bei Frauen deutlich, bei Männern kaum. Eine mögliche Erklärung für die unterschiedliche Entwicklung in den genannten Punkten, ist das Pfeiferauchen der Männer, das nachweislich Zahnstein und Parodontose fördert. Dabei schädigt das Nikotin unter anderem die Fibroblasten, die für die Bildung der Sharpey'schen Fasern im Wurzelzement zuständig sind. Dies führt ganz unabhängig von Plaque und Mundhygiene zu Gewebeabbau, Entzündungen und Knochenabbau (Walter et al. 2007). Lässt man die Kariesintensität beiseite, ist sehr wohl eine deutliche Tendenz in Richtung besserer Zahngesundheit festzustellen. Zucker wurde in beiden Zeithorizonten sicherlich ganz selbstverständlich konsumiert. Ob das Bewusstsein für die Mundhygiene stieg, oder die zahnärztliche Versorgung häufiger wahrgenommen wurde, ist nicht zu rekonstruieren. Einzelne Funde mit zahnärztlichen Behandlungen und das Vorhandensein von Zahnprothesen aus der späten Belegungsphase des Altdorfer Friedhofs lassen dies vermuten.

4.6 Degenerative Gelenkerkrankungen

Von den insgesamt 175 befundenen Individuen waren bei 117 Gelenkknochen in einem für eine Untersuchung auf degenerative Erkrankungen der Gelenke ausreichendem Erhaltungsgrad vorhanden. Davon sind 62 Individuen der frühen und 55 der späten Zeitstellung zuzuordnen. Der Untersuchung der Gelenkflächen der Extremitäten und des Kiefers wurde die folgende in (Schultz 1988) beschriebene Einteilung in fünf Ausprägungsstufen (Index 1/2/3/4/5) zugrunde gelegt. In Abb.51 findet sich ein Überblick über die absolute Häufigkeit der Individuen, die im Hinblick auf degenerative Veränderungen an den Gelenken unter Einbezug der Fortschrittsgrade untersucht worden sind.

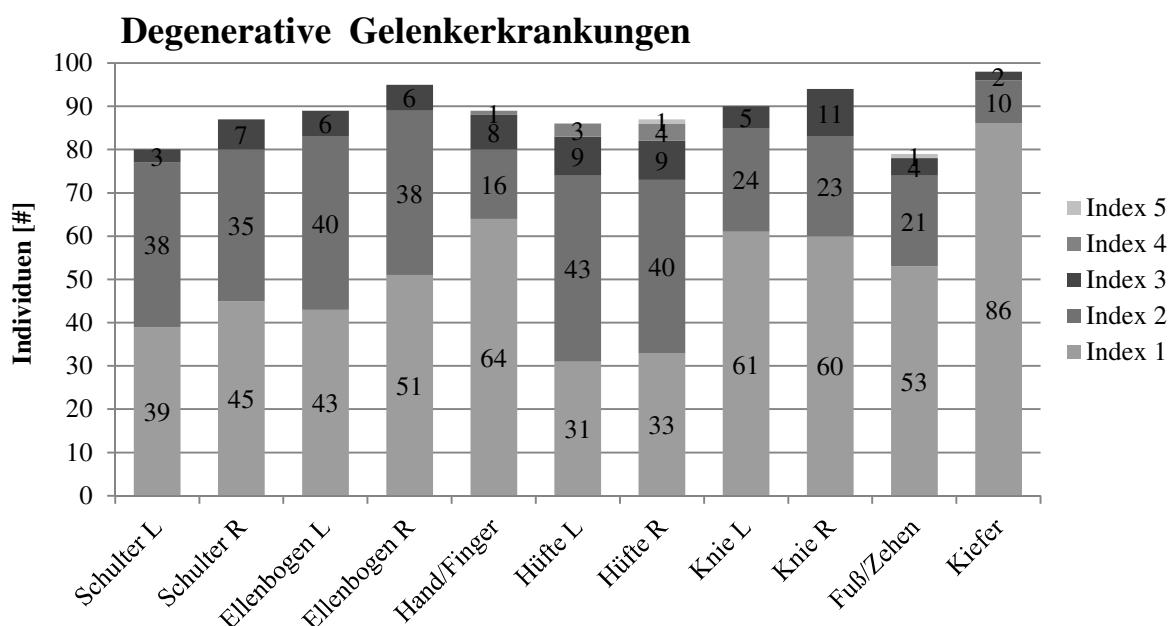


Abbildung 51: Absolute Häufigkeiten der im Hinblick auf degenerative Gelenkerkrankung untersuchten Individuen

Differenziert nach Zeitstellung und Geschlecht und unter Berücksichtigung der Fortschrittsgrade ergeben sich in relativer Form die im Folgenden dargestellten Verteilungen. Für die frühe bzw. späte Zeitstellung sind in Abb. 52 die relativen Häufigkeiten für die weiblichen und männlichen Individuen dargestellt.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Relative Häufigkeit der Gelenkerkrankungen von Frauen und Männer der frühen und späten Phase unter Berücksichtigung des Ausprägungsgrades in [%]

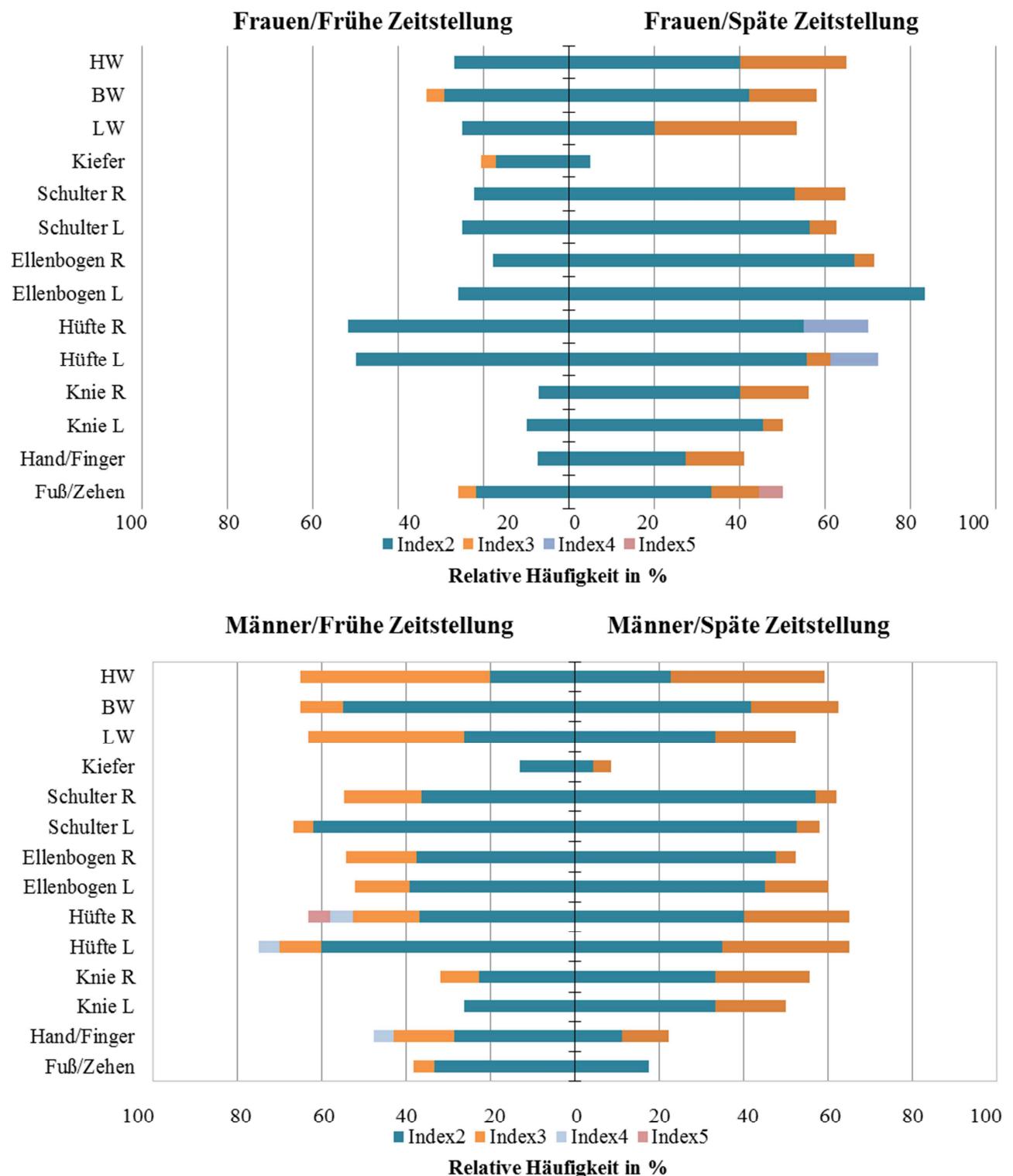


Abbildung 52: Vergleich der degenerativen Gelenkerkrankungen bei weiblichen und männlichen Individuen der frühen und späten Zeitstellung

4. Ergebnisse und Diskussionen

Der Untersuchung der Wirbel wurde die in (Steckel et al. 2006) beschriebene Einteilung in drei Ausprägungsstufen (Index 1/2/3) zugrunde gelegt. In Abb. 53 findet sich ein Überblick über die absolute Häufigkeit der Individuen mit Arthrosen der einzelnen Fortschrittsgarde für die untersuchten Wirbel.

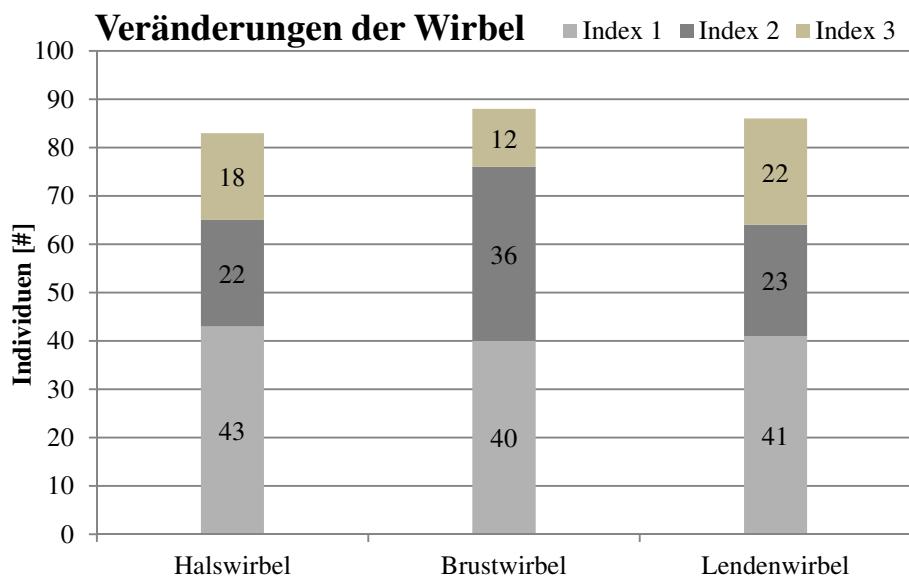


Abbildung 53: Absolute Häufigkeiten der im Hinblick auf degenerative Veränderungen an den Wirbeln untersuchten Individuen

4. Ergebnisse und Diskussionen

Differenziert nach Zeitstellung und Geschlecht ergeben sich in relativer Form die im Folgenden dargestellten Verteilungen (Abb.54). Zumindest für weibliche Individuen der frühen Zeitstellung fällt ähnlich wie bei der Untersuchung der Zahngesundheit insgesamt eine vergleichsweise geringe Häufigkeit von Krankheitsbildern auf. Aufschluss über mögliche Ursachen dieses Phänomens gibt wieder (wo bestimbar) eine Betrachtung der Altersstruktur (Abb. 55), d.h. eine Verteilung nach Altersklassen der hier auf Gelenkdegeneration untersuchten Individuen.

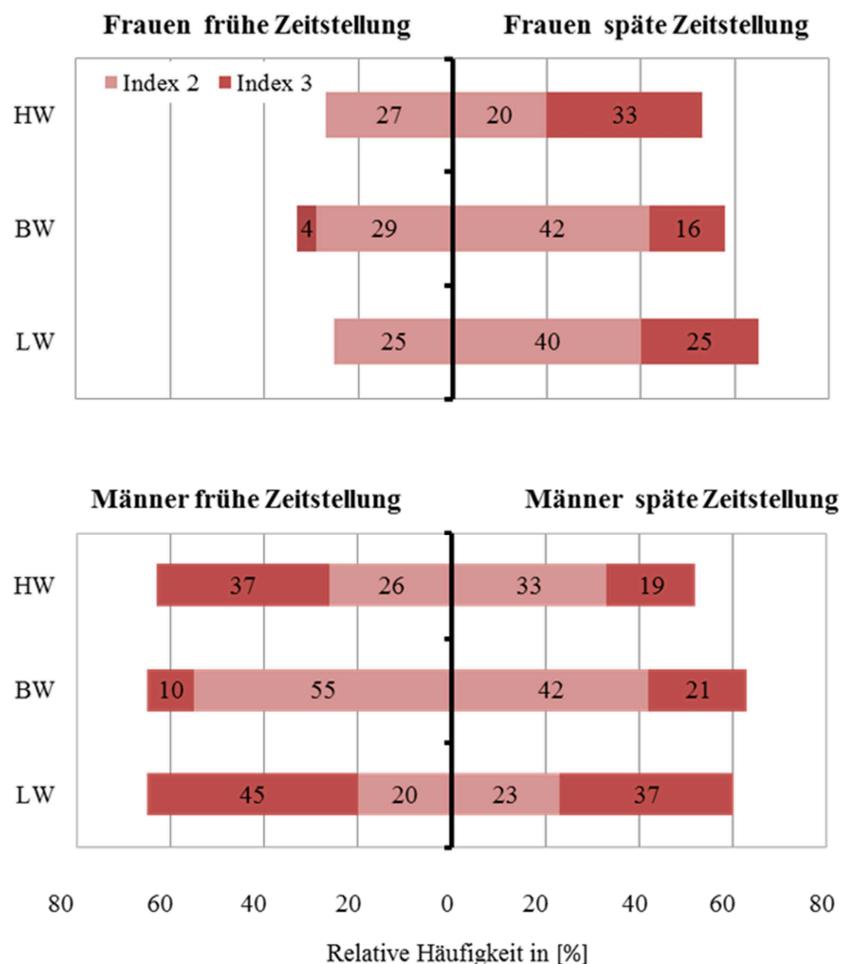


Abbildung 54: Degenerative Wirbelkörperveränderungen männlicher und weiblicher Individuen der frühen und späten Zeitstellung

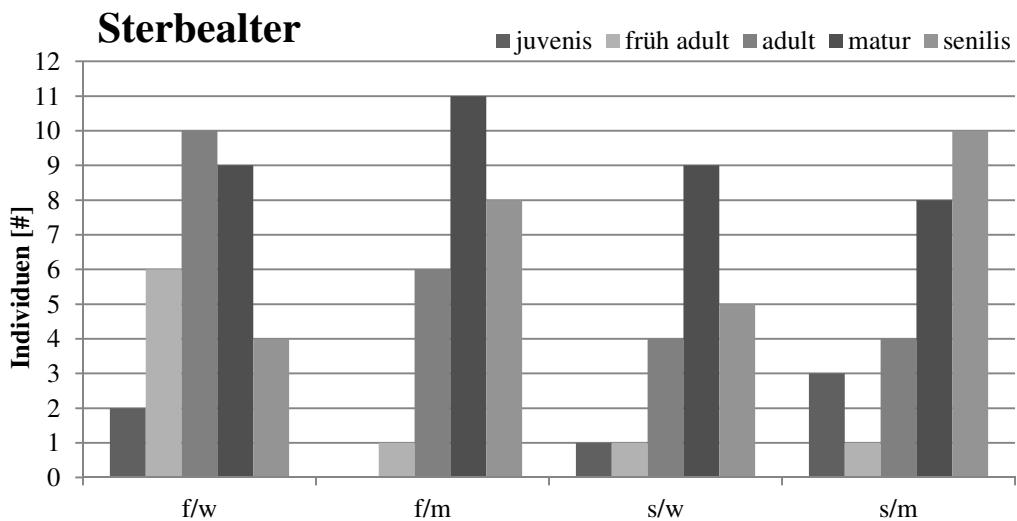


Abbildung 55: Sterbealterverteilung der auf Arthrosen untersuchten Individuen

Hier fällt die vergleichsweise hohe Anzahl (58%) weiblicher Individuen der frühen Zeitstellung in den Altersklassen juvenis-adult auf. Da für jüngere Individuen im Allgemeinen weniger Arthrosen zu erwarten sind, erklären obige Besonderheiten in der Altersverteilung zumindest teilweise die erwähnte Auffälligkeit.

4.6.1 Intensität der degenerativen Gelenkerkrankungen

Analog zur oben besprochenen Kariesintensität kann auch für Arthrosen ein entsprechender Wert als

$$\text{Intensität der degenerativen Gelenkerkrankungen} = \frac{\Sigma \text{ von Veränderungen betroffene Gelenke}}{\Sigma \text{ befundete Gelenke}}$$

unabhängig von der jeweiligen Ausprägungsstufe der Arthrose definiert und untersucht werden. Dabei wurde das Auftreten von Degenerationen an der Wirbelsäule in der Weise einbezogen, als diese entsprechend der anatomischen Bezeichnungen in Halswirbel, Brustwirbel und Lendenwirbel aufgeteilt wurden und jeweils als ein separates Gelenk in die Bewertung eingingen. Zu rechtfertigen ist diese Vorgehensweise, indem die Degeneration der unterschiedlichen Wirbelsäulenregionen auf unterschiedliche Belastungen zurückzuführen ist (Grosser und Seide 2001, Gaulrapp 2002). Eine entsprechende Übersicht über die Werte dieser Indikatorgröße findet sich in Tab.33.

Tabelle 33: Überblick Intensität der degenerativen Gelenkerkrankungen (n=untersuchte Gelenkflächen) in %

Frühe P. weiblich n=372	Späte P. weiblich n=271	Frühe P. männlich n=294	Späte P. männlich n=282	Frühe P. gesamt n=666	Späte P. gesamt n=553	W n=643	M n=576	Ges. n=1219
24,7	56,8	50,7	49,6	36,2	53,1	38,3	50,2	43,9

4. Ergebnisse und Diskussionen

In Abb. 56 ist die Verteilung der Intensität der Gelenkveränderungen nach Altersklassen dargestellt.

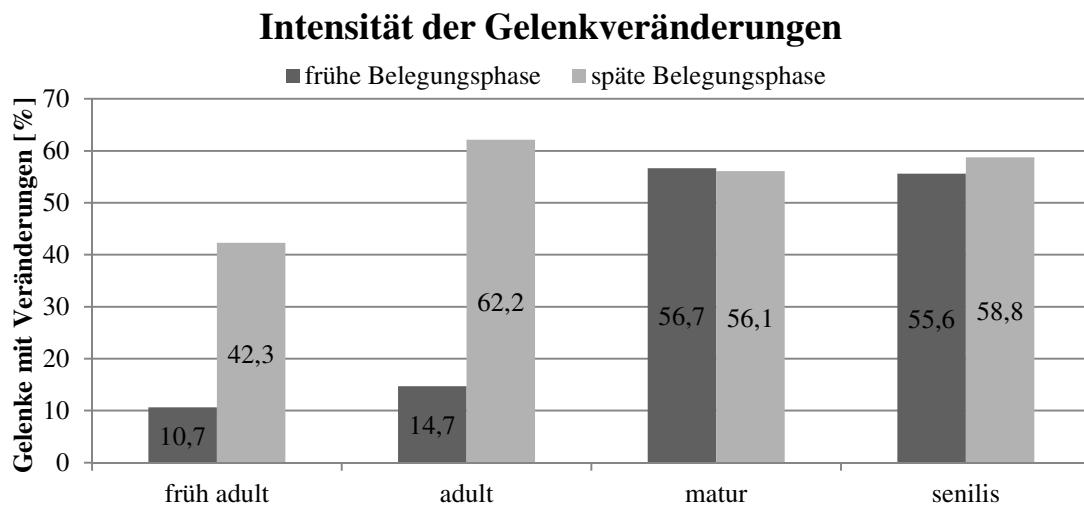


Abbildung 56: Verteilung der Intensität der Gelenkveränderungen auf Altersklassen

Ein χ^2 -Test unter der Nullhypothese, dass die Verteilung auf Altersklassen gleich (bzw. ähnlich) ist, ergibt einen hochsignifikanten Unterschied (Signifikanzniveau nahe bei 0%) hinsichtlich der Zeitstellung, berücksichtigt dabei aber nicht einen eventuell vorhandenen Einfluss des Geschlechts. Dementsprechend liefert ein parallel durchgeführter Kruskal-Wallis Test auf die Nullhypothese, dass die beiden Stichproben gleiche Mediane (das entspricht einer Varianzanalyse für ordinale Daten) besitzen, eine Wahrscheinlichkeit von 14.9%, unterstützt also tendenziell die Vermutung, dass die Zeitstellung signifikanten Einfluss auf die Häufigkeit des Auftretens von Arthrosen hat. Ein χ^2 -Test für eine Unterscheidung nach Geschlecht ergibt unabhängig von der Zeitstellung einen hochsignifikanten (Signifikanzniveau $< 0.04\%$) Unterschied in Bezug auf das Geschlecht. Demzufolge ist es sinnvoll, für die Unterscheidung der Arthroseintensität hinsichtlich Zeitstellung auch nach Geschlecht zu differenzieren. Für weibliche wie für männliche Individuen ist dabei das Signifikanzniveau sehr klein (nahe bei 0%), was einen hochsignifikanten Unterschied bedeutet.

4.6.2 Frequenz der Gelenkerkrankungen

In ähnlicher Weise kann analog zur oben beschriebenen Kariesfrequenz auch ein entsprechender Wert als

Frequenz der Gelenkveränderung = Σ Individuen mit Veränderungen / Σ Individuen mit vorhandenen Gelenken

definiert und untersucht werden. Eine entsprechende Übersicht über die Werte dieser Indikatorgröße findet sich in Tab.34.

Tabelle 34: Überblick Frequenz der Gelenkveränderung in % (n=Anzahl der Individuen

Frühe P. weiblich n=34	Späte P. weiblich n=28	Frühe P. männlich n=28	Späte P. männlich n=27	Frühe P. gesamt n=62	Späte P. gesamt n=55	W n=62	M n=55	Ges. n=117
73,5	89,3	82,1	88,9	77,4	88,3	80,6	85,5	82,8

4.6.3 Untersuchung zur Existenz von Kopplung von Arthrosen unterschiedliche Gelenke

Neben diesen Indikatoren für den Zustand der Gelenke ist es auch interessant zu untersuchen, ob zwischen einzelnen Gelenken eine Kopplung bzw. Abhängigkeit in dem Sinne besteht, dass, wenn ein bestimmtes Gelenk von Arthrose (einer bestimmten Ausprägungsstufe) betroffen ist, dies tendenziell auch für ein jeweils anderes Gelenk gilt. Hierfür werden nicht mehr nur die Häufigkeiten des Auftretens von Arthrose betrachtet, sondern nach Gelenk, Ausprägung und Individuum unterschieden. Ferner wird obigen Ergebnissen folgend auch hinsichtlich Zeitstellung und Geschlecht unterschieden.

Als Indikator für eine Abhängigkeit wird im Folgenden der Rangkorrelationskoeffizient r_s nach Spearman betrachtet. Die Ergebnisse dieser Analyse finden sich in untenstehenden Korrelationsmatrizen. Dabei befinden sich unterhalb der Hauptdiagonalen die Beträge der im Methodenteil beschriebenen Korrelationskoeffizienten nach Spearman und oberhalb die über einen t-Test ermittelten Wahrscheinlichkeiten dafür, dass die beiden entsprechenden Merkmale unkorreliert sind. In den folgenden Tab. 35-39 sind die Ergebnisse dargestellt. Es wurde folgende Klassifikation vorgenommen.

- *starke Korrelation*: Korrelationskoeffizient $\geq 0,8$ bzw. $p(\text{unkorreliert}) \leq 0,05$ (grün)
- *schwache Korrelation*: Korrelationskoeffizient $\geq 0,5$ bzw. $p(\text{unkorreliert}) \leq 0,1$ (gelb)
- *keine Korrelation*: Korrelationskoeffizient $\leq 0,5$ bzw. $p(\text{unkorreliert}) \geq 0,1$ (weiß)

4. Ergebnisse und Diskussionen

Weibliche Individuen der frühen Zeitstellung

Tabelle 35: Rangkorrelationskoeffizient r_s (weibliche Individuen / frühe Zeitstellung)

	Schulter L	Schulter R	Ellenbogen L	Ellenbogen R	Hand/Finger	Hüfte L	Hüfte R	Knie L	Knie R	Fuß/Zehen	Kiefer	Halswirbel	Brustwirbel	Lendenwirbel
Schulter L		0,000	0,144	0,488	0,263	0,139	0,173	0,093	0,063	0,004	0,406	0,163	0,752	0,028
Schulter R	0,871		0,008	0,097	0,309	0,015	0,020	0,000	0,000	0,026	0,762	0,569	0,685	0,165
Ellenbogen L	0,314	0,521		0,002	0,379	0,199	0,084	0,014	0,391	0,071	0,187	0,136	0,154	0,132
Ellenbogen R	0,156	0,333	0,584		0,482	0,021	0,026	0,026	0,203	0,312	0,374	0,138	0,038	0,144
Hand/Finger	0,256	0,217	0,184	0,147		0,959	1,000	0,620	0,022	0,557	0,186	0,372	0,704	0,416
Hüfte L	0,325	0,480	0,260	0,452	0,010		0,000	0,071	0,121	1,000	1,000	0,666	0,430	0,368
Hüfte R	0,309	0,472	0,352	0,443	0,000	1,000		0,082	0,136	0,892	0,934	0,772	0,267	0,432
Knie L	0,359	0,659	0,476	0,435	0,100	0,346	0,341		0,000	0,132	0,558	0,551	0,704	0,416
Knie R	0,402	0,674	0,180	0,270	0,457	0,312	0,307	0,694		0,024	0,018	0,541	0,201	0,600
Fuß/Zehen	0,658	0,522	0,412	0,245	0,136	0,000	0,032	0,332	0,481		0,312	0,800	0,362	0,157
Kiefer	0,178	0,062	0,267	0,182	0,273	0,000	0,017	0,118	0,468	0,245		0,872	0,099	0,223
Halswirbel	0,316	0,122	0,328	0,312	0,205	0,098	0,067	0,131	0,141	0,069	0,035		0,030	0,000
Brustwirbel	0,075	0,094	0,314	0,435	0,084	0,173	0,247	0,084	0,291	0,236	0,352	0,474		0,041
Lendenwirbel	0,491	0,307	0,324	0,314	0,174	0,192	0,172	0,174	0,118	0,348	0,258	0,767	0,430	

Zum Vergleich in Tab. 36 Kendall's τ für weibliche Individuen der frühen Zeitstellung.

Tabelle 36: Kendall's τ (weibliche Individuen / frühe Zeitstellung)

	Schulter L	Schulter R	Ellenbogen L	Ellenbogen R	Hand/Finger	Hüfte L	Hüfte R	Knie L	Knie R	Fuß/Zehen	Kiefer	Halswirbel	Brustwirbel	Lendenwirbel
Schulter L		0,000	0,036	0,309	0,105	0,034	0,050	0,016	0,009	0,000	0,224	0,045	0,649	0,002
Schulter R	0,871		0,000	0,017	0,138	0,001	0,001	0,000	0,000	0,003	0,655	0,403	0,559	0,046
Ellenbogen L	0,314	0,521		0,000	0,198	0,062	0,014	0,001	0,208	0,013	0,056	0,033	0,045	0,031
Ellenbogen R	0,156	0,333	0,584		0,302	0,001	0,002	0,002	0,065	0,151	0,193	0,033	0,004	0,036
Hand/Finger	0,256	0,217	0,184	0,147		0,939	1,000	0,464	0,001	0,398	0,055	0,193	0,583	0,233
Hüfte L	0,325	0,480	0,260	0,452	0,010		0,000	0,010	0,026	1,000	1,000	0,525	0,256	0,188
Hüfte R	0,309	0,472	0,352	0,443	0,000	1,000		0,013	0,032	0,845	0,903	0,669	0,114	0,249
Knie L	0,359	0,659	0,476	0,435	0,100	0,346	0,341		0,000	0,034	0,388	0,381	0,583	0,233
Knie R	0,402	0,674	0,180	0,270	0,457	0,312	0,307	0,694		0,002	0,001	0,370	0,071	0,441
Fuß/Zehen	0,658	0,511	0,404	0,240	0,133	0,000	0,032	0,326	0,472		0,151	0,716	0,197	0,048
Kiefer	0,178	0,062	0,267	0,182	0,273	0,000	0,017	0,118	0,468	0,240		0,813	0,021	0,077
Halswirbel	0,316	0,122	0,328	0,312	0,205	0,098	0,067	0,131	0,141	0,067	0,035		0,003	0,000
Brustwirbel	0,074	0,092	0,308	0,428	0,082	0,170	0,243	0,082	0,285	0,230	0,346	0,465		0,005
Lendenwirbel	0,491	0,307	0,324	0,314	0,174	0,192	0,172	0,174	0,118	0,341	0,258	0,767	0,422	

4. Ergebnisse und Diskussionen

Offensichtlich sind die Ergebnisse für beide Korrelationskoeffizienten nahezu identisch. Dementsprechend wird im Folgenden nur mehr der Wert nach Spearman betrachtet. Die Wahrscheinlichkeitswerte oberhalb der Hauptdiagonale sind für τ durchweg kleiner als für r_s , was den Koeffizienten nach Spearman etwas selektiver macht.

Männliche Individuen der frühen Zeitstellung

Tabelle 37: Rangkorrelationskoeffizient r_s (männliche Individuen / frühe Zeitstellung)

	Schulter L	Schulter R	Ellenbogen L	Ellenbogen R	Hand/Finger	Hüfte L	Hüfte R	Knie L	Knie R	Fuß/Zehen	Kiefer	Halswirbel	Brustwirbel	Lendenwirbel
<i>Schulter L</i>		0,000	0,026	0,000	0,095	0,509	0,199	0,385	0,242	0,260	0,953	0,196	0,362	0,134
<i>Schulter R</i>	0,845		0,058	0,005	0,048	0,777	0,140	0,178	0,086	0,164	0,582	0,139	0,585	0,059
<i>Ellenbogen L</i>	0,497	0,430		0,001	0,001	0,638	0,016	0,395	0,223	0,472	0,665	0,019	0,012	0,111
<i>Ellenbogen R</i>	0,786	0,571	0,688		0,006	0,607	0,169	0,468	0,148	0,519	0,920	0,086	0,113	0,093
<i>Hand/Finger</i>	0,447	0,486	0,709	0,609		0,899	0,296	0,826	0,283	0,207	0,941	0,054	0,003	0,232
<i>Hüfte L</i>	0,178	0,074	0,119	0,130	0,032		0,015	0,322	0,852	0,869	0,878	0,926	0,172	0,227
<i>Hüfte R</i>	0,339	0,373	0,576	0,339	0,269	0,563		0,567	0,149	0,883	0,888	0,905	0,334	0,483
<i>Knie L</i>	0,242	0,354	0,214	0,189	0,056	0,256	0,161		0,000	0,822	0,379	0,295	0,671	0,039
<i>Knie R</i>	0,300	0,416	0,293	0,345	0,252	0,045	0,354	0,812		0,344	0,388	0,247	0,574	0,044
<i>Fuß/Zehen</i>	0,299	0,353	0,181	0,158	0,303	0,042	0,037	0,061	0,230		0,285	0,653	0,735	0,691
<i>Kiefer</i>	0,014	0,131	0,100	0,023	0,019	0,039	0,036	0,228	0,210	0,259		0,147	0,462	0,156
<i>Halswirbel</i>	0,354	0,374	0,595	0,416	0,491	0,027	0,034	0,315	0,319	0,122	0,367		0,000	0,000
<i>Brustwirbel</i>	0,244	0,143	0,579	0,376	0,690	0,359	0,258	0,120	0,147	0,089	0,180	0,795		0,000
<i>Lendenwirbel</i>	0,391	0,467	0,389	0,397	0,317	0,320	0,189	0,538	0,494	0,104	0,339	0,860	0,738	

4. Ergebnisse und Diskussionen

Weibliche Individuen der späten Zeitstellung

Tabelle 38: Rangkorrelationskoeffizient r_s (weibliche Individuen / späte Zeitstellung)

	Schulter L	Schulter R	Ellenbogen L	Ellenbogen R	Hand/Finger	Hüfte L	Hüfte R	Knie L	Knie R	Fuß/Zehen	Kiefer	Halswirbel	Brustwirbel	Lendenwirbel
Schulter L		0,000	0,030	0,223	0,591	0,208	0,175	0,077	0,080	0,546	0,200	0,326	0,779	0,907
Schulter R	0,963		0,030	0,395	0,582	0,554	0,665	0,231	0,187	0,602	0,221	0,184	0,815	1,000
Ellenbogen L	0,579	0,579		0,000	0,189	0,387	0,343	0,036	0,042	0,232	0,689	0,295	0,659	0,891
Ellenbogen R	0,335	0,221	0,893		0,281	0,086	0,143	0,071	0,265	0,366	0,678	0,322	0,829	0,907
Hand/Finger	0,157	0,161	0,335	0,277		0,800	0,855	0,120	0,155	0,003	0,076	0,138	0,235	0,884
Hüfte L	0,374	0,173	0,241	0,442	0,069		0,000	0,274	0,666	0,040	0,216	0,672	0,018	0,001
Hüfte R	0,384	0,122	0,264	0,359	0,050	0,998		0,285	0,949	0,042	0,216	0,672	0,018	0,001
Knie L	0,470	0,342	0,526	0,448	0,369	0,281	0,267		0,000	0,279	0,348	0,984	0,186	0,787
Knie R	0,466	0,348	0,514	0,269	0,331	0,109	0,015	0,981		0,366	0,310	0,984	0,158	0,786
Fuß/Zehen	0,205	0,177	0,342	0,262	0,659	0,555	0,548	0,288	0,234		n.d.	0,436	0,064	0,334
Kiefer	0,398	0,381	0,123	0,122	0,455	0,353	0,353	0,251	0,253	n.d.		0,173	0,348	0,288
Halswirbel	0,347	0,433	0,315	0,298	0,434	0,137	0,137	0,006	0,006	0,278	0,442		0,094	0,534
Brustwirbel	0,086	0,066	0,124	0,057	0,315	0,582	0,582	0,349	0,358	0,507	0,251	0,465		0,000
Lendenwirbel	0,036	0,000	0,037	0,032	0,037	0,716	0,718	0,069	0,069	0,258	0,283	0,182	0,838	

Männliche Individuen der späten Belegungsphase

Tabelle 39: Rangkorrelationskoeffizient r_s (männliche Individuen / späte Zeitstellung)

	Schulter L	Schulter R	Ellenbogen L	Ellenbogen R	Hand/Finger	Hüfte L	Hüfte R	Knie L	Knie R	Fuß/Zehen	Kiefer	Halswirbel	Brustwirbel	Lendenwirbel
Schulter L		0,000	0,234	0,161	0,293	0,000	0,000			0,059	0,348	0,220	0,014	0,001
Schulter R	1,000		0,214	0,155	0,054	0,000	0,000	0,091	0,050	0,049	0,030	0,102	0,003	0,012
Ellenbogen L	0,316	0,329		0,000	0,023	0,071	0,156	0,080	0,066	0,117	0,275	0,344	0,264	0,228
Ellenbogen R	0,356	0,350	0,886		0,026	0,061	0,086	0,036	0,030	0,080	0,318	0,313	0,076	0,253
Hand/Finger	0,316	0,506	0,581	0,537		0,019	0,072	0,037	0,054	0,001	n.d.	0,409	0,005	0,015
Hüfte L	0,895	0,930	0,436	0,450	0,579		0,000	0,010	0,005	0,142	n.d.	0,145	0,000	0,003
Hüfte R	0,925	0,945	0,349	0,416	0,462	0,967		0,013	0,006	0,336	n.d.	0,145	0,000	0,005
Knie L	0,516	0,469	0,450	0,512	0,542	0,607	0,589		0,000	0,121	n.d.	0,002	0,014	0,023
Knie R	0,580	0,513	0,486	0,526	0,490	0,644	0,633	0,974		0,056	n.d.	0,011	0,026	0,003
Fuß/Zehen	0,516	0,535	0,422	0,436	0,782	0,413	0,278	0,435	0,521		0,719	0,324	0,053	0,048
Kiefer	0,251	0,054	0,281	0,242	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,098		0,935	0,541	0,361
Halswirbel	0,337	0,398	0,253	0,260	0,240	0,395	0,395	0,776	0,658	0,274	0,020		0,224	0,005
Brustwirbel	0,566	0,644	0,278	0,417	0,662	0,726	0,726	0,581	0,537	0,508	0,141	0,285		0,001
Lendenwirbel	0,781	0,611	0,299	0,294	0,616	0,649	0,612	0,562	0,684	0,557	0,229	0,645	0,671	

4. Ergebnisse und Diskussionen

Für einen schnellen Überblick wurden (wie in Tab. 40 dargestellt) die jeweiligen Mittelwerte der Korrelationskoeffizienten gebildet.

Tabelle 40: Mittelwerte der Rangkorrelationskoeffizienten r_s

Zeitstellung	früh		spät	
Geschlecht	w	m	w	m
Mittelwert \bar{r}_s [I]	0,298	0,319	0,328	0,512

Offensichtlich ergeben sich durchschnittlich mehr Korrelationen für die späte verglichen mit der frühen Zeitstellung, sowie mehr bei männlichen verglichen mit weiblichen Individuen.

Generell zeigen sich hauptsächlich starke Korrelationen für die jeweils linken und rechten Gelenke für Schulter, Ellenbogen, Hüfte und Knie sowie für die Wirbel untereinander. Darüber hinaus zeigen sich abhängig von Zeitstellung und Geschlecht noch einige spezifische Korrelationen, wie z.B. für männliche Individuen der späten Belegungsphase zwischen Schulter- und Hüftgelenken. Zur Untersuchung, ob derartige Korrelationen auch für die Grundgesamtheit gültig sind, eignet sich der Friedmann-Test. Mit der Nullhypothese, dass einzelne Gelenke dieselbe Tendenz hinsichtlich des Ausprägungsgrades haben, erhält man für die untersuchten Kombinationen von Gelenken die in Tab. 41 aufgeführten Wahrscheinlichkeiten.

Tabelle 41: Signifikanzniveaus für gleiche Ausprägung von Arthrosen bei Gelenken

Gelenkkombination	Signifikanz [%]	
	Friedmann	Kruskal-Wallis
<i>Schulter - Ellenbogen</i>	95,4	94,2
<i>Ellenbogen - Hand/Finger</i>	0,1	5,1
<i>Hüfte - Knie</i>	0,0	0,0
<i>Knie - Fuß/Zehen</i>	31,3	77,7
<i>Schulter - Hüfte</i>	0,1	5,5
<i>Schulter - Knie</i>	0,2	16,5
<i>Hüfte - Ellenbogen</i>	0,1	3,4

Offensichtlich ist entsprechend dem Friedmann-Test allgemein lediglich für die Gelenkkombination Schulter-Ellenbogen eine signifikante gemeinsame Tendenz hinsichtlich der Ausprägung der Gelenkveränderungen festzustellen. Der bei männlichen Individuen der späten Zeitstellung angezeigte Zusammenhang zwischen Schulter und Hüfte kann im Allgemeinen also nicht bestätigt werden. Diese Ergebnisse werden qualitativ durch einen analogen Kruskal-Wallis-Test bestätigt.

4.6.4 Korrelation von Robustizitätsindex und Arthrose

Durch Umbau bewahrt der Knochen seine mechanische Integrität und passt sich beständig den auf ihn einwirkende Krafteinflüssen und Spannungsverhältnissen an (Martin 2002, Parfitt 2002). Besonders hohe Spannungsgrade verursachen eine Erhöhung der Knochenausbauaktivität. Der Knochen wird robuster und dadurch belastungsfähiger. Deshalb ist es sinnvoll, einige der oben untersuchten Gelenke hinsichtlich ihres Arthrosegrades zusätzlich auf eine mögliche Abhängigkeit vom zuvor beschriebenen und ausgewerteten Robustizitätsindex für den jeweils assoziierten Langknochen zu betrachten. Untersucht werden also mögliche Korrelationen von (rechtem) Schultergelenk und (rechtem) Ellenbogengelenk mit der Robustizität des Humerus, sowie von (rechtem) Hüftgelenk und (rechtem) Kniegelenk mit der Femurrobustizität. Da es sich beim Robustizitätsindex um eine metrische Variable handelt, kann zur Bestimmung des Grades der Abhängigkeit der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman nicht direkt gebildet werden. Stattdessen wird hier der sogenannte *polyserial Korrelationskoeffizient* nach Olsson bestimmt, der speziell für die Korrelation einer ordinalen mit einer metrischen Variable definiert ist. Die Ergebnisse sind in untenstehender Tabelle 42 aufgeführt, wobei neben dem Korrelationskoeffizienten auch die über einen t-Test ermittelten Wahrscheinlichkeiten dafür angegeben werden, dass die beiden entsprechenden Merkmale unkorreliert sind.

Tabelle 42: Korrelation des Arthrosegrades mit dem Robustizitätsindex

Korrelation		Koeffizient	<i>P(unkorreliert)</i>
<i>Humerus mit ...</i>	<i>Schulter</i>	0,252	0,055
	<i>Ellenbogen</i>	0,128	0,351
<i>Femur mit ...</i>	<i>Hüfte</i>	-0,129	0,304
	<i>Knie</i>	0,051	0,698

Offensichtlich zeigt sich lediglich für die Kombination Humerusrobustizität mit Schulter eine mögliche Korrelation, die aber bei Betrachtung des Korrelationskoeffizienten, wenn überhaupt, nur schwach ausgeprägt ist. Für die übrigen Gelenk-Langknochen Kombinationen kann kein Trend hinsichtlich einer Korreliertheit festgestellt werden.

D.4.6 Diskussion der Ergebnisse: Degenerative Gelenkerkrankungen

Unterschiedliche Verteilungsmuster und Ausprägung von Arthrosen an verschiedenen Gelenken können einen Hinweis auf die Ursache der entstandenen Gelenkdegeneration geben. So sind unilaterale und einzeln auftretende Defekte Hinweise auf ein erworbene Geschehen, wie beispielsweise Traumata oder Überbelastung. Ein symmetrisches oder multiples Auftreten hingegen sprechen eher für eine systemisch-metabolische Erkrankung (Imhof et al. 2009).

4. Ergebnisse und Diskussionen

Die Ergebnisse zeigen, dass und wie sich die degenerativen Gelenkerkrankungen in Altdorf im Laufe der Zeit verändert haben. Die relative Häufigkeit der von Arthrose betroffenen Gelenke der Altdorfer Frauen zeigt eine im Laufe der Zeit starke Zunahme, zudem waren die Defekte an den Schultergelenken, Fingern und Zehen, sowie besonders an den Hüftgelenken (Index 4) stärker ausgeprägt als bei Frauen des frühen Zeithorizontes.

Zu berücksichtigen ist aber nach wie vor die hohe Anzahl der untersuchten früh adulten und adulten Frauen der frühen Zeitstellung, die das geringere Arthrosevorkommen und die schwächeren Ausprägungsgrade zum Teil erklären. Männer der frühen Zeitstellung zeigen eine deutlich höhere relative Häufigkeit als Frauen derselben Zeitstellung, aber auch eine stärkere Ausprägungsgrade an nahezu allen Gelenken; hier sind die Hüftgelenke besonders betroffen. Die Häufigkeit nimmt bei den Altdorfer Männern im späten Zeithorizont leicht ab, die Arthrosen sind weniger ausgeprägt und sogar deutlich weniger als bei den Frauen der späten Zeitstellung. Wiederum zeigen sich Parallelen zu den Ergebnissen hinsichtlich der Zahngesundheit. Im Gegensatz zu den Frauen verbesserte sich im Laufe der Zeit der Gesundheitszustand der Männer.

Für das Auftreten einer Arthrose sind laut Theiler (2002) folgende nach absteigender Relevanz aufgeführten Faktoren verantwortlich:

Alter, Geschlecht, genetische Disposition, Gelenktraumatisierung, Übergewicht, Fehlstellung, Dysplasien und entzündliche Erkrankungen. Gelenke, die am häufigsten betroffen sind, sind in der Regel Knie > Hüfte > Hand > Schulter > Fuß.

Die vorwiegend bäuerliche Altdorfer Bevölkerung weist am häufigsten Arthrosen an den Hüftgelenken auf, was vermutlich eine Folge von häufigem Tragen von Lasten darstellt und bei einer langjährigen Tätigkeit zu einer Coxarthrose führen kann (Croft et al. 1992). Eine Erklärung für die weniger stark von Arthrose betroffenen Männer des späten Zeithorizontes könnte auf den Wandel der Beschäftigung während der Industrialisierung hindeuten. Die an den Gelenken sichtbaren Belastungen sanken für Männer und stiegen für Frauen. Die Werte der Arthroseintensität, die die Ausprägung nicht berücksichtigt, verdeutlicht noch einmal, dass Frauen über die Zeit betrachtet eine deutliche Erhöhung der von Arthrose betroffenen Gelenke aufweisen, bei Männern hingegen nahezu kein Unterschied existiert. Die Arthroseintensität nach Altersgruppen und Belegungsphase betrachtet zeigt bei frühadulten und adulten Individuen eine starke Zunahmen der betroffenen Gelenke von früher zu später Phase, bei maturen und senilen Individuen ist die Anzahl der betroffenen Gelenke in beiden Zeithorizonten nahezu identisch. Die Arthrosefrequenz ist mit im Schnitt 80 % hoch. Es zeigt sich auch hier nach Geschlecht und Zeit differenziert, dass im zeitlichen Verlauf die Zahl der betroffenen Frauen zunahm, Männer aber auf hohem Niveau von fast 90% Betroffener verharrten. Betrachtet man die Untersuchung zur Korrelation unterschiedlicher Gelenke, fällt auf, dass der oft beschriebene Zusammenhang zwischen Coxarthrosen und Wirbeldegenerationen von Brust- und Lendenwirbel (Watt 2000, Dieppe und Kierwan 1994) hier nur bei der späten Population in beiden Geschlechtern nachgewiesen werden konnte. Ist diese Beobachtung womöglich eine Folge einer veränderten körperlichen Arbeitsweise? In der Literatur werden ferner Korrelationen zwischen Kniegelenkveränderungen und Handarthrosen beschrieben, was im vorliegenden Fall lediglich bei den präindustriellen Frauen für das rechte Knie und Handgelenke und für Männer der Übergangsphase vorsichtig bestätigt werden konnte. Zusätzlich finden sich Korrelationen auch für Hand-Hüfte und Hand-Knie.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Die Ursachen dafür können nicht ausschließlich im Bereich der unterschiedlichen Arbeitsbelastung gesucht werden, da weit mehr Faktoren für das Auftreten von degenerativen Gelenkerkrankungen ursächlich sein können. Die Einteilung in Arthrosegrade dient der wissenschaftlichen Vergleichbarkeit von Fortschrittsgraden zwischen den Skelettpopulationen und spiegelt nicht den Beschwerdegrad des Individuums wider.

Den am Knochen auftretenden Veränderungen gingen diverse pathologische Prozesse voraus, die auch ohne Knochenbeteiligung Beschwerden auslösten. Sichtbar am Knochen sind aber hauptsächlich die Reparaturversuche, wie bspw. die Osteophytenbildung zur Gelenkstabilisierung.

4.7 Auflagerungen und periostale Reaktionen

Das Periost

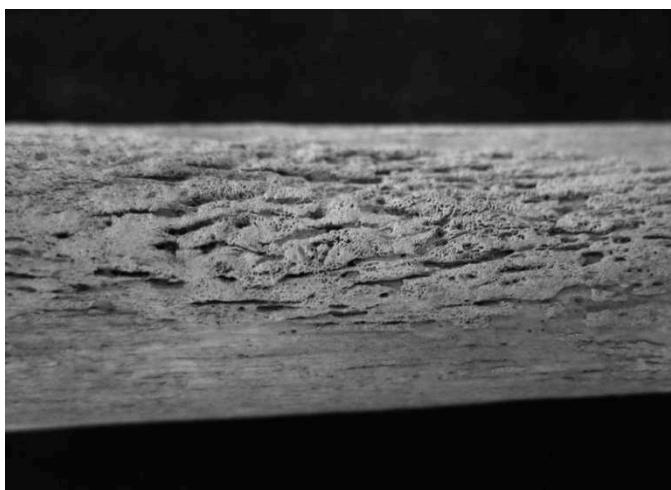


Abbildung 57: Periostale Auflagerungen an einer Tibiadiaphyse

Das Periost, die Knochenhaut, umgibt die Kompakta, sowie die Kortikalis und grenzt den Knochen von den umgebenden Weichteilen ab. Es besteht histologisch aus einer äußereren zellarmen fibrösen Lage und einer inneren zellreichen Kambiumschicht. Das inaktive Periost des Erwachsenen ist zellarm und überwiegend fibrös. Während des normalen kindlichen Wachstumsprozesses oder während einer Reaktion auf einen traumatischen oder tumorösen Reiz, kann das Periost dicker werden und die beiden Lagen

können histologisch deutlich abgrenzbar werden. Eine Aktivierung des Periosts führt zur Anlagerung unterschiedlicher morphologischer Ausprägungen von Knochen an die Kompakta (Erleman, 2005). Die unterschiedlichen Ausprägungen hängen von der Bildungsgeschwindigkeit in der Weise ab, als langsames Wachstum zu kompakten Knochenaufklagerungen führt. Ein schnellerer, in Schüben verlaufender Wachstumsprozess hingegen führt zu einer lamellären Struktur der Auflagerung, da nur in den Ruhephasen Zeit für die Bildung einer dünnen Knochenschicht vorhanden ist. Auf einen ununterbrochen schnellen Wachstumsprozess deuten gedehnte und ossifizierte Sharpey'sche Fasern hin. Sie haben im Normalfall die Aufgabe, das Periost mit dem kompakten Knochen zu verbinden. Sie bilden faserige, haarige Strukturen senkrecht zum Knochen aus, da bei dieser Art von Prozess keine Möglichkeit besteht, Knochen zu bilden (Regsdale et al. 1981). Diese Einteilung kann dabei helfen eine Aussage darüber zu machen, ob eine periostale Reaktion bösartig oder gutartig ist.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Beispiele für mögliche Ursachen von Auflagerungen mit kompakter Charakteristik nach Regsdale et al. (1981) sind beispielsweise Infektionen oder tiefe Venenthrombosen. Knochenauflagerungen können bei einer Reihe entzündlicher, metabolischer, hormoneller und systemischer Erkrankungen auftreten, aber auch durch Traumata hervorgerufen werden. Rana et al. (2009) weisen darauf hin, dass das bilaterale Auftreten von Periostitis eher auf eine systemische Erkrankung hinweist, das unilaterale hingegen auf lokal begrenzte Prozesse, wie Traumata oder Tumore. In Skelettserien aller Zeitstellungen können immer wieder Auflagerungen unterschiedlicher Ausprägung und Größe, vor allem an Langknochen der unteren Extremitäten, beobachtet werden. Das Vorkommen und die Lokalisation von Kompaktaauflagerungen der untersuchten Skelettserie sind in Tabelle 43 zusammengefasst.

Tabelle 43: Übersicht periostale Veränderungen

Bef.-Nr.	Zeitstellung	Alter	Seite	Geschlecht	Skelettelement
10	spät	Adult-x	L,R	unb.	Tibiae, Fibulae
19	spät	adult-matur	L	m	Femur
33	spät	infans II	L,R	m	Mandibula L, Ulnae
66	spät	adult-x	R	unb.	Fibula
67	spät	adult-x	L	w	Tibia, Fibula
71	spät	matur	L,R	w	Femura, Tibiae
72	spät	matur	L	w	Ulna, Fraktur
96	spät	adult	L,R	w	Femura, Tibiae, Fibula re. Rippen innen
98	spät	adult-x	-	w	Schädel, innen
132	früh	adult	L,R	w	Tibiae
136	früh	adult-matur	L,R	m	Humeri, Tibiae, Fibulae aktiv
141	früh	InfansII	-	w	Maxilla an Stelle der 2 Molaren
144	früh	adult-matur	L,R	w	Tibiae, Fibulae
150	früh	Infans II	-	m	Rippen innen
198	früh	senilis	L	w	Fibula
211	spät	juvenis	L,R	w	Tibiae
213	spät	adult	L,R	w	Tibiae, Fibulae
220	spät	senilis	L,R	m	Erste Rippen
232	spät	senilis	-	w	Stirnhöle links
236	spät	adult-x	-	unb.	Rippen
245	spät	adult	-	unb.	Processi condylari mandibulae
265	früh	matur	L,R	m	Tibae, Fibula
283	früh	adult	L,R	w	Femura
315	spät	senilis	L,R	m	Fibula li mit Verdickung, Tibiae
324	früh	senilis	L	w	Fibula
337	früh	adult	L	m	Tibia mit Verdickung
353	früh	matur	R	m	Fibula
369	früh	senilis	-	w	Acromion, Becken ventral u. dorsal, Femurhals li.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Für die folgenden statistischen Auswertungen sind hier nur Langknochen mit Auflagerungen einbezogen worden, um die Häufigkeit und zeitliche Veränderungen systemischer Erkrankungen der Altdorfer über die Zeit gesehen zu untersuchen. Dabei liegt das Augenmerk auf den bilateral auftretenden Auflagerungen der unteren Extremitätenknochen, welche, wie oben bereits erwähnt, Folge von Infektionen oder Venenerkrankungen sind. Von insgesamt 175 befundenen Individuen waren bei 111 Langknochen in einem für eine Untersuchung auf Periostitis ausreichendem Erhaltungsgrad vorhanden. Davon sind 57 Individuen der frühen und 54 der späten Zeitstellung zuzuordnen. Für die Untersuchung der Knochen wurde die folgende in dem Codebook von Steckel et.al. (2006) beschriebene Einteilung in sieben Ausprägungsstufen (Index 1/2/3/4/5/6/7) zugrunde gelegt.

Ausprägungsstufen der Periostitis aus dem Codebook (Steckel et al. 2006)

- 0 Knochen nicht vorhanden
- 1 Keine Periostitis
- 2 Merklich hervorgehobene Riefelung
- 3 Kleine separate betroffene Stellen auf weniger als $\frac{1}{4}$ der Knochenoberfläche
- 4 Periosteum mäßig betroffen, aber weniger als die Hälfte der Knochenoberfläche
- 5 Mehr als die Hälfte des Knochenschafts betroffen, fortgeschrittene Deformation
- 6 Osteomyelitis (Großteil des Knochenschafts ist betroffen; mit Öffnungen)
- 7 Osteoperiostitis verbunden mit einer Knochenfraktur

In Abb.58 findet sich ein Überblick über die absolute Häufigkeit der Individuen mit Periostitis der einzelnen Fortschrittsgrade für die unteren Extremitätenknochen. Dabei gibt es keinen Fall der Stufe sieben und lediglich einen Fall der Stufe sechs sowie bei nur zwei Individuen Fälle von Periostitis der Stufe 5.

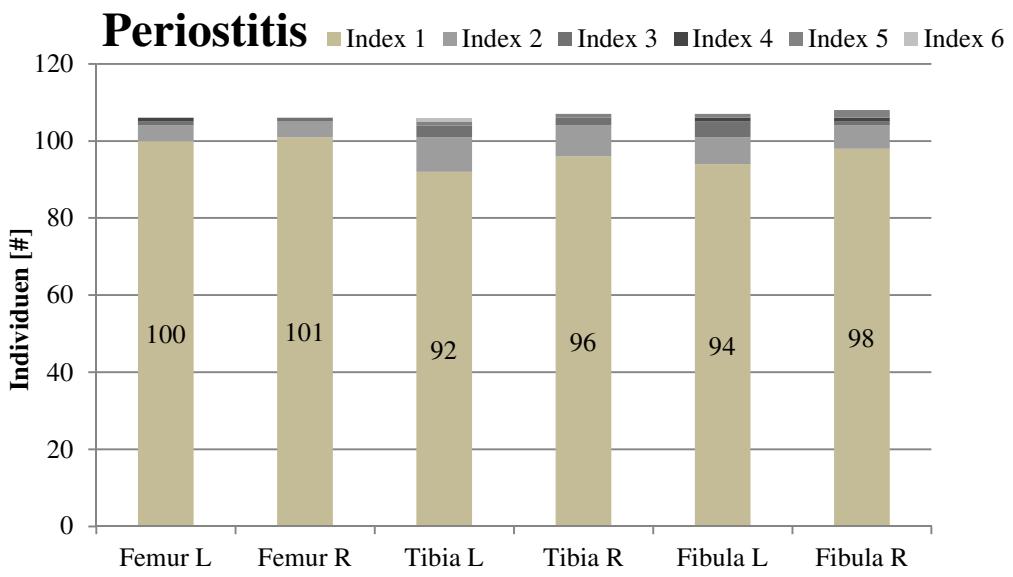


Abbildung 58: Absolute Häufigkeiten von Individuen mit Periostitis

4. Ergebnisse und Diskussionen

Da durchweg die bei Weitem überwiegende Anzahl der Knochen ohne Befund ist, werden in der folgenden Abb. 59 nur die Fälle dargestellt, in denen Periostitis festgestellt wurde.

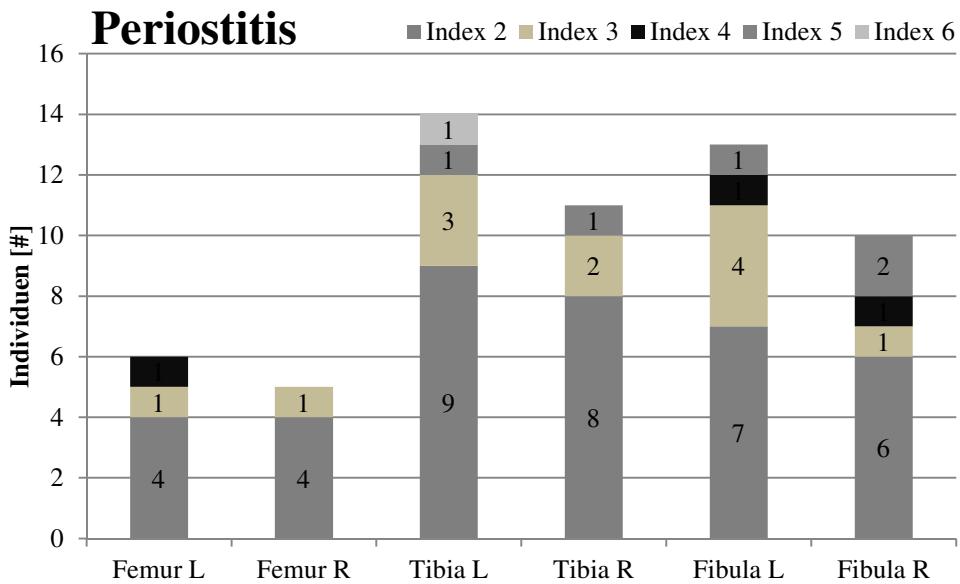


Abbildung 59: Absolute Häufigkeiten von Individuen mit Periostitis (nur Befunde)

Differenziert nach Zeitstellung und Geschlecht ergeben sich in relativer Form die im Folgenden in Abb.60 und 61 dargestellten Verteilungen.

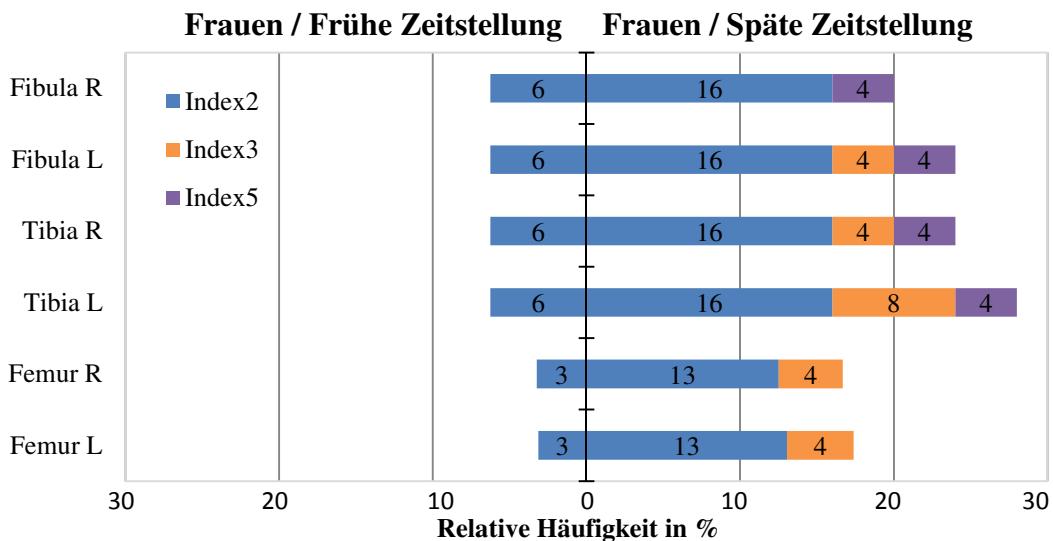


Abbildung 60: Periostitis bei weiblichen Individuen der frühen und späten Zeitstellung in Abhängigkeit des Ausprägungsgrades

4. Ergebnisse und Diskussionen

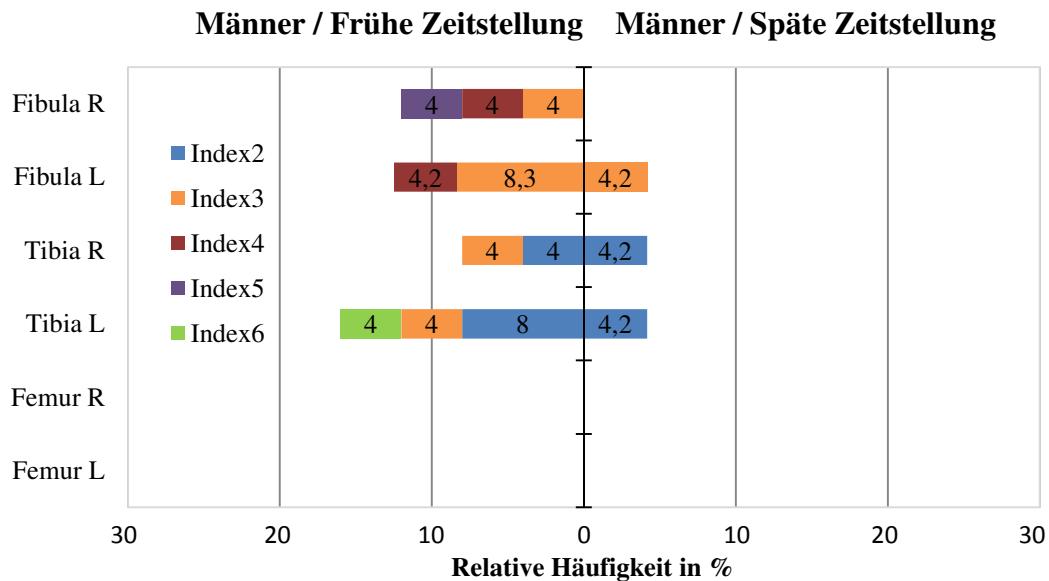


Abbildung 61: Periostitis bei männlichen Individuen der frühen und späten Zeitstellung in Abhängigkeit des Ausprägungsgrades

Sehr gut zu erkennen ist, dass eine Periostitis bei Frauen symmetrischer und schwächer im Ausprägungsgrad auftritt als bei Männern. Insgesamt fällt eine vergleichsweise geringe Häufigkeit von Krankheitsbildern auf. Aufschluss über mögliche Ursachen dieses Phänomens gibt wieder (wo bestimmbar) eine Betrachtung der Altersstruktur (Abb.62), d.h. eine Verteilung nach Altersklassen der hier auf Periostitis untersuchten Individuen.

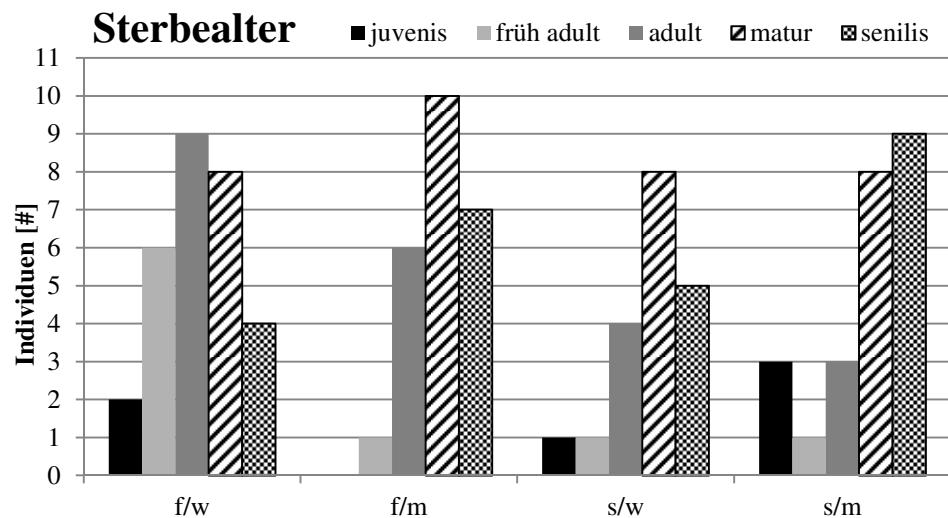


Abbildung 62: Sterbealterverteilung der auf Periostitis untersuchten Individuen

Hier fällt die vergleichsweise hohe Anzahl (59%) weiblicher Individuen der frühen Zeitstellung in den Altersklassen juvenis-adult auf.

4. Ergebnisse und Diskussionen

4.7.1 Periostitisintensität

Analog zur oben besprochenen Karies- und Arthroseintensität kann auch für Periostitis ein entsprechender Wert als

Periostitisintensität = Σ von Periostitis betroffene Knochen / Σ befundete Knochen

unabhängig von der jeweiligen Ausprägungsstufe der Periostitis definiert und untersucht werden. Eine entsprechende Übersicht über die Werte dieser Indikatorgröße findet sich in Tab.44.

Tabelle 44: Überblick Periostitisintensität in %

Frühe P. weiblich	Späte P. weiblich	Frühe P. männlich	Späte P. männlich	Frühe P. gesamt	Späte P. gesamt	W	M	Ges.
5,2	21,8	8,1	2,7	6,5	12,3	12,4	5,4	9,2

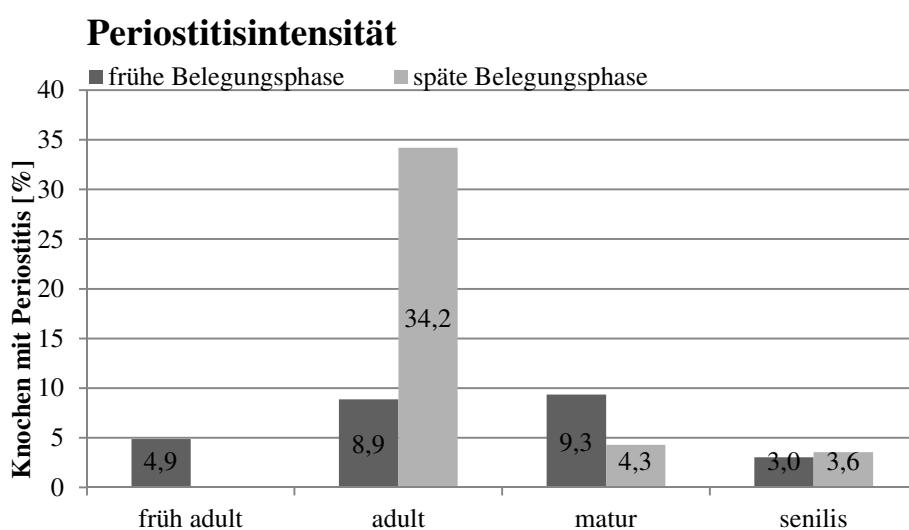


Abbildung 63: Verteilung der Periostitisfrequenz auf die Altersklassen

Ein χ^2 -Test unter der Nullhypothese, dass die Verteilung auf Altersklassen gleich (bzw. ähnlich) ist, ergibt einen hochsignifikanten Unterschied (Signifikanzniveau bei 0,02%) hinsichtlich der Zeitstellung, berücksichtigt dabei aber nicht einen eventuell vorhandenen Einfluss des Geschlechts. Dementsprechend liefert ein parallel durchgeführter Kruskal-Wallis Test auf die Nullhypothese, dass die beiden Stichproben gleiche Mediane (das entspricht einer Varianzanalyse für ordinale Daten) besitzen, eine Wahrscheinlichkeit von 56,4%, ergibt also keine weitere Indikation, dass die Zeitstellung Einfluss auf die Häufigkeit des Auftretens von Periostitis hat. Ein χ^2 -Test für eine Unterscheidung nach Geschlecht ergibt unabhängig von der Zeitstellung keinen signifikanten (Signifikanzniveau = 31.1%) Unterschied in Bezug auf das Geschlecht. Demzufolge ist es nicht notwendig, für die Unterscheidung der Periostitisintensität hinsichtlich Zeitstellung auch nach Geschlecht zu differenzieren.

4.7.2 Periostitisfrequenz

In ähnlicher Weise kann analog zur oben beschriebenen Karies- und Arthrosefrequenz auch ein entsprechender Wert als

Periostitisfrequenz = Σ Individuen mit Periostitis / Σ Individuen mit vorhandenen Knochen definiert und untersucht werden. Eine entsprechende Übersicht über die Werte dieser Indikatorgröße findet sich in Tab. 45.

Tabelle 45: Überblick Periostitisfrequenz in %

Frühe P. weiblich	Späte P. weiblich	Frühe P. männlich	Späte P. männlich	Frühe P. gesamt	Späte P. gesamt	W	M	Ges.
15,6	26,9	20,0	8,0	17,5	18,5	20,7	14,0	18,0

Ursachen einer bilateral auftretenden Periostitis an den unteren Extremitäten entstehen laut Rana et al. (2009) unter anderem aufgrund von venöser Stase, also des verlangsamten Blutflusses in den Beinen, hervorgerufen durch stehende Tätigkeiten aber auch durch Schwangerschaften, welche den Druck in den Gefäßen und auf das Periost erhöhen können. Diese können Knochenneubildungen zur Folge haben. Bei einseitigem Auftreten und starker Ausprägung sind Traumata mögliche Ursachen. Es ist davon auszugehen, dass aufgrund der hohen Anzahl an bilateral auftretenden, der Morphologie nach zu beurteilen nicht aggressiven Knochenneubildungen bei Frauen adulten Alters und die Lokalisation an den Tibiae und Fibulae mit sträniger, welliger Struktur, es sich in diesen Fällen um die Folgen chronischer Überbelastung der Venen durch langes Stehen handeln könnte. Das gehäufte Auftreten in der Altersgruppe adult, kann dadurch erklärt werden, dass während dieses Lebensabschnittes die meisten Frauen die höchste körperliche Belastung durch die tägliche Arbeit, Haushaltstätigkeit, sowie ggf. zusätzlich auch durch Schwangerschaften erfahren.

4.8 Zusammenfassende Betrachtung des Gesundheitszustand der Altdorfer Bevölkerung und Entwicklungstendenzen im Laufe Zeit

Mit dem Ziel, einen Überblick über die Veränderung der allgemeinen Lebensumstände zu erhalten, sind in der folgenden Übersicht (Abb.64) die relativen Veränderungen einiger wesentlicher Gesundheitsindikatoren von früher zu später Zeitstellung dargestellt. Um eine Vergleichbarkeit der einzelnen Indikatorgrößen zu gewährleisten, wurden zum einen die jeweils der späten Zeitstellung entsprechenden Werte auf diejenigen für die frühe Zeitstellung bezogen, d.h. ein Wert über 1 (100%) entspricht einer Erhöhung über die Zeit, ein Wert unter 1 (100%) einer Verringerung. Zum anderen wurden die ursprünglichen Indikatoren, wo notwendig, so verändert, dass eine Vergrößerung bzw. Erhöhung auch immer einem "Vorteil" bzw. einer Verbesserung entspricht. D.h. alle Punkte mit einem Wert über 1 (100%) weisen auf eine mögliche Verbesserung der Lebensumstände hin. So wird z.B. statt des ursprünglichen Wertes für die Kariesintensität die komplementäre Größe 100%-Kariesintensität (die statt des Kariesbefalls den Anteil der nichtkariösen Zähne anzeigt) dargestellt. Eine Erhöhung dieses Wertes entspricht also einer Verbesserung des Zahnstatus von früher zu später Zeitstellung. Analog wurde für die Indikatoren, Arthroseintensität, Robustizität von Femur und Humerus und die Periostitisintensität verfahren.

4. Ergebnisse und Diskussionen

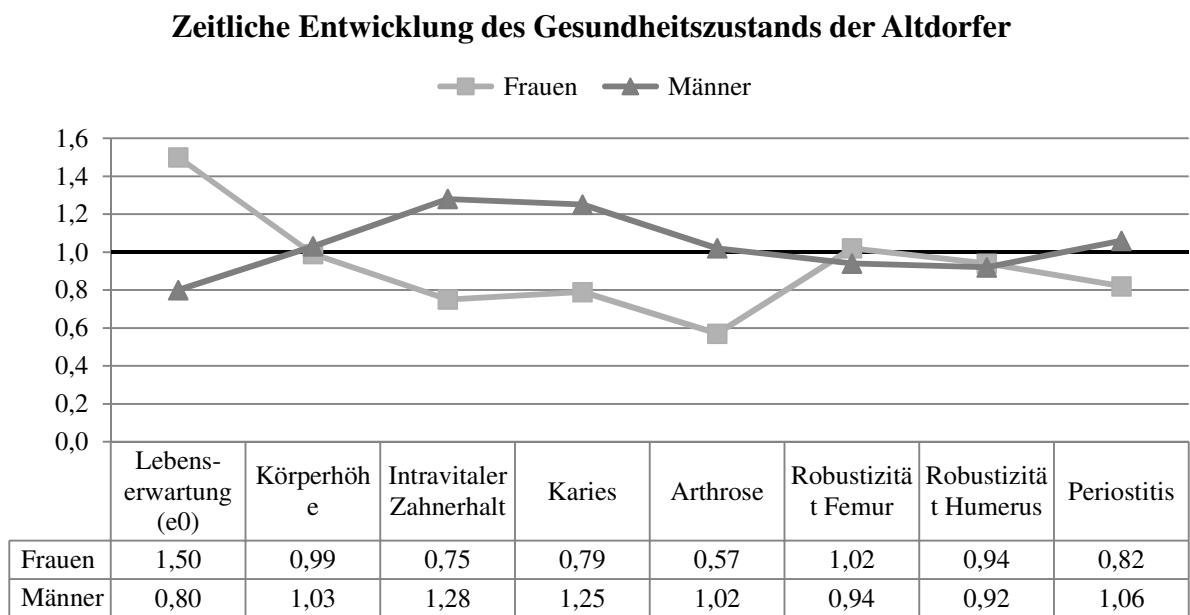


Abbildung 64: Zusammenfassung Gesundheitszustand

Zunächst ist deutlich zu erkennen, dass Frauen, mit Ausnahme der Lebenserwartung zum Zeitpunkt der Geburt, immer deutlich negativere oder unveränderte Entwicklungen zeigen. Für Männer hingegen zeigen sich kaum Veränderungen, mit Ausnahme der Zahngesundheit. Divergierende Entwicklungen zwischen Männern und Frauen zeigen sich vor allem in der Zahngesundheit. Frauen wiesen im Laufe der Zeit deutlich häufiger Karies und Zahnverluste auf. Bei Männern verringerten sich die Zahnpathologien deutlich. Für Frauen nahm die Arthrose- und tendenziell die Periostitishäufigkeit zu, welche bei Männern nahezu unverändert blieb. Sehr vorsichtig könnte hier auf eine intensivere körperliche Beanspruchung geschlossen werden. Zusammen mit der vornehmlich parallel und etwas häufiger auftretenden Periostitis der Frauen kann auf vermehrt Venenentzündungen hervorrufende Tätigkeiten geschlossen werden, wie sie durch mit langem Stehen verbundene Tätigkeiten entstehen können. Deshalb lässt sich zusammenfassend sagen, dass sich zwar die Lebenserwartung für Frauen erhöhte, die Lebensbedingungen aber eher, auch im Vergleich zu den Männern, verschlechterten. Die niedrige Lebenserwartung der Frauen und insbesondere die der jungen Frauen in der frühen Periode Altdorfs lässt sich zum einen auf das Risiko einer Schwangerschaft und Geburt mit der Gefahr des Kindbettfiebers erklären, aber auch mit der in der Einleitung erwähnten Veränderung in der Landwirtschaft durch die Einführung der Zuckerrübe und die damit verbundene zugenommene Arbeitsbelastung der Frauen. Denn der verstärkte Anbau der Zuckerrübe führte zu verlängerten Arbeitsperioden sowohl im Frühjahr, als auch Herbst, in denen Frauen setzten, von Hand vereinzelten und ernteten. Dadurch wurden sowohl die Schwangeren und Mütter mit Säuglingen gefährdet (Imhof 1975). Die medizinischen Kenntnisse der Ärzte insbesondere über die Behandlung von Infektionskrankheiten waren noch nicht weit fortgeschritten. Zwar wurden Ende des 18. und bis Mitte des 19. Jahrhunderts eine Reihe von pharmazeutisch wirksamen Mitteln entwickelt, bspw. Digitalis gegen Herzleiden, Jod zur Desinfektion und Chinin aus der Chinarinde gegen Fieber, diese wurden aber aufgrund der fehlenden Kenntnisse der Wirkungsweisen oft falsch angewendet.

Zusätzlich war die Akzeptanz von studierten Ärzten vor allem in der ländlichen Bevölkerung gering und der Zugang zu diesen eher den oberen Schichten, auch aus Kostengründen, vorbehalten. So kann man davon ausgehen, dass die Altdorfer in der präindustriellen Phase Ärzte selten konsultierten und in der späten Phase sich dahingehend wenig änderte. Vielmehr griff man wie gewohnt auf die Erfahrung der Eltern und Großeltern, aber auch Hebammen und für chirurgische Eingriffe auf Barbiere und Bader zurück, die im Verhältnis zu den ausgebildeten Ärzten auch auf dem Land praktizierten. (Huerkamp 1985, Stolberg 1993) Die höhere Lebenserwartung der Frauen in der späten Phase Altdorfs lässt sich also nicht zwingend auf eine bessere Versorgung dieser zurückführen, sondern war vermutlich eine Folge des höheren Hygienebewusstseins.

4.9 Ausgewählte palaeopathologische Fälle

4.9.1 Rachitis

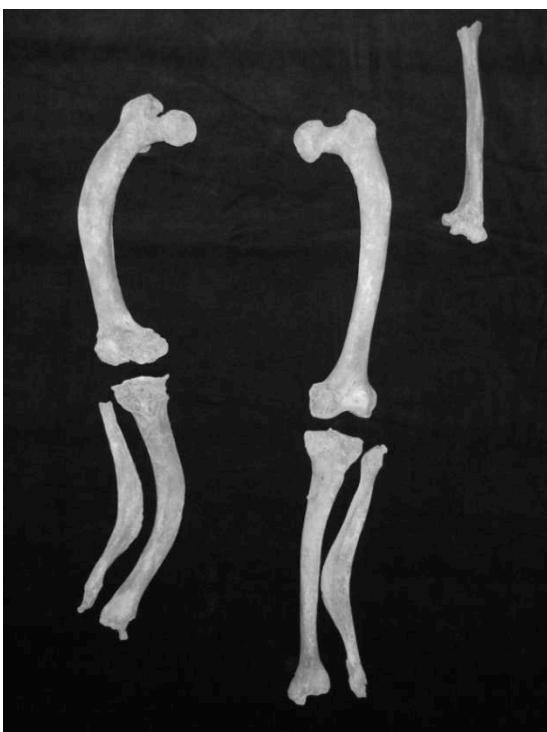


Abbildung 65: Bef. 38, weibliches Individuum mit rachitisch verbogenen Extremitäten

Geringe Knochendichte und die Deformationen der Knochen sind die Folgen einer häufig durch Mangel an Vitamin D bedingten Störung des Calcium- und Phosphatstoffwechsels, welche zu ungenügender Mineralisierung des Knochengewebes und Störung der Ossifikation führt (Mankin 1974). Diese und andere Störungen des Mineralstoffwechsels können erworben oder angeboren sein. Osteomalazie im Erwachsenenalter entspricht in ihrer Ausprägung der Rachitis im Kindesalter, wobei gegenüber letzterer wachstumsbedingte Formveränderungen am Knochen fehlen. Neben den Störungen des Mineralisationsvorganges an den Umbaustellen und an periostalen bzw. endostalen Appositionsstellen, treten bei der Rachitis auch Störungen der Mineralisation der enchondralen Knochenneubildung an der Wachstumsfuge auf, was zu deformiertem Knochenwachstum und den bekannten Manifestationen der Rachitis führt. Bei

einer lange bestehenden Osteomalazie finden sich auch Stressfrakturen, die im Röntgenbild als „Looser'sche Umbauzonen“ an typischen Stellen wie an den Calcanei, Ramus pubis des Beckenrings, den Rippen und an den Metaphysen des Femurs auftreten können (Bernecker 2004). Ursache des Vitamin D-Mangels kann beispielsweise eine zu geringe UV-Exposition der Haut sein. Denn in den Zellen der Epidermis wird die UV-B-Strahlung von dem Steroid 7-Dehydrocholesterol absorbiert und in das Provitamin D konvertiert, welches unter Einfluss der Körpertemperatur in Vitamin D3 umgewandelt wird. Dieses wird an das Vitamin D-bindende Protein gebunden und über das Blut in Leber und Niere transportiert, wo jeweils Hydroxylierungen zu einem aktiven Vitamin D3 führen (Grupe et al. 2012). Weitere Ursachen können unzureichende Ernährung, Leber- und Nierenfunktionsstörungen, aber auch genetisch bedingte Stoffwechselerkrankungen sein (Bernecker 2004).

4. Ergebnisse und Diskussionen

Mangelernährung und die erwähnte geringe UV-Exposition der Haut waren die Hauptursachen der endemisch auftretenden Rachitis und Osteomalazie in den industrialisierten Teilen Europas während des 18. und 19. Jahrhunderts (siehe auch Brickley et al. 2007). In der vorliegenden Skelettserie konnte eine Rachitis an 6 Individuen diagnostiziert werden. Davon waren 2 nicht erwachsene Individuen der Altersklasse Infans I betroffen, die der frühen Zeitstellung zuzuordnen sind. Die als weiblich bestimmten erwachsenen Individuen gehörten, mit Ausnahme des frühadulten Individuums mit der Bef. – Nr. 38, das starke Deformationen der unteren Extremitäten aufwies, der späteren Zeitstellung an (siehe auch Grigat 2008).

4.9.2 Subperiostales Hämatom

Durch stumpfe Prellung des Knochens kann ein subperiostales Hämatom entstehen, welches eine lokale Abhebung des Periosts bewirkt. Insbesondere die langen Röhrenknochen der Extremitäten sind häufig betroffen, vor allem jene Anteile des Knochens die oberflächlich liegen. Als Folge eines traumatischen Ereignisses hebt sich eine Einzellamelle von der Kompakta ab. Nach drei Wochen mineralisiert die Einzellamelle. In der Regel wird diese im weiteren Verlauf resorbiert. Es kann aber auch zu Verdickung der Kompakta kommen. Das Skelett eines weiblichen ca. 20-25 Jahre alten Individuums weist an der rechten mittleren Femurdiaphyse leicht distal eine knöcherne Erhebung von etwa 8 cm Länge auf. Die Oberfläche ist glatt und farblich dem übrigen Knochen angeglichen (Abb.66). Die Röntgenaufnahmen zeigen keine Veränderung der Kortikalis (Abb.66), so dass anzunehmen ist, dass ausgehend vom Periost, durch eine Verletzung mit Einblutung unter die Knochenhaut, eine Knochenneubildung stattfand. Zurück blieb in diesem Fall ein ossifiziertes subperiostales Hämatom (Mann und Hunt 2005).



Abbildung 66: Bef. 69 mit einem ossifizierten subperiostalen Hämatom

4.9.3 Patellafraktur

Aus biomechanischer Sicht spielt die Patella eine wichtige Rolle für die Funktion des Kniegelenks. Durch die Gleitfähigkeit und ihre enge Bindung zu den Sehnen der einzelnen Quadrizepsköpfe ist sie ein wichtiger Kraftüberträger auf den Unterschenkel. Über das Femoropatellargelenk werden große Kräfte, z. T. bis zum 7-fachen des Körpergewichts (Kapandji 1985) auf die Tibia übertragen. Die retropatellare Knorpelschicht ist die dickste im ganzen Körper; nach Kapandji (1985) beträgt sie 4–5 mm. Auf diese Weise wird bei Kniestreckung der Kraftarm verlängert und die Kraft für die Endstreckung um bis zu 60% gesteigert. Verletzungen am Kniegelenk und insbesondere der Patella führen deshalb zu langwierigen (Dauer der Ausheilung im Schnitt 4 Jahre) und erheblichen Einschränkungen in der Fähigkeit der Fortbewegung. Frakturen an der Patella sind laut Helferich 1914 am häufigsten bei erwachsenen Männern bis 50 Jahren zu beobachten. Sie haben einen Anteil von 1,4 % an sämtlichen Frakturen.

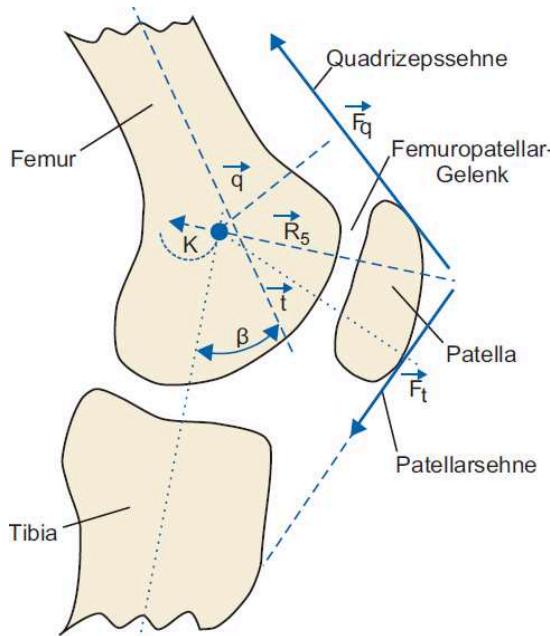


Abbildung 67: Druckverteilung am Kniegelenk nach Hofmann 1992

Durch Sturz beispielsweise auf eine scharfe Kante mit angewinkeltem Knie kann es zu Längs- und Querbrüchen kommen. Der Querbruch der rechten Patella eines maturen Mannes deutet eben auf solch ein Ereignis hin. Die Fraktur ist verheilt, wobei es zu einem Anbau von Knochenmaterial im Frakturbereich gekommen ist, was insgesamt zu einer Vergrößerung der Patella um ca. 1,5 cm führte.



Abbildung 68: Bef.-Nr. 276 Patella von ventral (li.) und dorsal (re.)

4.9.4 Schussverletzung

Bei der Untersuchung des Skeletts eines 60-70 Jahre alten männlichen Individuums konnte auf der dorsalen Seite des rechten Os illium und an der Crista illiaca derselben Seite jeweils ein eingewachsener linsengroßer Fremdkörper festgestellt werden (Abb. 69). Dabei handelt es sich um metallisch glänzende dunkelgraue unförmige Teilchen. Die Vermutung lag nahe, dass es sich um Munitionsgeschosse handelt. Bei einer freundlicherweise vom Zentrallabor des bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege durchgeführten Röntgenfluoreszenzanalyse konnte ein hoher Bleigehalt der eingedrungenen Objekte festgestellt werden, was die Identifizierung als Munitionsgeschosse bestätigt. Eine entzündliche Reaktion des knöchernen Umfelds nach Eindringen der Fremdkörper konnte nicht beobachtet werden. Es ist davon auszugehen, dass es sich hierbei um eine sehr gut verheilte Schussverletzung handelt. Das Individuum wurde offensichtlich von hinten in Gesäßhöhe angeschossen.



Abbildung 69: Zwei von Knochen teilweise eingeschlossene bleihaltige Fremdkörper am rechten Os illiums (linkes Foto) und an der Crista illiaca (rechtes Foto) eines männlichen Individuums.

4.9.5 Polytrauma

Die senile Frau mit der Bef. Nummer 4 wies parallel verlaufende, kurz vor dem Tod entstandene Frakturen der Schulterblätter auf. Scapula- frakturen sind sehr selten, da das Schulterblatt durch Muskulatur gut vor direkter und indirekter Gewalt geschützt ist. Da es

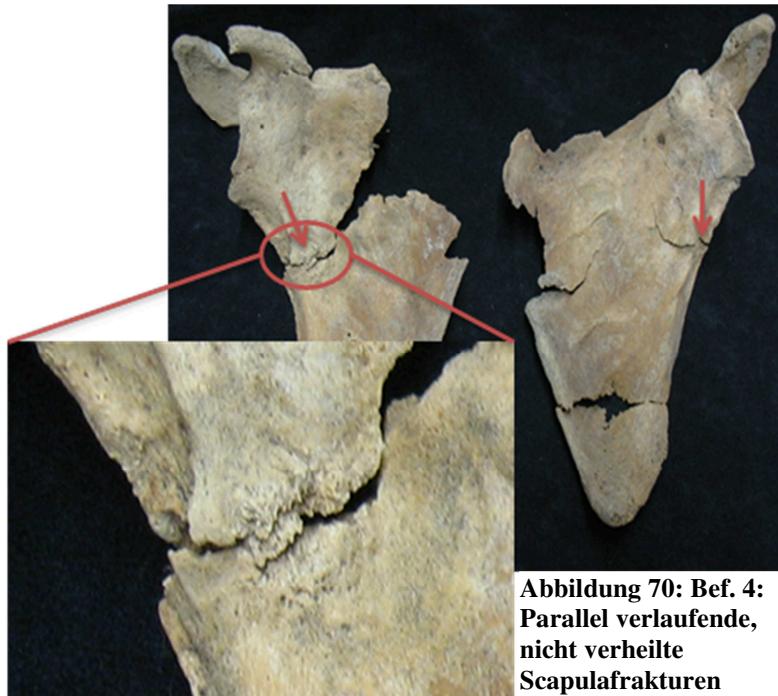


Abbildung 70: Bef. 4:
Parallel verlaufende,
nicht verheilte
Scapulafrakturen

sich hier aber um eine relativ alte Frau handelt, die unter Osteoporose litt und vermutlich keine ausgeprägte und schützende Muskulatur aufwies, sind derartige Folgen durch einen Sturz auf den Rücken durchaus denkbar. Unter normalen körperlichen Umständen sind diese Verletzungen Folgen sehr massiver Gewalt auf den Oberkörper. Verletzungen dieser Art kommen heute bei Unfällen mit dem PKW, Fahrrad oder Pferd vor. (Wich und Turan 2010). Ferner

konnten an insgesamt 10 Rippen verheilte und unverheilte Frakturen festgestellt werden. Davon waren 6 verheilte Frakturen an 6 Rippen der linken Seite zu erkennen. Diese Verletzungen waren vermutlich gleichzeitig entstanden, da die Kallusbildung an allen betroffenen Stellen das gleiche Stadium aufweist und die Lage der Frakturen ungefähr an der jeweiligen gleichen Position und untereinander lokalisiert ist. Dies lässt auf eine Serienfraktur schließen. Eine Rippe der rechten Körperseite wies ebenfalls eine verheilte Fraktur auf, die Frakturen von 3 weiteren Rippen zeigen Anzeichen eines beginnenden Heilungsprozesses. Die Fragmente liegen aber noch getrennt vor.

4. Ergebnisse und Diskussionen



Abbildung 71: Porotische Hyperostose an den Ossa parietale, mit stellenweiser Auflösung der Tabula externa

Ferner zeigte der Schädel im Bereich des Os parietale (Abb.71) des Hinterhauptes eine ausgeprägte porotische Hyperostose. Der beide Parietale betreffende Bereich ist klar abgegrenzt und erstreckt sich über ca. 10 cm im Durchmesser. Zum Teil sind Auflösungserscheinungen der Tabula externa sichtbar. Ursache für die Bildung dieser Struktur ist eine lang anhaltende Mangelerkrankung, wie sie auch bei der Cibra orbitalia auftritt (Grupe 1995). Die porösen, löcherigen Strukturen entstehen durch eine gesteigerte Aktivität des roten Knochenmarks, weil mehr Erythrozyten erforderlich sind und sich das erythropoietische System in der Diploë des Schädelns befindet. Diese Hyperaktivität des roten Knochenmarks übt Druck auf das Schädeldach aus und perforiert dieses. Dieser chronisch-anämische Zustand kann genetisch oder ernährungsbedingt (durch Eisen- oder Folsäuremangel) sein. Als mögliche Ursachen werden auch genannt: Thalassämie, eine genetisch bedingte Krankheit, die unterschiedliche Defekte der Hämoglobinstruktur zur Folge hat, Rachitis, oder auch Parasitenbefall (Angel 1967, Walker et al. 2009). Unter Berücksichtigung aller vorhandenen Symptome am Skelett könnte daraus auf eine Anämie durch Niereninsuffizienz, die die häufigste Ursache für Anämien im Alter darstellt, geschlossen werden. Passend zu diesem Befund sind die sehr leichten und porösen Skelettelemente welche auf eine Osteoporose hindeuten, die ebenfalls auf eine Niereninsuffizienz zurückgeführt werden könnte.

4.10 Anatomische Varianten oder Discreta

Discreta oder discrete traits sind kleinräumige, diskontinuierliche, variierende, morphologische Merkmale am Skelett. Einige Discreta sind genetisch bedingt und können zum Teil als ein Kriterium zur Identifikation von Verwandtschaft genutzt werden (Herrmann et al. 1990), andere entstehen durch äußere Einflüsse oder können auf Krankheiten hinweisen. Discreta an sich führen nicht zu Beschwerden und haben keine klinische Relevanz.

4.10.1 Metopismus

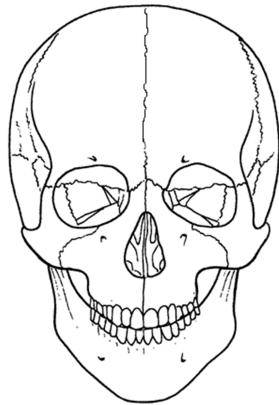


Abbildung 72: Sutura Metopica

Die Sutura frontalis befindet sich am Frontale und erstreckt sich vom Bregma zum Nasion und teilt es in zwei Hälften. Normalerweise verknöchert diese Naht zwischen dem 2. u. 8. Lebensjahr vollständig (Reiche 2003). Bei Fortbestehen einer offenen Naht wird sie als „Sutura frontale persistens“ oder „Sutura metopica“ bezeichnet. Schollmeyer (1964) vermutet eine Erblichkeit des Merkmals. Diese Variante hat in der Regel keine klinische Relevanz und ist in der europäischen Gesamtbevölkerung relativ selten vertreten (4-7% nach Angaben von Spalteholz 1939 in Schollmeyer 1965). Von 175 vorhandenen Individuen standen 82 Schädel für eine Betrachtung der Sutura metopica zur Verfügung. Dabei wurden die Altersklassen neonat und Infans I aus der

Betrachtung ausgeschlossen, da die Sutura frontalis in diesen Altersklassen ohnehin noch nicht mit Sicherheit verstrichen ist. Es traten insgesamt 9 Fälle auf (Tab. 46), davon waren 4 männlichen, und 4 weiblichen Geschlechts. Ein Individuum konnte keinem Geschlecht zugeordnet werden. Diese Variante tritt mit 11% vergleichsweise häufig auf.

Tabelle 46

Bef.	Zeit	Alter	Geschl.
63	spät	25-50	m
132	früh	25-35	w
158	früh	adult	m
189	früh	50-60	m
195	früh	30-40	n. b.
283	früh	20-25	w
323	früh	25-35	w
343	früh	adult	w
349	früh	60-70	m

4. Ergebnisse und Diskussionen

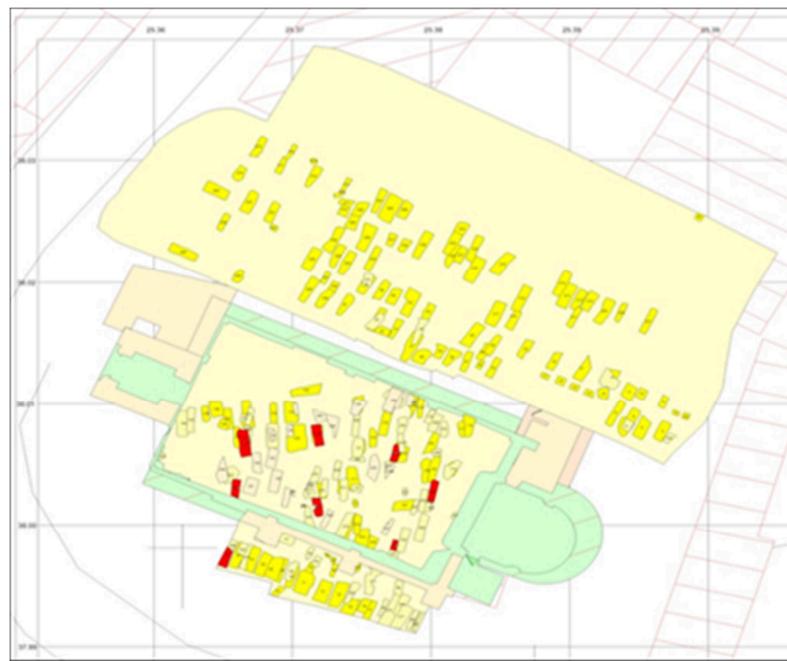


Abbildung 73: Lage der Skelette mit einer Sutura Metopica (rot markiert).

Es fällt auf, dass 8 Skelette aus der früheren Belegungsphase des Kirchhofes stammen und nur eines aus der späteren Phase, zudem liegt die Häufigkeit des Vorkommens deutlich höher als in der Literatur beschrieben. Obwohl die 8 frühen Gräber nicht unmittelbar beieinander lagen, könnte trotzdem von einer Verwandtschaft ausgegangen werden, denn Geschwister bspw. werden in der Regel zusammen mit den jeweiligen Ehepartnern bestattet und nicht mit den eigenen Eltern. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte könnte vorsichtig auf eine Verwandtschaft der betroffenen Individuen und damit auf eine Erblichkeit der Sutura metopica geschlossen werden.

4.10.2 Worm'sche Knochen

Worm'sche Knochen oder auch Schaltknochen des Schädels sind akzessorische Knochen, die an den Schädelnähten in diverser Ausprägung auftreten können und ebenfalls keine klinische Relevanz haben. 17% der Gesamtbevölkerung zeigen

diese Variante, wobei eine Altersabhängigkeit beobachtet wird, und Männer häufiger betroffen sind als Frauen (Sanchez-Lara et al. 2007). Das Auftreten dieses Merkmals ist auf ein Zusammenspiel von genetischer Disposition und äußeren Kräften zurückzuführen.

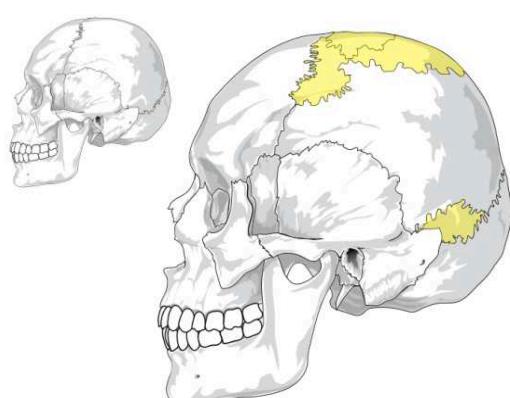


Abbildung 74: Worm'sche Knochen gelb markiert
http://de.wikipedia.org/wiki/Wormsche_Knochen

Bef.	Zeit	Alter	Geschl.
164	früh	21-24	m
189	früh	matur	w
207	spät	18-20	m
229	spät	17-20	m
265	früh	matur	m
293	früh	adult	n. b.
343	früh	adult	w

Tabelle 47: Vorkommen Worm'sche Knochen

4. Ergebnisse und Diskussionen

Sanchez-Lara et al. (2007) kommen zu dem Schluss, dass Worm'sche Knochen aufgrund von mechanischen Kräften entstehen, die die Suturen auseinanderdriften lassen und dadurch dauerhafte intracraniale Drucksteigerung auf die Schädelnähte und Fontanellen ausüben. Ferner können mehrere Krankheiten damit assoziiert sein. Sanchez-Lara et al. (2007) konnten bspw. Osteogenesis imperfecta, oder, im Falle von zahlreich auftretenden Schaltknochen, auch Störungen des Zentralnervensystems beobachten, die mit dem Auftreten von Worm'schen Knochen assoziiert waren. Diese hier beschriebene Variante wurde an Altdorfer Schädelkalotten untersucht, die zu 80-100% erhalten waren. 50 Schädel konnten in die Untersuchung einbezogen werden. 7 Fälle konnten beobachtet werden. Davon waren 4 männliche und 2 weibliche Individuen betroffen und 1 mit unbestimmtem Geschlecht. Zwei stammen aus der späten Belegungsphase, 5 aus der frühen. Drei männliche Individuen, die der früh adulten Altersklasse angehören, fielen in diesem Zusammenhang besonders auf. Mindestens 14% wiesen Worm'sche Knochen auf, was sich sehr gut mit dem Wert für das Vorkommen in der Gesamtbevölkerung von 17 % deckt. Der Schädel eines maturen Mannes des frühen Zeithorizontes mit der Befundnummer 189 weist eine Sutura metopica und zudem mehrere Worm'sche Knochen auf. Zwei parallel verlaufende akzessorische Nahtknochen befinden sich an der Sutura lamdoidea und ferner zeigt sich ein asymmetrisch gelegenes Bregma.

4.10.3 Foramen supratrochleare

Das Foramen supratrochleare ist eine Variante, die am distalen Humerusgelenk auftritt. Es bezeichnet ein nicht vollständig verwachsenes Septum oberhalb des Ellenbogengelenks im Bereich der Fossa olecranon. Diese Variante kommt bei Frauen häufiger vor als bei Männern und ist linksseitig gehäuft. (Hirsh 1927). Von 163 untersuchten Humeri konnten an

7 Humeri Foramina festgestellt werden. Die relative Häufigkeit des Auftretens beträgt in der Altdorfer Population somit 4,2%, oder anders ausgedrückt waren von 93 auf diese Variante hin untersuchte Individuen nur 5 betroffen.

Tabelle 48: Vorkommen Foramen supratrochleare

Bef.	Zeit	Alter	Seite	Geschl.
72	spät	matur	1	w
76	spät	senilis	r, l	m
97	spät	n.b.	1	n.b.
267	früh	adult	r, l	w
328	früh	adult	1	w



Abbildung 75: linker Humerus anterior, distal, mit Foramen

4.11 Isotopenmessung

4.11.1 Herkunftsanalysen über stabile Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopen aus dem Karbonat des Knochens und Zahnschmelzes

Von insgesamt 43 Individuen, davon 20 aus der Zeit des demographischen Übergangs und 23 aus der präindustriellen Zeit, wurden Sauerstoff- ($\delta^{18}\text{O}$) sowie Kohlenstoffisotope ($\delta^{13}\text{C}$) aus dem Karbonat gemessen, um die Veränderungen von Mobilität und das Einzugsgebiet der Altdorfer zu detektieren. Die Messungen erfolgten zum einen basierend auf Knochenmaterial (bei allen 43 Individuen) und zum anderen aus dem Zahnschmelz der ersten Molaren von 26 der 43 Individuen, davon 10 aus der Zeit des demographischen Übergangs und 16 der präindustriellen Zeitstellung. Ferner wurden Messungen an Knochen von 3 Tieren vorgenommen.

Die Qualität des Karbonats wird über die Quantität des extrahierbaren Karbonats, d.h. über die Gewichtsprozente an Karbonat bestimmt und sollte im Bereich des natürlichen Gehalts an Karbonat des jeweiligen Materials liegen. Die Gewichtsprozente des Zahnschmelzes liegen zwischen 42 und 81 Gew. % mit im Durchschnitt 69 Gew. %. Der natürliche Gehalt an Karbonat beträgt zwischen 93 und 98 Gew. % (Hillson 1996). Die Gewichtsprozente des extrahierten Karbonates aus Knochen lagen zwischen 34 und 64 Gew %, bei einem Mittelwert von 49 Gew. % bei einem natürlichen Gehalt von 70% (Ambrose 1993).

Die Ergebnisse der auf den PDB-Standard gemessenen Proben, sowie die in V-SMOW-Werte für Trinkwasser umgerechneten Werte sind in folgender Tabelle aufgelistet.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Tabelle 49: Gemessene Karbonatproben aus Knochen

Knochen											
Bef.-Nr	Probe	a	Zeitstel	Altersklasse	Geschl.	Einw.	Ausb.	$\delta^{13}\text{C} (\text{‰})$ Carbonat/K	$\delta^{18}\text{O} (\text{‰})$ Carbonat/K	$\delta^{18}\text{O} (\text{‰})$ Carbonat/K vs.V-SMOW nach Coplen 1988	
						Kn/mg	Kn/mg	Gew.%	vs. PDB		
1	rib	m	adult	w	101,1	46,2	45,7	-14,8	-9,7	20,9	-15,4
8	rib	m	früh adult	m	104,0	55,9	53,8	-14,2	-7,4	23,3	-11,6
37	rib	m			104,4	42,2	40,4	-15,1	-10,3	20,3	-16,3
15	rib	m	matur-senilis	m	101,5	48,6	47,9	-14,4	-9,7	20,9	-15,4
21	rib	m	senilis	m	104,7	41,9	40,0	-15,2	-7,7	21,3	-12,1
63	rib	m	matur	m	109,9	49,3	44,9	-16,4	-9,3	21,9	-14,7
64	rib	m	senilis	m	103,1	46,8	45,4	-16,2	-8,8	21,0	-13,8
74	rib	m			105,1	39,0	37,1	-15,1	-9,6	22,8	-15,2
95	rib	m	früh adult	w	106,1	67,1	63,2	-14,0	-7,9	23,1	-12,4
96	rib	m	adult	w	110,8	68,4	61,7	-14,4	-7,6	22,9	-11,9
207	rib	m	juvenis	m	103,8	36,9	35,5	-14,7	-7,8	22,3	-12,3
209	rib	m	senilis	w	109,8	50,9	46,4	-15,8	-8,3	23,6	-13,2
214	rib	m	matur	m	107,1	47,8	44,6	-14,4	-7,0	22,5	-11,0
219	rib	m	matur	m	112,8	71,8	63,7	-15,5	-8,2	22,5	-12,9
229	rib	m	juvenis	m	107,0	62,3	58,2	-13,5	-8,2	20,5	-12,9
235	rib	m		w	100,2	48,4	48,3	-15,3	-10,1	21,6	-16,1
230	rib	m	matur	m	109,3	38,9	35,6	-15,9	-9,1	22,6	-14,3
238	rib	m	senilis	m	100,8	52,2	51,8	-15,8	-8,0	23,8	-12,7
245	rib	m	matur	m	107,2	40,3	37,6	-14,9	-6,9	21,3	-10,8
288	rib	m	matur	m	101,3	51,8	51,1	-14,8	-9,3	23,1	-14,7
111	rib	a	adult	w	105,9	57,4	54,2	-14,8	-7,6	24,4	-12,0
144	rib	a	matur	w	103,5	58,4	56,4	-13,7	-6,3	23,3	-9,9
137	rib	a	adult-matur	m	101,2	63,6	62,8	-14,5	-7,4	21,9	-11,6
132	rib	a	adult	w	101,8	59,6	58,5	-15,4	-8,7	20,1	-13,8
151	rib	a	früh adult	w	101,2	59,7	59,0	-14,2	-10,4	25,2	-16,6
161	rib	a	juvenis	w	103,2	50,5	48,9	-14,3	-5,5	22,9	-8,5
194	rib	a	senilis	m	103,2	53,5	51,8	-15,5	-7,8	23,3	-12,3
152	rib	a	senilis	m	102,3	57,6	56,3	-15,0	-7,3	21,8	-11,5
199	rib	a	senilis	m	106,2	49,9	47,0	-15,6	-8,9	21,6	-14,0
158	rib	a	adult	m	105,0	45,9	43,7	-15,6	-9,0	23,4	-14,3
198	rib	a	matur-senilis	w	101,1	47,0	46,5	-14,7	-7,3	21,0	-11,5
164	rib	a	adult	m	104,4	49,7	47,6	-14,8	-9,6	20,9	-15,3
155-9	rib	a	adult-matur	w	105,6	48,6	46,0	-14,8	-9,7	24,2	-15,4
272	rib	a	matur	w	100,2	44,9	44,8	-13,9	-6,5	21,5	-10,2
274	rib	a	adult	w	101,0	57,5	56,9	-14,2	-9,1	23,4	-14,5
283	rib	a	früh adult	w	103,9	54,2	52,2	-15,1	-7,3	21,5	-11,4
331	rib	a	adult	m	101,6	34,3	33,8	-14,2	-9,1	23,4	-14,5
323	rib	a	adult	w	106,6	53,3	50,0	-15,1	-7,3	22,6	-11,4
329	rib	a	früh adult	m	101,3	50,5	49,9	-13,6	-8,0	26,7	-12,7
268	rib	a	adult	w	100,0	45,1	45,1	-14,3	-4,1	23,8	-6,3
MW								-14,9	-8,2		-12,9
Stabw								0,70	1,34		2,19
Tiere											
Schw. Kiefer											
Rind Rippe											
Schaf Ulna											

4. Ergebnisse und Diskussionen

Tabelle 50: Gemessene Karbonatproben aus dem Zahnschmelz

Zahnschmelz										$\delta^{18}\text{O}$ (‰) Carbonat/ Z vs.V- SMOW	$\delta^{18}\text{O}$ (‰) Carbonat/Z vs. PDB	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) Carbonat/Z vs. PDB	Bef.-Nr.	Zeit	Alter	Geschl.	Zahn	Einw. mg	Ausb. mg	Gew.%	
1	m	adult	w	I6	105,6	80,4	76,1	-13,6	-5,1	25,7	-7,8										
37	m		m	II6	103,5	80,9	78,2	-14,4	-4,7	26,1	-7,2										
15	m	matur-senilis	m	I6	100,5	70,4	70,0	-13,7	-4,4	26,3	-6,8										
95	m	früh adult	w	II6	104,0	75,7	72,8	-14,1	-5,2	25,5	-8,0										
96	m	adult	w	III6	103,0	60,9	59,1	-14,1	-5,2	25,5	-8,0										
207	m	juvenis	m	IV6	103,1	77,1	74,8	-13,9	-4,2	26,5	-6,4										
209	m	senilis	w	II6	101,3	77,4	76,4	-14,0	-5,2	25,6	-7,9										
229	m	juvenis	m	II6	106,8	76,8	71,9	-13,7	-4,6	26,1	-7,1										
235	m		w	III6	101,0	71,0	70,3	-13,9	-4,8	25,9	-7,4										
238	m	senilis	m	II6	105,0	76,1	72,5	-14,3	-4,5	26,3	-6,9										
111	a	adult	w	II6	102,4	70,9	69,2	-13,9	-4,1	26,7	-6,2										
137	a	adult-matur	m	IV6	102,0	83,1	81,5	-14,3	-4,6	26,2	-7,0										
132	a	adult	w	II6	103,4	81,3	78,6	-14,0	-4,0	26,7	-6,1										
151	a	früh adult	w	II6	101,2	46,6	46,0	-14,3	-4,6	26,2	-7,0										
161	a	juvenis	w	III6	102,0	71,8	70,4	-14,1	-4,2	26,6	-6,4										
194	a	senilis	m	II6	101,7	76,9	75,6	-13,9	-4,8	26,0	-7,3										
152	a	senilis	m	III6	104,8	74,6	71,2	-13,3	-4,5	26,3	-6,8										
198	a	matur-senilis	w	II6	100,8	75,0	74,4	-13,6	-4,6	26,1	-7,1										
155-9	a	adult-senilis	w	IV6	108,2	72,5	67,0	-14,4	-4,1	26,7	-6,1										
272	a	matur	w	II6	100,6	71,3	70,9	-14,2	-3,9	26,9	-5,9										
274	a	adult	w	I6	95,0	63,2	66,5	-15,1	-5,3	25,4	-8,2										
283	a	früh adult	w	III6	102,6	74,0	72,1	-13,7	-4,4	26,4	-6,7										
331	a	adult	m	IV6	101,5	82,1	80,9	-14,0	-4,8	25,9	-7,4										
323	a	adult	w	II6	105,2	44,6	42,4	-13,5	-4,8	26,0	-7,3										
329	a	früh adult	m	I6	103,7	51,0	49,2	-14,1	-5,8	24,9	-9,0										
268	a	adult	w	I/II 6	102,8	80,3	78,1	-13,8	-5,0	25,7	-7,7										
MW										-14,0	-4,7	-7,2									
Stabw										0,36	0,45	0,7									

In Tab. 51 sind die Mittelwerte, die maximalen und minimalen Werte und die einfache Standardabweichung der Messergebnisse der Sauerstoffisotope aus Zahnschmelz und Knochendargestellt.

Tabelle 51

	$\delta^{18}\text{O}$ (‰) Karbonat/ Zahnschmelz vs. PDB	$\delta^{18}\text{O}$ (‰) Karbonat/ Knochen vs. PDB
MW	-4,7	-8,2
Min	-5,8	-10,4
Max	-3,9	-4,1
STABW	0,45	1,3

4. Ergebnisse und Diskussionen

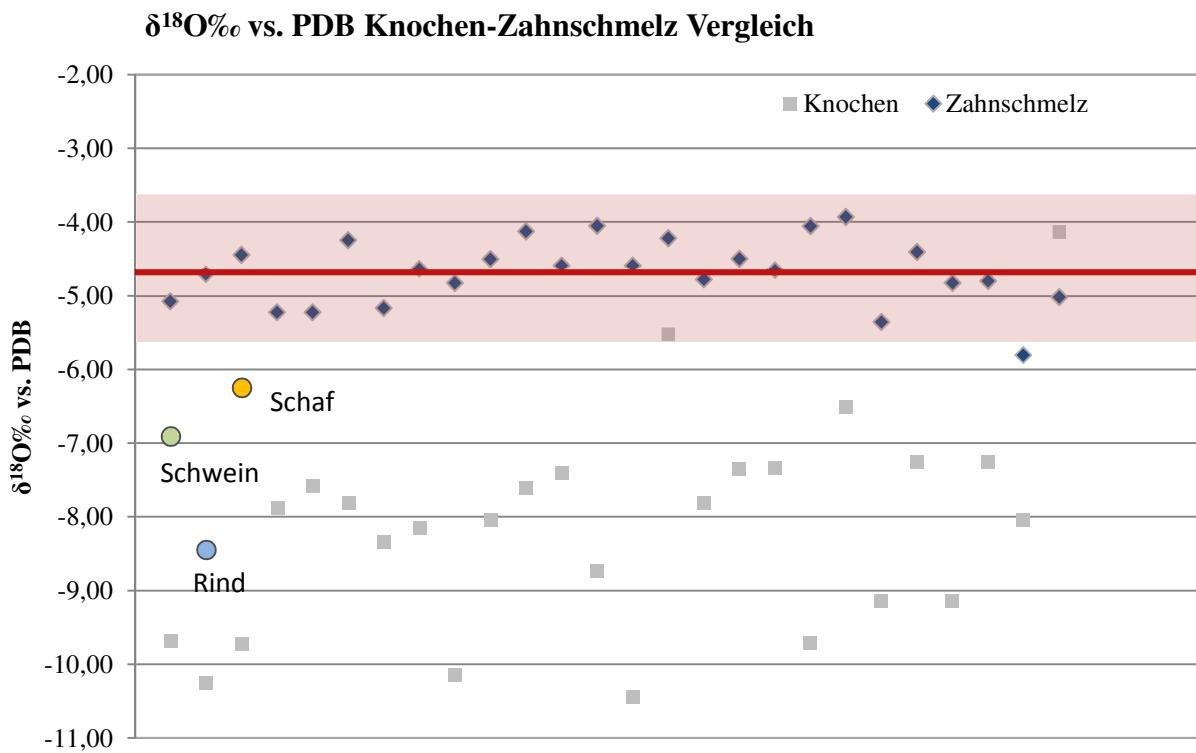


Abbildung 76: Gemessene Sauerstoffisotopenwerte bezogen auf den PDB-Standard. Der rote Bereich markiert die Variabilität von $\pm 1\text{‰}$ ausgehend vom Mittelwert (rote Linie), bei Zahnschmelz (Rauten), die für die lokale Signatur stehen. Die Knochenwerte (Quadrate) zeigen deutlich negativere Werte und liegen nicht innerhalb des Wertebereichs für die „lokale Signatur“ Altdorfs. Die Werte der 3 am Knochen gemessenen Tierspezies sind mit gefüllten Kreisen markiert.

Um die gemessenen $\delta^{18}\text{O}$ –Werte mit den Isotopie-Werten des Oberflächenwassers der Herkunftsregion der Altdorfer Population vergleichen zu können, müssen diese umgerechnet werden.

Die gemessenen Sauerstoffisotope aus Knochenkarbonat und Zahnschmelz wurden zunächst wie von Chenery et al. 2012 mittels der Formel

$$1,03091 * \delta^{18}\text{O}_{\text{‰}} \text{ vs. } \text{PDB} + 30,91 \text{ (Coplen 1988)}$$

in den V-SMOW (Standard Mean Ocean Water) umgerechnet.

Anschließend wurden direkt mit der unten stehenden Formel die Werte für Trinkwasser ermittelt. Die übliche Umrechnung von Phosphat in Karbonatwerte fällt hier weg, da die Studie von Chenery et al. (2012) eine direkte Beziehung zwischen $\delta^{18}\text{O}$ aus dem Karbonat und $\delta^{18}\text{O}$ aus dem Phosphat nachweisen konnte und die daraus resultierende Formel mit der Umrechnungsformel für Trinkwasserwerte im humanen Apatit von Daux et al. (2008) kombinierte.

$$(1,59 * \delta^{18}\text{O}_{\text{‰}} \text{ vs. } \text{V-SMOW}) - 48,634 \text{ (Chenery et al. 2012)}$$

4. Ergebnisse und Diskussionen

Diese Ab- oder Anreicherung des schweren Sauerstoffs $\delta^{18}\text{O}$ im Vergleich zum leichten $\delta^{16}\text{O}$ im Trinkwasser resultiert aus diversen Einflüssen der Umwelt, z.B. Temperatur, Höhenlagen, oder Kontinentalität. Es konnte festgestellt werden, dass bei Säugetieren und damit auch beim Menschen mit einer konstanten Körpertemperatur die Fraktionierung der Sauerstoffisotope bei der Bildung von Knochen und Zähnen aus dem Körperfluid konstant ist. Longinelli 1984, Bryant und Froelich 1995, Kohn 1996, Kohn et al. 1996 stellten darauf basierend einen linearen Zusammenhang zwischen der Sauerstoffisotopie des Knochenapatits im Menschen und der des aufgenommenen Wassers fest. Für den ortstreuen Menschen wird die Abweichung der Werte mit nur zwischen 1‰ und 2‰ (White et al. 1998) innerhalb einer Population angegeben, die auch auf unterschiedliche Nahrungs- und Trinkgewohnheiten zurückzuführen sind. All dies sind gute Voraussetzungen um Sauerstoffisotopenanalysen an Zahnschmelz und Knochen als hilfreiches Mittel zur Ermittlung des Einzugsgebiets einer Population oder Migrationsbewegungen einzusetzen. Dabei helfen unterschiedliche Remodellingraten der verschiedenen Knochenelemente, die in der Regel im Schnitt die letzten 10 Lebensjahre konservieren. Zahnschmelz hingegen unterliegt, nachdem er einmal gebildet wurde, nicht mehr dem Umbau, sodass dieser die Signatur des in der Kindheit aufgenommenen Wassers widerspiegelt. Messungen beider Elemente eines Individuums können bei festgestellten Unterschieden auf eine Zuwanderung aus anderen geographischen Gebieten, oder auf Nutzung unterschiedlicher Trinkwasserquellen oder Nahrungsgewohnheiten (Daux et al. 2008) hindeuten. Insbesondere gekochte Nahrung oder auch importierte Lebensmittel aus klimatisch anderen Regionen können zu Abweichungen der Sauerstoffisotopie von der lokalen Signatur von bis zu 6,2‰ führen. (Daux et. al. 2008).

Die rezenten durchschnittlichen $\delta^{18}\text{O}$ -Werte, die sich aus den Längen und Breitengraden, sowie der Höhe über NN aus den Berechnungen des online verfügbaren Programms „The Online Isotopes in Precipitation Calculator“ (OIPC) (Bowen 2012) für Altdorf ergeben zeigt die folgende Tabelle.

Monat	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
$\delta^{18}\text{O}$ (‰, V-SMOW)	-10.0	-9.7	-8.5	-8.7	-7.2	-6.8	-5.8	-6.0	-7.0	-8.3	-9.7	-10.2

Der Mittelwert für Altdorf über ein Jahr beträgt folglich $\delta 8.1\text{‰}$ V-SMOW.

(http://wateriso.utah.edu/waterisotopes/pages/data_access/oipc.html)

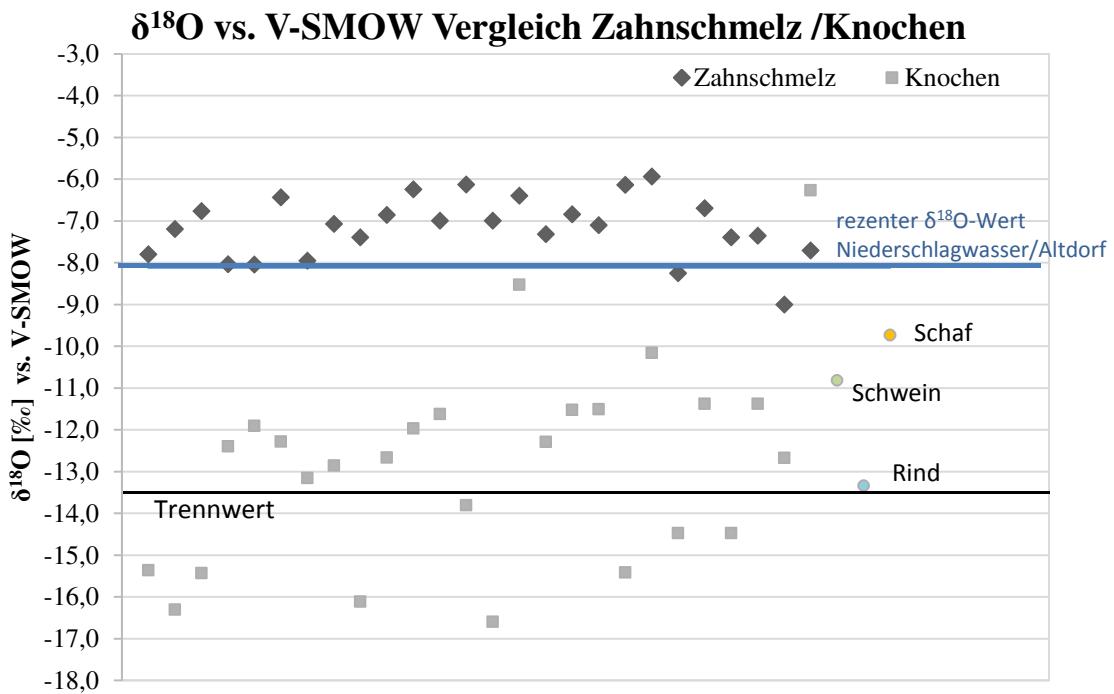


Abbildung 77: $\delta^{18}\text{O}$ (‰) vs. V-SMOW Vergleich Knochen Zahnschmelz

Wie aus der Abb. 77 ersichtlich, spiegeln sich nur die aus Zahnschmelz gewonnenen und in V-SMOW-Werte umgerechneten Daten in den rezenten Werten für das Niederschlagswasser in Altdorf wider. Die an den Knochenproben gemessenen Werte der Menschen und Tiere zeigen hingegen deutlich negativere Werte. Der deutliche Unterschied von Zahnschmelz zu Knochen eines Individuums kann zum Teil auf den Stilleffekt zurückgeführt werden, da der Zahnschmelz der ersten Molaren zwischen Geburt und dem vierten Lebensjahr gebildet wird (Tütken 2010). Die Homogenität und geringe Streuung der Zahnschmelzwerte deuten auf eine sich ähnelnde Ernährungsweise, wie Stillen oder Milchkonsum aber auch auf eine gemeinsame Trinkwasserquelle während der Kindheit hin. Die Werte der Knochen streuen stärker, was aufgrund der hohen individuellen Variabilität der Trinkgewohnheiten und Nahrungszubereitung, aber auch Herkunft der Lebensmittel oder Verarbeitung, plausibel erscheint. Vergleicht man die Werte der Knochen populationsintern sind dennoch 2 Gruppen unterscheidbar. Eine Gruppe, die im Bereich der gemessenen Tierknochen liegen und deshalb als lokal eingestuft und eine weitere Gruppe, die nicht mehr im Bereich der Tierwerte liegen und als potenziell fremd eingestuft werden. Unter Vernachlässigung des offensichtlichen Ausreißers (Individuum 268) können die aus Knochen gewonnenen Isotopenwerte (Quadrat) durch die Festlegung eines Trennwertes, der mittels einer Diskriminanzanalyse zu $-13,3\text{\textperthousand}$ bestimmt wurde, in zwei Gruppen eingeteilt und getrennt voneinander untersucht werden. Die Mittelwerte dieser beiden Gruppen betragen dann $-14,9$ (Gruppe 1) bzw. $-11,8$ (Gruppe 2) bei (fast gleich großen) Standardabweichungen von $0,886$ bzw. $0,845$. Demzufolge ergibt ein F-Test auf gleiche Varianzen eine hohe Wahrscheinlichkeit (Signifikanzniveau 81,7%), wohingegen ein t-Test auf Gleichheit der Mittelwerte einen hochsignifikanten (Signifikanzwert nahe Null) Unterschied ergibt.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Im Vergleich dazu weisen die aus dem Zahnschmelz gemessenen Werte einen Mittelwert von -7,2 (Rauten) sowie eine (etwas geringere) Standardabweichung von 0,7 auf. Die Tierwerte liegen in einem Bereich, der von den Werten aus dem Zahnschmelz und den Knochen der Gruppe 2 aufgespannt wird. Dies legt, wie oben bereits erwähnt, eine lokale Gebundenheit von Gruppe 2 nahe.

Da die Individuen sowohl hinsichtlich Geschlecht als auch Zeitstellung in etwa gleich auf beide Gruppen der Isotope für Knochen verteilt sind, scheiden diese beiden Merkmale als Grund für die Abweichung der beiden Gruppen voneinander aus.

Da die Ursache für die Unterschiede auch in den jeweiligen Altersstrukturen der beiden Gruppen liegen kann, werden diese in der Folge etwas detaillierter betrachtet. In Abb. 78 ist ein Vergleich der beiden Altersverteilungen zusammen mit den entsprechenden (bereits weiter oben aufgeführten) Werten für die Gesamtheit der untersuchten Individuen als Referenz dargestellt.

Vergleich der Altersverteilung

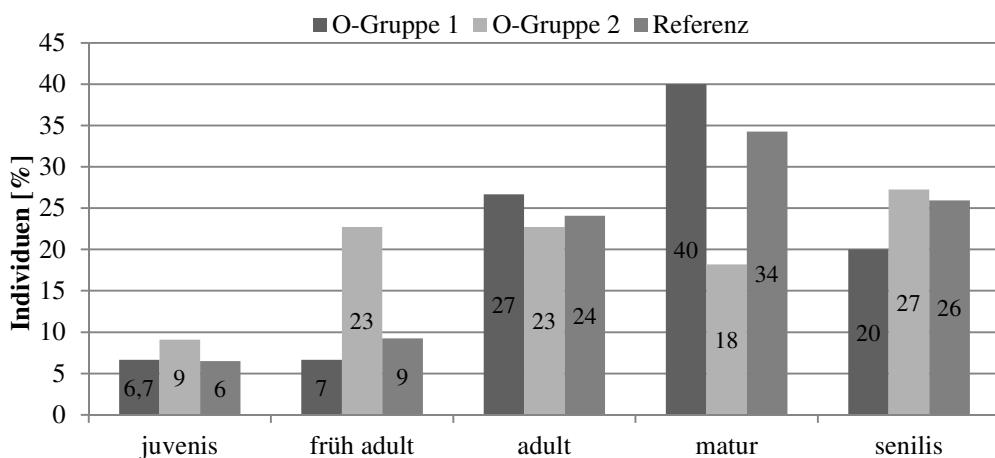


Abbildung 78: Vergleich der Altersstrukturen der beiden Gruppen von Sauerstoffisotopen

Der erste (optische) Eindruck, dass hierbei eine Tendenz für eine Ähnlichkeit der Altersverteilungen von Gruppe 1 und der Referenzverteilung (Gesamtheit aller untersuchten Individuen) herauszulesen ist, wird durch eine statistische Untersuchung bestätigt. Ein χ^2 -Test legt eine entsprechende Verwandtschaft der Altersstruktur hochsignifikant (Signifikanzniveau 99,4%) nahe. Dementsprechend kann deshalb auch die Abweichung in der Altersstruktur in Gruppe 2 von der Referenzverteilung als eine Ursache für die unterschiedlichen Werte der Sauerstoffisotope vermutet werden.

4. Ergebnisse und Diskussionen

4.11.2 Kohlenstoffisotope aus dem Karbonat

Die Kohlenstoffisotope aus dem Karbonat des Knochens spiegeln zusätzlich zur Eiweißkomponente der Nahrung auch Fette und Kohlehydrate der Nahrung wider. Die Ergebnisse für die Kohlenstoffisotope sind wesentlich homogener.

Eine Unterteilung in zwei Gruppen ist hier nicht angezeigt, ebenso wenig können eindeutige "Ausreißer" identifiziert werden. In Abb.79 sind die Ergebnisse der Messungen der Kohlenstoffisotope sortiert nach Alter, von links nach rechts zunehmend, dargestellt.

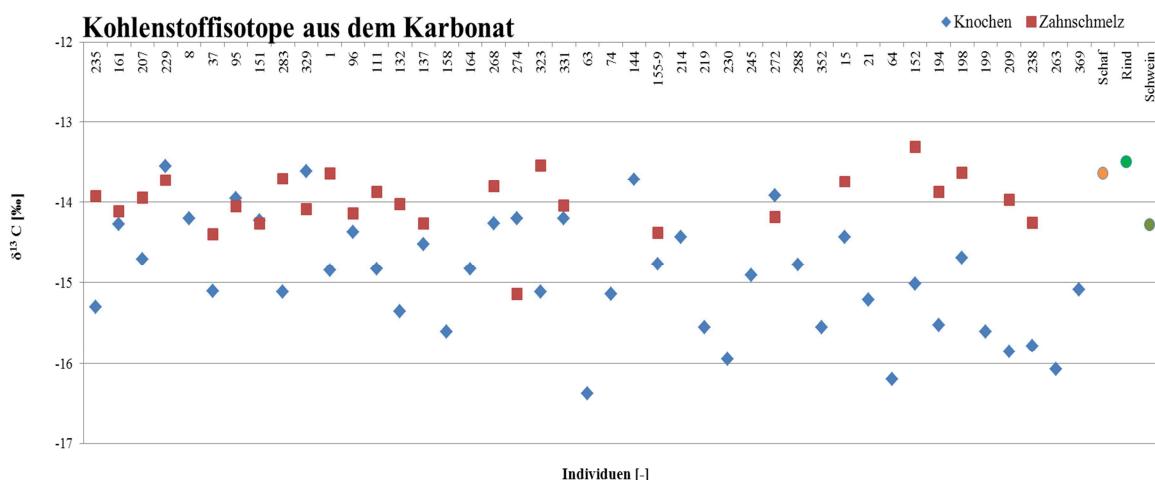


Abbildung 79: Kohlenstoffisotope aus Knochen sinken im Gegensatz zu den Werten aus Zahnschmelz mit dem Alter

Dementsprechend unterscheiden sich sowohl die Mittelwerte (-14,90 für Knochen und -14,02 für Zahnschmelz) desselben Individuums, als auch die Standardabweichungen (0,759 für Knochen und 0,380 für Zahnschmelz) hochsignifikant. Shin und Hedges (2012) untersuchten Knochen- und Zahnschmelzapatit und verwendeten die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte des Zahnschmelzes als Referenz für gut erhaltenen Apatit. Sie gehen von einer Variabilität von 0-2,0‰ zwischen Zahnschmelz und Knochenapatit bei Herbivoren aus (Cerling und Harris 1999, Passey et al. 2005). Beim Menschen kann aber aufgrund einer kürzeren Schmelzbildungsdauer und einer differenten Nahrungszusammensetzung ein größerer Unterschied erwartet werden. In Anlehnung an die Überlegungen von Shin und Hedges (2012) kann die Integrität des Karbonates v.a. für die jüngeren Individuen indirekt bestätigt werden, da sich hier Unterschiede nicht größer als 1,9 ‰ zeigen. In Abb. 80 sind die Mittelwerte der Kohlenstoffisotope für die einzelnen Altersklassen (unter Vernachlässigung des einzelnen Individuums 235 aus der Altersklasse infans II) dargestellt.

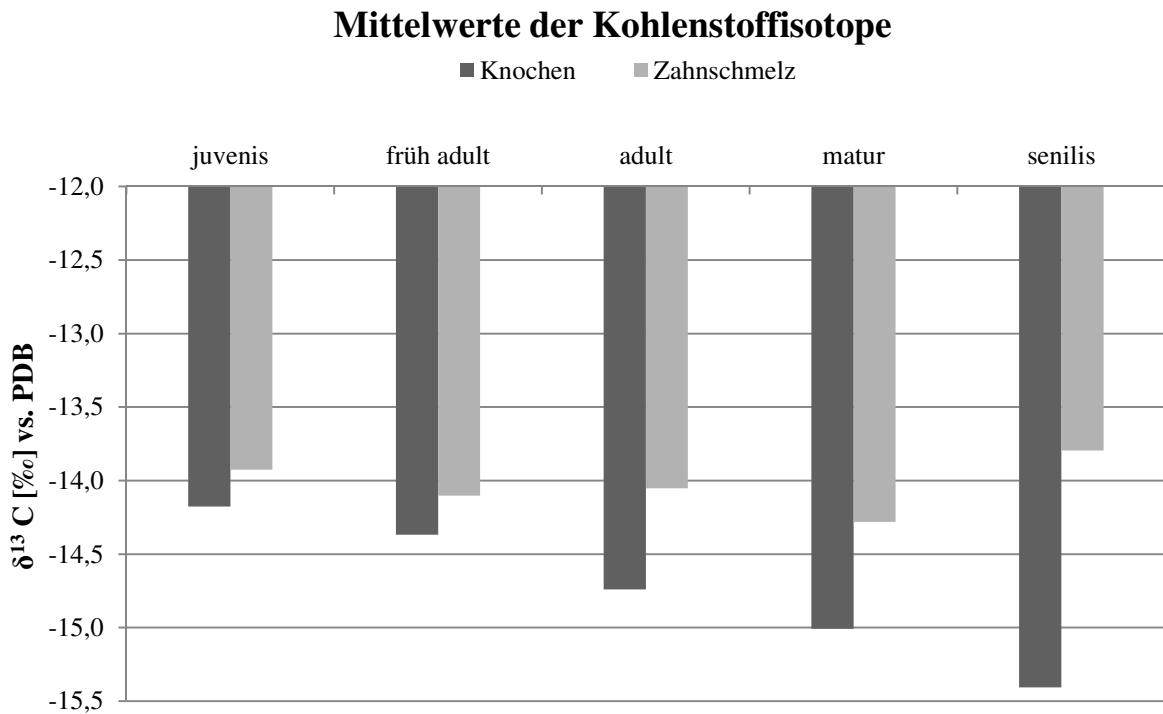


Abbildung 80: Mittelwerte der Kohlenstoffisotope nach Altersgruppen

Die Kohlenstoffisotope aus dem Knochenapatit werden im Mittel über das Lebensalter tendenziell leicht negativer, wohingegen für den Zahnschmelz die Werte (mit nicht zu großer Streuung) um den oben bestimmten globalen Mittelwert von -14,0 herum liegen. Die beobachteten Unterschiede in Zusammenhang mit dem Individualalter sind vermutlich auf die altersbedingten Apatitveränderungen aufgrund von Ersatz der HPO_4^{2-} -Ionen durch Karbonat-Ionen zurückzuführen (Wang und Cerling 1994, Lee-Thorp und van der Merwe 1991, Legros et al. 1987).

4.12 Stickstoff- und Kohlenstoff-Isotope aus dem Kollagen

Die gemessenen $\delta^{15}\text{N}$ -und $\delta^{13}\text{C}$ - Werte des Kollagens dienen im Folgenden dazu, eine mögliche Entwicklungsrichtung der Ernährungsweisen zu detektieren, indem Erwachsene nach Geschlecht und Zeitstellung differenziert betrachtet werden und Kinder auf ein mögliches Stillsignal hin untersucht werden. Haustiere wurden wiederum als Referenz in die Untersuchungen miteinbezogen. Von einer omnivoren Ernährungsweise ausgehend wird hier vor allem auf Unterschiede in der Protein- bzw. tierischer Fettzufuhr, unter Berücksichtigung der Zeitstellung des Geschlechts und der Altersgruppenzugehörigkeit, eingegangen.

4.12.1 Qualität des extrahierten Kollagens

Um valide Isotopendaten zu bekommen, muss zunächst die Authentizität des Kollagens überprüft werden, denn Degradationsprozesse im Boden könnten die Bestandteile des Kollagens verändert haben und so falsche Ergebnisse liefern. Dazu wird das aus dem Knochen extrahierte Kollagen qualitativ und quantitativ überprüft.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Quantitativ geschieht dies über die Konzentration des Kollagens im Knochenmehl. Der Anteil an organischer Substanz bei den Knochenproben wird näherungsweise anhand des prozentualen Gewichtsanteils des extrahierten Kollagens bestimmt. Qualitativ über die Erstellung und Bewertung des Aminosäureprofils und die über massenspektrometrische Messung des Gehalts an Kohlenstoff und Stickstoff, sowie des molaren C/N-Verhältnisses. Proben mit einem C/N-Quotienten von 2,9-3,6 weisen gut erhaltenes Kollagen auf (DeNiro 1985). Die Gewichtsprozente für den Stickstoff des rezenten Kollagens liegen bei 15,54% und für Kohlenstoff bei 42,7%. Die Minimalwerte, die laut Ambrose (1993) noch für gut erhaltenes Kollagen stehen, sind für Kohlenstoff 3Gew% und für Stickstoff 1Gew%.

Aus einer Stichprobe von 56 Proben konnte aus jeder Kollagen extrahiert werden. Die Messwerte der Kohlenstoff- und Stickstoffmessungen der Kollagenproben, sowie die Ergebnisse für jede Probe bezüglich der berücksichtigten Qualitätskriterien sind in Tabelle 50 angegeben. Demnach standen für die Isotopenanalyse aus Kollagen alle ausgewählten Proben zur Verfügung. Ebenfalls wurden Mittelwerte, minimale und maximale Werte, sowie die Standardabweichungen jeweils für die Kohlenstoff- und Stickstoffisotopie, den prozentualen Anteil von Stickstoff und Kohlenstoff im Kollagen und für das daraus gebildete molare C/N-Verhältnis, sowie die Gewichtsprozent an Kollagen im Knochenmehl, errechnet. Siehe (Tab.52).

Tabelle 52: Gemessene Kollagenproben

Nr.	Zeit	m/w	Alter	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	N (%)	C (%)	Gew. % Koll.	C/N molar	Quali- tät
Erwachsene späte Zeitstellung										
1	sp	w	adult	-19,9	10,4	10,4	47,9	6,1	3,2	gut
8	sp	m	früh adult	-20,2	9,9	18,4	50,3	4	3,2	gut
15	sp	m	matur- senilis	-19,7	10,4	14,5	38,7	5,8	3,1	gut
38	sp	w	adult	-20,0	9,8	13,6	37,91	5,9	3,3	gut
21	sp	m	senilis	-20,0	10,6	18,0	49,2	3,3	3,2	gut
63	sp	m	matur	-20,3	11,1	17,4	45	8,8	3,0	gut
64	sp	m	senilis	-20,3	11,0	14,6	40	10,4	3,2	gut
95	sp	w	früh adult	-20,5	9,3	13,2	36,5	2,1	3,2	gut
96	sp	w	adult	-20,3	9,6	13,7	38,3	2,3	3,3	gut
207	sp	m	juvenis	-19,9	9,6	16,2	41,4	4,3	3,0	gut
209	sp	w	senilis	-20,0	10,9	12,7	35,3	8,9	3,2	gut
214	sp	m	matur	-19,5	9,7	13,7	33,9	3,3	2,9	gut
219	sp	m	matur	-20,0	9,7	14,0	40,1	1,7	3,3	gut
229	sp	m	juvenis	-19,8	10,4	14,4	37,1	4,9	3,0	gut
230	sp	m	matur	-20,2	10,4	14,1	38,3	7,9	3,2	gut
238	sp	m	senilis	-19,6	11,1	14,9	41,3	4,1	3,2	gut
245	sp	m	matur	-19,8	11,5	17,7	48,2	7,1	3,2	gut
288	sp	m	matur	-19,6	11,4	14,7	40,1	5,5	3,2	gut

4. Ergebnisse und Diskussionen

Kennwerte Erwachsene späte Zeitstellung									
Min				-20,5	9,3				
Max				-19,6	11,5				
MW				-20,0	10,4	15,7		5,2	
Stabw				0,7	0,3			2,6	
Erwachsene frühe Zeitstellung									
111	fr	w	adult	-20,1	9,8	15,0	40,9	3,7	3,2
144	fr	w	matur	-20,1	10,0	16,4	45,0	10,1	3,2
137	fr	m	adult-matur	-20,2	9,9	17,6	47,1	7,1	3,1
132	fr	w	adult	-20,3	9,4	15,2	42,0	6,2	3,2
151	fr	w	früh adult	-20,4	10,3	15,5	43,0	3,1	3,2
161	fr	w	juvenis	-19,9	9,2	15,4	42,3	4,1	3,2
194	fr	m	senilis	-20,0	9,1	16,8	44,5	10,0	3,1
152	fr	m	senilis	-20,0	9,8	15,6	41,9	5,9	3,1
199	fr	m	senilis	-19,9	10,5	15,5	43,2	7	3,3
158	fr	m	adult	-19,9	9,6	13,4	37,6	5,7	3,3
198	fr	w	matur-senilis	-19,9	10,1	15,9	43,6	11,8	3,2
164	fr	m	adult	-20,0	9,7	15,5	42,7	13,5	3,2
155-9	fr	w	adult-matur	-20,0	10,4	14,3	36,1	5,3	3,0
272	fr	w	matur	-20,3	9,7	15,8	43,3	8,7	3,2
274	fr	w	adult	-20,5	9,4	17,4	47,2	7,7	3,2
283	fr	w	früh adult	-20,3	9,9	14,9	41,9	1,7	3,3
331	fr	m	adult	-19,5	11,0	15,6	42,4	9,0	3,2
323	fr	w	adult	-19,9	11,4	15,9	42,8	9,9	3,1
329	fr	m	früh adult	-20,0	10,1	15,3	42,1	10,6	3,2
268	fr	w	adult	-20,2	10,2	16,1	39,0	4,1	2,8
Kennwerte Erwachsene frühe Zeitstellung									
min				-20,5	9,1				
max				-19,5	11,4				
MW				-20,1	10,0	14,7		7,3	
Stabw				0,2	0,6			3,1	
Kinder									
162	fr	neonat	-19,5	11,2	13,5	37,6	6,9	3,2	gut
180	fr	infans I	-19,0	12,8	13,1	36,6	10,2	3,3	gut
275	fr	infans I	-20,4	9,2	12,2	33,9	3,5	3,2	gut
280	fr	infans I	-20,4	9,8	14,4	39,9	7,6	3,2	gut
325	fr	neonat	-18,9	13,4	14,5	40,8	7,6	3,3	gut
135,4	fr	infans I	-20,5	9,2	11,3	32,2	6,2	3,3	gut
173,1	fr	neonat	-20,1	11,6	13,6	38,4	11,8	3,3	gut
173,9	fr	neonat	-20,1	11,5	14,6	40,5	11	3,2	gut
174,9	fr	infans I	-19,1	12,6	13,9	38,5	9,2	3,2	gut

4. Ergebnisse und Diskussionen

Kinder									
175,3	fr	infans I	-19,6	11,8	13,2	36,9	10,1	3,3	gut
194,11	fr	infans I	-19,8	9,2	14,0	37,9	8,6	3,2	gut
200,8	fr	infans I	-19,7	10,8	16,4	45,9	8,2	3,3	gut
322,11	fr	neonat	-19,6	11,8	14,4	40,0	9,5	3,3	gut
322,4	fr	infans I	-20,3	10,7	14,3	39,7	13	3,2	gut
114	fr	Infans I	-19,5	12,8	15,1	41,9	11,9	3,3	gut
117	fr	Infans I	-20,0	12,4	14,8	41,1	11,4	3,3	gut
150	fr	Infans II	-20,2	9,5	12,2	34,4	6,5	3,3	gut
161	fr	w	juvenis	-20,1	9,3	14,3	38,8	7,6	3,2
Kennwerte Kinder									
min			-20,5	9,2					
max			-18,9	13,4					
MW			-19,8	11,1	13,9		2,4		
Stabw			0,5	1,4			8,7		
Kennwerte für Frauen									
min			-20,5	9,2					
max			-19,9	11,4					
MW			-20,2	10,0					
Stabw			0,2	0,6					
Kennwerte für Männer									
min			-20,3	9,1					
max			-19,5	11,5					
MW			-19,9	10,3					
Stabw			0,2	0,7					
Kennwerte gesamte Erwachsene	Stichprobe	$\delta^{13}\text{C}$ (%)	$\delta^{15}\text{N}$ (%)	N (%)	C (%)	Gew. %	C/N molar		
min		-20,5	9,1	10,4	32,2	1,7	2,8		
max		-19,5	11,5	18,4	50,3	13,5	3,3		
MW		-20,1	10,2	14,8	40,8	7,2	3,2		
Stabw		0,2	0,7	1,62	4,0	3,1	0,1		
Werte Tier		$\delta^{13}\text{C}$ (%)	$\delta^{15}\text{N}$ (%)	N (%)	C (%)	Gew. %	C/N molar		
Rind		-21,8	5,3	11,3	30,7		3,2	gut	
Schaf		-21,6	6,2	14,9	40,8		3,2	gut	
Schwein		-21,1	4,5	14,5	39,4		3,2	gut	

4. Ergebnisse und Diskussionen

Der prozentuale Anteil des aus der Extraktion gewonnenen Kollagens in Gewichtsprozent in Abhängigkeit von dem eingesetzten Knochenmehl zeigt für die Proben des frühen Zeithorizontes einen Mittelwert von 7,3 Gew. % bei einer Standardabweichung von 3,1 und die des späten Zeithorizontes einen Mittelwert von 5,2 Gew. % bei einer Standardabweichung von 2,6.

Die Ausbeute liegt demnach bei Proben mit längerer Liegezeit um durchschnittlich 2% höher. Vergleicht man aber die Proben aus den beiden Zeithorizonten bzgl. der Häufigkeit der Gewichtsprozentverteilung, fällt auf, dass die Ausbeute der Proben der späten Phase häufiger als die der frühen Phase im Bereich von 2-5% lagen. Ab 6% sind die älteren und jüngeren Proben in etwa gleich häufig vertreten. Bemerkenswert ist eine Häufung der Proben der frühen Phase ab einer Kollagenausbeute von 10 Gew.% (Abb.81). Der prozentuale Anteil an Stickstoff im Kollagen lag zwischen 11% und 16% (Werte bis 16,5% wurden mit einbezogen). Die Mittelwerte der Stickstoffanteile lagen für die Proben der frühen Phase bei 15,7%, bei Proben der späten Phase um 1% niedriger bei 14,8% und die der Kinder bei 13,9% (Abb.82). Das molare C/N-Verhältnis lag zwischen 2,8-3,3 (DeNiro 1985, Ambrose 1990, Bocherens et al. 1991, 1994, 1996, 1997, Drucker et al. 2003, Coltrain et al. 2004b, Jorkov et al. 2007).

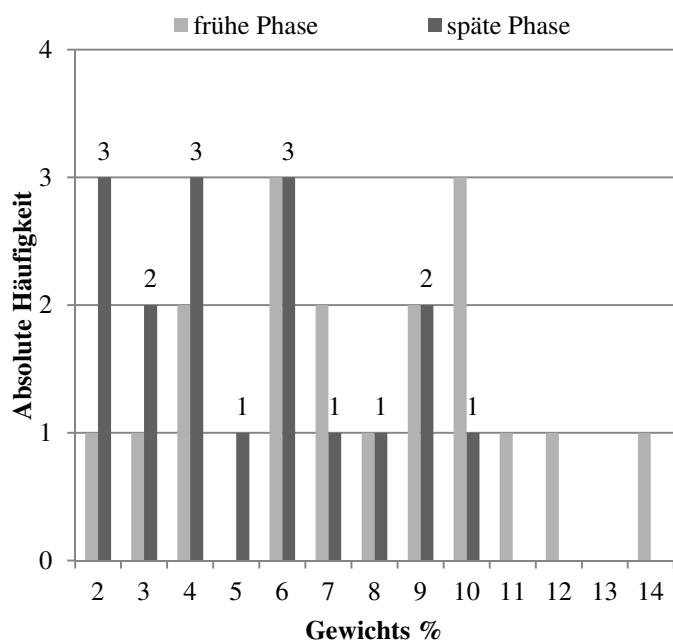


Abbildung 81: Absolute Häufigkeit der vorkommenden Gew. %

4. Ergebnisse und Diskussionen

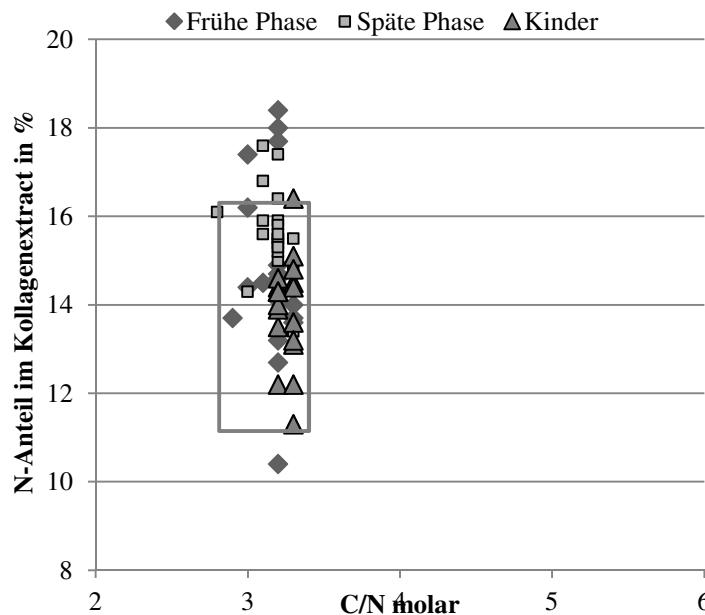


Abbildung 82: Molares C/N-Verhältnis gegen Stickstoffanteil in %

$\delta^{15}\text{N}$ -Werte des Kollagens

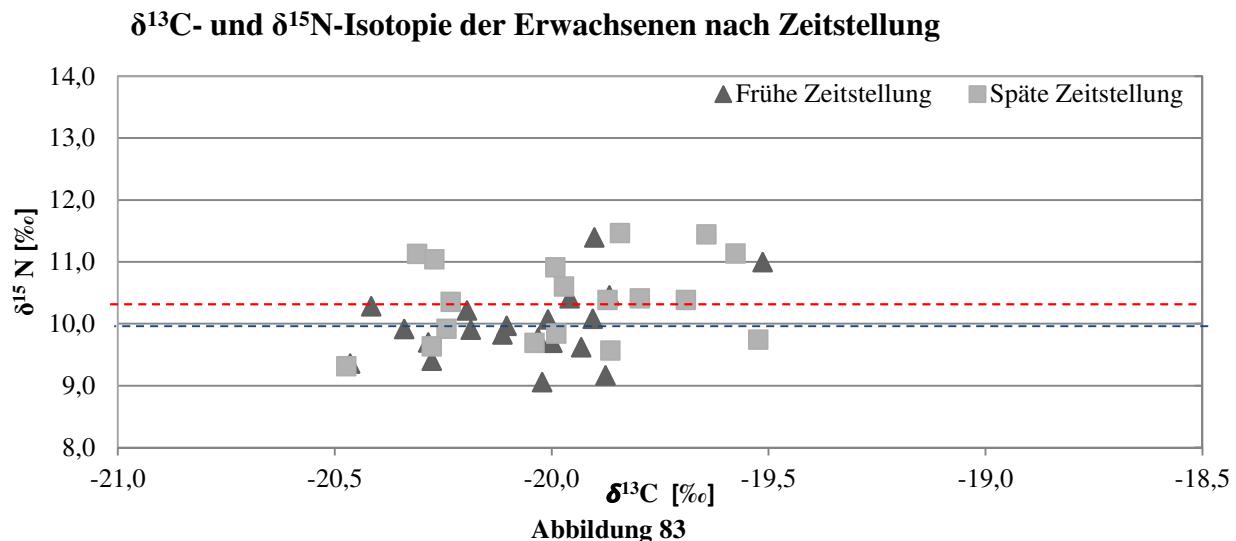
Die Stickstoffisotope aus dem Kollagen wurden an 56 Individuen, 17 weiblichen, 21 männlichen und 18 Kindern gemessen. Minimal- und Maximalwerte für Erwachsene liegen bei 9,1‰ bzw. 11,5‰. Der Mittelwert der Stickstoffwerte an Erwachsenen (n=38) beträgt 10,1‰ bei einer Standardabweichung von 0,7. Der Minimal- und Maximalwert der Stickstoffwerte der subadulten Individuen liegt bei 9,2‰ bzw. 13,4‰. Der Mittelwert der subadulten Individuen (n=18) beträgt 11,1‰ bei einer Standardabweichung von 1,4.

$\delta^{13}\text{C}$ -Werte des Kollagens

Der Mittelwert der Kohlenstoffisotope der Erwachsenen (n=38) beträgt -20,4‰. Minimal- bzw. Maximalwert betragen -20,5‰ bzw. -19,5‰, bei einer Standardabweichung von nur 0,3. Minimal -bzw. Maximalwert der $\delta^{13}\text{C}$ -Isotope der subadulten Individuen (n=18) betragen -20,5‰ bzw. -18,9‰ bei einem Mittelwert von -19,8 ‰ und einer Standardabweichung von 0,5.

In Abb.83 sind Kohlenstoffwerte gegen Stickstoffwerte nach Zeitstellung aufgetragen. Es zeigt sich eine Verschiebung der Stickstoffisotopenwerte von früher Belegungsphase zu später Belegungsphase zu etwas höheren Werten. Werden die Mittelwerte verglichen, zeigt sich eine im Mittel leichte Erhöhung der Werte (früh: 10,0‰, spät: 10,4‰), um 0,4‰. Die Mittelwerte der Kohlenstoffisotopewerte hingegen (früh: -20,1‰, spät: -20,0‰) zeigen im Laufe der Zeit erwartungsgemäß keinen nennenswerten Unterschied.

4. Ergebnisse und Diskussionen



Es können keine geschlechtsspezifischen Unterschiede in der $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopie beobachtet werden. Die Werte der Männer streuen zwischen $9,1\text{\textperthousand}$ und $11,5\text{\textperthousand}$, die Werte der Frauen befinden sich in einem Bereich zwischen $9,1\text{\textperthousand}$ und $11,4\text{\textperthousand}$. Die Kohlenstoffisotopiewerte liegen bei Frauen im Mittel bei $-20,2\text{\textperthousand}$ und bei Männern bei $19,9\text{\textperthousand}$, sind folglich nahezu identisch.

Vergleicht man die Kohlenstoffisotopie und Stickstoffisotopie der Frauen und Männer zusätzlich nach Zeitstellung altersgruppenunabhängig, fällt auf, dass Männer im Laufe der Zeit im Mittel eine Tendenz zu etwas höheren $\delta^{15}\text{N}$ -Werten von durchschnittlich $10,0\text{\textperthousand}$ auf $10,5\text{\textperthousand}$ aufweisen, wohingegen sich dies bei den Frauen nicht zeigt ($9,9\text{\textperthousand}$ auf $10,00\text{\textperthousand}$). Diese Ergebnisse, die eine höhere Proteinzufuhr der Männer andeutet, korrespondieren sehr gut mit den morphologischen Befunden bzgl. der zugenommenen Körperhöhe bei den Männern (siehe Kap. 4.3.5). Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zeigen keine nennenswerten geschlechts- und/oder zeitspezifischen Veränderungen. (Tab.53)

Tabelle 53: Kennwerte der $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ - Isotopie

	Frauen früh		Frauen spät		Männer früh		Männer spät	
	$\delta^{15}\text{N}\text{\textperthousand}$	$\delta^{13}\text{C}\text{\textperthousand}$	$\delta^{15}\text{N}\text{\textperthousand}$	$\delta^{13}\text{C}\text{\textperthousand}$	$\delta^{15}\text{N}\text{\textperthousand}$	$\delta^{13}\text{C}\text{\textperthousand}$	$\delta^{15}\text{N}\text{\textperthousand}$	$\delta^{13}\text{C}\text{\textperthousand}$
MW	9,9	-20,2	10,0	-20,1	10,0	-20,0	10,5	-20,3
min	9,1	-20,5	9,3	-20,5	9,1	-20,2	9,6	-20,3
max	11,4	-19,9	10,9	-19,9	11,0	-19,5	11,5	-19,5
Stabw	0,7	0,3	0,6	0,2	0,6	0,2	0,6	0,3

4. Ergebnisse und Diskussionen

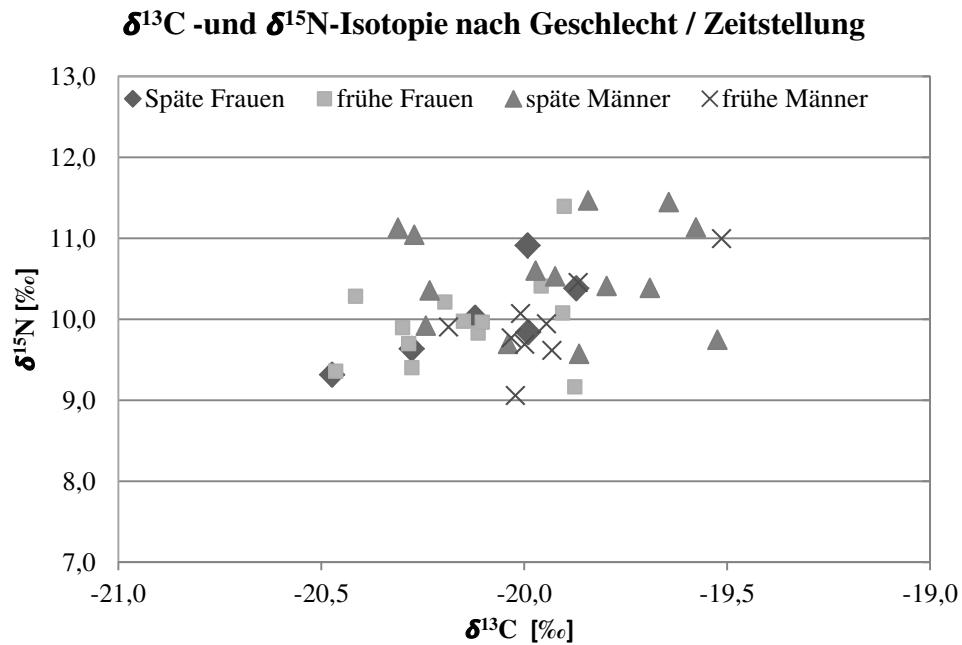


Abbildung 84

Zeitstellungsspezifische Unterschiede unter Berücksichtigung von Geschlecht und Altersgruppenzugehörigkeit wurden nicht beobachtet.

Werden die Werte der Kinder hinzugenommen (Abb.85) wird deutlich, dass die $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopie der Kinder mit Werten, die zwischen 9,0‰ und 13,5‰ liegen, eine wesentlich höhere Bandbreite aufweisen. 3 Kinder, deren $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopie bei über 12,0‰ lag, wiesen zudem $\delta^{13}\text{C}$ -Isotopiewerte auf, die nicht mehr innerhalb des Bereichs von -19,5‰ und -20,5‰ lagen, sondern deutlich höher, bis -18,9‰.

4. Ergebnisse und Diskussionen

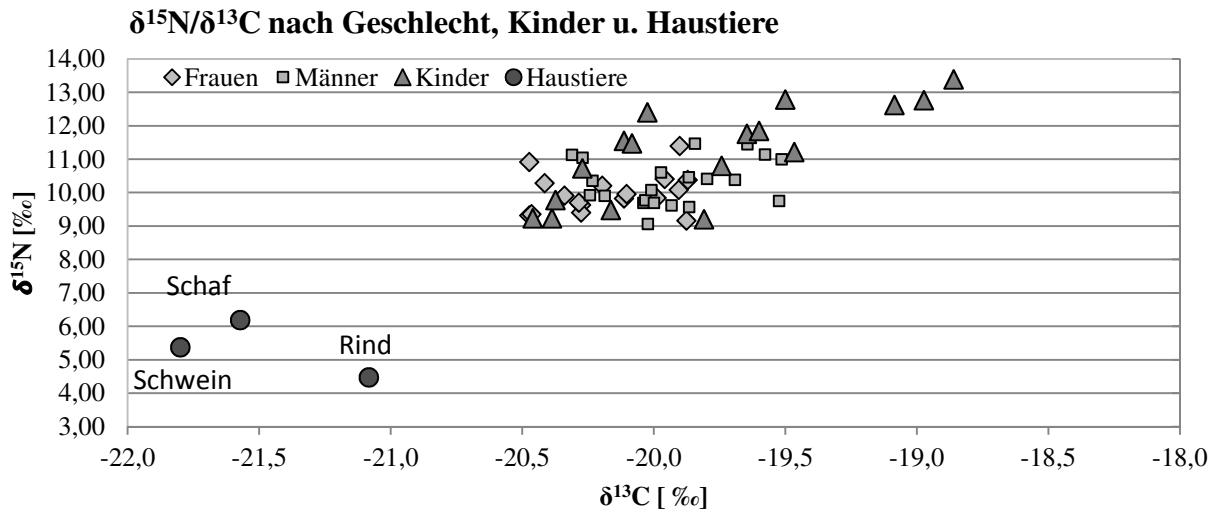


Abbildung 85

Die Isotopenwerte von Tieren, die der gleichen Zeitstellung und demselben Ort zugehörig waren, dienen als Bezugspunkte zu den Isotopenwerten der Menschen. Geht man davon aus, dass die herbivoren Tiere sich von C₃-Pflanzen wie Gräsern der Weiden ernähren und diese einen Kohlenstoffwert von ca. -26,5‰ aufweisen, ist der Wert des Schafs von -21,8‰, der Wert des Rindes von -21,6‰ und der des Schweins von -21,1‰ sehr plausibel, da ein Einbau in das Kollagen des Konsumenten mit einem Fraktionierungsfaktor von +5‰ zu erwarten ist.

Da die Isotopiewerte durch die Ernährungsweise von Kleinkindern (Stillen) und Kindern (Abstillen) beeinflusst sind, werden im Folgenden Kinder gesondert betrachtet.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Tabelle 54: $\delta^{15}\text{N}$ u. $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Kinder

Probe	Alter	$\delta^{13}\text{C}\text{\%}$	$\delta^{15}\text{N}\text{\%}$
neonat			
173-10	0	-20,1	11,6
173-9	0	-20,1	11,5
162	0	-19,5	11,2
MW		-19,9	11,4
0-9 Monate			
322-1	0-2 Monate	-19,6	11,8
325	0-3 Monate	-18,9	13,4
117	0-7 Monate	-20	12,4
200-8	1-2 Monate	-19,7	10,8
180	1-4 Monate	-19	12,8
114	6-9 Monate	-19,5	12,8
MW		-19,5	12,2
1-2 Jahre			
174-9	1 Jahr	-19,1	12,6
175-3	1 Jahr	-19,7	11,8
322-4	1-1,5 Jahre	-20,3	10,7
MW		-19,7	11,7
135-4	5 Jahre	-20,5	9,2
7-10 Jahre			
150	7-9 Jahre	-20,2	9,5
275	8-10 Jahre	-20,5	9,2
280	8-10 Jahre	-20,4	9,8
194-1	8-10 Jahre	-19,8	9,2
MW		-20,2	9,4
161	13 Jahre	-20,1	9,3

$\delta^{15}\text{N}$ lässt insbesondere wichtige Aussagen bezüglich der Säuglings- und Kleinkindernährung zu. Der normale Trophiestufeneffekt von der Muttermilch in das Säuglingskollagen wird dadurch verstärkt, dass laktierende Säugetierweibchen bei der Milchproduktion körpereigene Proteine abbauen, eine negative Stickstoffbilanz haben (Petzke et al. 2010) und somit einen zusätzlichen, internen Trophiestufeneffekt erzeugen. Insbesondere die Milchproteine sind daher gegenüber den anderen Bestandteilen der Muttermilch mit $\delta^{15}\text{N}$ angereichert (Kornexl et al. 1997), und damit weisen die Körpereiweiße der gestillten Kinder erhöhte $\delta^{15}\text{N}$ -Werte auf.

In Tabelle 54 sind die Kohlenstoff- und Stickstoffisotopen der Kinder (n=18) der präindustriellen Zeit (Kinder aus der Übergangsphase konnten nicht untersucht werden) nach Alter aufgelistet. Die höchsten $\delta^{15}\text{N}$ -Werte wurden im Mittel bei Kindern der Altersgruppe „0-9 Monate“ gemessen. Sie liegen im Mittel bei 12,2‰. Der höchste Wert beträgt 13,4‰. Die $\delta^{15}\text{N}$ - Isotopiewerte liegen im Schnitt deutlich über dem maximalen Wert der Frauen von 11,4‰. Die niedrigsten Werte wurden ab der Altersgruppe „5 Jahre“ mit 9,2‰ und in der Altersgruppe 7-10 Jahre mit im Mittel 9,4‰ beobachtet.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Die Werte liegen dabei aber immer etwas niedriger als der Mittelwert von 10,0‰, der $\delta^{15}\text{N}$ - Isotopiewerte der Frauen und erreichten sogar den minimalen Wert der Frauen von 9,2‰. (siehe Tabelle 52). Die 3 perinatal verstorbenen Kinder weisen eine dazwischenliegende Isotopie von 11,4‰ auf und sind im Bereich des Maximalwertes der Frauen angesiedelt.

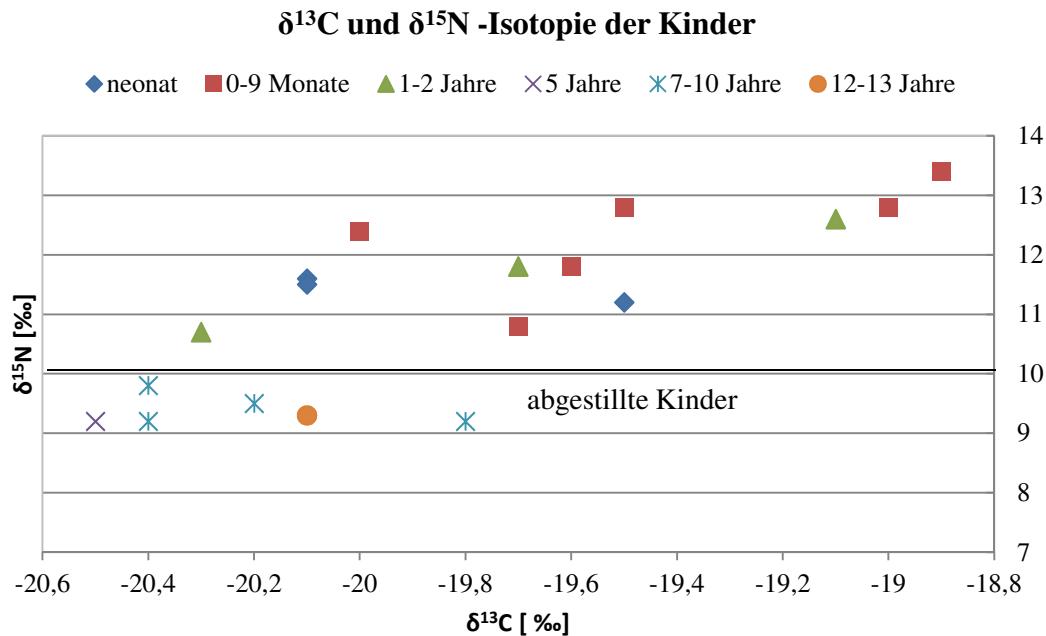


Abbildung 86: $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Kinder nach Altersgruppe

Betrachtet man das Diagramm Abb. 86, liegen die Werte für Säuglinge und Kinder, für die angenommen werden kann, dass sie gestillt wurden, im Bereich der höchsten $\delta^{15}\text{N}$ -Werte (MW 12,2‰). Ab der Altersgruppe 5 Jahre liegen die Werte im Mittel bei 9,4‰ und damit dem Mittelwert der Frauen von im Schnitt 10,0‰ näher, als dem Mittelwert der Männer von 10,3‰ (Tab.52). Kinder, die neonat verstorben sind, weisen eine Stickstoffisotopie auf, die zwischen den Werten der bis 0-9 Monate alten Kinder und der 1-2 Jährigen liegt. Die Kohlenstoffisotopie liegt bei Kindern der Altersgruppe „neonat“ im Mittel bei -19,9‰, bei der Altersgruppe 0-9 Monate bei -19,5‰ und bei der Altersgruppe 1-2 Jahre bei -19,7‰. Ab der Altersgruppe „5 Jahre“ sind die Werte am niedrigsten, bei -20,2‰. Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte des Kollagens der gestillten Kinder 0-2 Jahre zeigen Tendenzen zu etwas höheren Werten, was unter Berücksichtigung des vorhandenen, aber sehr geringen zusätzlichen internen Trophiestufeneffektes über die Muttermilch von bis zu +1‰ erklärbar ist. Ausgehend von den für eine terrestrische C₃-Pflanzennahrung typischen $\delta^{13}\text{C}$ -Werten, die in der Regel zwischen -19‰ und -21‰ liegen und unter zusätzlicher Berücksichtigung der gemessenen Tierwerte, die zwischen -21,1‰ und -21,8‰ liegen, sind die vorgestellten Kohlenstoff Isotopiewerte plausibel. Aus den Stickstoffisotopen lässt sich ableiten, dass in der Regel bis zu einem Jahr gestillt wurde.

4.12.2 Carbon Spacing

Der mit der Nahrung aufgenommene Kohlenstoff wird, je nachdem ob dieser in das Kollagen oder Karbonat des Knochens oder Zahns eingelagert wird, auf unterschiedlichen Stoffwechselwegen eingebaut. Das Kollagen bezieht den Kohlenstoff hauptsächlich aus dem Proteinbestandteil der Nahrung. (Ambrose und Norr 1993, Tieszen und Fagre 1993). Im Gegensatz dazu ist die Kohlenstoffquelle für die mineralische Komponente des Knochens oder Zahns der Kohlenstoff aus dem im Blut gelösten Bicarbonat, das wiederum aus allen Nahrungsbestandteilen, Kohlenhydraten, Lipiden und Proteinen, stammt (Hedges, 2003, Tieszen und Fagre 1993).

Herbivore und Karnivore beziehen ihre Energie aus unterschiedlichen Nahrungsbestandteilen, Herbivore zumeist aus den Kohlenhydraten der Pflanzen, Carnivore zumeist aus den Lipiden und Proteinen von Fleisch. Da Lipide relativ zu Proteinen und Kohlenhydraten an $\delta^{13}\text{C}$ abgereicherter, also isotopisch leichter sind, und die Tatsache, dass Herbivore um den Energiebedarf zu decken, größere Mengen zu sich nehmen müssen, führt zu erniedrigten $\delta^{13}\text{C}$ -Werten im Karbonat relativ zum Kollagen. Daraus folgt, dass der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert des Karbonats der Herbivoren eine größere Differenz zum $\delta^{13}\text{C}$ -Wert des Kollagens aufweist als bei Karnivoren. Damit kann der Anteil des tierischen Fetts an der Gesamtnahrung eines Individuums ermittelt werden (Ambrose und Norr 1993, Harrison und Katzenberg 2003, Tieszen und Fagre 1993). Je niedriger der Wert, desto höher der Anteil an tierischem Fett. Die Tiere aus Altdorf weisen die höchsten Werte auf, was bei Herbivoren zu erwarten ist. Diese liegen zwischen 6,8‰ und 8,4‰ (siehe Abb. 87), im Mittel bei 7,7‰. Die Werte der Menschen liegen niedriger, der Mittelwert beträgt für Individuen beider Zeithorizonte 5,5‰. Betrachtet man die Werte getrennt nach Zeitstellung (Abb. 87), lässt sich im Mittel eine geringfügige Verringerung des Wertes von der frühen Population (Quadrate) von 5,4‰ auf 4,7‰ in der späten Population (Rauten) feststellen. Da die Stickstoffwerte im Mittel in beiden Zeithorizonten bei 10,0‰ liegen, hat sich zwar der Konsum des Fleischanteils an der Ernährung nicht verändert, der tierische Fettanteil ist aber wohl tendenziell gestiegen. Dies könnte auf einen verstärkten Konsum von Fleisch mit höherem Fettanteil, weg von Rindfleisch hin zu Schweinefleisch hindeuten. Teuteberg und Wiegelmann (2005) sammelten Daten zum Fleischkonsum im 19. Jahrhundert. Sie konnten feststellen, dass sich in Deutschland zwischen 1820 und 1860 der Konsum von Fleisch nicht veränderte, die Zusammensetzung aber deutliche Unterschiede aufwies. Zwischen 1816 und 1907 stieg der Anteil am Schweinefleischverbrauch von 25% auf 60% im Jahre an. Der Anteil des Rindfleischs fiel dagegen von 45,3% auf 37,3%. Diese Entwicklung deckt sich mit den nicht veränderten Werten der Stickstoffisotope, bei gleichzeitig erhöhtem Konsum von tierischen Fetten, der sich wiederum in den leicht verringerten Carbonspacing-Werten widerspiegelt. Auch könnte angenommen werden, dass das verzehrte Fleisch aufgrund einer Veränderung der Fütterungsweise im Fettanteil gestiegen ist.

4. Ergebnisse und Diskussionen

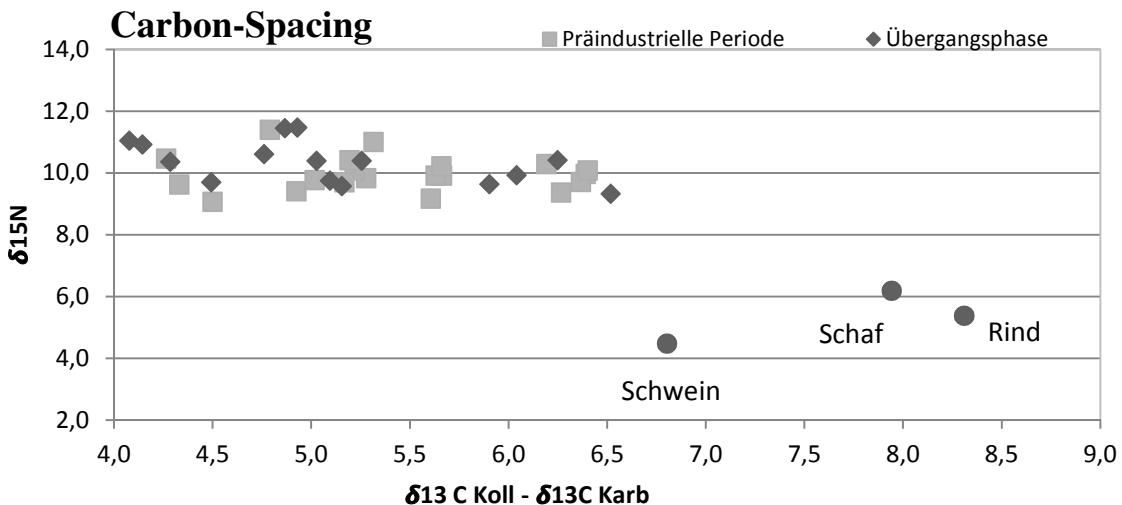


Abbildung 87: Carbon-Spacing

4.12.3 Isotopie - Mischungsmodell

Wie bereits im Methodenteil beschrieben, kann zur Bestimmung der Nahrungszusammensetzung eines Individuums die Methode des Mischungsmodells herangezogen werden. In diesem Fall stehen für eine entsprechende Analyse Messwerte für das Kohlenstoffisotop $\delta^{13}\text{C}$ sowie das Stickstoffisotop $\delta^{15}\text{N}$ aus dem Kollagen zur Verfügung. Insgesamt wurden 55 Individuen (davon 18 aus der späten und 37, darunter 17 Kinder, aus der frühen Zeitstellung) für diese Untersuchung herangezogen. Die gemessenen $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aus dem Kollagen der Konsumenten wurde um 5‰ bzw. 3‰ (Ambrose 1993) nach unten korrigiert um auf die Isotopenwerte der konsumierten Nahrung zu kommen (Tab. 55).

Tabelle 55: Verwendete Messwerte für das Mischungsmodell

Bef.-Nr.	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) Kollagen	$\delta^{15}\text{N}$ (‰) Kollagen	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) Nahrungsquelle ($\delta^{13}\text{C}$ Kollagen - 5‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰) Nahrungsquelle ($\delta^{15}\text{N}$ Kollagen - 3‰)
Spät				
1	-19,9	10,4	-24,9	7,4
8	-20,2	9,9	-25,2	6,9
15	-19,7	10,4	-24,7	7,4
38	-20,0	9,9	-25,0	6,9
21	-20,0	10,6	-25,0	7,6
63	-20,3	11,1	-25,3	8,1
64	-20,3	11,0	-25,3	8,0
95	-20,5	9,3	-25,5	6,3
96	-20,3	9,6	-25,3	6,6
207	-19,9	9,6	-24,9	6,6
209	-20,0	10,9	-25,0	7,9
214	-19,5	9,7	-24,5	6,7
219	-20,0	9,7	-25,0	6,7

4. Ergebnisse und Diskussionen

Bef.-Nr.	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) Kollagen	$\delta^{15}\text{N}$ (‰) Kollagen	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) Nahrungsquelle ($\delta^{13}\text{C}$ Kollagen- 5‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰) Nahrungsquelle ($\delta^{15}\text{N}$ Kollagen - 3‰)
229	-19,8	10,4	-24,8	7,4
230	-20,2	10,4	-25,2	7,4
238	-19,6	11,1	-24,6	8,1
245	-19,8	11,5	-24,8	8,5
288	-19,6	11,4	-24,6	8,4
MW spät			-25,0	7,4
Früh				
111	-20,1	9,8	-25,1	6,8
144	-20,1	10,0	-25,1	7,0
137	-20,2	9,9	-25,2	6,9
132	-20,3	9,4	-25,3	6,4
151	-20,4	10,3	-25,4	7,3
161	-19,9	9,2	-24,9	6,2
194	-20,0	9,1	-25,0	6,1
152	-20,0	9,8	-25,0	6,8
199	-19,9	10,5	-24,9	7,5
158	-19,9	9,6	-24,9	6,6
198	-19,9	10,1	-24,9	7,1
164	-20,0	9,7	-25,0	6,7
155-9	-20,0	10,4	-25,0	7,4
272	-20,3	9,7	-25,3	6,7
274	-20,5	9,4	-25,5	6,4
283	-20,3	9,9	-25,3	6,9
331	-19,5	11,0	-24,5	8,0
323	-19,9	11,4	-24,9	8,4
329	-20,0	10,1	-25,0	7,1
268	-20,2	10,2	-25,2	7,2
MW früh			-25,1	6,97
Kinder früh				
162	-19,5	11,2	-24,5	8,2
180	-19,0	12,8	-24,0	9,8
275	-20,4	9,2	-25,4	6,2
280	-20,4	9,8	-25,4	6,8
325	-18,9	13,4	-23,9	10,4
135-4	-20,5	9,2	-25,5	6,2
173-10	-20,1	11,6	-25,1	8,6
173-9	-20,1	11,5	-25,1	8,5
174-9	-19,1	12,6	-24,1	9,6
175-3	-19,6	11,8	-24,6	8,8
194-11	-19,8	9,2	-24,8	6,2
200-8	-19,7	10,8	-24,7	7,8
322-11	-19,6	11,8	-24,6	8,8
322-4	-20,3	10,7	-25,3	7,7
114	-19,5	12,8	-24,5	9,8
117	-20,0	12,4	-25,0	9,4
150	-20,2	9,5	-25,2	6,5
MW fr. K.			-25,0	7,4

4. Ergebnisse und Diskussionen

Exakte Zusammensetzungen der Nahrung beim Menschen sind aufgrund der Vielzahl der Nahrungskomponenten nicht zu erwarten. Die nachfolgende Analyse der Ernährungsgewohnheiten basiert auf der Reduzierung von Quellen zur Abschätzung der Nahrungsökonomie unter Annahme der in untenstehender Tabelle 56 aufgeführten potentiellen Nahrungsquellen. Diese umfassen die Haustiere, Schwein und Rind, deren Knochen sich im Fundgut befanden und in der Literatur als häufig verzehrte Fleischsorten genannt werden und deshalb zusammengefasst als Endpunkt dienten (Teuteberg und Wiegmann 2005).

Diese sogenannte „a priori Aggregation“ ist in diesem Fall zulässig, da die Isotopen relativ ähnlich sind (Phillips et al. 2005). Ferner wurden die Kartoffel und Milchprodukte, die eine große Rolle in der täglichen Ernährung ländlicher Bevölkerungen aus dieser Zeitstellung und dieser Untersuchungsregion spielten, als weitere Endpunkte ausgewählt (Müller 2006). Dabei wurden die obigen Isotope folgendermaßen festgelegt. Die gemessenen $\delta^{13}C$ - und $\delta^{15}N$ -Werte aus dem Kollagen von Schwein ($\delta^{13}C$ -25,1 und $\delta^{15}N$ 5,4) und Rind ($\delta^{13}C$ -25,8 und $\delta^{15}N$ 4,5) wurden gemittelt und zusätzlich der $\delta^{13}C$ -Wert anschließend um 4 ‰ erhöht, um den Wert für Muskelfleisch zu schätzen (Ambrose & Norr 1993). Die $\delta^{15}N$ -Daten für Milch/Käse sind aufgrund des internen Trophiestufeneffekts bei der Milchbildung des Organismus ausgehend von dem $\delta^{15}N$ -Wert der gemessenen Rinderprobe in Anlehnung an Kornexl et al. (1997) um ca. +3‰ angereichert. Die Kartoffel Isotopenwerte stammen von Messungen an rezenten Nahrungsmitteln aus Huelsemann et al. (2013). Der prozentual in 15% Stärke der Kartoffel enthaltene Kohlenstoff (C: 6%) wurde berechnet. Ebenso der prozentual in den 2% Proteinen der Kartoffeln enthaltene Stickstoff (N: 0,3%).

Tabelle 56: Stickstoff- und Kohlenstoffisotope sowie -konzentrationen der potentiellen Nahrungsquellen

Nahrungsquelle	$\delta^{13}C$ [‰]	$\delta^{15}N$ [‰]	[C] [%]	[N] [%]
Kartoffel	-26,5	4,2	6.0	0.3
Milch / Käse	-24,8	8,4	6.5	0.5
Schwein / Rind	-25,5	4,9	44.0	15.0

Trägt man die ermittelten Isotopenwerte für die einzelnen Individuen sowie die angenommenen Nahrungsquellen in ein $\delta^{13}C/\delta^{15}N$ -Diagramm ein so ergibt sich das in Abb. 88 dargestellte Ergebnis. Dabei ist zu beachten, dass bei einer Berücksichtigung der Isotopenkonzentrationen im Mischungsmodell, wie im Methodenteil beschrieben, der für eine entsprechende Analyse zulässige Bereich nicht durch Geraden, sondern durch (konzentrationsabhängige) Kurven festgelegt ist.

Isotopen für Individuen und Nahrungsquellen

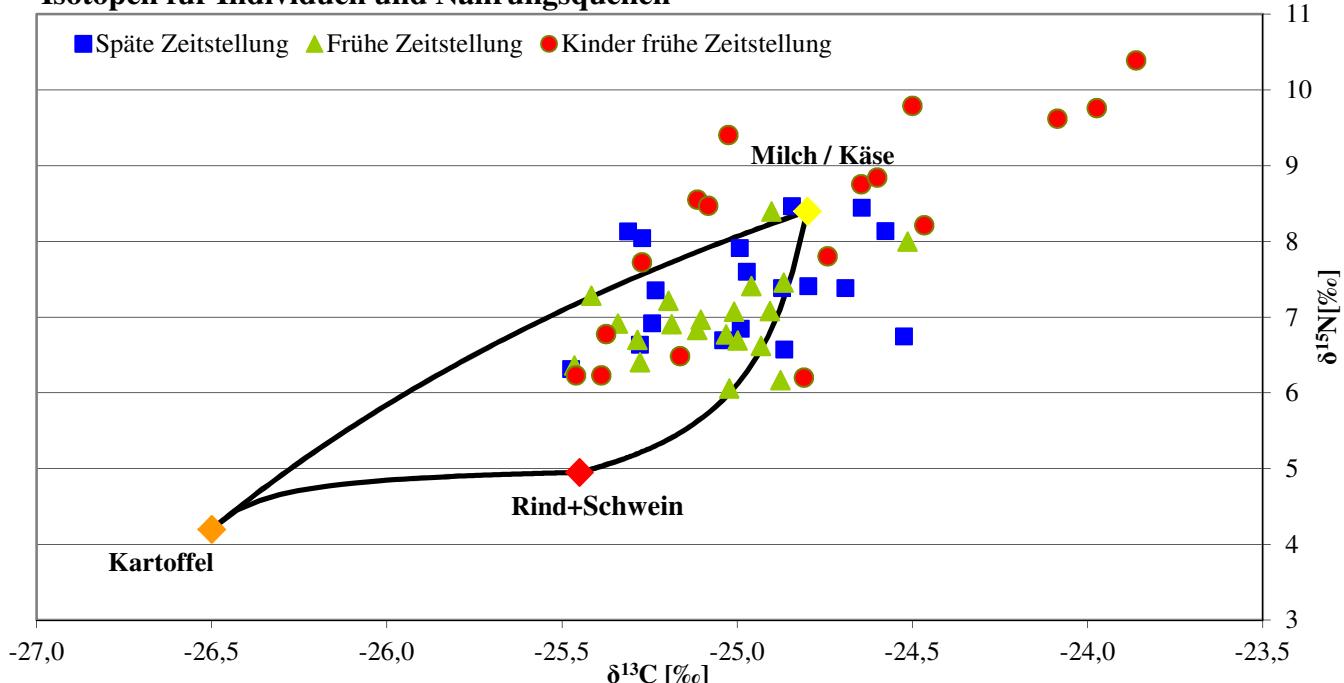


Abbildung 88: Individuen und Nahrungsquellen im $\delta^{13}\text{C}/\delta^{15}\text{N}$ -Diagramm

Wie der Abb. 88 zu entnehmen ist, liegen nur eine geringe Anzahl Erwachsener (Individuen der späten Zeitstellung 9, der frühen 3) und 13 Kinder außerhalb der Hüllkurve. Mit Ausnahme der Kinder mit hohen Stickstoffisotopewerten weisen die außerhalb der Hüllkurve gelegenen Individuen sehr geringe Abweichungen von nur bis zu $0,5\text{\textperthousand}$ auf und können aber trotzdem nicht für eine Analyse mittels des Mischungsmodells verwendet werden. Die hohen Stickstoffwerte der Kindernahrung sind auf das Stillen zurückzuführen, denn ausschließlich die Proteine der Muttermilch sind mit $\delta^{15}\text{N}\text{\textperthousand}$ angereichert (Kornexl et al. 1997). Kinder, die niedrigere $\delta^{15}\text{N}\text{\textperthousand}$ -Werte aufweisen, sind bereits abgestillt. Dabei ist zu beachten, dass in obiger Abbildung, im Gegensatz zu einer relativ groben Darstellung in IsoConc, die Begrenzungslinien für den zulässigen Bereich mit den im Methodenteil angegebenen Formeln vergleichsweise feinmaschig (aus insgesamt 100 Geradenstücken) konstruiert sind. Dies hilft dabei, bei der Auswahl der zu untersuchenden Individuen, Fehlentscheidungen dergestalt zu vermeiden, dass Punkte, die bei exakter Berechnung eigentlich innerhalb des zulässigen Bereichs liegen, aufgrund einer verfälschenden Darstellung in IsoConc außerhalb liegend angenommen und deshalb verworfen werden. So liegen die Individuen 1, 158, 198 und 199, also immerhin 7% der Gesamtheit, eigentlich außerhalb, können aber aufgrund der in Abb. 88 gezeigten exakten Berechnung der Hüllkurve dem zulässigen Bereich zugeordnet und dementsprechend für die Analyse verwendet werden.

Für die 30 Individuen innerhalb des von den oben aufgeführten Nahrungsquellen aufgespannten Bereichs wird in der Folge die wahrscheinliche Nahrungszusammensetzung durch Aufstellung eines geeigneten Mischungsmodells untersucht.

Aufgrund der Tatsache, dass die potentiellen Nahrungsquellen hinsichtlich ihrer Isotopenwerte relativ weit auseinander liegen, ist es notwendig die jeweiligen Kohlenstoff- und Stickstoffkonzentrationen der verwendeten Lebensmittel mit in die Analyse einzubeziehen (siehe Tab. 56).

4. Ergebnisse und Diskussionen

Deshalb werden die folgenden Untersuchungen mit dem im Methodenteil beschriebenen Programm IsoConc für Modelle mit zwei Isotopen und drei potentiellen Nahrungsquellen durchgeführt. Die Ergebnisse der Analyse in Form der auf die Biomasse bezogenen Anteile für die drei Nahrungsquellen, Kartoffel, Milch & Käse sowie Rind & Schwein, sind in unter Berücksichtigung der Zeitstellung in der (Tab. 57) dargestellt.

Tabelle 57: Anteile der Nahrungsquellen von Individuen der frühen und späten Zeitstellung sowie Kinder der frühen Zeitstellung

<i>Übergangsphase</i>				<i>Präindustrielle Phase</i>				<i>Kinder</i>			
<i>Bef.Nr</i>	<i>Kartoffel</i>	<i>Milch/Käse</i>	<i>Rind/Schwein</i>	<i>Bef.Nr.</i>	<i>Kartoffel</i>	<i>Milch/Käse</i>	<i>Rind/Schwein</i>	<i>Bef.Nr.</i>	<i>Kartoffel</i>	<i>Milch/Käse</i>	<i>Rind/Schwein</i>
1	0,40	0,58	0,02	111	0,19	0,81	0,02	135	0,40	0,58	0,02
8	0,26	0,73	0,01	132	0,27	0,70	0,02	150	0,19	0,79	0,03
21	0,10	0,90	0,01	137	0,22	0,763	0,01	275	0,35	0,63	0,02
38	0,07	0,91	0,02	144	0,17	0,82	0,02	280	0,35	0,64	0,01
95	0,41	0,57	0,02	151	0,38	0,62	0,00				
96	0,28	0,70	0,02	152	0,10	0,86	0,02				
209	0,12	0,88	0,00	155	0,08	0,91	0,01				
219	0,10	0,87	0,03	158	0,01	0,96	0,03				
230	0,27	0,73	0,00	164	0,07	0,90	0,03				
				194	0,01	0,92	0,06				
				198	0,02	0,96	0,02				
				199	0,01	0,98	0,01				
				268	0,24	0,76	0,01				
				272	0,29	0,70	0,01				
				274	0,41	0,58	0,02				
				283	0,33	0,66	0,01				
				329	0,10	0,88	0,02				
MW	0,22	0,76	0,01	MW	0,17	0,81	0,02	MW	0,32	0,66	0,02

Bei Betrachtung der noch einmal in Abb. 89 dargestellten Mittelwerte der durchschnittlichen Nahrungsanteile, zeigt sich eine klare Dominanz der Nahrungsquelle "Milch/Käse" für alle betrachteten Gruppen.

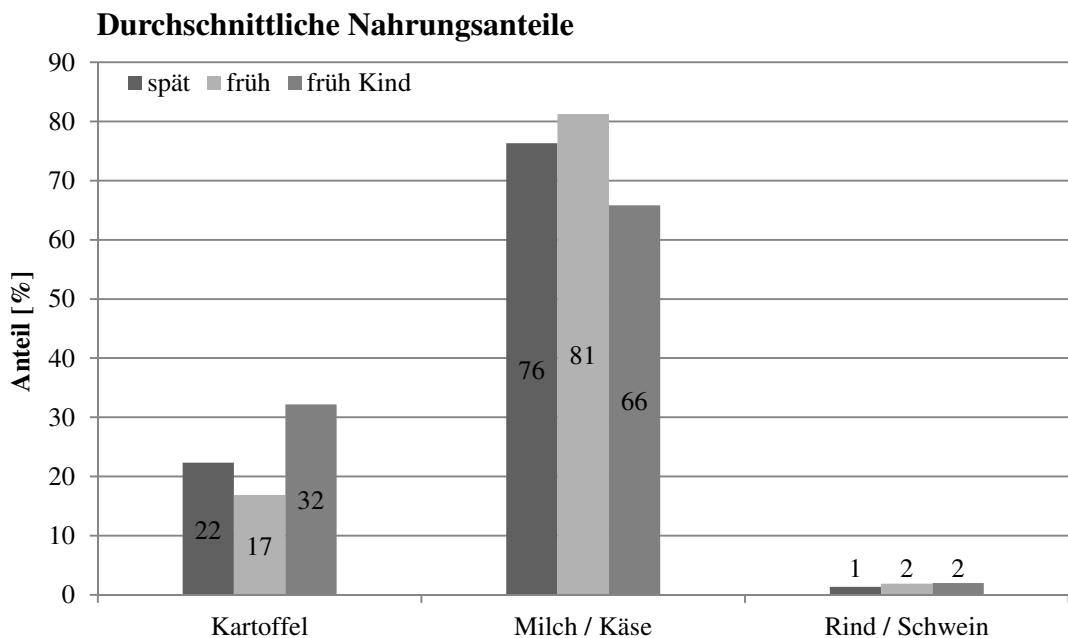


Abbildung 89: Gemittelte Anteile für die angenommenen Nahrungsquellen

Dabei ist es wichtig, festzustellen, dass obige Ergebnisse lediglich Approximationen sein können, da Menschen Nahrungsgeneralisten und –opportunisten sind. Mit den Entwicklungen in der Landwirtschaft und der Nahrungsmittelherstellung während der Industrialisierung verstärkte sich dieses Verhalten. Zum einen stecken natürlich in den Annahmen der Isotopen- sowie Konzentrationswerten für die betrachteten Nahrungsquellen beträchtliche Unsicherheiten. Zum anderen ist offensichtlich auch die (bei Verwendung des Programms IsoCone aus dem allgemeinen Ansatz für das Mischungsmodell kommende) Einschränkung auf lediglich drei potentielle Nahrungsquellen bei weitem zu restriktiv und spiegelt sicher nicht die realistischen Lebensumstände der betrachteten Individuen wider. Die erhaltenen Ergebnisse zeigen nicht die Verhältnisse der tatsächlich zugeführten Nahrungsmittel, sondern vielmehr aus welchen Nahrungstypen beispielsweise die Proteinbestandteile zum größten Teil bezogen worden sind. Proteine aus Fleisch wurden eher weniger verwertet, wohingegen das Protein wohl zum größten Teil aus Milchprodukten und Kartoffeln stammte. Diese Ergebnisse werden auch durch historisches Quellenmaterial bestätigt. Fleisch spielte im gesamten Untersuchungszeitraum nur eine eher geringe Rolle. Es wurde regelmäßig nur an Sonntagen oder Feiertagen verzehrt. Im Gegensatz dazu spielte in Deutschland die Kartoffel ab 1840 eine zunehmend größere Rolle, was sich ebenfalls in den Ergebnissen des Mischungsmodells widerspiegelt. Die späte Population weist Tendenzen zu höheren Kartoffelanteilen auf als die frühe Population. Ferner ist aus den Ergebnissen des Mischungsmodells herauszulesen, dass Milch und Milchprodukte Hauptlieferant für Proteine waren.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Milch und Kartoffeln, gefolgt von Brot (hier nicht in die Untersuchung eingeschlossen) galten als Hauptnahrungsmittel dieser Zeit, wie aus diversen Aufzeichnungen von staatlichen Gewerbeaufsichten des 19. Jahrhunderts in Arbeiterkosthäusern entnommen werden kann (Teuteberg und Wiegemann 2005).

Diese Methode zeigt aber immerhin einen möglichen Weg auf, die Mischungsisotopie und damit die ungefähre Nahrungszusammensetzung im menschlichen Konsumenten zu erklären.

D 4.11/4.12 Zusammenfassung der Isotopendaten

Die Isotopenuntersuchungen dienten zum einen der Darstellung einer möglichen Veränderung des Ernährungszustands der Altdorfer Bevölkerung im Laufe des Industrialisierungsprozesses und zum anderen der Detektion von geschlechtsspezifischen Unterschieden, da Männer und Frauen, wie aus verschiedenen Studien zu Ernährung hervorgeht, unterschiedliche Ernährungsgewohnheiten aufweisen und diese durch soziale und kulturelle Faktoren bedingt sind (Prahl und Setzwein 1999). Ein signifikanter Unterschied der $\delta^{15}\text{N}/\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen Männern und Frauen konnte nicht beobachtet werden. Jedoch ist bemerkenswert, dass Frauen und Männer der präindustriellen Phase im Mittel nahezu identische $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Werte besitzen (9,95‰ bzw. 9,88‰) und Frauen in der Übergangsphase einen unveränderten $\delta^{15}\text{N}$ Mittelwert, die Männer aber einen höheren (10,00‰ bzw. 10,53‰) aufweisen. Dies könnte man vorsichtig dahingehend interpretieren, dass Männer der späten Phase mehr Fleisch gegessen haben. Passend dazu stagnierte die Körperhöhe der Frauen bei gleichzeitiger Zunahme der Körperhöhe der Männer. Der Anteil des verzehrten tierischen Fettes ist im Laufe der Zeit leicht gestiegen, was an der relativen Erhöhung des Schweinefleischkonsums liegen könnte. Die Untersuchung der Nahrungszusammensetzung von Erwachsenen über das Mischungsmodell deutet darauf hin, dass Milchprodukte als Hauptproteinquelle dienten und Fleisch doch eher in geringerem Maße verzehrt wurde, was die alleinige Betrachtung der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte nicht zeigt. Die Untersuchung der $\delta^{15}\text{N}/\delta^{13}\text{C}$ -Werte des Kollagens von Kindern unterschiedlicher Altersklassen der präindustriellen Phase führte zu dem Ergebnis, dass Kinder bis zu ca. 1 Jahr gestillt wurden. Werte der untersuchten Kinder von 0-1 Jahr hatten signifikant höhere Werte als Neugeborene bzw. perinatale Kinder, deren Werte im Bereich der Frauen lagen. Kinder nach dem ersten Lebensjahr wiesen im Schnitt die niedrigsten Werte auf. Ferner wurde die Altdorfer Population im Hinblick auf ihre Mobilität mit Hilfe der Sauerstoffisotope des Knochenapatits und Zahnschmelzes untersucht. Dabei lagen alle Werte des Zahnschmelzes (MW:-7,2‰) im Bereich der lokalen Signatur des Oberflächenwassers (-8,1‰), was eine lokale Gebundenheit der Altdorfer insofern nahelegt, wenn man von einer Abweichung von 1-2‰ (White et. al. 1998, Schulz 2006, Wright und Schwarcz 1998) bei ortstreuen Individuen innerhalb einer Population ausgeht, als dass diese mit Sicherheit dort geboren und die frühe Kindheit dort verbracht haben. Die Messwerte des Knochenapatits sollten aufgrund des Stilleffekts bis zu 1‰ abgereichert sein. Die Werte hier zeigen aber im Mittel um 3,6‰ abgereicherte Sauerstoffisotopen. Eine Einteilung in zwei Gruppen wurde vorgenommen. Jene Individuen, deren Werte im Bereich der gemessenen Tierknochen liegen, wurde als lokal eingestuft, andere, deren Werte nicht mehr im Bereich der Tierwerte liegen wurden als potenziell fremd eingestuft.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Da aber die Isotopenwerte des Zahnschmelzes alle die lokale Signatur zeigen lässt sich für die fremde Signatur des Knochenapatits mit einem längeren oder regelmäßigen Aufenthalt der Individuen in anderen Regionen während der letzten Lebensjahre erklären, beispielsweise während eines Kriegsdienstes. Bestattet wurden diese aber wie üblich in der Heimatgemeinde. So lässt sich die ausnahmslos lokale Signatur des Zahnschmelzes, aber zugehörige Individuen mit „fremder“, sowie „lokaler“ Signaturen im Knochenapatit erklären.

4.13 Ergebnisse zum Diagenesestatus des Knochenmaterials

Die relativ kurze Liegezeit von 100-200 Jahren repräsentiert die Phase der Frühdiagenese und ist deshalb für das Verständnis der Vorgänge, die zum Fortbestehen oder Vergehen des bodengelagerten Materials führen, enorm wichtig. Im Folgenden sind die Ergebnisse der Untersuchungen zum Diagenesestatus des Knochenmaterials aus dem späten Zeithorizont dargestellt.

4.13.1 Aminosäureanalyse (ASA)

Für eine Stichprobe von insgesamt 36 Individuen und 46 Messungen der späten Zeitstellung wurde, wie im Methodenteil beschrieben, zur Bestimmung der Quantität (Gesamtertrag der Aminosäuren) und Qualität (Verteilung der Aminosäuren) des aus Knochenmaterial extrahierten Kollagens, eine Aminosäureanalyse (ASA) durchgeführt. Dabei wurden die Kollagenproben bei 22 Individuen nur aus der Rippe, bei 4 Individuen nur aus dem Femur, sowie bei insgesamt 10 Individuen aus Rippe und Femur erzeugt. 16 Proben wurden im Rahmen einer Bachelor-Arbeit von Frau Christina Pankratz (2010) aufbereitet und gemessen. Die quantitative Analyse zeigt, dass die Ergebnisse der ASA im Mittel die durch den (rezenten) Referenzstandard vorgegebenen Verhältnisse widerspiegeln. Dies wird in Abb.90 exemplarisch durch einen Vergleich des Standards mit den Durchschnittswerten, den Maximal- und Minimalwerten aller Messungen für die jeweiligen Aminosäuren dargestellt.

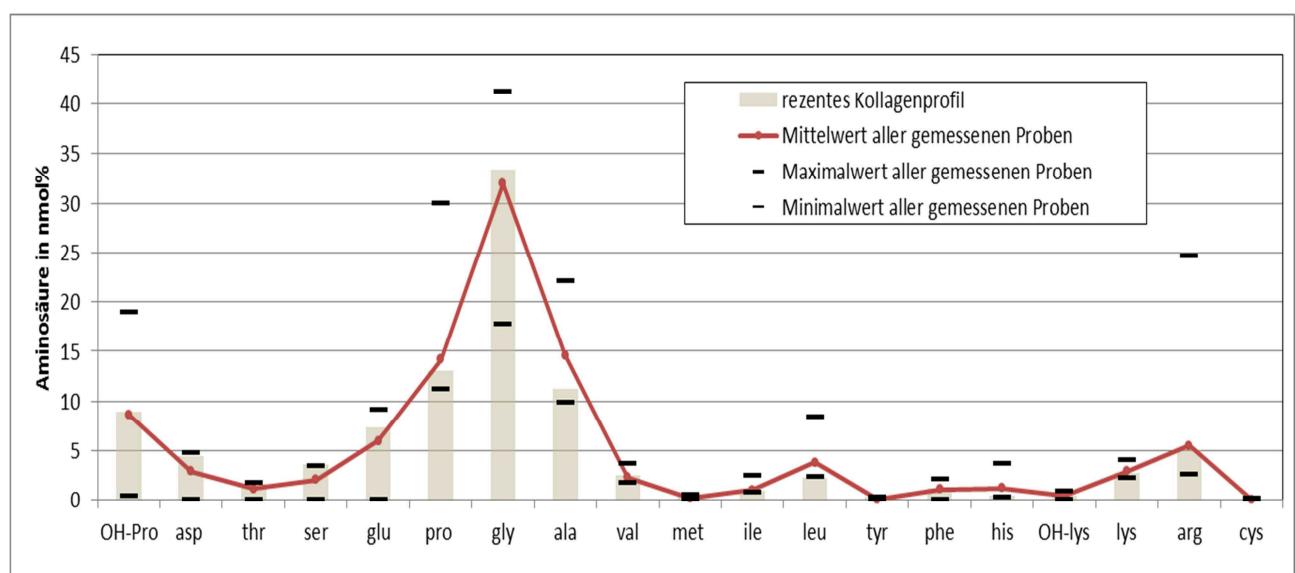


Abbildung 90: Quantitativer Vergleich des Standards mit gemessenen Kollagenproben aus Altdorf

4. Ergebnisse und Diskussionen

Die Aminosäureausbeuten der gemessenen Proben schwanken, wie in Tab.58 zu sehen, stark. Betrachtet man die einzelnen Aminosäuren genauer (Tab.59), können Aussagen über die

Tabelle 58: Aminosäureausbeute in nmol / 100mg Knochen

MW	29415,7
Min	173,8
Max	69800,2
Stabw	19588,1

Qualität des Kollagens gemacht werden und mögliche Ursachen für abweichende Aminosäureprofile detektiert werden. In Tab.59 sind aus 46 Proben die Mittelwerte, die Minimal- und Maximalwerte, sowie die Standardabweichungen für die einzelnen Aminosäuren in nmol% angegeben. Ferner sind die prozentualen Angaben darüber angegeben, wie groß der Anteil der Proben ist,

welche der Menge des rezenten Aminosäurewerts im Kollagen entsprechen. Ebenso sind für die einzelnen Aminosäuren die der Proben mit niedrigeren bzw. höheren Werten angegeben. Totalausfälle wurden gesondert aufgeführt.

Tabelle 59: Aminosäure Kennwerte, Werte sind in nmol % angegeben

Aminosäuren	rez. Wert¹	MW¹	Min¹	Max¹	STABW	un-verändert n=46 Proben	niedriger n=46 Proben	höher n=46 Proben	total Ausfälle n=46 Proben
OH-Prolin	8,9	8,6	0,4	18,9	2,6	54%	22%	24%	0%
Asparagins.	4,4	2,9	0,0	4,8	1,4	43%	48%	0%	9%
Threonin	1,7	1,1	0,0	1,8	0,6	56%	35%	0%	9%
Serin	3,6	2,1	0,0	3,4	1,2	39%	48%	0%	13%
Glutamin	7,4	6,0	0,0	9,1	2,6	41%	33%	19%	7%
Prolin	13	14,2	11,1	29,9	4,2	26%	48%	26%	0%
Glycin	33,4	32,0	17,7	41,3	4,7	24%	43%	33%	0%
Alanin	11,2	14,6	9,8	22,1	3,2	24%	0%	76%	0%
Valin	2,5	2,3	1,7	3,7	0,4	54%	35%	11%	0%
Methionin	0,5	0,2	0,0	0,4	0,2	24%	37%	0%	39%
Isoleucin	0,9	1,0	0,8	2,4	0,3	82%	0%	18%	0%
Leucin	2,3	3,8	2,4	8,4	1,2	37%	0%	63%	0%
Tyrosin	0,3	0,0	0,0	0,3	0,1	2%	20%	0%	78%
Phenylalanin	1,2	1,1	0,0	2,0	0,6	60%	6%	17%	17%
Histidin	0,5	1,2	0,3	3,7	0,8	46%	0%	54%	0%
OH-Lysin	0,5	0,4	0,1	0,9	0,2	74%	15%	11%	0%
Lysin	2,7	2,9	2,2	4,0	0,3	58%	2%	40%	0%
Arginin	5	5,5	2,5	24,7	3,0	79%	4%	17%	0%

Für die zum Teil großen Abweichungen im Aminosäureprofil vom rezenten Referenzprofil sind unterschiedliche Gründe zu nennen. Ausfälle von Asparagin, Threonin und Glutamin konnten nur vereinzelt festgestellt werden, wohingegen Serin und Phenylalanin etwas höhere Ausfallraten aufweisen. Enorm häufig fällt Methionin und Tyrosin mit 39% und 78% aus und weist zudem häufig niedrige Werte auf, vermutlich aufgrund der im Kollagen ohnehin nur gering vorhandenen Mengen. Mit Sicherheit spielt auch die Sensitivität der Aminosäuren aufgrund ihrer unterschiedlichen chemischen Eigenschaften auf die Anwendung der Labormethoden (bspw. die saure Hydrolyse) eine große Rolle. Lottspeich (2006) spricht von Aminosäureverlusten von 10-40%. Einen großen Einfluss üben die chemischen und

4. Ergebnisse und Diskussionen

biologischen Degradationsvorgänge, welche durch das Liegemilieu bedingt sind, auf die Aminosäuren aus.

Die hohe Ausfallrate von Tyrosin und Methionin (Tab. 59) kann dadurch begründet sein, dass aufgrund ihres hohen Kohlenstoffgehalts diese von heterotrophen Organismen bevorzugt verstoffwechselt werden, da der Energieertrag sich für diese nicht ändert, gleich ob diese eine größere Menge kohlenstoffarme oder wenige kohlenstoffreiche Aminosäuren verdauen (Grupe 1995). Da Methionin, Phenylalanin und, bedingt auch das daraus gebildete Tyrosin, essentielle Aminosäuren sind, müssen diese mit der Nahrung aufgenommen werden. Mangel an diesen Aminosäuren und damit geringe Werte im Kollagen können zusätzlich durch Stress, Infektionen, Traumata oder Nierenerkrankungen begünstigt werden. Die Güte bzw. Qualität des der jeweiligen Analyse zugrunde liegenden Kollagens wurde nach den in der folgenden Tab. 60 aufgelisteten Kriterien bewertet (DeNiro 1985, DeNiro & Weiner 1988, Elster et al. 1991, Grupe 1992, Masters 1987, Schoeninger et al. 1989, Tuross et al. 1988).

Tabelle 60: Kriterien zur Beurteilung von Kollagen

Guter Kollagenerhalt	Schlechter Kollagenerhalt
ca. 1/3 (33mol%) aller Aminosäuren sind gly	
ca. 1/3 (33mol%) sind pro + OH-pro + ala	ca. 40 mol% sind asp + ser
gly/glu = 3-5	gly/glu < 2,5
gly/asp >= 5-7	gly/asp < 5
OH-pro/asp >= 1,5	OH-pro/asp < 1,5
	30-40mol% sind glu
>250 nmol Aminosäuren/mg Protein	< 50nmol Protein
asp/pro < 10	asp/pro > 10

Nach diesen Kriterien können die entsprechenden Proben in "gutes" und "schlechtes" Kollagen eingeteilt werden. Da sich bei der Untersuchung der hier vorliegenden Proben zeigt, dass keine einzige der Proben ein Kriterium für schlechten Kollagenerhalt erfüllt und nur sehr wenige wirklich ungeeignet (d.h. die Werte für guten Erhalt werden weit verfehlt) für weitere Untersuchungen sind, andererseits aber auch einige Proben die Kriterien für guten Kollagenerhalt nur teilweise erfüllen, aber dennoch für weitergehende Analysen geeignet erscheinen, ist es sinnvoll, in diesem Zusammenhang eine weitere Kategorie als "geeignetes" Kollagen zu definieren. Dementsprechend kann "gutes" Kollagen auch als "gut geeignet" bezeichnet werden. Für die Untersuchungen zur Differenzierung der Güte des Kollagenerhalts wird also folgende Klassifizierung festgelegt.

4. Ergebnisse und Diskussionen

- **gut geeignet:** Alle sieben oben beschriebenen Kriterien für "Guten Kollagenerhalt" sind erfüllt, wobei das Kriterium hinsichtlich des Quotienten aus Glycin und Glutamin durchweg etwas erhöhte Werte aufweist.
- **geeignet:** Ein bis zwei der Kriterien für "Guten Kollagenerhalt" sind verletzt, wobei insbesondere die Bedingungen für die relativen Anteile von Glycin sowie der Summe aus Prolin, Hydroxyprolin und Alanin für die Bewertung ausschlaggebend waren.
- **bedingt geeignet:** Mehr als zwei der obigen Kriterien für "Guten Kollagenerhalt" sind verletzt, wobei wiederum hauptsächlich die Bedingungen für die relativen Anteile von Glycin sowie der Summe aus Prolin, Hydroxyprolin und Alanin für die Bewertung ausschlaggebend waren.

Der Anteil der Proben mit "gutem" Kollagen beträgt hier 55.6% (20), gegenüber 30.6% "geeignetem" sowie 13.8% "bedingt geeignetem" Kollagen.

Untersucht man nun mögliche Einflussfaktoren für die Güte des Kollagenerhalts, so kann zunächst das Sterbealter betrachtet werden. Bei insgesamt 25 der hier betrachteten 36 Individuen konnte die Zugehörigkeit zu einer Altersgruppe eindeutig bestimmt werden. Die entsprechende Verteilung der Kollagenqualität ist in Abb.91 dargestellt.

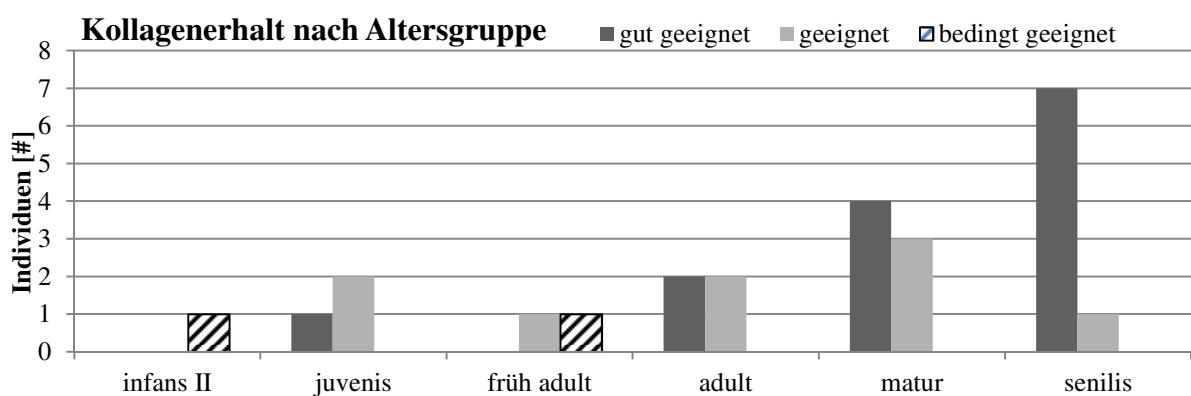


Abbildung 91: Güte des Kollagenerhalts differenziert nach Altersgruppe

Offensichtlich lässt sich hier (bis auf die Altersgruppe juvenis) ein Trend zu höherer Kollagengüte mit zunehmendem Sterbealter feststellen. Die Existenz dieser Abhängigkeit wird auch durch einen χ^2 -Test für eine entsprechende Kontingenztafel bestätigt, der eine Wahrscheinlichkeit von 1,1% für die Unabhängigkeit (also umgekehrt einen signifikanten Wert für Abhängigkeit) der Merkmalsausprägung von der Altersgruppe ergibt. Daneben kann auch die Abhängigkeit der Güte des Kollagenerhalts von den Faktoren Geschlecht und Grablege untersucht werden (Abb.92). Dabei konnten bei insgesamt 28 der hier betrachteten 36 Individuen das Geschlecht und bei allen 36 die Grablege eindeutig bestimmt werden.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Kollagenerhalt nach Geschlecht/Grablage (n=28)

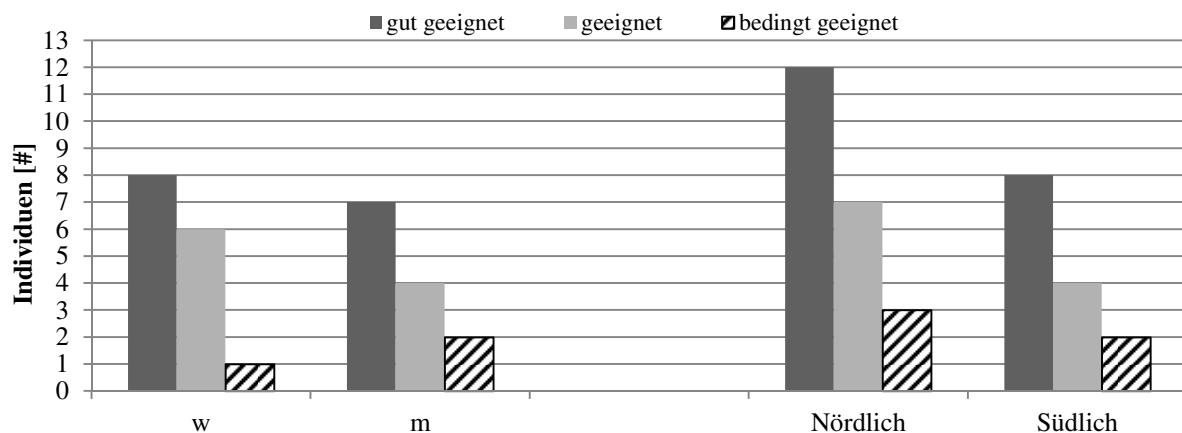


Abbildung 92: Güte des Kollagenerhalts differenziert nach Geschlecht und Grablage

Hier zeigt sich erwartungsgemäß, dass das Geschlecht keinen Einfluss auf die Integrität des Kollagens ausübt. Auch der Einfluss der Grablage zeigt unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Anzahl für Lagezugehörigkeit keinen Unterschied in der Kollagenerhaltung. Somit kann zumindest in diesem Fall davon ausgegangen werden, dass die Grablage keinen nennenswerten Einfluss auf die Güte des Kollagenerhalts hat. Die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten aus einem χ^2 -Test für Unabhängigkeit von der Merkmalsausprägung beträgt für die Grablage sogar 97,9%, also signifikant.

4.13.2 ASA des Rippen- und Femurkollagens - ein Qualitätsvergleich

Da oftmals für ein zu untersuchendes Individuum sowohl Rippen, als auch Femora zur Kollagenextraktion zur Verfügung stehen, stellt sich die Frage, ob beide Knochenarten gleich gut für eine Aminosäureanalyse geeignet sind, oder ob man für eine bestimmte Knochenart homogenere bzw. konsistenter Ergebnisse erhält und diese demzufolge tendenziell geeigneter ist. Dies ist besonders vor dem Hintergrund interessant, da die Extraktion von Kollagen aus dem Femur ein sehr invasives Vorgehen ist. Man geht bisher davon aus, dass sowohl die Größe der Fragmente als auch die Knochenoberfläche, die in Kontakt mit dem umgebenden Erdreich steht, durch Austauschprozesse mit der Umgebung chemisch verändert sind (Endt und Ortner 1984). Auch spongiöser Knochen wird im Allgemeinen aufgrund der großen Oberfläche mit einer höheren Anfälligkeit für diagenetische Vorgänge in Zusammenhang gebracht und deshalb oft nicht als Probenmaterial verwendet (Hedges und Millard 1995). Ob der Ausschluss dieser berechtigt ist, wurde für insgesamt 10 der hier untersuchten 35 Individuen zu Vergleichszwecken Kollagen aus beiden Knochenarten, der Rippe und dem Femur extrahiert und einer Aminosäureanalyse unterzogen.

Analog zu obigem Vorgehen zeigt auch hier ein erster Vergleich der Mittelwerte aller Proben der einzelnen Aminosäure-Quantitäten (Abb.93), nach Rippe und Femur unterschieden, eine jeweils relativ gute Übereinstimmung mit dem Referenzstandard. Differenziert betrachtet zeigt sich allerdings eine bessere Übereinstimmung des Aminosäureprofils für das aus Rippen (im Vergleich zu Femora) gewonnene Kollagen.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Dies wird bestätigt durch einen χ^2 -Anpassungstest, der hinsichtlich der Verteilung der Aminosäuren für die Femora eine signifikante, für die Rippen aber eine hochsignifikante Übereinstimmung mit dem Standard ergibt.

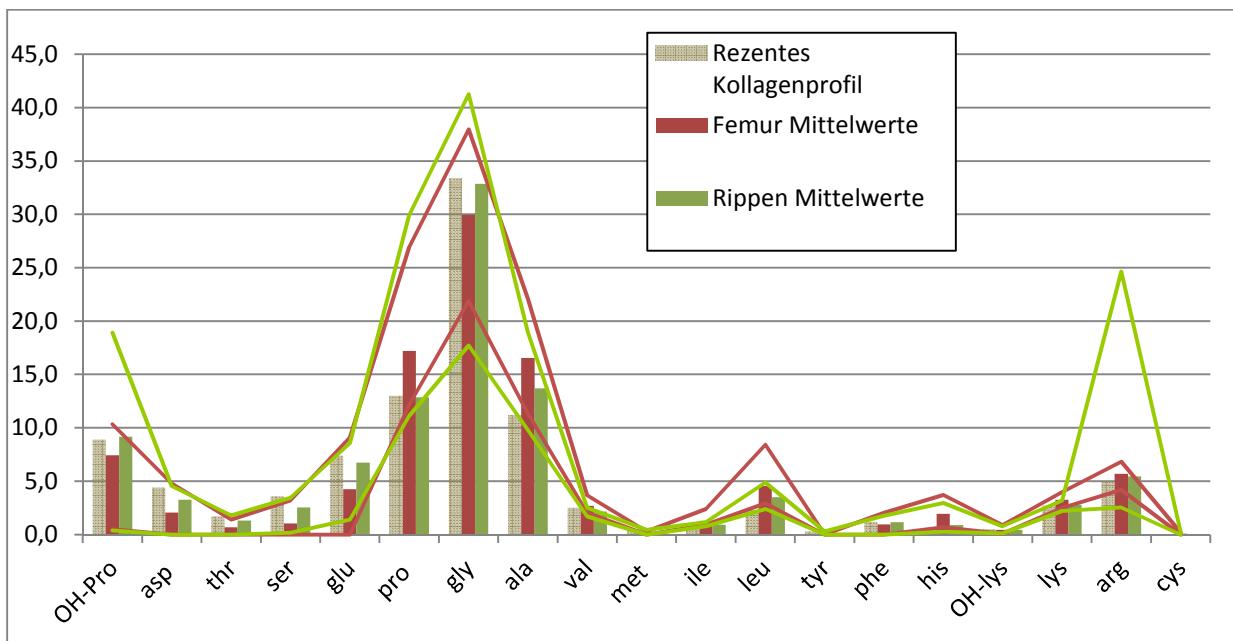


Abbildung 93: Quantitativer Vergleich des Standards mit Messungen (Femora bzw. Rippen) unter Angabe der Mittelwerte, der Minimal- und Maximalwerte

Die umfangreiche detaillierte Auswertung der entsprechenden Ergebnisse dieses Vergleichs findet sich im Anhang (Kap. 7.1 Tab. 79 und 80). Dabei sind zunächst die Werte für den für jedes Individuum durchgeführten Abgleich der zu Vergleichszwecken auf den Standard normierten Aminosäure-Anteile für Femur und Rippe aufgeführt. Auf den ersten Blick ergibt sich hierbei kein homogenes Bild. Bei manchen Individuen liegen etwa die Hälfte aller Werte für jeweils Femur und Rippe etwa in derselben Größenordnung, bei anderen zeigen sich durchgängig große Unterschiede, insgesamt lässt sich allerdings keine Regelmäßigkeit erkennen. Dies ändert sich bei Betrachtung der Mittelwerte dieser Abweichungen (Abb. 94). Dabei zeigt sich ein fast ausnahmslos (bis auf Valin und Arginin) durchgängiger Trend zu höheren Abweichungen bei den Femora, verglichen mit den Rippen, für alle Aminosäuren. Dies bestätigt den oben beschriebenen ersten Eindruck hinsichtlich der Eignung der jeweiligen Kollagenproben.

4. Ergebnisse und Diskussionen

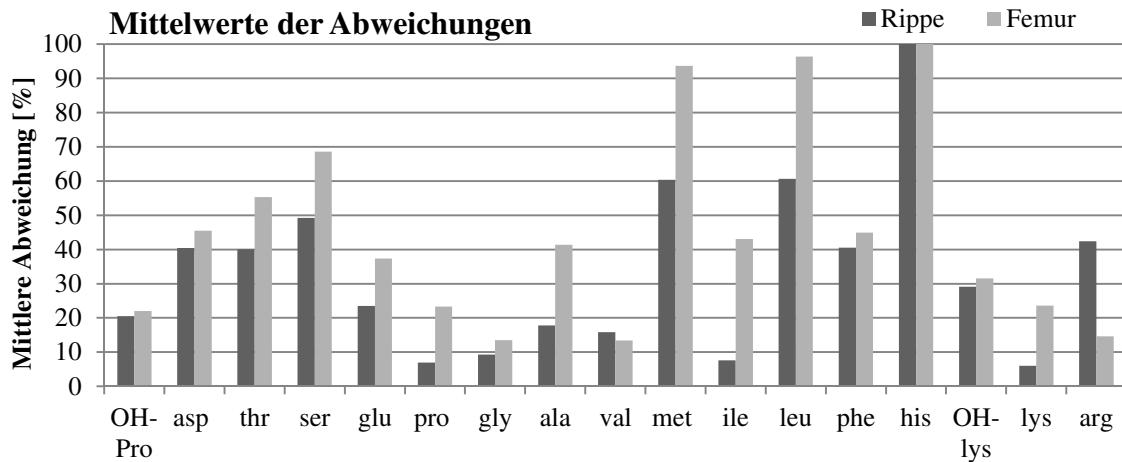


Abbildung 94: Durchschnittliche Abweichung für Femora/Rippen vom Standard

Vergleicht man nun für die Individuen, für die Kollagen aus Rippe und Femur extrahiert wurde, die Kollagengüte entsprechend der zuvor eingeführten Klassifikation, so zeigt sich auch hier (Tab. 61) tendenziell ein besserer Erhalt bei Rippen im Vergleich zu Femora.

Tabelle 61: Vergleich Qualität des Kollagenerhalts bei Rippen und Femora

Bef-Nr.	1a	41	42-3	64	65	76	96	203	207	214
Rippe	geeignet	gut geeignet	gut geeignet	gut geeignet	bed. geeignet	geeignet	geeignet	gut geeignet	geeignet	gut geeignet
Femur	geeignet	geeignet	geeignet	gut geeignet	gut geeignet	bed. geeignet	bed. geeignet	bed. geeignet	gut geeignet	bed. geeignet

Offensichtlich weist bis auf die Individuen 65 und 207 das Kollagen aus der Rippe stets eine zumindest vergleichbare oder sogar (in insgesamt sechs Fällen, das entspricht einem Anteil von 60%) höhere Güte auf als das aus dem Femur.

Daneben dient zur Untersuchung der Relation beider Knochenarten die separate Betrachtung des Verhältnisses der Werte von Femur und Rippe für jede Aminosäure (siehe Anhang), die, wie die oben beschriebene detaillierte Betrachtung der Aminosäurekonzentrationen, eine starke Inhomogenität aufweist. Für fast alle Aminosäuren schwanken die Werte für dieses Verhältnis für die einzelnen Individuen sehr stark. Lediglich für Glycin und mit Abstrichen für Prolin und Alanin ergeben die Verhältniswerte über alle Individuen betrachtet ein einigermaßen homogenes Bild. Dies allein rechtfertigt aber noch keine Analogie von Femur und Rippe hinsichtlich der Verteilung der einzelnen Aminosäureanteile.

Will man diese Verhältnisse nun analog zu obigem Vorgehen zu Mittelwerten zusammenfassen, so ist zu beachten, dass sich für viele Aminosäuren aufgrund kleiner Absolutwerte sehr große Verhältniszahlen ergeben und sich deshalb Rundungsfehler oder Messtoleranzen überproportional auswirken und das Ergebnis verfälschen können.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Aus diesem Grund wird hier die Mittelwertbildung für jedes Individuum auf die Aminosäuren Hydroxyprolin, Glutamin, Prolin, Glycin und Alanin beschränkt, die ausreichend hohe Absolutwerte aufweisen. Das Ergebnis ist in Tab.62 dargestellt.

Tabelle 62: Durchschnittliches Rippe/Femur Verhältnis (aus OH-Pro, Glu, Pro, Gly, Ala)

Bef.-Nr.	1a	41	42-3	64	65	76	96	203	207	214
Rippe/Femur [%]	91%	94%	93%	99%	99%	100%	80%	112%	107%	124%

Offensichtlich ergibt sich hier ein deutlich homogeneres Bild, das aber gleichzeitig den Unterschied zwischen Rippe und Femur unterstreicht. Insgesamt liegen die Abweichungen in einem Toleranzband von etwa 20% um ein Gleichverhältnis herum. Die hier gezeigten Unterschiede sind zwar sehr gering, deuten aber darauf hin, dass das Rippenkollagen durchaus mit dem Femurkompaktakollagen bzgl. des Erhaltungsgrads vergleichbar ist und sogar zum Teil eine bessere Erhaltung zeigte. Die höhere Remodellingrate und der höhere Anteil an trabekulärem Knochen der Rippen und des Weiteren die geringere Angriffsfläche, könnten als Ursachen für eine bessere Rippenkollagenerhaltung in Betracht gezogen werden. Zu betonen ist aber die geringe Probenanzahl von jeweils nur 10 Rippen und 10 zugehörige Femurkompakta, die keine repräsentative statistische Analyse zulässt.

4.14 Histologischer Diagenese Status

Für insgesamt 45 Individuen der späten Zeitstellung wurden folgende für die Diagenese relevanten Parameter untersucht und hinsichtlich ihrer Güte auf einer Ordinalskala von jeweils 1-3 bewertet. Die ausführlichen Tabellen befinden sich im Anhang.

- Oxford Histologischer Index (periostal/mittig/endostal/gesamt)
- Doppelbrechungseigenschaft (periostal/mitte/endostal/gesamt)
- UV Fluoreszenz (periostal/mitte/endostal/gesamt)
- UV Färbung
- Verfärbung unter Strukturerhalt
- Diffuses exogenes Material
- Kollagenerhalt (aus ASA)

Für den OHI, die Doppelbrechung, sowie die UV Fluoreszenz wurde zunächst mittels eines Friedmann Tests (d.h. für verbundene Stichproben) untersucht, ob die Analyseergebnisse für die drei Knochenabschnitte hinsichtlich ihrer Lage (periostal/mittig/endostal) gleiche bzw. ähnliche Tendenz hinsichtlich des Ausprägungsgrades aufweisen. Dies ist für den OHI signifikant (mit einem Signifikanzniveau von 96,2%) der Fall. Dieses Ergebnis wurde durch einen Kruskal-Wallis Test bestätigt, hier ergibt sich sogar ein Signifikanzniveau von 99,7%. Für die Doppelbrechung und die UV Fluoreszenz kann eine solche homogene Tendenz nicht festgestellt werden. Paarweise Wilcoxon Tests (periostal-mittig / mittig-endostal / periostal-endostal) zeigen in beiden Fällen eindeutig, dass die Kopplung zwischen periostaler und endostaler Ausprägung im Vergleich zu den beiden anderen Kombinationen (periostal-mittig und mittig-endostal) am stärksten ist.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Für die folgende Untersuchung möglicher Korrelationen zwischen den einzelnen Merkmalen wurden die eben beschriebenen Parameter OHI, Doppelbrechung und UV Fluoreszenz noch einmal insgesamt (periostal/mittig/endostal kombiniert) hinsichtlich ihrer Merkmalsausprägung bewertet. Anschließend wurden für alle möglichen Kombinationen zweier oben aufgeführter Merkmale die im Methodenteil beschriebenen Rangkorrelationskoeffizienten r_s sowie die entsprechenden Signifikanzniveaus für eine Korrelation gebildet. Die Ergebnisse sind in untenstehender Tabelle 63 aufgeführt. Dabei befinden sich unterhalb der Hauptdiagonalen die im Methodenteil beschriebenen Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman und oberhalb, die über einen t-Test ermittelten Wahrscheinlichkeiten dafür, dass die beiden entsprechenden Merkmale unkorreliert sind.

4.14.1 Korrelation der Diageneseparameter

Tabelle 63: Rangkorrelationskoeffizient r_s für Diageneseparameter

	OHI gesamt	DB gesamt	UV gesamt	UV Färbung	Verfärbung	Diff. Exog. Mat.	Kollagen
OHI gesamt		0,000	0,001	0,001	0,023	0,351	0,000
DB gesamt	0,862		0,001	0,000	0,035	0,175	0,000
UV gesamt	0,481	0,471		0,000	0,274	0,567	0,012
UV Färbung	0,485	0,627	0,661		0,484	0,572	0,001
Verfärbung	-0,339	-0,314	-0,169	-0,112		0,758	0,087
Diff. Exog. Mat.	-0,142	-0,206	0,089	0,091	0,047		0,475
Kollagen	0,754	0,715	0,375	0,489	-0,258	-0,109	

Offensichtlich besteht eine besonders starke Korrelation zwischen dem OHI und der Doppelbrechung, sowie weitere starke Korrelationen zwischen UV Färbung und Doppelbrechung, sowie UV Fluoreszenz und zusätzlich zwischen Kollagenerhalt und OHI sowie Doppelbrechung.

4.14.2 Korrelation der Kompaktastärke mit den Diageneseparametern

Daneben ist es sinnvoll, obige Merkmale zusätzlich auf eine mögliche Abhängigkeit von der jeweiligen Kompaktastärke zu untersuchen. Da es sich hierbei jedoch um eine metrische Variable handelt, kann zur Bestimmung des Grades der Abhängigkeit der (oben verwendete) Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman nicht direkt gebildet werden. Stattdessen wird hier der sogenannte *polyseriale Korrelationskoeffizient* nach Olsson bestimmt, der speziell für die Korrelation einer ordinalen mit einer metrischen Variablen definiert ist.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Die Ergebnisse sind in untenstehender Tabelle 64 aufgeführt, wobei neben dem Korrelationskoeffizienten auch die über einen t-Test ermittelten Wahrscheinlichkeiten dafür angegeben werden, dass die beiden entsprechenden Merkmale unkorreliert sind.

Tabelle 64: Korrelation der Kompaktastärke mit weiteren Merkmalen

Kompaktastärke mit ...	Korrelation	
	Koeffizient	P(unkorreliert)
<i>OHI gesamt</i>	-0,245	0,198
<i>DB gesamt</i>	-0,211	0,258
<i>UV gesamt</i>	0,241	0,201
<i>UV Färbung</i>	0,130	0,479
<i>Verfärbung</i>	0,062	0,781
<i>Diff. Exog. Mat.</i>	-0,283	0,134
<i>Kollagen</i>	-0,253	0,267

Offensichtlich kann aber für die Kompaktastärke keine signifikante Korrelation mit einem der oben beschriebenen Merkmale festgestellt werden.

4.14.3 Diageneseparameter - histologische Gesamtbetrachtung unter Berücksichtigung der Grablege

Abschließend wurden obige Merkmalsausprägungen auf ihre Verteilungsmuster innerhalb der Stichprobe und zusätzlich auf eine mögliche Abhängigkeit von der Grablege untersucht. Die Proben stammen zum einen aus dem vom Kirchenschiff aus gesehen nördlichen bzw. südlichen Bereich des Kirchhofs (siehe Grabungsplan Abb. 13). Alle Gräber sind der späteren Zeitstellung (zwischen 1868 und 1910) zuzuordnen, d.h. haben eine Liegezeit von ca. 150-200 Jahren. In den folgenden Abbildungen sind deskriptiv die entsprechenden relativen Häufigkeiten dargestellt. Die entsprechende Darstellung für den Kollagenerhalt wurde bereits im Rahmen der Besprechung der Ergebnisse aus der Aminosäureanalyse betrachtet. Die Wahrscheinlichkeit (Signifikanzniveau) für eine Abhängigkeit der jeweiligen Merkmalsausprägung von der Grablege kann über die Aufstellung von Kontingenztafeln durch einen χ^2 -Test quantifiziert werden. Die im Folgenden angegebenen Signifikanzniveaus geben die Wahrscheinlichkeit an, dass die Merkmalsausprägung unabhängig von der Grablege ist.

Oxford Histologischer Index

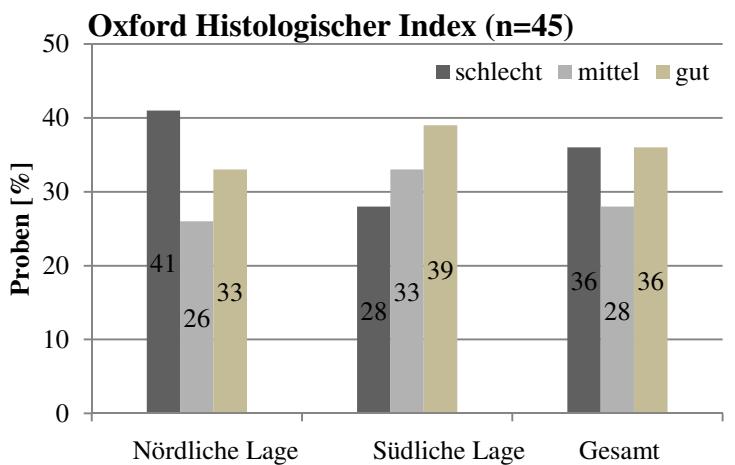


Abbildung 98: Oxford Histologischer Index nach Grablege

höheren Probenanzahl dieses Bereichs liegt. Insgesamt kann für den Oxford-Histologischen Index hinsichtlich der Grablege kein eindeutiger Trend ausgemacht werden. Die Wahrscheinlichkeit für Unabhängigkeit liegt hier bei 66,7%. Insgesamt halten sich schlecht erhaltene und gut erhaltene Proben die Waage (jeweils 36%), intermediäre Zustände kommen mit 28% etwas weniger häufig vor.

Es standen für diese Betrachtung insgesamt 45 Proben zur Verfügung. 27 stammen vom nördlichen, 18 vom südlichen Bereich des Kirchhofs. Die Größenordnung, mit der die Erhaltungsgrade der Proben aus der Süd- bzw. Nordlage auftreten, ist relativ gleich verteilt. Lediglich der Anteil der mikroskopisch schlecht erhaltenen Proben der Nordseite ist etwas höher, was aber vermutlich auch an der

4. Ergebnisse und Diskussionen

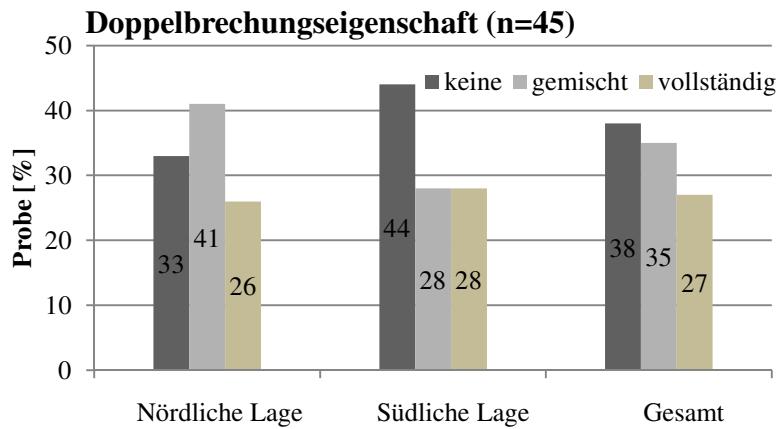
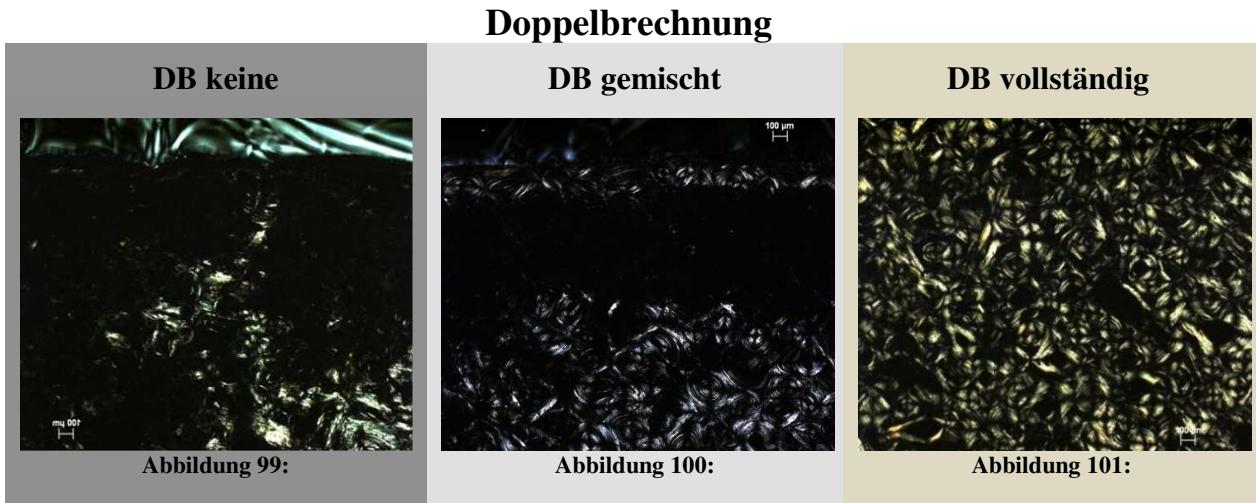


Abbildung 102: Doppelbrechungsindex nach Grablage

Die Doppelbrechung zeigt in Bezug zur Grablage keinen eindeutigen Trend. Die Wahrscheinlichkeit für Unabhängigkeit beträgt 64,5%. Auch hier zeigt sich eine in etwa Gleichverteilung der Proben auf die 3 Ausprägungsstufen der Doppelbrechung.

4. Ergebnisse und Diskussionen

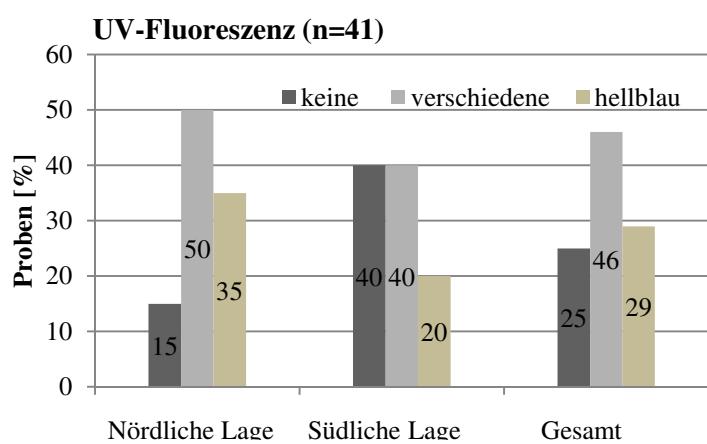
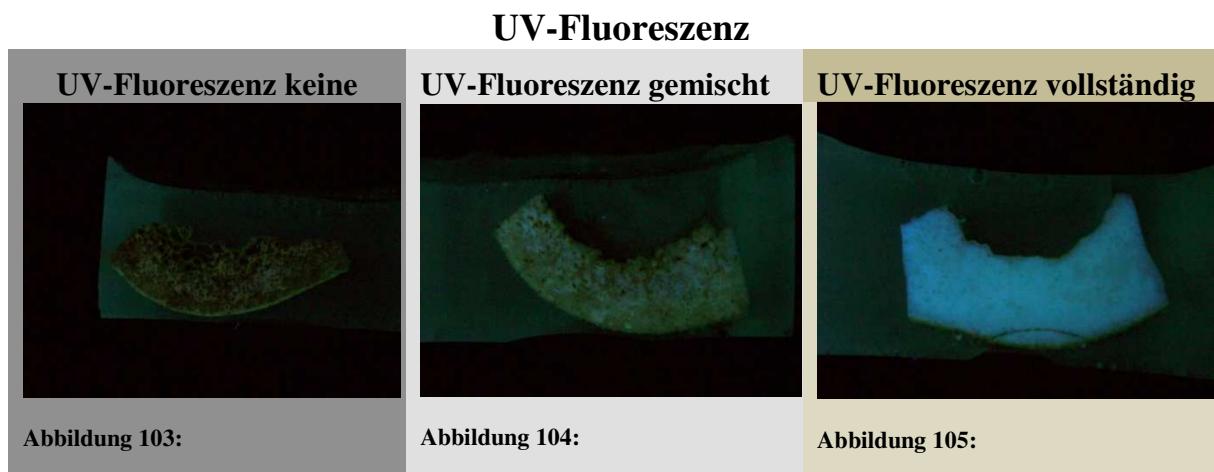


Abbildung 106: Fluoreszenzeigenschaften nach Grablage

Die Ausprägungen der UV-Fluoreszenz konnte an 41 Proben vorgenommen werden. 15 stammen von der Südseite des Kirchenschiffs und 26 von der Nordseite. Die UV-Farbausprägungen zeigen abhängig von der Grablage Unterschiede. Nur 15% der Nordproben weisen keine Fluoreszenz auf, dafür haben 35% eine hellblaue Farbe. Die Hälfte weist unterschiedliche Fluoreszenzfärbungen auf. Jeweils 40% der Proben von der Südseite weisen hingegen keine Fluoreszenz oder eine gemischte Färbung auf. 20% sind hellblau. Die Wahrscheinlichkeit für Unabhängigkeit dieses Merkmals liegt hier nur bei 19,6% und spricht somit für eine Abhängigkeit von der Grablage. Insgesamt dominiert die Kategorie gemischte Farbausprägung. Betrachtet man die Verteilung der Kategorien auf die Grablage, scheint es fast so, als ob die Gräber der nördlichen Seite mit der Einteilung der Merkmalsausprägungen eine Vorstufe zu den südlichen Proben bilden, davon ausgehend, dass hellblaue Fluoreszenz für guten Erhalt steht, die gemischte Farbausprägung ein Übergangsstadium vertritt und keine Farbe ein weiter fortgeschrittenes Stadium zeigt. Die gut erhaltenen Proben mit hellblauer Fluoreszenz sind bei Südproben im Gegensatz zu Nordproben geringer, dafür ist die Anzahl der Proben mit keiner Farbausprägung deutlich höher. Daraus könnte man ableiten, dass möglicherweise der südliche Bereich des Kirchhofs ältere Bestattungen aufwies als der nördliche Teil.

4. Ergebnisse und Diskussionen

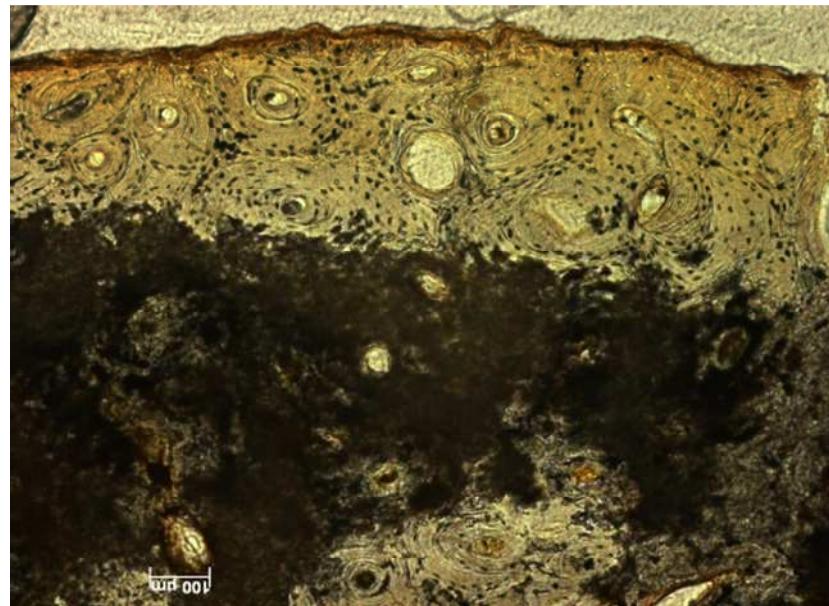


Abbildung 107: Bef. 41 mit bräunlicher periostaler Färbung

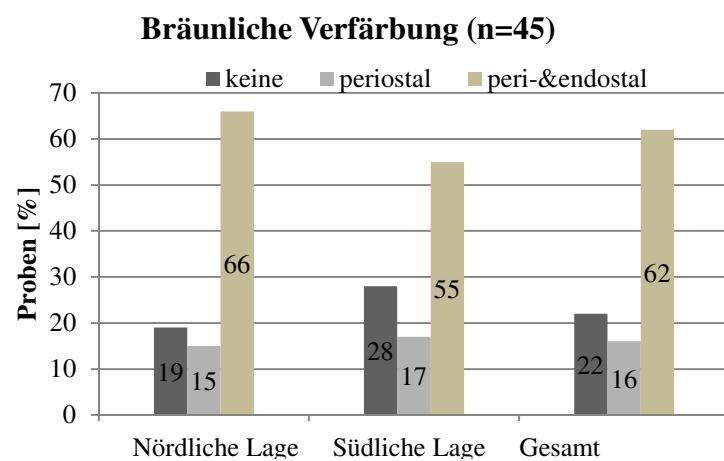


Abbildung 108: Verfärbung unter Strukturerhalt nach Grablege unter Strukturerhalt

Proben der nördlichen und südlichen Grablege weisen ähnliche Verteilungen hinsichtlich der bräunlichen Verfärbungen unter Strukturerhalt auf, was auf Unabhängigkeit des Merkmals von der Grablege schließen lässt. Die Wahrscheinlichkeit für Unabhängigkeit beträgt 72,1%. Insgesamt liegt der Anteil der Proben mit periostal und endostal verfärbten Bereichen bei 62%.

4. Ergebnisse und Diskussionen

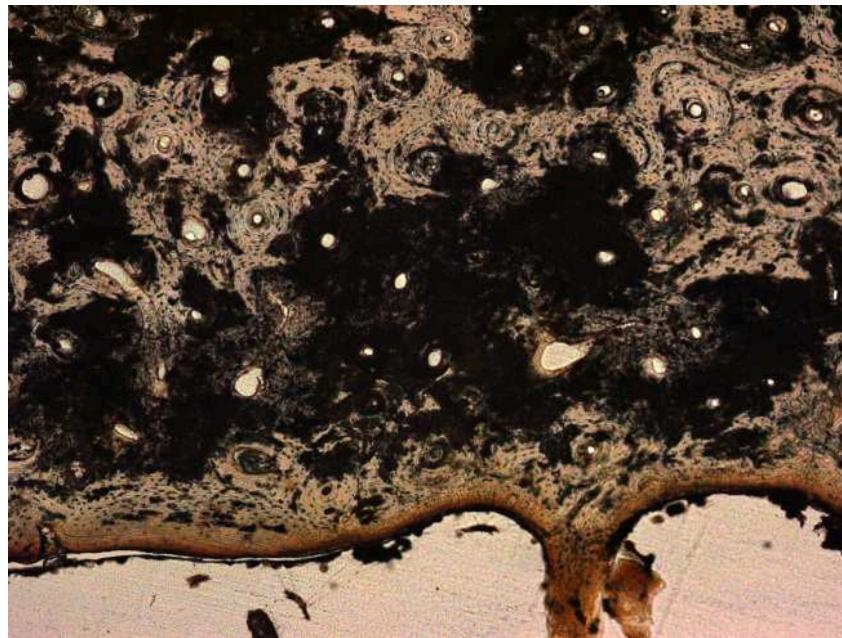


Abbildung 109: Bef. 8 Endostaler Bereich mit diffusem exogenem Material der „Stufe 30-60%“

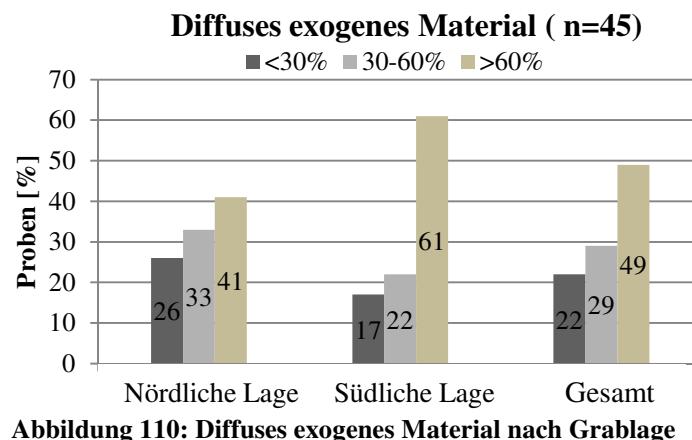


Abbildung 110: Diffuses exogenes Material nach Grablege

In diesem Fall ist keine eindeutige Tendenz bzgl. der Abhängigkeit des Merkmals von der Grablege zu erkennen. Die Wahrscheinlichkeit für Unabhängigkeit beträgt hier 40,8%. Dennoch fällt bei genauerer Betrachtung auf, dass deutlich mehr Proben des südlichen Bereichs (20%) in die Kategorie „>60%“ fallen. Dies bekräftigt die Vermutung, dass der südliche Teil des Kirchhofs ältere Gräber aufweist.

4. Ergebnisse und Diskussionen

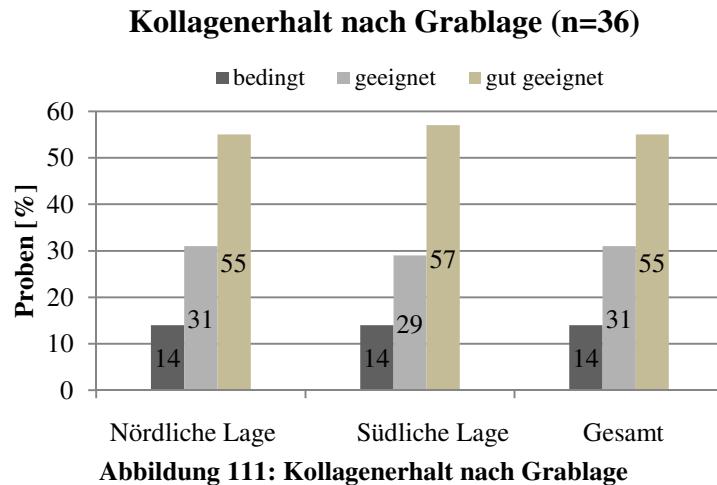


Abbildung 111: Kollagenerhalt nach Grablage

Die Erhaltung des Kollagens zeigte in Abhängigkeit von der Grablage keine Unterschiede auf. Über 50% der Proben wiesen einer sehr gute Erhaltung auf, 30% eine gute und nur sehr wenige wiesen eine „bedingt geeignete“ Erhaltung auf.

D 4.13/4.14 Diskussion Diagenesestatus

Die histologischen Untersuchungen des Knochenmaterials der Stichprobe aus der späten Zeitstellung zeigen eine sehr häufig durch Bakterien und andere Mikroorganismen verursachte oft unregelmäßig über den Querschnitt verteilt auftretende Zerstörung der Knochenmikrostruktur. Häufig zu beobachten waren Stoffwechselprodukte von Mikroorganismen, die durch schwarze amorphe Strukturen im Knochenquerschnitt innerhalb und außerhalb der Havers'schen Kanäle auffielen. (Abb.112). Die Bodenbeschaffenheit ist für das Verständnis von Dekompositionsprozessen der Knochen wesentlich. Schmidt-Wygasch

(2010) untersuchte unter anderem die Indeablagerungen im Bereich Altdorfs aus der Zeit des beginnenden 19. Jahrhunderts, die aus Löss, sowie aus von der Inde angeschwemmtem sandigem Lehm-sediment bestehen, das mit einem ph-Wert von im Mittel 6,2 angegeben wird. Der durchlässige und sauerstoffreiche Boden ist demnach für Bakterienaktivitäten sehr gut geeignet, was sich sowohl in dem häufig auftretenden Verlust der kohlenstoffreichen Aminosäuren Tyrosin und Methionin, aber auch in dem oft starken Bakterienbefall der histologischen

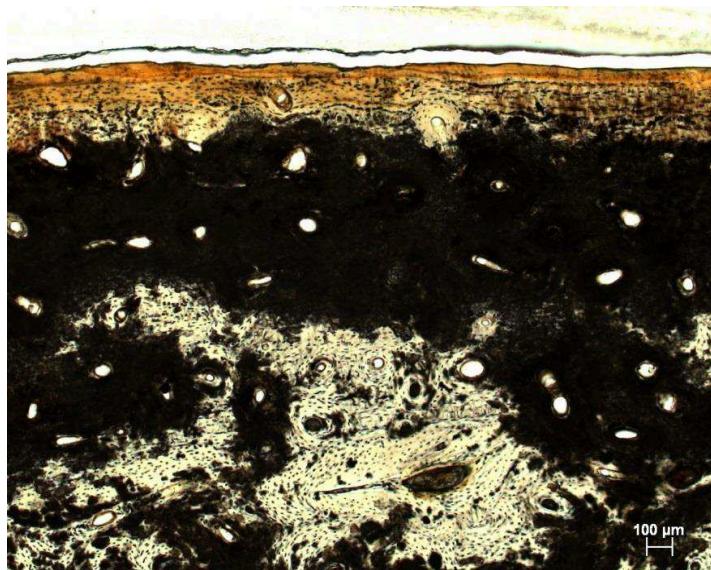


Abbildung 112: Bef. 1: Periostaler und mittiger Bereich mit bräunlicher Verfärbung und mikrobieller Zerstörung der Mikrostruktur im mittleren Bereich des Querschnittes

Präparate deutlich zeigt (z.B. Abb. 107, 109, 112). Dennoch erfüllte keine Probe die Kriterien für schlecht erhaltenes Kollagen, es wurde deshalb innerhalb der Kriterien für gut erhaltenes Kollagen nochmals in drei Stufen unterteilt. Diese Abstufungen von gutem Kollagen korrelierten sehr gut mit den histologischen Parametern, OHI und Doppelbrechungseigenschaften (Tab.63). Eine Ursache für den zwar vorhandenen bakteriellen Befall bei dennoch gutem molekularen Erhalt des Kollagens könnte das Vorhandensein von Schwermetallen im umgebenden Boden sein. Die Indeauen, wo sich die Kirche St. Pankratius und der zugehörige Friedhof befanden, wurden, wie oben bereits erwähnt, durch anthropogene Eingriffe, wie die Einleitung von schwermetallhaltigen Industrieabwässern in die Inde, beeinflusst, hauptsächlich durch Blei, Zink und Kupfer. Müller et al. (2011) untersuchten den Einfluss von Schwermetallaufnahme und bakteriellem Befall von Knochen und kamen zu dem Schluss, dass ein hemmender Effekt auf Bakterien durch Schwermetalle besteht, weisen aber darauf hin, dass die Komplexität der Wechselwirkungen aus sich gegenseitig beeinflussenden Diagenesefaktoren sehr hoch ist. Die Veränderungen der Knochenkomponenten sind bspw. von der Porosität des Knochens, vom pH-Wert des Bodens, der Temperatur, den hydrologischen Bedingungen oder den Redoxeigenschaften des Sediments abhängig. Ferner ist der zeitliche Ablauf der unterschiedlichen Einflüsse wesentlich.

4. Ergebnisse und Diskussionen

Eine Erklärung für die hier gefundenen Veränderungen (weitgehender Kollagenerhalt bei gleichzeitigem partiellem Bakterienbefall) könnte sein, dass Bakterien aufgrund guter Bedingungen kurz nach der Bestattung begonnen haben, den Knochen zu besiedeln. Durch deren metabolische Aktivitäten wurde die Porosität erhöht, die Redox- und Metallbindungseigenschaften verändert und damit die Verteilung der Schwermetalle begünstigt, die sich im durch Überschwemmung kontaminierten Boden befanden (Elliott und Grime 1993).

Die getrennte Betrachtung der periostalen, mittigen und endostalen Bereiche der Knochenquerschnitte zeigte eine weitgehende Übereinstimmung bzgl. der Ausprägungsstufen der Merkmale OHI und Doppelbrechung, d.h., dass sehr häufig der gesamte Querschnitt einer Probe den gleichen Ausprägungsgrad aufweist. Bei der anschließenden Gesamtbeurteilung des Knochenquerschnittes fällt auf, dass alle 3 Merkmalsausprägungen (gut, mittel, schlecht) in etwa gleich häufig innerhalb der Altdorfer Stichprobe auftreten (Abb. 98). Hoke (2008) konnte an Proben aus dem gleichen Fundkomplex eine Tendenz zu einer Häufung einer überwiegend mittleren Erhaltung feststellen. Die geringe Probenzahl ($n=15$) könnte für die abweichenden Ergebnisse ursächlich sein. Andere Untersuchungen an älteren Proben zeigen eher eine bimodale Verteilung der mikrostrukturellen Integrität (Harbeck 2007). Dass der hier untersuchte Diagenesestatus der Proben eine Momentaufnahme darstellt, verdeutlicht die Tatsache, dass einige Gräber nur noch als Leichenschatten wahrgenommen werden konnten. Bräunliche Verfärbungen korrelieren nicht mit dem OHI oder der Doppelbrechung, welche im Zusammenhang mit einer guten Erhaltung der Mikrostruktur steht. Diese Verfärbungen entstehen durch Infiltration von Huminstoffen aus dem umgebenden Boden (Jans et al. 2002, Harbeck 2007) und haben eine bakterienhemmende Wirkung, was zu einer Strukturerhaltung des Knochens führen kann (Nicholson 1998). Da über 60% der Proben periostal wie endostal bräunliche Verfärbungen aufweisen, diese aber oft nur einen sehr schmalen Bereich einnehmen, ist davon auszugehen, dass die bakteriellen Aktivitäten, die sich mehr oder weniger stark in den nicht gefärbten Bereichen zeigen (z.B. Abb. 112), zeitlich früher, oder nicht von periostal, sondern evtl. über die Havers'schen Kanäle in den Knochen gelangt sind (Hoke 2008). Die UV-Fluoreszenz, insbesondere die Fluoreszenzfarbausprägungen korrelieren mit dem OHI und der Doppelbrechung. Eine hellblaue Fluoreszenz zeigte eine starke Korrelation mit sehr gut erhaltener Mikrostruktur und einer nahezu vollständig erhaltenen Doppelbrechungseigenschaft. Gemischte UV-Farbausprägungen, wie gelb, lila, blau waren mit mittlerer histologischer Erhaltung und Doppelbrechung korreliert. Im Gegensatz dazu fanden sich keine Zusammenhänge mit dem Merkmal, „Diffuses Exogenes Material“ und nur sehr schwache Abhängigkeiten zwischen den Merkmalen, „Verfärbung unter Strukturerhalt“ und OHI bzw. Doppelbrechung. Auch die Kompaktastärke zeigte keinerlei gerichtete Einflüsse auf den histologischen Erhalt der Knochenproben. Die Lage der Gräber zeigte insgesamt nur einen geringen Einfluss auf die Integrität der Mikrostruktur der Knochenproben. Die Aminosäureanalysen zeigen, wie oben bereits erwähnt, einen generell sehr guten Kollagenerhalt der Stichprobe. Die Integrität des Kollagens korreliert stark mit dem OHI und der Doppelbrechungseigenschaft und etwas geringer mit der UV-Fluoreszenzfarbgebung. Kein Zusammenhang konnte für das Ausmaß des diffusen exogenen Materials und der bräunlichen Verfärbungen mit dem Kollagenerhalt gefunden werden. Auch für die Kompaktastärke und die Grablage ließ sich kein Zusammenhang mit der Kollagenintegrität feststellen.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Ferner stieg die Kollagenintegrität mit dem Individualalter an. Im Alter ist Kollagen weniger löslich, steifer und resistenter gegen enzymatischen Verdau (Schnider und Kohn 1981, Wang et al. 2002). Bei dem Vergleich der Kollagenerhaltung einer Stichprobe von jeweils einer Rippen- und Femurprobe bei insgesamt 10 Individuen konnte festgestellt werden, dass Kollagen aus Rippen mindestens genauso gut erhalten ist wie Kollagen aus Femurkompakta.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Dissertation ist eine von der Stiftung für Archäologie im rheinischen Braunkohlenrevier geförderte Arbeit, die sich mit der Untersuchung von menschlichen Überresten aus dem ehemaligen Kirchhof der Kirche St. Pankratius in Altdorf, Nordrhein Westfalen befasste. Es konnten 175 Skelette aus zwei aufeinander folgenden Zeithorizonten untersucht werden. Leider konnten Kirchenbücher aus Altdorf erst kürzlich aufgefunden werden, sodass aus zeitlichen Gründen keine Möglichkeit bestand diese für die vorliegende Arbeit auszuwerten. Eine Überprüfung mit den demographischen Ergebnissen dieser Arbeit wird zu einem späteren Zeitpunkt folgen. Im Gegensatz zu den üblichen Funden aus archäologischen Kontexten gehören die hier untersuchten Funde einer Phase an, die vom Spätmittelalter, also einer präindustriellen Zeit bis in die Industrialisierungszeit der Spätmoderne in Deutschland hinein reicht. Aufgrund der Grablage konnte jeweils die Hälfte der Skelettfunde in eine vor und eine während der Industrialisierung lebende Gruppe eingeteilt werden. Ziel war es zum einen, anhand von demographischen, morphologischen und Isotopenuntersuchungen, Entwicklungen und Tendenzen, die aus der Literatur zum Wandel der Lebensbedingungen während der Industrialisierung bekannt sind, auch am Skelett nachzuweisen. In vielen Teilen ist dies gelungen. Die demographische Aufarbeitung der Skelettfunde korrespondierte sehr gut mit Daten aus historischen Quellen. Beispielsweise ging die Sterblichkeit auch in der Altdorfer Bevölkerung im Laufe der Zeit zurück, die Lebenserwartung stieg. Sehr gut konnte durch die demographische Auswertung nachgewiesen werden, dass die Sterblichkeit insbesondere der jungen Frauen im Laufe der Zeit deutlich zurückging, vermutlich eine Folge der besseren Versorgung und Aufklärung von Schwangeren und Gebärenden über hygienische Maßnahmen und die Säuglingspflege. Passend dazu wurde die Wahrscheinlichkeit geringer, innerhalb des ersten Lebensjahres bzw. innerhalb der ersten fünf Lebensjahre zu sterben. Bemerkenswert waren die Ergebnisse zu den arthrotischen Veränderungen der Gelenke. Bei Frauen zeigte sich an allen großen Gelenken sowohl eine allgemeine Zunahme, als auch stärkere Ausprägungsgrade im Laufe der Zeit, bei Männern konnten diese Veränderungen in dieser Deutlichkeit nicht festgestellt werden. Wie für eine ländliche Bevölkerung anzunehmen, waren sowohl bei Männern als auch bei Frauen Hüftgelenke, Wirbelsäule und Schultern am häufigsten von Arthrosen betroffen. Die Zahngesundheit folgte dem Trend der Arthrosen. Bei Frauen nahmen die Abszesse, Kariesintensität, Kariesfrequenz und die Schmelzhypoplasien im zeitlichen Verlauf zu, bei Männern zeigte sich ein gegenläufiger Trend. Zahnstein und Parodontosen treten bei beiden Geschlechtern sehr häufig auf, gehen aber im Laufe der Zeit deutlich zurück. Der Rückgang bei Frauen war stärker als bei den (pfeiferauchenden) Männern.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Da das Rauchen von Tonpfeifen von Männern in Altdorf über Tonpfeifenmundstücke und passende Pfeifenlücken nachgewiesen werden konnte und diese Angewohnheit verstärkt Zahnstein und Parodontosen zur Folge hat, ist dieser Befund sehr gut nachzuvollziehen. Das Auftreten einer Periostitis war ausgesprochen selten und trat bei Frauen häufig und lokal meist parallel auf den Tibiadiaphysen auf, ein Hinweis auf eine Venenschwäche, möglicherweise verursacht durch Tätigkeiten die langes Stehen erforderten oder durch Schwangerschaften. Ein verstärktes Auftreten bei Frauen in der Phase der beginnenden Industrialisierung konnte beobachtet werden. Männer hingegen wiesen singuläre Vorkommen einer Periostitis auf, (v.a. die Individuen der präindustriellen Phase), welche auch zumeist stärker ausgeprägt waren, was eher auf eine durch Verletzungen verursachte entzündliche Knochenreaktion hindeutet. Männer des darauf folgenden Zeithorizontes waren nicht nennenswert davon betroffen.

Ferner wurde in dieser Arbeit ein neuer statistischer Ansatz zur Geschlechtszuordnung mittels der Langknochenmaße entwickelt, der in denjenigen Fällen zum Einsatz kommen könnte, in denen die Merkmale an Schädel und Becken nicht eindeutig, oder nicht vorhanden sind. Die Methode ist keinesfalls als Alternative zur morphologischen Bestimmung zu sehen und hat eine geringere Bestimmungssicherheit.

Die Untersuchungen zur Mobilität anhand der Vergleiche der gemessenen Sauerstoffisotopen des Karbonats am Zahnschmelz zeigten aufgrund guter Übereinstimmung mit der durchschnittlichen lokalen mittleren Sauerstoffisotopensignatur von Altdorf, dass die im Kirchhof von Pankratius bestatteten Altdorfer über den gesamten Untersuchungszeitraum dort auch ihre ersten Lebensjahre verbracht haben. Die zugehörigen Sauerstoffwerte des Knochenapatits, welche die letzten Lebensjahre repräsentieren, sind weniger homogen, liegen aber im Bereich der Werte der ortstreuen Haustiere, sodass auch hier von einer ortstreuen Gruppe ausgegangen werden kann. Eine zweite Gruppe zeigte große Unterschiede zu den Zahnschmelzwerten, vermutlich lebten diese längere Zeit in entfernteren Bereichen und wurden dann in Altdorf bestattet, oder nutzten eine andere Trinkwasserquelle. Die Ernährung der Altdorfer war erwartungsgemäß omnivor und zeigte innerhalb der Stichprobe keine erkennbare Variabilität. Eine sehr geringe Tendenz zu einer proteinreicheren Ernährung zeigte sich nur an Männern des späten Zeithorizontes. Die Carbonspacing – Untersuchung bestätigte diese Tendenz in der Form, als tierisches Fett in der Zeit der Industrialisierungsphase einen höheren Anteil an der Ernährung ausmachte, was auf die aus historischen Aufzeichnungen bekannte Verlagerung des Verzehrs von magerem Rind- zu fettreicherem Schweinefleisch hindeuten könnte. Die Untersuchung der Stickstoff- und Kohlenstoffisotope an Kindern unterschiedlicher Altersstufen deutet darauf hin, dass Kinder bis zu einem Jahr gestillt wurden. Die Berechnungen mittels des Mischungsmodells, mit dem die wahrscheinlichen Anteile von unterschiedlichen Nahrungsmitteln berechnet werden können zeigte, dass der Proteinbedarf hauptsächlich über Milchprodukte gedeckt wurde und nur zu einem geringen Anteil von Fleisch. Eine leichte Erhöhung der Kartoffelanteile im Laufe der Zeit konnte in Übereinstimmung mit historischen Quellen festgestellt werden.

Die Untersuchungen zum Diagenesestatus hatten zum Ziel, den Zustand des bodengelagerten Knochenmaterials aus dem bestehenden Fundareal zu beschreiben und verschiedene Merkmale auf ihre Indikatorwirkung für Kollagenerhaltung hin zu untersuchen.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Der allgemeine histologisch bestimmte Diagenesestatus zeigt eine Momentaufnahme, in der alle Stadien der histologischen Erhaltung gleichverteilt vorhanden sind. Querschnitte ohne Anzeichen bakteriellen Befalls, aber auch bis auf Leichenschatten vergangene Gräber. Trotz des oft starken mikrobiellen Befalls der Knochenmikrostruktur wies das entsprechende Kollagen aber in keinem Fall Merkmale für schlechte Erhaltung auf. Es wurde deshalb eine Unterteilung in drei Stufen, „gut erhaltenes“, „geeignetes“ und „bedingt geeignetes“ Kollagen eingeführt. Die Untersuchung der so eingeteilten Kollagenerhaltung mit den histologischen Erhaltungsmerkmalen zeigte Abhängigkeiten für den OHI, die Doppelbrechungseigenschaft und in etwas abgeschwächter Form für die UV-Fluoreszenzfärbung. Es ist davon auszugehen, dass der Boden des Fundareals durch Schwermetalle kontaminiert war und deshalb aufgrund dieser Besonderheit eine allgemeingültige Aussage zu frühdiagenetischen Prozessen hier nicht getroffen werden kann. Intraskelettale Vergleiche des Kollagenerhalts von Femora und Rippen bei 10 Individuen zeigte eine durchweg gleichwertige Erhaltung der beiden Knochenelemente, oft sogar eine geringfügig bessere des Rippenkollagens. Abgesehen von den unterschiedlichen Remodellingraten der Knochenelemente, die unterschiedliche Lebensabschnitte repräsentieren, und die es bei der Wahl des Knochenelements zu berücksichtigen gilt, deuten die Ergebnisse darauf hin, dass im Sinne einer möglichst gering zu haltenden Destruktion von Skelettmaterial auch Rippen für Isotopenuntersuchungen verwendet werden können.

6. Literaturverzeichnis

- Acsadi G, Nemeskeri J, eds. 1970. History of human life span and mortality. Budapest.
- Adams M, Reeve J. 1987. Excavations at Christ Church, Spitalfields 1984–6. *Antiquity* 61: pp. 247-256.
- Adler C-P. 2004. Knochenkrankheiten. Diagnostik makroskopischer, histologischer und radiologischer Strukturveränderungen des Skeletts. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Alfonso M, Powell J. 2007. Ethics of flesh and bone, or ethics in the practice of paleopathology, osteology and bioarchaeology. *Human remains. Guide for Museums and Academic Institutions*: pp. 5-19.
- Ambrose SH. 1990. Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis. *Journal of Archaeological Science* 17: 431-451.
- Ambrose SH. 1991. Effects of diet, climate and physiology on nitrogen isotope abundances in terrestrial foodwebs. *Journal of Archaeological Science* 18: pp. 293-317.
- Ambrose SH. 1993. Isotopic analysis of paleodiets: methodological and interpretive considerations. *Investigations of ancient human tissue*: pp. 59-130.
- Ambrose SH, 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. *Prehistoric Human Bone*, Springer: pp. 1-37.
- Ambrose SH, Butler BM, Hanson DB, Hunter-Anderson RL, Krueger HW. 1997. Stable isotopic analysis of human diet in the Marianas archipelago, western Pacific. *American Journal of Physical Anthropology* 104: pp. 343–361.
- Andrews LB, Buenger N, Bridge J, Rosenow L, Stoney D, Gaenslen RW, Karamanski T, Lewis R, Paradise J, Inlander A, Gonon D. 2004. Constructing ethical guidelines for biohistory. *Science* 304: pp. 215-216.
- Angel JL. 1967. Porotic Hyperostosis or Osteoporosis Symmetrica. In: Brothwell D., Sandison AT. (eds.): *Diseases in Antiquity*. Charles C Thomas Publisher, Springfield Illinois USA: pp. 378-389.
- Bach H. 1965. Zur Berechnung der Körperhöhe aus den langen Gliedmaßenknochen weiblicher Skelette. *Anthropologischer Anzeiger* 29: pp. 12-21.
- Balasse M, Bocherens H, Mariotti A. 1999. Intra-bone variability of collagen andapatite isotopic composition used as evidence of a change of diet. *Journal of Archaeological Science* 26: pp. 593–598.
- Balzer A, Gleixner G, Grupe G, Schmidt H-L, Schramm S, Turban-Just S. 1997. In vitro decomposition of bone collagen by soil bacteria: The implication for stable isotope analysis in archaeometry. *Archaeometry* 39: pp. 415-429.
- Bateman E, Baggs E. 2005. Contributions of nitrification and denitrification to N^2O emissions from soils at different water-filled pore space. *Biology and Fertility of Soils* 41: pp 379-388.
- Bell LS, Skinner MF, Jones SJ. 1996. The speed of post mortem change to the human skeleton and its taphonomic significance. *Forensic science international* 82: pp. 129-140.
- Berg S. 1975. Leichenzersetzung und Leichenzerstörung. *Gerichtliche Medizin* 2: pp. 62-106.

6. Literaturverzeichnis

- Berg S, Specht W. 1958. Untersuchungen zur Bestimmung der Liegezeit von Skeletteilen. Deutsche Zeitschrift für die gesamte gerichtliche Medizin 47: pp. 209-241.
- Bernecker PM. 2004. Osteomalacia and rickets. Wiener Medizinische Wochenschrift 154: pp. 102-106.
- Bocquet-Appel JP, Masset C. 1977. Estimateurs en paléodémographie. L'Homme 17(4): pp. 65-90.
- Bocquet-Appel JP, Masset C. 1982. Farewell to paleodemography. Journal of Human Evolution 11: pp. 321-333.
- Bocherens H, Fizet M, Mariotti A. 1994. Diet, physiology and ecology of fossil mammals as inferred from stable carbon and nitrogen isotope biogeochemistry: implications for Pleistocene bears. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 107: pp. 213-225.
- Bocherens H, Pacaud G, Lazarev PA, Mariotti A. 1996. Stable isotope abundances (^{13}C , ^{15}N) in collagen and soft tissues from Pleistocene mammals from Yakutia: Implications for the palaeobiology of the Mammoth Steppe. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 126: pp. 31-44.
- Bocherens H, Billiou D, Patou-Mathis M, Bonjean D, Otte M, Mariotti A. 1997. Paleobiological Implications of the Isotopic Signatures (^{13}C , ^{15}N) of Fossil Mammal Collagen in Scladina Cave (Sclayn, Belgium). Quaternary Research 48: pp. 370-380.
- Bocherens H, Fizet M, Mariotti A, Lange-Badre B, Vandermeersch B, Borel JP, Bellon G. 1991. Isotopic biogeochemistry (^{13}C , ^{15}N) of fossil vertebrate collagen: application to the study of a past food web including Neandertal man. Journal of Human Evolution 20: pp. 481-492.
- Boskey AL. 1999. Mineralization, structure and funktion of bone: In, Seibl MJ, Robin SP, Bilezikian, JP. (Hrsg.) Dynamics of Bone and Cartlige Metabolism, Academic Press, San Diego, New York, Boston: pp. 153-162.
- Bowen G. 2012. The online isotopes in precipitation calculator, version OIPC 2.2.
- Breitinger E. 1937. Zur Berechnung der Körperhöhe aus den langen Gliedmaßenknochen. Anthropologischer Anzeiger 14: pp. 249-274.
- Brickley M, Mays S, Ives R. 2007. An investigation of skeletal indicators of vitamin D deficiency in adults: effective markers for interpreting past living conditions and pollution levels in 18th and 19th century Birmingham, England. American Journal of Physical Anthropology 132: pp. 67-79.
- Brothwell DR. 1981. Digging up bones. London: British Museum (Natural History).
- Bryant JD, Froelich PN. 1995. A model of oxygen isotope fractionation in body water of large mammals. Geochimica et Cosmochimica Acta 59: pp. 4523-4537.
- Buckwalter JA, Mankin HJ, Grodzinsky AJ. 2005. Articular cartilage and osteoarthritis. Instructional Course Lectures-American Academy Of Orthopaedic Surgeons 54: p. 465.
- Buikstra JE, Ubelaker DH. 1994. Standards for data collection from human skeletal remains.
- Buzon MR, Conlee CA, Simonetti A, Bowen GJ. 2012. The consequences of Wari contact in the Nasca region during the Middle Horizon: archaeological, skeletal, and isotopic evidence. Journal of Archaeological Science 39: pp. 2627-2636.
- Cerling TE, Harris JM. 1999. Carbon isotope fractionation between diet and bioapatite in ungulate mammals and implications for ecological and paleoecological studies. Oecologia 120: pp. 347-363.

6. Literaturverzeichnis

- Chenery CA, Pashley V, Lamb AL, Sloane HJ, Evans JA. 2012. The oxygen isotope relationship between the phosphate and structural carbonate fractions of human bioapatite. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 26: pp. 309-319.
- Child AM. 1995a. Towards and Understanding of the Microbial Decomposition of Archaeological Bone in the Burial Environment. *Journal of Archaeological Science* 22: pp. 165-174.
- . 1995b. Microbial Taphonomy of Archaeological Bone. *Studies in Conservation* 40: pp. 19-30.
- Collins MJ, Riley MS, Child AM, Turner-Walker G. 1995. A basic mathematical simulation of the chemical degradation of ancient collagen. *Journal of Archaeological Science* 22: pp. 175-183.
- Collins MJ, Nielsen-Marsh CM, Hiller J, Smith CI, Roberts JP, Prigodich RV, Wess TJ, Csapò J, Millard AR, Turner-Walker G. 2002. The survival of organic matter in bone: a review. *Archaeometry* 44: pp. 383-394.
- Coltrain JB, Field J, Cosgrove R, O'Connell J. 2004b. Stable isotope and protein analyses of Cuddie Springs Genyornis. *Archaeology in Oceania* 39: pp. 50-51.
- Coplen TB. 1988. Normalization of oxygen and hydrogen isotope data. *Chemical Geology: Isotope Geoscience section* 72: pp. 293-297.
- Croft P, Cooper C, Wickham C, Coggon D. 1992. Osteoarthritis of the hip and occupational activity. *Scandinavian journal of work, environment & health*: pp. 59-63.
- Danneowitz B, Eickholz P. 2009. 12 Zahnerhalt und Parodontitisprophylaxe. *Check-Up-Medizin: Prävention von Krankheiten-Evidenzbasierte Empfehlungen für die Praxis*: p. 125.
- Daux V, Lécuyer C, Héran M-A, Amiot R, Simon L, Fourel F, Martineau F, Lynnerup N, Reyhler H, Escarguel G. 2008. Oxygen isotope fractionation between human phosphate and water revisited. *Journal of Human Evolution* 55: pp. 1138-1147.
- DCMS, Department for Culture, Media and Sport. 2005. *Guidance for the Care of Human Remains in Museums*. London.
- DeNiro MJ. 1985. Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction. *Nature* 317: 806-809.
- DeNiro MJ, Epstein S. 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42: pp. 495-506.
- DeNiro MJ, Weiner S. 1988. Chemical, enzymatic and spectroscopic characterization of “collagen” and other organic fractions from prehistoric bones. *Geochimica et cosmochimica acta* 52: 2197-2206.
- Dent BB, Forbes SL, Stuart BH. 2004. Review of human decomposition processes in soil. *Environmental Geology* 45: pp. 576-585.
- Dieppe P, Kirwan J. 1994. The localization of osteoarthritis. *Rheumatology* 33: pp. 201-203.
- Dittmann K, Grupe G. 2000. Biochemical and palaeopathological investigations on weaning and infant mortality in the early Middle Ages. *Anthropologischer Anzeiger*: pp. 345-355.
- Doppler S. 2008. Alters-, Aktivitäts- und Krankheitsmerkmale in der menschlichen Knochenmikrostruktur: Eine vergleichende Studie einer individualaltersbekannten historischen Population mit rezenten Menschen. Dissertation an der Fakultät für Biologie der Ludwig-Maximilians-Universität München.

6. Literaturverzeichnis

- Drucker D, Bocherens H, Bridault A, Billiou D. 2003. Carbon and nitrogen isotopic composition of red deer (*Cervus elaphus*) collagen as a tool for tracking palaeoenvironmental change during the Late-Glacial and Early Holocene in the northern Jura (France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 195: pp. 375-388.
- Eder C, Schuder L. 2010. Zahnschmelzhypoplasien: Ursachen und Folgen für die orale Gesundheit Beitrag in dem Monatsmagazin ZMT, Online Ausgabe 2010/Nr. 6/10, p. 9 (<http://www.der-verlag.at/zmt/264-0-Nr--610-S-09-Zahnschmelzhypoplasien.html?goback=257>)
- Ehmer J. 2004. Bevölkerungsgeschichte und historische Demographie: 1800-2000: Oldenbourg Verlag.
- Elliott T, Grime G. 1993. Examining the diagenetic alteration of human bone material from a range of archaeological burial sites using nuclear microscopy. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 77: pp. 537-547.
- Elster H, Gil-Av E, Weiner S. 1991. Amino acid racemization of fossil bone. *Journal of Archaeological Science* 18: pp. 605-617.
- Engelhardt L, Willers B, Pelz L. 1995: Sexual maturation in East German girls. *Acta Pädiatr* 84: pp. 1362–1365.
- English Heritage and The Curch of England. (2005) Guidance for the best practice for the treatment of human remains excavated from Christian Burial Grounds in England. English Heritage. online erhältlich unter: <http://www.english-heritage.org.uk/publications/human-remains-excavated-from-christian-burial-grounds-in-england/> (Stand 2.01.2013).
- Epple M. 2003. Fallbeispiele für die Biominerallisation. *Biomaterialien und Biominerallisation*, Vieweg+Teubner Verlag: pp. 126-143.
- Erlemann R. 2005. Erkrankungen des Periosts in Stäbler A, ed. *Handbuch diagnostische Radiologie*, Springer Berlin Heidelberg: pp. 175-190.
- Farquhar GD, Ehleringer JR, Hubick KT. 1989. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual review of plant biology* 40: pp. 503-537.
- Faure G. 1986. Principles of isotope geochemistry. John Wiley and Sons. chapters 6: p. 8.
- Felsenberg D. 2001. Struktur und Funktion des Knochens: Stützwerk aus Kollagen und Hydroxylapatit. *Pharmazie in unserer Zeit* 30: pp. 488-494.
- Ferembach D, Schwidetzky I, Stloukal M. 1979. Empfehlung für die Alters- und Geschlechtsdiagnose am Skelett. *Homo*: pp. 1-32.
- Fernández-Jalvo Y, Andrews P, Pesquero D, Smith C, Marín-Monfort D, Sánchez B, Geigl E-M, Alonso A. 2010. Early bone diagenesis in temperate environments: Part I: Surface features and histology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 288: pp. 62-81.
- Fogel ML, Tuross N, Owsley DW. 1989. Nitrogen isotope tracers of human lactation in modern and archaeological populations. *Carnegie Institution of Washington Yearbook*: pp. 111-117.
- France CA, Owsley DW. 2013. Stable Carbon and Oxygen Isotope Spacing Between Bone and Tooth Collagen and Hydroxyapatite in Human Archaeological Remains. *International Journal of Osteoarchaeology*.
- Fratzl P, Gupta H, Paschalis E, Roschger P. 2004. Structure and mechanical quality of the collagen-mineral nano-composite in bone. *Journal of Materials Chemistry* 14: pp. 2115-2123.

6. Literaturverzeichnis

- Fujimori E. 1985. Changes induced by ozone and ultraviolet light in type I collagen. European Journal of Biochemistry 152: pp. 299-306.
- Fuller BT, Richards MP, Mays S. 2003. Stable carbon and nitrogen isotope variations in tooth dentine serial sections from Wharram Percy. Journal of Archaeological Science 30: pp. 1673-1684.
- Fuller B, Molleson T, Harris D, Gilmour L, Hedges R. 2006a. Isotopic Evidence for Breastfeeding and Possible Adult Dietary Differences from Late/Sub-Roman Britain. American Journal of Physical Anthropology 129: pp. 45-54.
- Fuller BT, Fuller JL, Harris DA, Hedges RE. 2006b. Detection of breastfeeding and weaning in modern human infants with carbon and nitrogen stable isotope ratios. American Journal of Physical Anthropology 129: pp. 279-293
- Fuller BT, Fuller JL, Sage NE, Harris DA, O'Connell TC, Hedges RE. 2004. Nitrogen balance and $\delta^{15}\text{N}$: why you're not what you eat during pregnancy. Rapid Communications in Mass Spectrometry 18: pp. 2889-2896.
- Garland A. 1987. A histological study of archaeological bone decomposition. Manchester University Press Manchester: pp. 109-126:
- Garland A. 1989. Microscopical analysis of fossil bone. Applied Geochemistry 4: 215-229.
- Gaulrapp H. 2002. Degenerative Erkrankungen der Gelenke und der Wirbelsäule. Zeitschrift für Rheumatologie 61: pp. 635-642.
- Gehrman R. 2007. Geburtenbeschränkung im ländlichen Deutschland vor dem Fertility Decline. In: Historical Social Research, 32, pp. 91-110.
- Gernaey A, Waite E, Collins M, Craig O, Sokol R. 2001. Survival and interpretation of archaeological proteins. Handbook of Archaeological Sciences: pp. 323-329.
- Grigat A. 2008. The Pankratius churchyard in Altdorf/Düren (North Rhine-Westphalia,Germany)-selected pathologies from a 19th/20th century population. Limping together through the ages Documenta Archaeobiologiae 6, pp. 61-79.
- Grosser V, Seide K. 2001. Berufsbedingte Erkrankungen der Wirbelsäule. Trauma und Berufskrankheit 3: pp. 143-147.
- Grupe G. 1992. Analytische-chemische Methoden der prähistorischen Anthropologie R. Knußmann (Ed.), Anthropologie, Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen, Gustav Fischer, Stuttgart: pp. 66-73.
- Grupe G. 1995. Preservation of Collagen in Bone From Dry, Sandy Soil. Journal of Archaeological Science 22: pp. 193-199.
- Grupe G. 2001. Archaeological Microbiology. In Handbook of Archaeological Sciences. Brothwell DR, and Pollard AM, eds. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd. pp. 351-363.
- Grupe G, Christiansen K, Schröder I, Wittwer-Backofen U. 2012. Angewandte Anthropologie.. Anthropologie, Springer Berlin Heidelberg: pp. 419-475.
- Grupe G, Peters J, Stephan E, Wahl J. 2004. Curatorial responsibility for bioarchaeological collections. In Grupe G, Peters J (Hrsg): Documenta Archaeobiologiae 2: Conservation Policy and Current Research. Verlag Marie Leidorf, Rahden: pp. 63-64.

6. Literaturverzeichnis

- Grupe G, Christiansen K, Schröder I, Wittwer-Backofen U, ed. 2005. Anthropologie - Ein einführendes Lehrbuch Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag.
- Grupe G, Turban-Just S. 1998. Amino acid composition of degraded matrix collagen from archaeological human bone. *Anthropologischer Anzeiger*: pp. 213-226.
- Hackett C. 1981. Microscopical focal destruction (tunnels) in exhumed human bones. *Medicine, Science, and the Law* 21: p. 243.
- Hammer Ø, Harper D, Ryan P. 2001. PAST–Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis, versão. 1.73. *Paleontologia Electronica* 4: pp. 1-9.
- Harbeck M. 2007. Molekularbiologische Parameter liegemilieubedingter Knochenalterung-Implikationen für die biologische Spurenkunde. Dissertation an der Ludwig-Maximillians Universität München.
- Harbeck M, Grupe G. 2009. Experimental chemical degradation compared to natural diagenetic alteration of collagen: implications for collagen quality indicators for stable isotope analysis. *Archaeological and Anthropological Sciences* 1: pp. 43-57.
- Harrison RG, 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: pp. 227-244.
- Hedges RE. 2002. Bone diagenesis: an overview of processes. *Archaeometry* 44: pp. 319-328.
- Hedges RE. 2003. On bone collagen—apatite-carbonate isotopic relationships. *International Journal of Osteoarchaeology* 13: 66-79.
- Hedges RE, Millard AR, Pike A. 1995. Measurements and relationships of diagenetic alteration of bone from three archaeological sites. *Journal of Archaeological Science* 22: pp. 201-209.
- Helferich H. 1914. *Atlas und Grundriss der traumatischen Frakturen und Luxationen*: 9. Auflage Verlag von JF Lehmann.
- Hellwig E, Klimek J, Attin T. 2010. *Einführung in die Zahnerhaltung*: Deutscher Ärzteverlag.
- Herrmann B, Grupe G, Hummel S, Piepenbrink H, Schutkowski H, eds. 1990. *Prähistorische Anthropologie, Leitfaden der Feld- und Labormethoden*: Springer Verlag Berlin, Heidelberg.
- Hillson S. 1996. *Dental Anthropology*: Cambridge University Press.
- Hillson S. 2005. *Teeth*: Cambridge University Press.
- Hirsh IS. 1927. The suprartrochlear foramen: clinical and anthropological considerations. *The American Journal of Surgery* 2: pp. 500-505.
- Hoefs J. 1997. *Stable isotope geochemistry*. 4. Aufl. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo.
- Hoke N. 2008. UV-Fluoreszenzanalysen an Knochen im Kontext der Dekompositionsforschung. Diplomarbeit, Department Biologie I, LMU München.
- Hoke N, Grigat A, Grupe G, Harbeck M. 2013. Reconsideration of bone postmortem interval estimation by UV-induced autofluorescence. *Forensic Science International*. 228:1: pp. 176.-176.

6. Literaturverzeichnis

- Hoke N, Burger J, Weber C, Benecke N, Grupe G, Harbeck M. 2011. Estimating the chance of success of archaeometric analyses of bone: UV-induced bone fluorescence compared to histological screening. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 310: pp. 23-31.
- Hoppa RD, Vaupel JW. 2002. *Paleodemography: age distributions from skeletal samples*: Cambridge University Press.
- Huelsemann F, Koehler K, Braun H, Schaenzer W, Flenker U. 2013. Human dietary $\delta^{15}\text{N}$ intake: Representative data for principle food items. *American Journal of Physical Anthropology* 152: pp. 58-66.
- Huerkamp C. 1985. *Der Aufstieg der Ärzte im 19. Jahrhundert*: Vandenhoeck & Ruprecht GmbH KG.
- ICOM – Internationaler Museumsrat. (2006): *Ethische Richtlinien für Museen von ICOM*.
- Imhof AE. 1975. *Historische Demographie als Sozialgeschichte: Giessen u. Umgebung vom 17. zum 19. Jh*: Selbstverl. d. Hess. Hist. Komm. Darmstadt ud Hist. Komm. für Hessen.
- Imhof, AE. 1976. *Ländliche Familienstrukturen an einem hessischen Beispiel: Heuchelheim, 1690–1900. Sozialgeschichte der Familie in der Neuzeit Europas: Neue Forschungen*. Stuttgart: Klett-Cotta, pp. 197-230.
- Imhof AE. 1981. *Die gewonnenen Jahre: Von der Zunahme unserer Lebensspanne seit 300 Jahren oder von der Notwendigkeit einer neuen Einstellung zu Leben und Sterben*, Ein historischer Essay: Beck.
- Imhof, AE. 1984. Von der unsicheren zur sicheren Lebenszeit. Ein folgenschwerer Wandel im Verlaufe der Neuzeit. VSWG: *Vierteljahrsschrift für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte*, pp. 175-198.
- Imhof H, Nöbauer-Huhmann I, Trattnig S. 2009. Koxarthrose? ein Update. *Der Radiologe* 49: pp. 400-409.
- İşcan MY, Loth SR. 1986a. Determination of age from the sternal rib in white females: a test of the phase method. *Journal of Forensic Sciences* 31: pp. 990-999.
- İşcan MY, Loth SR. 1986b. Determination of age from the sternal rib in white males: a test of the phase method. *Journal of Forensic Sciences* 31: p. 122.
- Jackes M. 1992. *Paleodemography: Problems and Techniques*. In *Skeletal Biology of Past Peoples: Research Methods*. S. Saunders and M. A. Katzenberg, (eds.). Wiley- Liss, New York: pp. 189-224.
- Jans MME, Kars H, Nielsen-Marsh CM, Smith CI, Nord AG, Arthur P, Earl N. 2002. In situ preservation of archaeological bone: a histological study within a multidisciplinary approach. *Archaeometry* 44: pp. 343-352.
- Jørkov MLS, Heinemeier J, Lynnerup N. 2007. Evaluating bone collagen extraction methods for stable isotope analysis in dietary studies. *Journal of Archaeological Science* 34: pp. 1824-1829.
- Kapandji IA. 1985. *Funktionelle Anatomie der Gelenke*. In: Otte P, Schlegel KF (Hrsg) *Bücherei des Orthopäden*, Bd. 47. Untere Extremität. Enke, Stuttgart.
- Katzenberg MA. 2000. Stable isotope analysis: a tool for studying past diet, demography, and life history M.A. Katzenberg, S.R. Saunders (Eds.), *Biological Anthropology of the Human Skeleton*, Wiley-Liss, New York: pp. 305–328.
- Katzenberg MA, Lovell NC. 1999. Stable isotope variation in pathological bone. *International Journal of Osteoarchaeology* 9: pp. 316-324.

6. Literaturverzeichnis

- Knight B, Lauder I. 1969. Methods of dating skeletal remains. *Human Biology* 41: pp. 322-341.
- Koch PL, Phillips DL. 2002. Incorporating concentration dependence in stable isotope mixing models: a reply to Robbins, Hilderbrand and Farley (2002). *Oecologia* 133: pp. 14-18.
- Koch PL, Fogel ML, Tuross N. 1994. Tracing the diets of fossil animals using stable isotopes. *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*: pp. 63-92.
- Körner C, Farquhar G, Wong S. 1991. Carbon isotope discrimination by plants follows latitudinal and altitudinal trends. *Oecologia* 88: pp. 30-40.
- Kohn MJ, Cerling TE. 2002. Stable isotope compositions of biologicalapatite. *Reviews in mineralogy and geochemistry* 48: pp. 455-488.
- Kohn MJ. 1996. Predicting animal $\delta^{18}\text{O}$: Accounting for diet and physiological adaptation. *Geochimica Cosmochimica Acta* 60, pp. 4811–4829.
- Kohn MJ, Schoeninger MJ, Valley JW. 1996. Herbivore tooth oxygen isotope compositions: Effects of diet and physiology. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60: pp. 3889-3896.
- Kornexl BE, Werner T, Roßmann A, Schmidt H-L. 1997. Measurement of stable isotope abundances in milk and milk ingredients – a possible tool for origin assignment and quality control. – *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und Forschung A* 205: pp. 19-24.
- Krueger HW, Sullivan CH. 1984. Models for carbon isotope fractionation between diet and bone. *Stable Isotopes in Nutrition* 258: pp. 205-220.
- Künster K. 1967. Der Lanskreis Düren, Regierungsbezirk Aachen, Landkreise in Nordrhein - Westfalen, Reihe A Nordrhein Bd. 7, Bonn.
- Lee WR. 1980. The Mechanism of Mortality Change in Germany, 1750-1850, in: *Medizinhistorisches Journal*, Bd. 15: pp. 244-268.
- Lee-Thorp J, Sponheimer M. 2006. Contributions of biogeochemistry to understanding hominin dietary ecology. *American Journal of Physical Anthropology* 131: pp. 131-148.
- Lee-Thorp JA, Sealy JC, van der Merwe NJ. 1989. Stable carbon isotope ratio differences between bone collagen and boneapatite, and their relationship to diet. *Journal of Archaeological Science* 16: pp. 585-599.
- Lee-Thorp JA, van der Merwe NJ. 1991. Aspects of the chemistry of modern and fossil biologicalapatites. *Journal of Archaeological Science* 18: pp. 343-354.
- Legros R, Balmain N, Bonel G. 1987. Age-related changes in mineral of rat and bovine cortical bone. *Calcified Tissue International* 41: pp. 137-144.
- Leuenberger M, Siegenthaler U, Langway CC. 1992b. Carbon isotope composition of atmospheric CO₂ during the last ice age from an Antarctic ice core. *Nature* 357: pp. 488-490.
- Lieverse AR. 1999. Diet and the aetiology of dental calculus. *International Journal of Osteoarchaeology* 9: pp. 219-232.
- Liversidge HM, Molleson T. 2004. Variation in crown and root formation and eruption of human deciduous teeth. *American Journal of Physical Anthropology* 123: pp. 172-180.
- Longin R. 1971. New method of collagen extraction for radiocarbon dating. *Nature* 230: pp. 241-242.

6. Literaturverzeichnis

- Longinelli A. 1984. Oxygen isotopes in mammal bone phosphate: A new tool for paleohydrological and paleoclimatological research? *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48: pp. 385-390.
- Lottspeich F. 2006. In Lottspeich F. und Zorbas H. (Hrsg.) *Bioanalytik* Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg.
- Mankin HJ. 1974. Review Article, Rickets, Osteomalacia, and Renal Osteodystrophy PART 1. *The Journal of Bone & Joint Surgery* 56: pp. 101-128.
- Mann RW, Hunt DR. 2005. *Photographic regional atlas of bone disease: A guide to pathologic and normal variation in the human skeleton*: Charles C Thomas Publisher.
- Marschalck P. 1973. Deutsche Überseewanderung im 19. Jahrhundert: ein Beitrag zur soziologischen Theorie der Bevölkerung: Ernst Klett.
- Martin R. 1928. *Lehrbuch der Anthropologie*. 2 Auflage Fischer, Jena.
- Martin RB. 2002. Is all cortical bone remodeling initiated by microdamage? *Bone* 30[1]: pp. 8-13.
- Masters PM. 1987. Preferential preservation of noncollagenous protein during bone diagenesis: implications for chronometric and stable isotopic measurements. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51: pp. 3209-3214.
- Mays S. 2000. New directions in the analysis of stable isotopes in excavated bones and teeth. *Human Osteology in Archaeology and Forensic Science*. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 425-438.
- McKee JK, Molnar S. 1988. Measurements of tooth wear among Australian aborigines: II. Intrapopulational variation in patterns of dental attrition. *American Journal of Physical Anthropology* 76: pp. 125-136.
- McKinney CR, McCrea JM, Epstein S, Allen HA, Urey HC. 1950. Improvements in Mass Spectrometers for the Measurement of Small Differences in Isotope Abundance Ratios. *Review of Scientific Instruments* 21: pp. 724-730.
- Miller A, Parker S. 1984. Collagen: The Organic Matrix of Bone [and Discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences* 304: pp. 455-477.
- Mittermayer C. 1993. *Oralpathologie. Erkrankungen der Mundregion*. 3. Auflage, Schattauer Verlag. Stuttgart, New York.
- Montelius O. 1888. Über Einwanderung unserer Vorfahren in den Norden. *Archiv für Anthropologie* 17: pp. 151-160.
- Moore JW, Semmens BX. 2008. Incorporating uncertainty and prior information into stable isotope mixing models. *Ecology Letters* 11: pp. 470-480.
- Morgenroth K. 1996. Mundhöhle, Zähne und Kiefer, Waldeyer-Rachenring, Oro-und Hypopharynx. *Pathologie* 2, Springer: pp. 1-83.
- Müller K, Chadefaux C, Thomas N, Reiche I. 2011. Microbial attack of archaeological bones versus high concentrations of heavy metals in the burial environment. A case study of animal bones from a mediaeval copper workshop in Paris. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 310: pp. 39-51.
- Müller JG. 2006. *Der Kreis Bergheim um 1827: Preußische Bestandsaufnahme des Landes und seiner Bevölkerung*: Böhlau Verlag Köln Weimar.

6. Literaturverzeichnis

- Mulligan CT. 2006. Anthropological application of ancient DNA: Problems and prospects. *American Antiquity* 71: pp. 365-380.
- Newsome SD, Phillips DL, Culleton BJ, Guilderson TP, Koch PL. 2004. Dietary reconstruction of an early to middle Holocene human population from the central California coast: insights from advanced stable isotope mixing models. *Journal of Archaeological Science* 31: pp. 1101-1115.
- Nicholson RA. 1998. Bone degradation in a compost heap. *Journal of Archaeological Science* 25: pp. 393-403.
- Nielsen-Marsh CM, Hedges RE. 2000. Patterns of diagenesis in bone I: the effects of site environments. *Journal of Archaeological Science* 27: pp. 1139-1150.
- Nielsen-Marsh C, Smith C, Jans M, Nord A, Kars H, Collins M. 2007. Bone diagenesis in the European Holocene II: taphonomic and environmental considerations. *Journal of Archaeological Science* 34: pp. 1523-1531.
- O'Leary MH. 1981. Carbon isotope fractionation in plants. *Phytochemistry* 20: pp. 553-567.
- Offermanns J, bearbeitet von Brückmann J. 1912. *Geschichte der Städte, Flecken, Dörfer und Klöster in den Kreisen Jülich, Düren, Erkelenz, Geilenkirchen und Heinsberg nebst statistischen Angaben. Der Kreis Jülich*, Verlag Fischer J., Jülich.
- Omran AR. 1971. The epidemiologic transition: a theory of the epidemiology of population change. *The Milbank Memorial Fund Quarterly* 49: pp. 509-538.
- Omran AR. 1977. A century of epidemiologic transition in the United States. *Preventive Medicine* 6: pp. 30-51.
- Ostersehlt D, Danker-Hopfe H. 1991: Changes in age at menarche in Germany: Evidence for a continuing decline. *American Journal of Human Biology* 3: pp. 647-54.
- Pankratz C. 2010 Erhaltungsgrad von Knochenkollagen nach kurzer Liegezeit im Boden - Bestattungen des 19. und 20. Jahrhunderts im Vergleich zu modernem Material. LMU München.
- Parfitt AM. 1979. Quantum Concept of Bone Remodeling and Turnover: Implications for the Pathogenesis of Osteoporosis. *Calcified Tissue International* 28: pp. 1-5.
- Parfitt AM. 2002 Targeted and nontargeted bone remodeling: relationship to basic multicellular unit origination and progression. *Bone* 30[1]: pp. 5-7.
- Parker CA. 2009. Wormian bones: BiblioLife.
- Passey BH, Robinson TF, Ayliffe LK, Cerling TE, Sponheimer M, Dearing MD, Roeder BL, Ehleringer JR. 2005. Carbon isotope fractionation between diet, breath CO₂, and bioapatite in different mammals. *Journal of Archaeological Science* 32: pp. 1459-1470.
- Pearson K. 1899. Mathematical contributions to the theory of evolution. On the reconstruction of the stature of prehistoric races. *Philos. Trans. R. Soc. Lond.*: pp. 169-244.
- Persikov AV, Ramshaw JA, Kirkpatrick A, Brodsky B. 2000. Amino acid propensities for the collagen triple-helix. *Biochemistry* 39: pp. 14960-14967.
- Peterson BJ, Fry B. 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology and Systematics* 18: pp. 293-320.

6. Literaturverzeichnis

- Petzke KJ, Fuller BT, Metges CC. 2010. Advances in natural stable isotope ratio analysis of human hair to determine nutritional and metabolic status. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care* 13: 532-540.
- Phillips DL. 2012. Converting isotope values to diet composition: the use of mixing models. *Journal of Mammalogy* 93: pp. 342-352.
- Phillips DL, Koch PL. 2002. Incorporating concentration dependence in stable isotope mixing models. *Oecologia* 130: pp. 114-125.
- Phillips DL, Gregg JW. 2003. Source partitioning using stable isotopes: coping with too many sources. *Oecologia* 136: pp. 261-269.
- Phillips DL, Newsome SD, Gregg JW. 2005. Combining sources in stable isotope mixing models: alternative methods. *Oecologia* 144: pp. 520-527.
- Piepenbrink H. 1986. Two examples of biogenous dead bone decomposition and their consequences for taphonomic interpretation. *Journal of Archaeological Science* 13: pp. 417-430.
- Prahl H-W, Setzwein M. 1999. *Soziologie der Ernährung*: Leske + Budrich.
- Preuß D. 2007. ... et in pulverem reverteris?: vom ethisch verantworteten Umgang mit menschlichen Überresten in Sammlungen sowie musealen und sakralen Räumen: Herbert Utz Verlag.
- Rana RS, Wu JS, Eisenberg RL. 2009. Periosteal reaction. *American Journal of Roentgenology* 193: pp. 259-272.
- Regsdale BD, Madewell JE, Sweet DE. 1981. Radiologic and pathologic analysis of solitary bone lesions. Part II: Periostal reactions. *Radiol Clin N Am* 19: pp. 749-783.
- Reiche D. 2003. *Roche Lexikon Medizin*: Elsevier Health Sciences.
- Reiche I, Vignaud C, Menu M. 2002. The crystallinity of ancient bone and dentine: new insights by transmission electron microscopy. *Archaeometry* 44: pp. 447-459.
- Robbins CT, Hilderbrand GV, Farley SD. 2002. Incorporating concentration dependence in stable isotope mixing models: a response to Phillips and Koch (2002). *Oecologia* 133: pp. 10-13.
- Roberts S. 1989. Use of the doubly labeled water method for measurement of energy expenditure, total body water, water intake, and metabolizable energy intake in humans and small animals. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 67: pp. 1190-1198.
- Roberts SB, Coward WA, Ewing G, Savage J, Cole TJ, Lucas A. 1988. Effect of weaning on accuracy of doubly labeled water method in infants. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 254: pp. 622-627.
- Rödel WG. 1975. Arbeiten und Projekte zur Bevölkerungsgeschichte der Stadt Mainz. In: *Historische Demographie als Sozialgeschichte. Gießen und Umgebung vom 17. zum 19. Jahrhundert*. Hrsg. von Arthur E. Imhof. T.1.2. (Quellen und Forschungen zur hessischen Geschichte 31), Darmstadt, Marburg, pp. 1037-1048.
- Rösing FW. 1988. Körperhöhenrekonstruktion aus Skelettmaßen. In: Knußmann R (Hrsg) *Anthropologie*, 4. Aufl des Lehrbuches der Anthropologie begründet von R Martin. Band I, Fischer-Verlag, Stuttgart New York

6. Literaturverzeichnis

- Rost R. 2011. Ossuary Internments as a Framework for Osteological Analysis: A Critical Approach to Paleodemography and Biological Affinity. *Totem: The University of Western Ontario Journal of Anthropology* 3: p 4.
- Sanchez-Lara PA, Graham JM, Hing AV, Lee J, Cunningham M. 2007. The morphogenesis of wormian bones: a study of craniosynostosis and purposeful cranial deformation. *American Journal of Medical Genetics Part A* 143: pp. 3243-3251.
- Scheuer L, Black S. 2000. The Head, Neck and Dentition. In: *Developmental Juvenile Osteology*. Elsevier Academic Press: pp. 36-171.
- Schilling W. 2005. LK Thomas in Bergmann, Schaefer, *Lehrbuch der Experimentalphysik*, Band 6 Festkörper: de Gruyter, Berlin.
- Schmidt-Wygasch CM. 2011. Neue Untersuchungen zur holozänen Genese des Unterlaufs der Inde: chronostratigraphische Differenzierung der Auelehme unter besonderer Berücksichtigung der Montangeschichte der Voreifel Universitätsbibliothek.
- Schmidt-Wygasch C, Schamuhn S, Meurers-Balke J, Lehmkuhl F, Gerlach R. 2010. Indirect dating of historical land use through mining: Linking heavy metal analyses of fluvial deposits to archaeobotanical data and written accounts. *Geoarchaeology* 25: pp. 837-856.
- Schnettelker H. 2001. Die Geschichte der Zahnprothese, Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
- Schnider S, Kohn R. 1981. Effects of age and diabetes mellitus on the solubility and nonenzymatic glucosylation of human skin collagen. *Journal of Clinical Investigation* 67: p. 1630.
- Schoeninger MJ, DeNiro MJ. 1984. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochimica et cosmochimica acta* 48: pp. 625-639.
- Schoeninger MJ, Moore KM, Murray ML, Kingston JD. 1989. Detection of bone preservation in archaeological and fossil samples. *Applied Geochemistry*, 4: pp. 281–292.
- Schollmeyer W. 1965. Die Sutura frontalis (metopica) als Erb- und Identifizierungsmerkmal. *Deutsche Zeitschrift für die gesamte gerichtliche Medizin* 56: pp. 245-249.
- Schroeder HE. 1997. *Pathobiologie oraler Strukturen*: Karger Publishers.
- Schultz M. 1988. Paläopathologische Diagnostik. *Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen* 1: pp. 480-496.
- 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.
- Schwarcz HP, Schoeninger MJ. 1991. Stable isotope analyses in human nutritional ecology. *American Journal of Physical Anthropology* 34: pp. 283-321.
- Shin JY, Hedges REM. 2012. Diagenesis in bone and enamel apatite carbonate; the potential of density separation to assess the original composition. *Journal of Archaeological Science* 39: pp. 1123-1130.
- Siegmund F. 2010. Die Körpergröße der Menschen in der Ur-und Frühgeschichte Mitteleuropas und ein Vergleich ihrer anthropologischen Schätzmethoden: BoD–Books on Demand.

6. Literaturverzeichnis

- Smith C, Nielsen-Marsh C, Jans M, Collins M. 2007. Bone diagenesis in the European Holocene I: patterns and mechanisms. *Journal of Archaeological Science* 34: pp. 1485-1493.
- Spree R. 1986. Veränderungen des Todesursachen-Panoramas und sozio-ökonomischer Wandel-Eine Fallstudie zum „Epidemiologischen Übergang“. Gäfgen, Gérard: pp. 73-100.
- Spree, R. 1990. »Volksgesundheit« und Lebensbedingungen in Deutschland während des frühen 19. Jahrhunderts. In: Kümmel, W. (Hg.): *Jahrbuch des Instituts für Geschichteder Medizin der Robert Bosch Stiftung*, Bd. 7, Stuttgart; ders.: Veränderungendes Todesursachen-Panoramas und sozio-ökonomischer Wandel - Eine Fallstudie zum »Epidemiologischen Übergang«. In: Gäfgen, G. (Hg.): *Ökonomie des Gesundheitswesens*. Berlin 1986.12
- Spree R. 1988/89. Demographic Informationen, Published by: Austrian Academy of Sciences Press. pp. 32-38.
- Steckel RH, Larsen CS, Sciulli PW, Walker PL. 2006. Data collection codebook. *The Global History of Health Project*.
- Steinwachs M. 2010. 4 Grundlagen der Arthrose-Entwicklung. *Management der Arthrose: innovative Therapiekonzepte*; mit 47 Tabellen;[mit CD-ROM]: 25.
- Stevenson RE, Hall JG. 2006. *Human malformations and related anomalies*: Oxford University Press, USA.
- Stloukal M. 1963. Der Gesundheitszustand des Gebisses bei der Population von grossmährischen Mikulcice. *Anthropologie* 1 Brno: pp. 35- 45.
- Stloukal M, Hanáková H. 1978. Die länge der Längsknochen altslawischer Bevölkerungen unter besonderer Berücksichtigung von Wachstumsfragen. *Homo* 29: pp. 53-69.
- Stolberg M. 1993. Patientenschaft und Krankheitsspektrum in ländlichen Arztpraxen des 19. Jahrhunderts. *Medizinhistorisches Journal* 28: pp. 3-27.
- Straßburger E. 1991. *Lehrbuch der Botanik*, 33. Aufl: Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York.
- Tanner JM, Healy M, Lockhart R, Mackenzie J, Whitehouse R. 1956. Aberdeen growth study: I. The prediction of adult body measurements from measurements taken each year from birth to 5 years. *Archives of Disease in Childhood* 31: p. 372.
- Teuteberg HJ, Wiegmann G. 2005. Nahrungsgewohnheiten in der Industrialisierung des 19. Jahrhunderts. *Grundlagen der Europäischen Ethnologie* Bd. 2. LIT Verlag Münster.
- Theiler R. 2002. *Arthrose-Epidemiologie. Diagnose und Differentialdiagnose, Abklärung und Dokumentation*: pp. 555-561.
- Tieszen LL, Fagre T. 1993. Effect of diet quality and composition on the isotopic composition of respiratory CO₂, bone collagen, bioapatite, and soft tissues. *Prehistoric Human Bone* Springer: pp. 121-155.
- Tieszen LL. 1991. Natural variations in the carbon isotope values of plants: implications for archaeology, ecology, and paleoecology. *Journal of Archaeological Science* 18: pp. 227-248.
- Tischler H. 1951. Altdorf, Die Geschichte seines Werdens und Schicksals. Zur 500. Jahrfeier vom 14.-15. Mai 1951 der St.Pankratius Schützenbruderschaft Altdorf.

6. Literaturverzeichnis

- Todd TW. 1920. Age change in the pubic bone. I The male white pubis. *American Journal of Physical Anthropology* 3: pp. 285-334.
- Todd, TW. 1921a. Age changes in the pubic bone: 11. The pubis of the male Negro-White hybrid III: the pubis of the white female; IV. The pubis of the female Negro-White hybrid. *American Journal of Physical Anthropology* 4: pp. 1-70.
- Trueman C, Martill D. 2002. The long-term survival of bone: the role of bioerosion. *Archaeometry* 44: pp. 371-382.
- Trueman CN, Privat K, Field J. 2008. Why do crystallinity values fail to predict the extent of diagenetic alteration of bone mineral? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 266: pp. 160-167.
- Tütken T. 2003. Die Bedeutung der Knochenfrühdiagenese für die Erhaltungsfähigkeit in vivo erworbener Element-und Isotopenzusammensetzungen in fossilen Knochen. Dissertation Universität Tübingen.
- Tütken T. 2010. Die Isotopenanalyse fossiler Skelettreste–Bestimmung der Herkunft und Mobilität von Menschen und Tieren. *Anthropologie, Isotopie und DNA–biografische Annäherung an namenlose vorgeschichtliche Skelette*. Tagungsband 2: pp. 33-51.
- Tütken T, Vennemann TW. 2011. Fossil bones and teeth: Preservation or alteration of biogenic compositions? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 310: pp. 1-8.
- Turner-Walker G, Jans M. 2008. Reconstructing taphonomic histories using histological analysis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 266: pp. 227-235.
- Tuross N, Fogel ML, Hare PE. 1988. Variability in the preservation of the isotopic composition of collagen from fossil bone. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52: pp. 929-935.
- Ubelaker DH, ed. 1978. *Human skeletal remains. Excavation, analysis, interpretation*. Adeline, Chicago.
- van der Merwe NJ, Medina E. 1989. Photosynthesis and ^{13}C / ^{12}C ratios in Amazonian rain forests. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 53: pp. 1091-1094.
- van Klinken GJ. 1999. Bone Collagen Quality Indicators for Palaeodietary and Radiocarbon Measurements. *Journal of Archaeological Science* 26: pp. 687-695.
- van Klinken GJ, Hedges REM. 1995. Experiments on Collagen-Humic Interactions: Speed of Humic Uptake, and Effects of Diverse Chemical Treatments. *Journal of Archaeological Science* 22: pp. 263-270.
- von Ammon FA. 1864. *Die ersten Mutterpflichten und die erste Kindespflege. Belehrung für junge Frauen und Mütter*. 11. Auflage. Verlag von S. Hirzel, Leipzig.
- von Endt DW, Ortner DJ. 1984. Experimental effects of bone size and temperature on bone diagenesis. *Journal of Archaeological Science* 11: pp. 247-253.
- von Heyking K. 2013. Anthropologie einer frühstädtischen Randgruppe morphologische und archäometrische Untersuchung eines hoch- bis spätmittelalterlichen Armenhausgräberfeldes in Regensburg. Dissertation an der Fakultät für Biologie der Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Walker PL, Dean G, Shapiro P. 1991. Estimating age from tooth wear in archaeological populations. *Advances in Dental Anthropology*. New York: Wiley-Liss. pp. 169-178.

6. Literaturverzeichnis

- Walker PL, Bathurst RR, Richman R, Gjerdrum T, Andrushko VA. 2009. The causes of porotic hyperostosis and cribra orbitalia: A reappraisal of the iron-deficiency-anemia hypothesis. *American Journal of Physical Anthropology* 139: pp. 109-125.
- Walter C, Sixer UP, Bornstein MM, Klingler K, Ramseier CA. 2007. Einfluss des Tabakkonsums auf das Parodont – ein Update. Teil 1: Epidemiologische und pathogenetische Aspekte tabakbedingter Schädigungen am Parodont; *Schweiz Monatsschrift Zahnmedizin* 117: pp. 45-54.
- Wang Y, Cerling TE. 1994. A model of fossil tooth and bone diagenesis: implications for paleodiet reconstruction from stable isotopes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 107: pp. 281-289.
- Wang X, Shen X, Li X, Mauli Agrawal C. 2002. Age-related changes in the collagen network and toughness of bone. *Bone* 31: pp. 1-7.
- Watt I. 2000. Arthrose–eine oder viele Erkrankungen? *Der Radiologe* 40: pp. 1134-1140.
- Wedl JS, Stiefel BG, Friedrich RE, Dietz K, Schmelzle R. 2002. Clinical oral investigation of permanent teeth eruption as an aid for forensic-odontological estimations of the chronological age in children and adolescents. *Rechtsmedizin*, 12 (2), pp. 87-99.
- Weiss KM., 1973: Demographic models for Anthropology. *Memoirs of the Society for American Archaeology* 27.
- White CD, Spence MW, Le Q, Stuart-Williams H, 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: pp. 643-655.
- White CD, Armelagos GJ. 1997. Osteopenia and stable isotope ratios in bone collagen of Nubian female mummies. *American Journal of Physical Anthropology* 103: pp. 185-199.
- White C, Longstaffe FJ, Law KR. 2004. Exploring the effects of environment, physiology and diet on oxygen isotope ratios in ancient Nubian bones and teeth. *Journal of Archaeological Science* 31: pp. 233-250.
- Whittaker D, Molleson T. 1996. Caries prevalence in the dentition of a late eighteenth century population. *Archives of oral biology* 41: pp. 55-61.
- Wich M, Turan O. 2010. Scapula. Frakturen: pp. 427-440.
- Wintermantel E, Ha S-W, Shah-Derler B. 2008. Gewebe. *Medizintechnik Life Science Engineering*, Springer Berlin Heidelberg: pp. 155-170.
- Wood JW, Holman DJ, O Connor KA, Ferrell RJ. 2002. Mortality models for paleodemography. *Cambridge Studies in Biological and Evolutionary Anthropology*: pp. 129-168.
- Woods R. 1982. *Theoretical Population Geography*. New York.
- Wright LE, Schwarcz HP. 1998. Stable carbon and oxygen isotopes in human tooth enamel: identifying breastfeeding and weaning in prehistory. *American journal of physical anthropology* 106: pp. 1-18.
- Wright LE, Schwarcz HP. 1999. Correspondence between stable carbon, oxygen and nitrogen isotopes in human tooth enamel and dentine: infant diets at Kaminaljuyu. *Journal of Archaeological Science* 26: pp. 1159-1170.

7. Anhang

7.1 Tabellen mit Originaldaten

Tabelle 65 Gesamtheit der befundenen Individuen für beschreibende Statistik und Demographie (175 Individuen)

Bef.-Nr.	Zeitstellung	Geschlecht	morph. Alter	Altersgruppe
1a	spät	w	25-35	adult
1b	spät	w	a-x	a-x
1c	spät	w	a-x	a-x
1d	spät	m	50-80	senilis
1e	spät	m	40-50	matur
2	spät	w	40-55	matur
3	spät	m	40-x	matur
4	spät	w	60-70	senilis
5	spät	n.b.	a-x	a-x
6	spät	n.b.	a-x	a-x
8	spät	m	20-24	juvenis
10	spät	w	a-x	a-x
14	spät	m	35-55	adult
15	spät	m	50-65	senilis
19	spät	m	30-45	adult
21	spät	m	65-x	senilis
26	n.b.	n.b.	n.b.	a-x
32	spät	w	69-x	senilis
33	spät	m	10-12	infans II
35	spät	m	13-17	juvenis
36	spät	w	40-x	matur
37	spät	m	20-25	früh adult
38	spät	w	a-x	a-x
41	spät	m	40-x	matur
42-3	spät	w	25-55	adult
43	spät	w	a-x	a-x
44	spät	w	a-x	a-x
45-8	spät	m	50-65	senilis
46	n.b.	n.b.	n.b.	a-x
63	spät	m	25-50	adult
64	spät	m	60-80	senilis
65	spät	n.b.	n.b.	a-x
66	spät	n.b.	a-x	a-x
67	spät	w	a-x	a-x
68	n.b.	n.b.	n.b.	a-x
69	spät	w	20-25	früh adult
71	spät	w	50-60	matur
72-7	spät	w	50-60	matur
73	spät	w	a-x	a-x
74	spät	w	50-60	matur
75	spät	w	65-x	senilis
77	spät	w	70-80	senilis
76	spät	m	50-60	matur
79	spät	n.b.	a-x	a-x
90	spät	m	a-x	a-x

7. Anhang

91	spät	m	60-80	senilis
93	n.b.	n.b.	n.b.	a-x
94	spät	w	40-50	matur
95	spät	w	20-25	früh adult
96	spät	w	25-35	adult
97	spät	n.b.	a-x	a-x
98	spät	w	a-x	a-x
99	spät	w	n.b.	a-x
107	früh	n.b.	n.b.	a-x
111	früh	w	24-30	adult
112-4	früh	w	25-35	adult
113	früh	m	65-80	senilis
114	früh	m	6m+- 3m	infans I
116	früh	w	25-50	adult
117	früh	n.b.	n.b.	infans I
123-4	früh	w	40-60	matur
124	früh	m	30-40	matur
129	früh	n.b.	n.b.	a-x
131	früh	w	40-60	matur
132	früh	w	25-35	adult
134	früh	w	40-60	matur
135	früh	w	5	infans I
137	früh	m	25-40	adult
136-8	früh	n.b.	n.b.	infans I
140	früh	w	0,5-1	infans I
141	früh	w	8+- 24m	infans II
142-8	früh	w	30-40	adult
144	früh	w	35-45	matur
146	früh	m	55-65	senilis
150	früh	m	7+-24m	infans II
151	früh	w	20-25	früh adult
152	früh	m	60-70	senilis
154	früh	w	20-25	früh adult
155-9	früh	w	35-50	matur
157	früh	m	35-50	matur
157-3	früh	n.b.	0	perinatal
158	früh	m	a-x	a-x
161	früh	w	12-13	juvenis
162	früh	n.b.	0-2m	neonat
163	früh	w	a-x	a-x
164	früh	m	21-25	adult
173-9	früh	n.b.	n.b.	perinatal
173-10	früh	n.b.	n.b.	perinatal
174	früh	m	1	infans I
176	früh	w	8+-24m	infans II
177	früh	w	20-25	früh adult
178	früh	n.b.	a-x	a-x
180	früh	n.b.	1+-4m	infans I
189	früh	m	50-60	matur
191	früh	w	50-60	matur
193	früh	m	40-50	matur
194-8	früh	m	60-70	senilis
194-11	früh	w	8+-24m	infans II
195	früh	n.b.	35-45	matur
197	früh	w	20-25	früh adult
198	früh	w	55-65	senilis

7. Anhang

199	früh	m	60-70	senilis
200	früh	n.b.	1-2m	infans I
201	früh	w	19-21	juvenis
203	spät	n.b.	n.b.	a-x
207	spät	m	18-20	juvenis
209	spät	w	60-70	senilis
211	spät	w	14-16	juvenis
212	spät	n.b.	n.b.	a-x
213	spät	w	25-30	adult
214	spät	m	40-55	matur
215	spät	m	70-80	senilis
219-1	spät	n.b.	40-60	matur
219-2	spät	m	40-50	matur
220	spät	m	60-70	senilis
223	spät	m	45-55	matur
229	spät	m	17-20	juvenis
230	spät	m	29-40	adult
232	spät	w	65-80	senilis
235	spät	w	12+-	infans II
236	spät	n.b.	a-x	a-x
238	spät	m	55-65	senilis
239	spät	m	a-x	a-x
240	spät	w	35-45	matur
241	spät	m	a-x	a-x
242	spät	w	35-45	matur
244	spät	n.b.	n.b.	a-x
245	spät	m	30-40	matur
263	früh	m	50-70	senilis
265	früh	m	50-60	matur
267	früh	w	25-35	adult
268	früh	w	20-30	adult
272	früh	w	40-60	matur
273	früh	m	30-50	adult
274	früh	w	25-35	adult
275	früh	n.b.	8+-24m	infans II
276	früh	m	40-50	matur
277	früh	m	30-40	adult
280	früh	n.b.	8+-24m	infans II
283	früh	w	20-25	früh adult
288	früh	m	35-45	adult
289	früh	m	50-60	matur
293	n.b.	n.b.	n.b.	a-x
296	früh	w	40-70	senilis
315	spät	m	65-80	senilis
318	n.b.	n.b.	n.b.	a-x
322	n.b.	n.b.	n.b.	neonat
323	n.b.	w	25-35	adult
324	n.b.	w	60-70	senilis
325	n.b.	n.b.	0-3m	neonat
326	n.b.	m	2+-8m	infans I
328	früh	w	a-x	a-x
329	früh	m	20-25	früh adult
330	früh	w	21-23	früh adult
331	früh	m	30-40	adult
332	früh	w	1-1,5	infans I
336	früh	n.b.	n.b.	neonat

7. Anhang

337	früh	m	25-30	adult
338-5	n.b.	n.b.	a-x	a-x
338-12	n.b.	n.b.	n.b.	infans I
340	n.b.	m	50-60	matur
343	früh	w	a-x	a-x
349	früh	m	60-70	senilis
352	früh	w	45-65	matur
353	früh	m	50-60	matur
368	früh	w	40-50	matur
365	früh	n.b.	n.b.	a-x
369	früh	w	60-70	senilis
371	früh	m	a-x	a-x
372	früh	m	70-80	senilis
373	früh	m	50-60	matur
374	früh	w	25-35	adult
377	früh	w	20-45	adult
378	n.b.	n.b.	n.b.	a-x
382	n.b.	n.b.	n.b.	a-x

Tabelle 66 Indices für Langknochen (100 Individuen)

Bef.-Nr.	Femur head diam.	Femur max. length	Femur a/p diam.	Femur m/l diam.	Humerus max. length	Humerus a/p diam.	Humerus m/l diam.
1a		435	26	26	304	17	17
1b	40	372	22	28			
1c	39	403	27	26	343	21	22
1e		452					
2	42	436	28	28	304	21	21
3	44	480	24	25			
4	42		30	28	296	19	19
8	48	444	23	25	323	21	21
19					340	22	20
21	45	482	23	26	342	21	21
32	42	430	22	25			
36	42	418	24	24	291	16	15
37	46	460	26	31	351	21	20
41	48	452	24	26			
43	49	476	28	32	349	23	22
44	38	470	23	23	299	16	16
45-8	52	494	32	26	366	20	16
63	44		21	21	316	15	16
64	50	422	22	29	327	19	17
67					280	19	19
71					278	15	17
72-7	41	435	24	27			
74	40	390	26	30	295	20	17
75	37	404	24	23		17	14
77	42	408	31	32	295	20	22
76		475					
90	46						
91	51	445	28	33	325	24	21
95	41	430	26	25	293	20	15
96	41	467	26	25	326	17	17
113					314		
116	45					21	20

7. Anhang

123-4	39	409	26	26	275	23	20
132	42	487	31	28	302	22	18
134	39	435	27	28	320	21	18
137	47		28	28	330	23	24
142-8	43	430	25	27	306	20	19
144	46	460	30	25	329	21	17
146	46	442	28	27	329	22	19
151	44	406	24	26	294	20	21
152	44	435	30	27	311	22	20
154		476			345		
155-9	42	425	25	27	305	20	18
163	45	446	32	30			
164	48	466	30	29		22	20
177		444			306		
178		406	26	26			
189	49	441	31	30		23	21
191	43	431	26	32	312	19	20
193		403	28	24		21	20
194-8	46	413	26	30			
195		434			322		
197					260		
198	45	433	26	24	316	23	21
199	45	483	31	25	383	23	18
207	45	451	32	24	330	16	21
209	40	395	21	23	290	15	14
213	36	442	20	21	320	18	14
214					355		
215	43	445	26	25	330	20	19
219-1	43	427	29	27	285	17	21
219-2					381	25	22
220	46	460	35	32			
223	51	471	27	31	330	21	22
229		460					
230	50	486	30	29	357	21	20
232	39	420	26	21	315	19	15
238		479			348		
239					343		
240	49	466	29	31	349	24	21
242	44	455	32	27	310	22	22
245					340	20	14
263	43	451	24	29	320	21	22
265	47	484	31	31	360	23	20
267	41	391	27	25	291	18	17
268		433			313		
272	43	423	26	25			
273		480					
274	46	413	26	28	311	21	19
276	47	479	31	31			
283	44	431	29	26	291	22	20
288	44	456	26	29	328	19	19
289	53	508	31	33	350	26	24
296	49	450	28	27	315	24	22
315	53	520	28	31	344	25	25
323	43	443	29	26	314	20	15
324	39	395	26	27	274	20	19
328	40	430	31	28	302	17	16

7. Anhang

329		424	28	26	303	20	17
331	49	447	30	28		22	20
340	46	414	28	29			
349			29	28			17
352	46	451	24	28	317	22	21
353					328	24	22
369	46		31	28	325	23	20
371		410			309		
372	47		31	27	321	21	20
373	42	412	27	26	294	20	19
374	44	413	26	29	278	19	18
377	42	423	25	22	322	16	14

Tabelle 67 Zahnstatus – Anzahl entsprechender Zähne (83 Individuen)

Bef.-Nr.	Durchgebrochene Zähne	Vorhandene Zähne	(Premortem) Verlorene Zähne	kariöse Zähne	Abszesse	Zahnstein	Parodontose	Hypoplasien Incisivi	Hypoplasien Canini
1a	32	19	5	3	1	1	1	2	2
2	32	17	7	2	1	1	1	1	1
4	32	0	31	0	0	0	0	0	0
8	32	28	0	0	0	1	1	1	1
14	32	0	12	0	0	0	0	0	0
15	32	11	14	1	1	1	1	1	1
19	32	3	4	2	0	1	1	0	0
21	32	25	3	2	0	1	1	1	1
32	32	0	32	0	0	0	0	0	0
36	32	0	32	0	0	0	0	0	0
37	32	31	1	4	0	0	0	2	2
41	32	0	13	0	1	0	0	0	0
42-3	32	1	18	0	0	0	0	0	0
45-8	32	22	3	14	1	0	2	1	1
63	32	15	14	10	0	1	1	0	0
64	32	29	3	12	2	1	2	1	1
71	32	0	16	0	0	0	0	0	0
74	32	22	7	4	0	1	1	3	2
75	32	1	2	0	0	0	0	0	0
79	32	2	8	0	0	0	0	0	0
90	32	7	0	0	0	1	1	1	1
91	32	0	32	0	0	1	1	0	0
94	32	4	28	1	0	0	0	0	0
95	32	25	5	1	0	1	1	0	0
96	32	24	2	3	0	2	1	1	1
111	30	19	8	0	8	1	1	1	1
112-4	28	27	0	4	1	1	2	1	1
113	32	0	19	0	0	0	0	0	0
116	32	7	6	3	2	1	1	1	1
132	32	9	12	2	2	1	1	1	1
134	32	9	10	9	5	1	1	1	1

7. Anhang

142-8	32	17	2	2	1	2	2	1	1
144	32	4	16	1	1	1	1	1	1
146	32	4	27	0	1	1	1	1	1
151	32	30	2	8	3	1	1	1	2
152	32	19	16	5	11	1	1	1	3
154	32	30	0	0	0	1	1	1	1
155-9	32	6	6	3	0	1	0	1	1
157	32	23	8	2	0	2	2	1	1
158	32	10		0	0	0	0	0	0
161	33	33	0	0	0	0	0	0	0
164	28	28	0	0	0	0	0	0	0
189	32	5	27	0	3	2	2	1	3
191	32	0	16	0	0	0	0	0	0
193	32	6	6	0	0	2	1	2	2
194-8	32	3	3	3	0	0	1	0	0
198	32	22	8	5	0	2	1	2	2
199	32	9	21	3	0	1	1	1	1
207	30	27	1	0	0	2	1	1	1
209	32	15	11	2	0	1	1	1	1
213	33	21	4	2	1	1	1	3	3
215	30	25	2	3	3	2	1	1	1
219-1	32	1	12	0	0	1	1	0	0
219-2	32	3	18	1	0	0	0	0	0
223	32	1	11	0	0	0	0	0	0
229	32	26	1	2	0	1	1	1	1
230	32	3	11	3	0	1	1	1	1
238	33	29	4	0	1	2	1	1	1
245	32	15	5	4	0	1	1	2	2
263	32	10	10	5	0	1	2	0	0
265	32	0	32	0	0	1	1	0	0
267	30	28	4	4	0	1	1	2	2
268	32	30	3	0	1	1	1	1	1
272	32	20	2	0	2	2	2	1	1
274	32	24	0	3	1	1	1	1	1
283	32	31	1	3	1	1	1	2	2
288	32	20	6	2	0	1	2	1	1
289	32	2	28	2	0	1	1	0	0
296	32	12	19	3	0	1	1	1	1
323	28	19	4	5	0	1	1	2	2
324	32	0	32	0	0	0	1	0	0
329	32	32	0	0	0	2	1	2	2
330	32	16	0	0	0	1	1	1	1
331	32	27	0	4	1	1	1	1	1
337	32	22	3	3	0	1	1	3	3
349	32	3	18	1	0	1	1	3	3
352	32	14	17	11	0	1	1	1	1
353	32	20	2	4	2	1	1	1	1
368	32	11	19	1	0	2	2	1	1
369	32	2	20	1	4	1	1	0	0
372	32	2	28	0	1	1	1	0	0
373	32	17	16	7	1	1	1	1	1
374	28	28	0	2	0	2	1	1	1

Tabelle 68 Arthroseindices (122 Individuen)

Bef.-Nr.	Schulter links	Schulter rechts	Ellenbogen links	Ellenbogen rechts	Hand/Finger	Hüfte links	Hüfte rechts	Knie links	Knie rechts	Fuß/Zehen	Kiefer	Halswirbel	Brustwirbel	Lendenwirbel
1a	0	0	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1
1b	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
1c	0	2	0	1	0	1	1	0	3	0	1	0	2	0
1d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3
1e	0	0	3	3	3	3	3	3	3	0	1	0	3	3
2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2
3	2	2	0	1	1	2	2	2	2	1	1	0	2	0
4	2	2	2	3	1	2	2	2	2	1	1	2	1	1
5	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	3	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
8	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	2	1	0	0
14	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	1
15	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2	0
19	0	2	3	2	1	0	0	0	0	1	1	2	0	0
21	0	0	2	2	1	3	3	3	3	1	1	2	2	2
32	0	0	0	0	1	2	2	1	1	5	1	3	2	2
36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
38	2	0	2	0	1	2	2	2	3	1	1	0	0	2
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2
42-3	0	0	2	2	1	0	0	0	0	1	1	3	2	2
43	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
44	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	3	3	3
45-8	2	2	3	2	3	3	2	2	2	2	0	0	0	3
63	2	2	2	2	0	2	2	0	0	0	1	2	2	2
64	2	0	2	0	0	2	2	1	0	0	0	0	1	3
66	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
67	2	0	0	1	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0
71	1	1	1	1	1	4	4	1	1	0	0	2	3	3
72-7	0	0	2	2	1	3	4	1	1	2	0	0	0	3
73	0	0	0	0	3	0	0	2	2	0	0	0	0	0
74	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	0	2	2
75	2	3	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
76	2	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1
79	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	1	0	0	0
90	0	3	0	0	2	3	3	0	2	0	1	3	3	3
91	2	2	1	1	0	3	3	3	3	0	0	3	3	3
94	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0
95	2	2	2	2	0	2	2	2	2	0	1	2	2	2
96	0	0	0	0	2	0	0	1	1	2	1	0	0	1
97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0
111	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
112-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
113	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1

7. Anhang

123-4	0	2	2	2	1	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0
124	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
132	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	0	2	2	
134	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
137	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
142-8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	
144	1	1	2	2	1	2	2	1	1	2	1	2	3	2	
146	3	3	3	3	4	2	2	2	2	2	1	3	3	3	
151	1	1	2	1	1	1	0	1	1	1	1	1	2	1	
152	2	2	2	2	2	3	3	1	1	1	1	1	2	2	
154	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	
155-9	2	0	1	0	1	1	1	1	1	2	2	0	1	2	
157	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	
158	0	0	0	0	2	0	0	2	2	0	0	0	0	0	
161	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
163	0	0	2	2	1	2	2	1	1	1	1	0	1	1	
164	0	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	
177	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	
178	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
189	2	2	2	3	3	1	1	1	1	0	1	3	2	2	
191	2	2	2	1	1	2	2	1	1	0	1	2	1	2	
193	2	1	2	2	1	4	5	1	1	1	1	2	2	2	
194-8	1	1	1	1	0	3	0	2	2	0	1	0	2	3	
195	2	2	2	2	3	1	3	1	3	2	1	0	0	0	
197	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	
198	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	
199	2	0	1	0	0	2	1	0	1	1	1	0	2	3	
201	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	
207	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
209	1	1	2	2	3	1	1	1	1	0	2	3	1	1	
211	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
213	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	2	2	
214	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	2	1	2	
215	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	
219-1	2	2	2	2	2	0	0	2	2	2	1	0	3	0	
219-2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	3	2	
220	2	2	0	2	1	0	0	2	3	2	1	1	2	0	
223	3	0	2	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2	3	
229	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
230	2	2	1	1	1	2	2	1	1	0	1	0	3	3	
232	3	3	2	2	3	4	4	2	2	3	1	0	2	3	
238	1	1	2	2	0	1	1	2	2	1	1	3	1	1	
240	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1	0	1	2	3	
242	0	2	0	2	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	
245	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	2	1	2	0	
263	2	2	0	3	2	2	2	0	2	2	1	2	0	0	
265	2	2	2	2	1	2	2	2	3	1	2	3	2	3	
267	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	
268	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
272	0	2	0	1	1	2	2	2	0	0	1	1	1	1	
273	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	
274	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	
276	0	0	2	0	3	2	0	1	1	2	0	0	0	0	
283	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
288	2	2	1	2	1	2	2	1	1	3	1	2	2	3	

7. Anhang

289	2	3	2	2	1	2	3	2	2	1	1	2	1	3
296	2	1	1	1	0	2	2	1	1	0	1	2	0	0
315	0	2	2	2	1	3	3	1	1	1	1	1	2	1
323	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
324	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1
328	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1
329	1	1	1	1	1	0	0	1	1	2	1	1	1	1
330	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
331	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1
337	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
340	0	0	2	2	2	2	4	1	1	1	1	0	2	2
349	2	2	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
352	2	2	2	2	1	2	2	2	0	0	1	2	2	2
353	2	3	1	1	0	0	2	0	0	2	1	1	1	1
368	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0
369	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1
371	1	1	3	1	2	2	2	1	1	1	1	3	3	3
372	2	3	2	2	2	2	2	1	1	1	2	3	2	3
373	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	3	2	3
374	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	2	2	2
377	0	1	2	1	1	1	1	1	1	3	1	1	0	1

Tabelle 69 Periostitisindices (111 Individuen)

Bef.-Nr.	Femur links	Femur rechts	Tibia links	Tibia rechts	Fibula links	Fibula rechts
1a	1	1	1	1	1	1
1b	1	1	1	1	1	1
1c	1	1	1	1	1	1
1d	1	1	1	1	1	1
1e	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1
5	1	1	0	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1
10	0	0	2	2	2	2
19	4	1	0	0	0	0
21	1	1	1	1	1	1
32	1	1	1	1	1	1
36	1	1	1	1	1	1
37	1	1	1	1	1	1
38	2	2	2	2	2	2
41	1	1	1	1	1	1
42-3	1	1	1	1	1	1
43	1	1	1	1	1	1
44	1	1	1	1	1	1
45-8	1	1	1	1	1	1
63	1	1	1	1	1	1
64	1	1	1	1	1	1

7. Anhang

66	0	0	0	0	2	0
67	0	0	3	0	3	0
71	3	3	3	3	1	1
72-7	1	1	1	1	1	1
74	1	1	1	1	1	1
75	1	1	1	1	1	1
76	1	1	1	1	1	1
79	0	0	0	0	0	1
90	1	1	1	1	1	1
91	1	1	1	1	1	1
95	1	1	1	1	1	1
96	2	2	2	2	2	2
111	1	1	1	1	1	1
113	1	1	1	1	1	1
123-4	1	1	1	1	1	1
132	1	1	2	2	1	1
134	1	1	1	1	1	1
137	1	1	3	3	3	3
142-8	1	1	1	1	1	1
144	1	1	2	2	2	2
146	1	1	1	1	1	1
151	1	1	1	1	1	1
152	1	1	1	1	1	1
154	1	1	1	1	1	1
155-9	1	1	1	1	1	1
157	1	1	1	1	1	1
161	1	1	1	1	1	1
163	1	1	1	1	1	1
164	1	1	1	1	1	1
177	1	1	1	1	1	1
178	1	1	1	1	1	1
189	1	1	1	1	1	1
191	1	1	1	1	1	1
193	1	1	1	1	1	1
194-8	1	1	1	1	1	1
195	1	1	1	1	1	1
197	1	0	1	1	1	1
198	1	1	1	1	2	1
199	1	1	1	1	1	1
201	1	1	1	1	1	1
207	1	1	1	1	1	1
209	1	1	1	1	1	1
211	1	1	2	2	2	2
213	2	2	5	5	5	5
214	1	1	1	1	1	1
215	1	1	1	1	1	1
219-1	1	1	1	1	1	1
219-2	1	1	1	1	1	1
220	1	1	1	1	1	1
223	1	1	1	1	1	1
229	1	1	1	1	1	1
230	1	1	1	1	1	1
232	1	1	1	1	1	1
238	1	1	1	1	1	1
240	1	1	1	1	1	1
242	0	1	0	1	0	1

7. Anhang

245	1	1	1	1	1	1
263	1	1	1	1	1	1
265	1	1	2	2	4	4
267	1	1	1	1	1	1
268	1	1	1	1	1	1
272	1	1	1	1	1	1
273	1	1	1	1	1	1
274	1	1	1	1	1	1
276	1	1	1	1	1	1
283	2	2	1	1	1	1
288	1	1	1	1	1	1
289	1	1	1	1	1	1
296	1	1	1	1	1	1
315	1	1	2	2	3	1
323	1	1	1	1	1	1
324	1	1	1	1	1	2
328	1	1	1	1	1	1
329	1	1	1	1	1	1
330	1	1	1	1	1	1
331	1	1	1	1	1	1
337	1	1	6	1	3	1
340	1	1	2	1	1	1
352	1	1	1	1	1	1
353	1	1	1	1	0	5
368	1	1	1	1	1	1
369	1	1	1	1	1	1
371	1	1	1	1	1	1
372	1	1	1	1	1	1
373	1	1	1	1	1	1
374	1	1	1	1	1	1
377	1	1	1	1	1	1

7. Anhang

Tabelle 70 Ergebnisse Aminosäureanalyse Rippen -1 (32 Individuen)

Bef.-Nr.	Grablage	Geschlecht	Altersgruppe	Hydroxyprolin	Asparagin	Threonin	Serin	Glutamin	Prolin	Glycin	Alanin	Valin	Metionin
Rezent				8,9	4,4	1,7	3,6	7,4	13,0	33,4	11,2	2,5	0,5
1a	Nördlich	w	adult	7,3	2,2	1,3	1,1	4,1	13,2	38,4	12,4	1,9	0,4
5	Nördlich	n.b.	a-x	7,5	4,6	1,8	3,4	8,0	11,1	36,7	10,1	2,2	0,1
8	Nördlich	m	juvenis	9,0	4,0	1,6	3,3	7,4	11,6	34,2	11,6	2,1	0,4
26	Nördlich	w	a-x	8,6	4,2	1,7	3,3	7,6	11,8	32,0	13,5	2,2	0,3
32	Nördlich	w	senilis	8,3	4,3	1,7	3,3	7,6	11,6	32,9	12,7	2,2	0,3
36	Nördlich	w	matur	8,5	3,2	1,2	2,7	7,0	12,7	37,9	11,0	2,1	0,1
41	Nördlich	m	matur	7,6	2,5	1,4	1,6	4,8	12,9	35,6	14,1	2,0	0,4
42-3	Nördlich	w	adult	8,2	4,0	1,6	3,3	7,4	11,4	35,2	9,8	2,0	0,3
45	Nördlich	m	senilis	8,7	3,9	1,6	3,3	7,2	11,9	34,8	11,4	2,0	0,4
64	Südlich	m	senilis	8,8	4,0	1,6	3,3	7,4	11,8	35,4	11,0	2,0	0,3
65	Südlich	n.b.	a-x	10,2	0,0	0,9	0,2	1,4	14,4	41,3	13,0	1,9	0,3
66	Südlich	n.b.	a-x	8,9	4,1	1,6	3,4	7,5	11,5	35,4	10,1	2,1	0,4
68	Südlich	n.b.	a-x	8,5	3,9	1,5	3,1	7,2	12,0	32,5	13,8	2,2	0,2
72	Südlich	w	matur	10,1	4,1	1,7	3,4	8,4	11,7	28,7	15,6	2,2	0,3
73	Südlich	w	a-x	8,4	2,1	1,5	1,2	4,1	13,0	37,2	13,2	2,1	0,4
75	Südlich	w	senilis	9,4	2,8	0,8	2,3	7,2	12,8	34,6	12,9	2,2	0,0
76	Südlich	m	matur	11,6	2,7	0,7	2,0	7,7	13,3	33,5	13,6	2,5	0,0
77	Südlich	w	senilis	10,4	4,3	1,8	3,4	8,5	11,6	30,5	13,5	2,2	0,4
79	Südlich	n.b.	a-x	10,2	4,3	1,8	3,4	8,5	11,6	27,3	16,9	2,3	0,3
95	Südlich	w	früh adult	8,4	2,2	1,3	1,2	4,5	13,5	33,0	18,2	2,1	0,3
96	Südlich	w	adult	0,4	2,6	0,0	0,8	5,1	11,4	30,4	12,4	1,7	0,0
203	Nördlich	n.b.	a-x	10,1	3,8	1,5	3,1	8,1	11,9	30,4	15,4	2,3	0,2
207	Nördlich	m	juvenis	9,7	2,2	0,6	1,3	6,3	13,9	36,7	13,6	2,4	0,1
209	Nördlich	w	senilis	9,6	3,5	1,7	2,5	6,8	12,2	28,8	17,8	2,2	0,4
213	Nördlich	w	adult	8,4	4,0	1,6	3,2	7,1	11,7	33,8	12,3	2,1	0,4
214	Nördlich	m	matur	9,0	2,3	0,5	1,5	6,3	13,5	36,3	13,4	2,3	0,0
215	Nördlich	m	senilis	10,1	4,1	1,7	3,3	8,1	11,7	30,4	14,1	2,3	0,4
223	Nördlich	m	matur	10,3	3,8	1,5	3,2	8,6	12,0	26,5	19,0	2,2	0,1
229	Nördlich	m	juvenis	9,6	2,6	0,9	1,9	7,1	13,3	30,2	18,3	2,3	0,0
240	Nördlich	w	matur	9,5	4,3	1,7	3,4	8,3	11,6	29,1	15,6	2,4	0,4
241	Nördlich	m	a-x	18,9	0,0	0,0	1,7	3,1	29,9	17,7	15,5	2,4	0,0
365	Südlich	n.b.	a-x	9,1	3,4	1,4	2,7	7,5	12,4	34,1	13,0	2,2	0,1

7. Anhang

Tabelle 71 Ergebnisse Aminosäureanalyse Rippen -2 (32 Individuen)

Bef.-Nr.	Grablage	Geschlecht	Altersgruppe	Isoleucin	Leucin	Thyrosin	Phenylalanin	Histidin	Hydroxylsarin	Lysin	Arginin	Cystein
Rezent				0,9	2,3	0,3	1,2	0,5	0,5	2,7	5,0	0,0
1a	Nördlich	w	adult	0,9	4,9	0,1	1,5	1,6	0,5	3,1	5,1	0,2
5	Nördlich	n.b.	a-x	0,9	4,3	0,1	1,3	0,6	0,4	2,5	4,5	0,1
8	Nördlich	m	juvenis	0,8	4,0	0,0	1,3	0,5	0,4	2,8	4,8	0,0
26	Nördlich	w	a-x	0,9	4,3	0,0	1,3	0,5	0,4	2,7	4,8	0,0
32	Nördlich	w	senilis	0,9	4,2	0,1	1,3	0,7	0,4	2,7	4,8	0,1
36	Nördlich	w	matur	0,9	2,5	0,0	1,2	0,7	0,5	2,9	5,0	0,1
41	Nördlich	m	matur	0,9	4,6	0,2	1,4	1,4	0,5	3,0	5,1	0,1
42-3	Nördlich	w	adult	0,9	4,0	0,0	1,3	3,0	0,4	2,7	4,7	0,1
45	Nördlich	m	senilis	0,8	4,2	0,0	1,3	0,7	0,4	2,7	4,8	0,1
64	Südlich	m	senilis	0,8	3,9	0,0	1,3	0,6	0,4	2,8	4,8	0,1
65	Südlich	n.b.	a-x	0,9	3,1	0,0	1,8	2,1	0,1	3,2	5,3	0,0
66	Südlich	n.b.	a-x	0,9	4,2	0,1	1,3	0,5	0,5	2,7	4,8	0,0
68	Südlich	n.b.	a-x	0,9	4,4	0,0	1,3	0,7	0,4	2,7	4,8	0,1
72	Südlich	w	matur	0,9	2,5	0,0	1,4	0,7	0,4	2,8	4,9	0,1
73	Südlich	w	a-x	0,9	4,9	0,2	1,4	1,2	0,5	2,8	4,9	0,0
75	Südlich	w	senilis	0,9	4,4	0,0	0,6	0,5	0,8	2,8	4,8	0,1
76	Südlich	m	matur	1,1	2,6	0,0	0,0	0,3	0,7	2,8	4,9	0,0
77	Südlich	w	senilis	0,9	2,5	0,2	1,3	0,6	0,4	2,7	4,9	0,0
79	Südlich	n.b.	a-x	0,9	2,5	0,1	1,3	0,6	0,4	2,7	5,0	0,0
95	Südlich	w	früh adult	0,9	2,8	0,0	1,5	1,7	0,3	3,0	5,1	0,0
96	Südlich	w	adult	0,8	4,0	0,0	1,6	1,2	0,3	2,7	24,7	0,0
203	Nördlich	n.b.	a-x	0,9	2,5	0,0	1,3	0,6	0,4	2,7	4,7	0,1
207	Nördlich	m	juvenis	1,0	2,8	0,0	0,0	1,0	0,6	2,9	5,0	0,1
209	Nördlich	w	senilis	0,9	2,7	0,2	1,4	1,1	0,4	2,8	5,1	0,1
213	Nördlich	w	adult	0,9	4,4	0,1	1,3	0,8	0,4	2,8	4,8	0,1
214	Nördlich	m	matur	1,0	4,6	0,0	0,5	0,6	0,7	2,8	4,8	0,0
215	Nördlich	m	senilis	0,9	2,6	0,0	1,3	0,7	0,4	2,7	5,0	0,1
223	Nördlich	m	matur	0,9	2,4	0,0	1,3	0,5	0,4	2,8	4,8	0,1
229	Nördlich	m	juvenis	0,9	2,6	0,0	0,9	1,0	0,5	3,0	5,0	0,1
240	Nördlich	w	matur	0,9	2,6	0,0	1,4	0,9	0,4	2,7	5,0	0,2
241	Nördlich	m	a-x	1,2	4,0	0,3	0,0	0,5	0,1	2,2	2,5	0,0
365	Südlich	n.b.	a-x	0,9	2,7	0,0	1,4	1,0	0,4	2,8	5,0	0,1

7. Anhang

Tabelle 72 Ergebnisse Aminosäureanalyse Femur -1 (14 Individuen)

Bef.-Nr.	Grablage	Geschlecht	Altersgruppe	Hydroxyprolin	Asparagin	Threonin	Serin	Glutamin	Prolin	Glycin	Alanin	Valin	Metionin
Rezent				8,9	4,4	1,7	3,6	7,4	13,0	33,4	11,2	2,5	0,5
1a	Nördlich	w	adult	8,4	3,9	1,2	1,2	6,4	14,6	29,7	14,7	2,5	0,0
6-8	Nördlich	n.b.	a-x	4,6	0,4	0,3	1,0	0,6	19,8	25,4	20,7	3,5	0,0
33	Nördlich	m	infans II	10,0	0,2	0,2	0,0	0,0	23,5	24,4	20,9	2,9	0,0
41	Nördlich	m	matur	8,8	3,9	1,3	1,6	7,9	14,5	28,9	13,0	2,5	0,0
42-3	Nördlich	w	adult	9,3	1,9	0,2	0,0	5,5	16,0	30,8	17,3	2,8	0,0
64	Südlich	m	senilis	10,3	2,9	1,2	2,5	6,2	12,8	35,5	11,3	2,5	0,0
65	Südlich	n.b.	a-x	8,7	4,8	1,4	3,2	8,3	13,5	28,3	12,2	2,5	0,3
69	Südlich	w	früh adult	8,8	0,0	0,0	0,0	0,1	26,9	27,9	18,8	2,9	0,0
76	Südlich	m	matur	7,8	0,8	0,6	0,0	0,0	19,0	28,3	21,3	2,8	0,0
96	Südlich	w	adult	0,5	3,2	0,0	1,0	6,4	14,2	38,0	15,5	2,1	0,0
203	Nördlich	n.b.	a-x	5,3	0,0	0,2	0,0	0,0	24,3	21,9	22,1	3,7	0,0
207	Nördlich	m	juvenis	7,0	2,9	1,1	1,8	9,1	12,3	34,9	12,6	2,0	0,0
214	Nördlich	m	matur	6,9	0,5	0,4	0,0	2,9	17,4	29,1	18,4	3,0	0,0
220	Nördlich	m	senilis	7,6	3,4	1,3	2,1	6,2	12,1	36,2	12,8	2,1	0,3

Tabelle 73 Ergebnisse Aminosäureanalyse Femur -2 (14 Individuen)

Bef.-Nr.	Grablage	Geschlecht	Altersgruppe	Isoleucin	Leucin	Thyrosin	Phenylalanin	Histidin	Hydroxylisin	Lysin	Arginin	Cystein
Rezent				0,9	2,3	0,3	1,2	0,5	0,5	2,7	5,0	0,0
1a	Nördlich	w	adult	1,1	4,0	0,0	1,4	1,4	0,4	3,5	5,8	0,1
6-8	Nördlich	n.b.	a-x	1,3	5,8	0,0	1,6	3,7	0,6	4,0	6,8	0,1
33	Nördlich	m	infans II	1,2	5,6	0,0	0,0	1,6	0,1	3,0	6,2	0,0
41	Nördlich	m	matur	1,1	4,1	0,0	1,3	1,5	0,5	3,2	5,9	0,1
42-3	Nördlich	w	adult	1,3	4,6	0,0	0,0	0,7	0,9	3,2	5,5	0,1
64	Südlich	m	senilis	1,1	2,9	0,0	1,2	1,0	0,3	3,0	5,2	0,1
65	Südlich	n.b.	a-x	1,0	4,0	0,0	1,5	1,2	0,4	3,2	5,5	0,1
69	Südlich	w	früh adult	1,6	4,1	0,0	0,0	2,0	0,4	2,5	4,2	0,0
76	Südlich	m	matur	1,4	3,3	0,0	1,4	2,6	0,4	3,7	6,4	0,2
96	Südlich	w	adult	1,0	5,0	0,0	2,0	1,4	0,4	3,3	5,9	0,2
203	Nördlich	n.b.	a-x	2,4	5,9	0,0	0,0	2,8	0,8	3,9	6,8	0,1
207	Nördlich	m	juvenis	0,9	2,9	0,0	1,4	2,2	0,4	3,1	5,3	0,1
214	Nördlich	m	matur	1,5	8,4	0,0	0,0	2,8	0,3	3,3	5,0	0,0
220	Nördlich	m	senilis	1,0	2,9	0,0	1,5	2,0	0,4	3,0	5,2	0,0

7. Anhang

Tabelle 74 Proben für C-und N-Isotopenmessungen aus Kollagen

Bef.-Nr.	Zeitstel	Altersklasse	Geschl	Einwaage		Ausbeute Kollagen Lyophylisitat mg	$\delta^{15}\text{N} (\text{‰})$ Kollagen/K	$\delta^{13}\text{C} (\text{‰})$ Kollagen/K	Wt%	N (%)	C (%)	C:N Verhältnis	C/N molar
				Knochenmehl mg									
1	m	adult	w	507,8		31	10,4	-19,87	6,1	10,39	47,9	4,6	3,18
8	m	früh adult	m	300,75		12	9,92	-20,24	4,0	18,4	50,3	2,7	3,18
15	m	matur-senilis	m	490,6		28,4	10,39	-19,69	5,8	14,5	38,7	2,7	3,11
38	m	adult	w	550,1		32,6	9,85	-19,99	5,9	13,62	37,91	2,8	3,25
21	m	senilis	m	495,5		16,3	10,60	-19,97	3,3	18,0	49,2	2,7	3,18
63	m	matur	m	259		22,8	11,13	-20,31	8,8	17,4	45,0	2,6	3,02
64	m	senilis	m	300,35		31,33	11,04	-20,27	10,4	14,6	40,0	2,7	3,18
95	m	früh adult	w	301,58		6,46	9,32	-20,47	2,1	13,2	36,5	2,8	3,23
96	m	adult	w	302,69		7,11	9,64	-20,28	2,3	13,7	38,3	2,8	3,27
207	m	juvenis	m	300,59		12,84	9,57	-19,87	4,3	16,2	41,4	2,6	2,98
209	m	senilis	w	511,9		45,6	10,92	-19,99	8,9	12,7	35,3	2,8	3,24
214	m	matur	m	495,5		16,3	9,75	-19,52	3,3	13,7	33,9	2,5	2,89
219	m	matur	m	516,9		8,8	9,70	-20,04	1,7	14,0	40,1	2,9	3,33
229	m	juvenis	m	300,85		14,67	10,41	-19,80	4,9	14,4	37,1	2,6	2,99
230	m	matur	m	530,2		41,7	10,36	-20,23	7,9	14,1	38,3	2,7	3,16
238	m	senilis	m	500,5		20,5	11,14	-19,58	4,1	14,9	41,3	2,8	3,23
245	m	matur	m	530,3		37,5	11,47	-19,84	7,1	17,7	48,2	2,7	3,19
288	m	matur	m	301,96		16,64	11,45	-19,64	5,5	14,7	40,1	2,7	3,17
111	a	adult	w	495,3		18,52	9,83	-20,11	3,7	15,0	40,9	2,7	3,19
144	a	matur	w	503,5		50,9	9,97	-20,10	10,1	16,4	45,0	2,7	3,19
137	a	adult-matur	m	500,2		35,6	9,91	-20,19	7,1	17,6	47,1	2,7	3,12
132	a	adult	w	490,8		30,2	9,40	-20,28	6,2	15,2	42,0	2,8	3,24
151	a	früh adult	w	500,02		15,31	10,29	-20,42	3,1	15,5	43,0	2,8	3,23
161	a	juvenis	w	503,5		20,4	9,17	-19,88	4,1	15,4	42,3	2,7	3,20
194	a	senilis	m	494,5		49,5	9,06	-20,02	10,0	16,8	44,5	2,6	3,08
152	a	senilis	m	499,1		29,2	9,77	-20,03	5,9	15,6	41,9	2,7	3,13
199	a	senilis	m	491,1		34,19	10,46	-19,87	7,0	15,5	43,2	2,8	3,25
158	a	adult	m	477,3		27,4	9,62	-19,93	5,7	13,4	37,6	2,8	3,26
198	a	matur-senilis	w	492,7		58,3	10,08	-19,91	11,8	15,9	43,6	2,7	3,19
164	a	adult	m	512,8		69,3	9,69	-20,00	13,5	15,5	42,7	2,8	3,22
155-9	a	adult-matur	w	501,9		26,6	10,41	-19,96	5,3	14,3	36,1	2,5	2,95
272	a	matur	w	502,4		43,8	9,70	-20,29	8,7	15,8	43,3	2,7	3,21
274	a	adult	w	504,4		38,8	9,36	-20,47	7,7	17,4	47,2	2,7	3,16
283	a	früh adult	w	495,3		8,4	8,77	-20,74	1,7	14,9	41,9	2,8	3,27
331	a	adult	m	503,8		45,4	11,00	-19,51	9,0	15,6	42,4	2,7	3,17
323	a	adult	w	504		49,7	11,40	-19,90	9,9	15,9	42,8	2,7	3,14
329	a	früh adult	m	472,1		50,1	10,07	-20,01	10,6	15,3	42,1	2,8	3,21
268	a	adult	w	506		20,8	10,22	-20,20	4,1	16,1	39,0	2,4	2,83
162	a	neonat		530,1		47,7	9,85	-19,47	6,9	13,53	37,64	2,8	3,24
180	a	infans I		536,7		40,3	12,76	-18,97	10,2	13,11	36,59	2,8	3,25
275	a	infans I		482,3		10,8	9,23	-20,39	3,5	12,20	33,91	2,8	3,24
280	a	infans I		501,8		25,6	9,78	-20,37	7,6	14,35	39,85	2,8	3,24
325	a	neonat		527,7		36,5	13,39	-18,86	7,6	14,50	40,75	2,8	3,28
135,4	a	infans I		539,9		12,7	9,23	-20,46	6,2	11,27	32,21	2,9	3,33
173,1	a	neonat		483,4		46,7	11,55	-20,11	11,8	13,59	38,39	2,8	3,29
173,9	a	neonat		497,7		36,1	11,47	-20,08	11,0	14,55	40,47	2,8	3,24
174,9	a	infans I		533,9		48,5	12,62	-19,09	9,2	13,90	38,51	2,8	3,23
175,3	a	infans I		525,3		27,9	11,76	-19,65	10,1	13,18	36,85	2,8	3,26
194,11	a	infans I		509,3		46	9,20	-19,81	8,6	13,95	37,91	2,7	3,17
200,8	a	infans I		510,1		24,6	10,81	-19,74	8,2	16,42	45,89	2,8	3,26
322,11	a	neonat		499,9		29,4	11,84	-19,60	9,5	14,38	40,02	2,8	3,25
322,4	a	infans I		519,4		48,3	10,72	-20,27	13,0	14,34	39,73	2,8	3,23
114	a	Infans I		508,1		39,7	12,79	-19,50	11,9	15,06	41,94	2,8	3,25
117	a	Infans I		507,8		40	12,40	-20,03	11,4	14,75	41,11	2,8	3,25
150	a	Infans II		524,1		19,1	9,49	-20,16	6,5	12,15	34,39	2,8	3,30
161	a	juvenis	w	490,1		28,4	9,28	-20,09	7,6	14,34	38,80	2,7	3,16
Alt Schwein				498,1		11,48	5,38	-21,8					
Alt Rind				499,7		32,95	6,19	-21,57					
Alt Schaf				496,4		10,54	4,48	-21,08					

7. Anhang

Tabelle 75 Proben für C- und O-Isotopenmessungen aus dem Karbonat des Knochens

Bef.-Nr.	Zeit	Altersklasse	Gesch.	Einw. mg	Ausb. mg	Gew. %	$\delta^{13}\text{C} (\text{\textperthousand})$ Carbonat/K PDB	$\delta^{18}\text{O} (\text{\textperthousand})$ Carbonat/K vs. PDB	$\delta^{18}\text{O} (\text{\textperthousand})$ Carbonat/K vs. V-SMOW nach Coplen 1988	$\delta^{18}\text{O} (\text{\textperthousand})$ Carbonat/K Tr. wasser Chenery et al. 2012
1	m	adult	w	101,1	46,2	45,70	-14,85	-9,68	20,93	-15,36
8	m	früh adult	m	104	55,9	53,75	-14,20	-7,37	23,31	-11,57
37	m		m	104,4	42,2	40,42	-15,11	-10,26	20,34	-16,30
15	m	matur-senilis	m	101,5	48,6	47,88	-14,44	-9,72	20,89	-15,43
21	m	senilis	m	104,7	41,9	40,02	-15,21	-7,69	22,99	-12,09
63	m	matur	m	109,9	49,3	44,86	-16,37	-9,30	21,33	-14,73
64	m	senilis	m	103,1	46,8	45,39	-16,19	-8,75	21,89	-13,83
74	m			105,1	39	37,11	-15,15	-9,60	21,01	-15,23
95	m	früh adult	w	106,1	67,1	63,24	-13,96	-7,88	22,79	-12,40
96	m	adult	w	110,8	68,4	61,73	-14,37	-7,57	23,10	-11,90
207	m	juvenis	m	103,8	36,9	35,55	-14,71	-7,81	22,86	-12,28
209	m	senilis	w	109,8	50,9	46,36	-15,85	-8,34	22,32	-13,15
214	m	matur	m	107,1	47,8	44,63	-14,43	-7,04	23,65	-11,03
219	m	matur	m	112,8	71,8	63,65	-15,55	-8,16	22,50	-12,86
229	m	juvenis	m	107	62,3	58,22	-13,55	-8,15	22,50	-12,85
235	m		w	100,2	48,4	48,30	-15,30	-10,14	20,46	-16,11
230	m	matur	m	109,3	38,9	35,59	-15,95	-9,06	21,57	-14,34
238	m	senilis	m	100,8	52,2	51,79	-15,78	-8,04	22,63	-12,66
245	m	matur	m	107,2	40,3	37,59	-14,91	-6,91	23,79	-10,81
288	m	matur	m	101,3	51,8	51,14	-14,78	-9,29	21,33	-14,72
111	a	adult	w	105,9	57,4	54,20	-14,84	-7,61	23,06	-11,96
144	a	matur	w	103,5	58,4	56,43	-13,71	-6,35	24,37	-9,89
137	a	adult-matur	m	101,2	63,6	62,85	-14,53	-7,40	23,28	-11,62
132	a	adult	w	101,8	59,6	58,55	-15,35	-8,74	21,90	-13,81
151	a	früh adult	w	101,2	59,7	58,99	-14,22	-10,44	20,15	-16,60
161	a	juvenis	w	103,2	50,5	48,93	-14,27	-5,51	25,23	-8,52
194	a	senilis	m	103,2	53,5	51,84	-15,52	-7,81	22,86	-12,29
152	a	senilis	m	102,3	57,6	56,30	-15,02	-7,34	23,34	-11,52
199	a	senilis	m	106,2	49,9	46,99	-15,60	-8,85	21,78	-14,00
158	a	adult	m	105	45,9	43,71	-15,60	-9,02	21,61	-14,28
198	a	matur-senilis	w	101,1	47	46,49	-14,69	-7,33	23,35	-11,51
164	a	adult	m	104,4	49,7	47,61	-14,83	-9,63	20,98	-15,27
155-9	a	adult-matur	w	105,6	48,6	46,02	-14,77	-9,72	20,89	-15,41
272	a	matur	w	100,2	44,9	44,81	-13,92	-6,51	24,20	-10,16
274	a	adult	w	101	57,5	56,93	-14,20	-9,14	21,49	-14,47
283	a	früh adult	w	103,9	54,2	52,17	-15,11	-7,25	23,43	-11,38
331	a	adult	m	101,6	34,3	33,76	-14,20	-9,14	21,49	-14,47
323	a	adult	w	106,6	53,3	50,00	-15,11	-7,25	23,43	-11,38
329	a	früh adult	m	101,3	50,5	49,85	-13,61	-8,04	22,62	-12,67
268	a	adult	w	100	45,1	45,10	-14,26	-4,13	26,65	-6,26

Tabelle 76 Proben für C- und O-Isotopenmessungen aus dem Karbonat des Zahnschmelzes

Bef.-Nr.	Zeitstell	Altersklasse	Gesch	Zahntyp	Einwaage z mg	Ausbeute z mg	Gew. %	$\delta^{13}\text{ C} (\text{\textperthousand})$ Carbonat/Z PDB	$\delta^{18}\text{ O} (\text{\textperthousand})$ Carbonat/Z PDB	$\delta^{18}\text{ O} (\text{\textperthousand})$ Carbonat/Z vs.V-SMOW Coplin 1988	$\delta^{18}\text{ O} (\text{\textperthousand})$ Carbonat/Z Tr.wasser Chenry et al. 2012
1	m	adult	w	I6	105,60	80,40	76,14	-13,63	-5,07	25,69	-7,79
37	m		m	II6	103,50	80,90	78,16	-14,40	-4,70	26,06	-7,19
15	m	matur-senilis	m	I6	100,50	70,40	70,05	-13,74	-4,44	26,34	-6,76
95	m	früh adult	w	II4	104,00	75,70	72,79	-14,05	-5,22	25,53	-8,04
96	m	adult	w	III6	103,00	60,90	59,13	-14,14	-5,22	25,53	-8,04
207	m	juvenis	m	III6	103,10	77,10	74,78	-13,94	-4,24	26,54	-6,44
209	m	senilis	w	II6	101,30	77,40	76,41	-13,97	-5,16	25,59	-7,95
229	m	juvenis	m	II6	106,80	76,80	71,91	-13,72	-4,62	26,14	-7,07
235	m		w	III6	101,00	71,00	70,30	-13,92	-4,82	25,94	-7,39
238	m	senilis	m	II6	105,00	76,10	72,48	-14,26	-4,49	26,28	-6,85
111	a	adult	w	II6	102,40	70,90	69,24	-13,88	-4,12	26,66	-6,24
137	a	adult-matur	m	IV6	102,00	83,10	81,47	-14,27	-4,58	26,19	-6,99
132	a	adult	w	II6	103,40	81,30	78,63	-14,02	-4,05	26,74	-6,12
151	a	früh adult	w	II6	101,20	46,60	46,05	-14,27	-4,58	26,19	-6,99
161	a	juvenis	w	III6	102,00	71,80	70,39	-14,12	-4,22	26,56	-6,40
194	a	senilis	m	II6	101,70	76,90	75,61	-13,87	-4,77	25,99	-7,31
152	a	senilis	m	III6	104,80	74,60	71,18	-13,31	-4,49	26,28	-6,84
198	a	matur-senilis	w	II6	100,80	75,00	74,40	-13,63	-4,64	26,12	-7,10
155-9	a	adult-matur	w	IV6	108,20	72,50	67,01	-14,38	-4,06	26,73	-6,13
272	a	matur	w	II6	100,60	71,30	70,87	-14,18	-3,93	26,86	-5,93
274	a	adult	w	I6	95,00	63,20	66,53	-15,14	-5,35	25,40	-8,25
283	a	früh adult	w	III6	102,60	74,00	72,12	-13,71	-4,39	26,38	-6,69
331	a	adult	m	IV6	101,50	82,10	80,89	-14,04	-4,82	25,94	-7,39
323	a	adult	w	II6	105,20	44,60	42,40	-13,54	-4,80	25,97	-7,35
329	a	früh adult	m	I6	103,70	51,00	49,18	-14,08	-5,80	24,93	-9,00
268	a	adult	w	I und II 6	102,80	80,30	78,11	-13,81	-5,01	25,74	-7,70

7. Anhang

Tabelle 77: Isotopenmessungen (insgesamt 61 Individuen)

Bef.-Nr.	Zeitstellung	Altersklasse	Geschlecht	$\delta^{13}\text{C} (\text{\textperthousand})$ Knochen	$\delta^{18}\text{O} (\text{\textperthousand})$ Knochen	$\delta^{13}\text{C} (\text{\textperthousand})$ Zahn	$\delta^{18}\text{O} (\text{\textperthousand})$ Zahn	$\delta^{13}\text{C} (\text{\textperthousand})$ Kollagen	$\delta^{15}\text{N} (\text{\textperthousand})$ Kollagen
1	spät	adult	w	-14,85	-9,68	-13,63	-5,07	-19,87	10,39
8	spät	früh adult	m	-14,20	-7,37			-20,24	9,92
15	spät	matur-senilis	m	-14,44	-9,72	-13,74	-4,44	-19,69	10,39
21	spät	senilis	m	-15,21	-7,69			-19,97	10,60
37	spät	früh adult	m	-15,11	-10,26	-14,40	-4,70		
38	spät	adult	w					-19,99	9,85
63	spät	matur	m	-16,37	-9,30			-20,31	11,13
64	spät	senilis	m	-16,19	-8,75			-20,27	11,04
74	spät	matur	w	-15,15	-9,60				
95	spät	früh adult	w	-13,96	-7,88	-14,05	-5,22	-20,47	9,32
96	spät	adult	w	-14,37	-7,57	-14,14	-5,22	-20,28	9,64
111	früh	adult	w	-14,91	-6,91	-13,88	-4,12	-20,11	9,83
114	früh	infans I	m					-19,50	12,79
117	früh	infans I						-20,03	12,40
132	früh	adult	w	-13,71	-6,35	-14,02	-4,05	-20,28	9,40
135	früh	infans I	w					-20,46	9,23
137	früh	adult-matur	m	-14,84	-7,61	-14,27	-4,58	-20,19	9,91
144	früh	matur	w	-14,78	-9,29			-20,10	9,97
150	früh	infans II	m					-20,16	9,49
151	früh	früh adult	w	-14,53	-7,40	-14,06	-4,84	-20,42	10,29
152	früh	senilis	m	-14,37	-6,91	-13,31	-4,49	-20,03	9,77
155-9	früh	adult-matur	w	-14,69	-7,33	-14,38	-4,06	-19,96	10,41
158	früh	adult	m	-15,02	-7,34			-19,93	9,62
161	früh	juvenis	w	-15,35	-8,74	-14,12	-4,22	-19,88	9,17
162	früh	neonat						-19,47	11,22
164	früh	adult	m	-15,60	-9,02	-14,82	-4,91	-20,00	9,69
173-9	früh	perinatal						-20,08	11,47
173-10	früh	perinatal						-20,11	11,55
174	früh	infans I	m					-19,09	12,62
176	früh	infans II	w					-19,65	11,76
180	früh	infans I						-18,97	12,76
194	früh	senilis	m	-14,22	-10,44	-13,87	-4,77	-20,02	9,06
194-11	früh	infans II	w					-19,81	9,20
198	früh	matur-senilis	w	-15,60	-8,85	-13,63	-4,64	-19,91	10,08
199	früh	senilis	m	-15,60	-8,85			-19,87	10,46
200	früh	infans I						-19,74	10,81
207	spät	juvenis	m	-14,71	-7,81	-13,94	-4,24	-19,87	9,57
209	spät	senilis	w	-15,85	-8,34	-13,97	-5,16	-19,99	10,92
214	spät	matur	m	-14,43	-7,04			-19,52	9,75
219	spät	matur	m	-13,95	-7,48			-20,04	9,70
229	spät	juvenis	m	-13,02	-7,35	-13,72	-4,62	-19,80	10,41
230	spät	matur	m	-15,55	-8,16			-20,23	10,36
235	spät	infans II	w	-15,30	-10,14	-13,92	-4,82		
238	spät	senilis	m	-15,78	-8,04	-14,26	-4,49	-19,58	11,14

7. Anhang

245	spät	matur	m	-15,95	-9,06			-19,84	11,47
263	früh	senilis	m	-16,07	-7,99				
268	früh	adult	w	-14,26	-4,13	-13,81	-5,01	-20,20	10,22
272	früh	matur	w	-14,83	-9,63	-14,18	-3,93	-20,29	9,70
274	früh	adult	w	-14,77	-9,72	-15,14	-5,35	-20,47	9,36
275	früh	infans II						-20,39	9,23
280	früh	infans II						-20,37	9,78
283	früh	früh adult	w	-13,92	-6,51	-13,71	-4,39	-20,34	9,92
288	spät	matur	m	-15,78	-8,04			-19,64	11,45
322-4	früh	infans I						-20,27	10,72
322-11	früh	neonat						-19,60	11,84
323	früh	adult	w	-15,11	-7,25	-13,54	-4,80	-19,90	11,40
325	früh	neonat						-18,86	13,39
329	früh	früh adult	m	-13,61	-8,04	-14,08	-5,80	-20,01	10,07
331	früh	adult	m	-14,20	-9,14	-14,04	-4,82	-19,51	11,00
352	früh	matur	w	-15,55	-8,75				
369	früh	senilis	w	-15,08	-7,96				

Tabelle 78 Diageneseparameter auf Skala 1-3 (45 Individuen)

Bef.-Nr.	Grablage	OHI periodal	OHI mitte	OHI endostal	OHI gesamt	DB periodal	DB mitte	DB endostal	DB gesamt	UV periodal	UV mitte	UV endostal	UV gesamt	UV Färbung	Verfärbung unter Strukturerhalt	Diffuses exogenes Material	Kollagenerhalt
1	Nördlich	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	2
3	Nördlich	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	1	3	
5	Nördlich	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	2
8	Nördlich	2	3	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	2	3
19	Nördlich	3	3	3	3	3	3	3	3	1	3	1	2	3	1	3	
21	Nördlich	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	
26	Nördlich	3	2	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2
32	Nördlich	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	2	3
36	Nördlich	2	3	1	2	2	1	2	2	3	3	2	3	3	1	1	2
37	Nördlich	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1	
41	Nördlich	3	2	3	2	3	2	3	2	2	3	1	2	3	1	1	3
42-3	Nördlich	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	3
43-10	Nördlich	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	
44	Nördlich	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	3	3	2	2	
45	Nördlich	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
46	Nördlich	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	
63	Südlich	3	1	3	2	3	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	
64	Südlich	2	1	2	2	3	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	3
65	Südlich	2	1	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
66	Südlich	2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	3
68	Südlich	3	3	3	3	3	3	3	3	1	3	1	2	3	1	2	
69	Südlich	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1
72	Südlich	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	3
73	Südlich	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	2	1	3	2

7. Anhang

74	Südlich	1	3	3	3	1	3	3	3	2	2	2	2	2	1	2	
75	Südlich	3	3	3	3	3	3	3	3						3	3	3
76	Südlich	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	2
77	Südlich	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3
79	Südlich	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	2	2	2	1	2	3
93	Südlich	2	2	2	2	1	1	2	1	1	3	1	2	2	2	1	
95	Südlich	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2
96	Südlich	1	1	1	1	1	1	1	1						3	1	2
207	Nördlich	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	1	2	3	2	2
209	Nördlich	3	3	3	3	3	3	3	3	1	2	1	2	2	1	3	2
211	Nördlich	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
213	Nördlich	2	2	2	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	3	3
214	Nördlich	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3
215	Nördlich	3	3	3	3	3	2	3	3	1	3	2	2	3	2	3	3
220	Nördlich	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	3
223	Nördlich	1	1	1	1	1	2	2	1	3	2	1	2	2	3	2	2
229	Nördlich	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	3	1	2
240	Nördlich	2	3	2	2	3	1	3	2	1	3	1	2	3	1	2	3
241	Nördlich	1	2	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1		1	1	1
289	Südlich	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2		3	1	
365	Südlich	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3		3	3	3

7. Anhang

Tabelle 79 Vergleich der Aminosäure-Anteile (in %) für Rippe und Femur sowie des Verhältnisses (in %) Rippe/Femur -1

Bef.-Nr.	Knochen	Hydroxyprolin	Asparagin	Threonin	Serin	Glutamin	Prolin	Glycin	Alanin	Valin
1a	Rippe	82,1	50,1	78,0	31,6	56,1	101,2	114,9	110,5	76,6
	Femur	94,1	89,0	70,8	32,1	86,0	112,0	88,8	130,9	100,2
	Rippe/Femur	87,3	56,3	110,2	98,5	65,2	90,4	129,4	84,4	76,5
41	Rippe	85,7	56,9	83,7	43,8	65,4	99,4	106,6	125,6	80,1
	Femur	99,0	87,7	76,3	44,0	107,2	111,5	86,4	116,4	98,3
	Rippe/Femur	86,6	64,9	109,8	99,6	61,0	89,2	123,3	107,9	81,5
42-3	Rippe	91,8	90,0	91,8	90,9	99,4	87,5	105,5	87,4	81,2
	Femur	104,8	42,6	14,3	0,5	74,1	122,7	92,1	154,8	112,7
	Rippe/Femur	87,6	211,3	642,8	16825,1	134,1	71,3	114,6	56,5	72,1
64	Rippe	98,5	90,4	94,5	92,2	99,4	90,4	106,0	98,3	81,4
	Femur	116,0	65,2	71,2	70,2	83,1	98,5	106,1	101,1	101,5
	Rippe/Femur	84,9	138,5	132,8	131,2	119,5	91,8	99,9	97,2	80,2
65	Rippe	114,5	0,0	54,1	4,9	18,8	110,9	123,5	116,5	76,2
	Femur	98,3	108,9	82,0	89,2	112,7	103,8	84,6	108,9	98,1
	Rippe/Femur	116,4	0,0	65,9	5,5	16,7	106,9	146,0	107,0	77,7
76	Rippe	130,3	60,7	42,0	56,1	104,4	102,6	100,4	121,3	100,6
	Femur	88,0	19,0	36,6	0,0	0,0	146,1	84,9	189,9	113,6
	Rippe/Femur	148,1	318,7	114,8	n.d.	n.d.	70,2	118,3	63,9	88,6
96	Rippe	4,4	58,1	0,2	22,9	69,5	87,3	91,0	110,9	68,4
	Femur	5,5	72,5	0,0	28,6	86,8	109,1	113,7	138,5	85,5
	Rippe/Femur	80,0	80,0	n.d.	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
203	Rippe	113,0	86,9	91,0	85,6	109,3	91,7	91,0	137,8	92,7
	Femur	59,2	0,0	11,8	0,0	0,0	186,8	65,5	197,4	147,3
	Rippe/Femur	191,0	n.d.	768,2	n.d.	n.d.	49,1	138,9	69,8	62,9
207	Rippe	108,8	50,2	34,4	36,5	84,7	107,1	109,8	121,6	94,3
	Femur	78,9	66,9	63,1	49,6	122,9	94,5	104,5	112,1	81,3
	Rippe/Femur	138,0	75,0	54,5	73,7	68,9	113,3	105,1	108,5	115,9
214	Rippe	101,3	52,7	29,5	43,0	85,1	103,6	108,5	119,9	91,3
	Femur	78,1	10,9	21,0	0,0	39,6	134,1	87,3	164,0	122,0
	Rippe/Femur	129,7	484,1	140,4	n.d.	214,6	77,3	124,4	73,1	74,9

7. Anhang

Tabelle 80 Vergleich der Aminosäure-Anteile (in %) für Rippe und Femur sowie des Verhältnisses (in %) Rippe/Femur -2

Bef.-Nr.	Knochen	Metionin	Isoleucin	Leucin	Thyrosin	Phenylalanin	Histidin	Hydroxylsins	Lysin	Arginin
1a	Rippe	81,5	101,8	212,8	35,8	123,0	312,4	97,0	114,4	102,2
	Femur	0,0	119,9	171,8	0,0	115,4	287,3	83,6	129,1	117,0
	Rippe/Femur	n.d.	84,9	123,8	n.d.	106,6	108,8	116,1	88,6	87,4
41	Rippe	89,7	98,2	198,2	51,7	120,4	271,4	91,8	112,3	101,7
	Femur	0,0	122,1	179,4	0,0	109,8	298,5	104,7	119,6	117,7
	Rippe/Femur	n.d.	80,4	110,5	n.d.	109,7	90,9	87,7	93,9	86,4
42-3	Rippe	59,1	96,5	174,6	0,0	104,9	594,5	86,3	99,9	93,9
	Femur	9,4	146,0	198,2	5,3	0,0	136,0	177,4	118,9	109,2
	Rippe/Femur	632,0	66,1	88,1	0,0	n.d.	437,1	48,7	84,1	86,1
64	Rippe	59,8	85,3	168,1	0,0	108,5	114,4	82,5	102,5	95,6
	Femur	0,0	122,9	127,0	0,0	99,7	208,9	58,7	112,3	104,1
	Rippe/Femur	n.d.	69,4	132,4	n.d.	108,9	54,8	140,5	91,2	91,9
65	Rippe	55,8	98,1	135,9	0,0	146,2	422,6	24,8	117,2	105,1
	Femur	53,8	116,7	175,9	0,0	123,0	241,1	79,0	116,7	110,5
	Rippe/Femur	103,7	84,1	77,3	n.d.	118,8	175,3	31,4	100,4	95,1
76	Rippe	0,0	117,5	114,2	0,0	0,0	52,0	140,3	102,3	98,3
	Femur	0,0	151,5	144,5	0,0	115,7	529,4	74,7	138,0	128,9
	Rippe/Femur	n.d.	77,5	79,0	n.d.	0,0	9,8	187,8	74,1	76,3
96	Rippe	0,0	90,3	172,4	0,0	135,2	230,0	70,0	98,7	493,1
	Femur	0,0	112,8	215,4	0,0	169,0	287,4	87,1	123,3	117,3
	Rippe/Femur	n.d.	80,0	80,0	n.d.	80,0	80,0	80,3	80,0	420,2
203	Rippe	33,8	105,1	110,7	0,0	107,1	126,6	71,8	99,2	94,3
	Femur	0,0	266,2	258,3	0,0	0,0	559,8	162,3	143,3	135,4
	Rippe/Femur	n.d.	39,5	42,9	n.d.	n.d.	22,6	44,2	69,2	69,7
207	Rippe	17,1	110,4	120,2	0,0	0,0	205,1	126,5	106,6	99,6
	Femur	0,0	101,1	127,9	0,0	115,6	448,8	86,4	114,1	106,0
	Rippe/Femur	n.d.	109,2	94,0	n.d.	0,0	45,7	146,4	93,4	94,0
214	Rippe	0,0	109,4	198,9	0,0	39,9	111,0	148,9	102,4	95,9
	Femur	0,0	171,3	365,6	0,0	0,0	553,3	59,6	120,5	100,4
	Rippe/Femur	n.d.	63,9	54,4	n.d.	n.d.	20,1	250,0	84,9	95,5

7.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Kompakta. Abbildung modifiziert nach Wintermantel et al. (2008)	6
Abbildung 2: aus (Felsenberg 2001) Aufbau und Quervernetzung des Kollagenmoleküls.....	8
Abbildung 3: Verhältnis von Aminosäuren im rezenten Kollagen I nach (Ambrose 1993).....	9
Abbildung 4: Die Skizze aus Fratzl et al. 2004 zeigt die Lage der Apatitkristalle (dunkel) innerhalb des Kollagengerüsts	10
Abbildung 5: aus Hellwig et al. 2010 zeigt den Zahnaufbau	12
Abbildung 6: Kohlendioxid-Kreislauf nach Peterson und Frey (1987). Zahlenangaben sind $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in %.	14
Abbildung 7: Stabile schwere Kohlenstoffisotope im Nahrungsnetz, nach Lee-Thorp et al. (1989), basierend auf dem Modell von Krueger und Sullivan (1984)	16
Abbildung 8: Stickstoffkreislauf: http://www.chemievorlesung.uni-kiel.de/1992_umweltbelastung/dueng2.htm	17
Abbildung 9: Schema zu den 4 Typen fokaler Zerstörung nach Hackett aus Jans et al. (2002)	20
Abbildung 10: Karte (modifiziert) von Thomas Römer/OpenStreetMap data, http://de.wikipedia.org/wiki/Rheinisches_Braunkohlerevier	22
Abbildung 11: Geography 110 Maps, Wesleyan University, Ohio, USA. Retrieved 09.08.2013	23
Abbildung 12: Sargschmuck (Bef. 238).....	24
Abbildung 13: Grabungsplan mit eingezeichneten Gräbern	25
Abbildung 14: SRTM Höhenmodell aus Jarvis et al. 2008, Darstellung R. Löhrer, Geographisches Institut Aachen 2010, bearbeitet von Schmidt-Wygasch (2011).....	26
Abbildung 15: Zinkkontamination im der Laufe der Zeit. Aus Schmidt - Wygasch et al. (2010)	26
Abbildung 16: Anzahl der in verschiedenen Berufsfeldern beschäftigte, Daten entnommen aus der Einwohnerliste der Gemeinde Altdorfs von 1910.....	28
Abbildung 17: Aus „Altdorf, die Geschichte seines Werdens und Schicksals“(1951), Zusammenstellung Heinrich Tischler	29
Abbildung 18: Geschlechtsunterschiede am Becken (Herrmann et al. 1990).....	33
Abbildung 19: Beurteilung der degenerativen Veränderungen an den Wirbelkörpern (aus Steckel et al. 2006)	36
Abbildung 20: Messstrecken an Femur und Humerus aus Steckel et.al. (2006)	37
Abbildung 21: Körperhöhenschätzung nach Pearson (1899).....	43

7. Anhang

Abbildung 22: Funktionaler Zusammenhang Humerus und Femur aus Pearson-Formeln (1899)	43
Abbildung 23: Humerus-Femur-Diagramm mit Trennkurve (Ausschnitt)	44
Abbildung 24: Prinzip der Massenspektrometrie (http://www.mbgc.icbm.de/Barni/Image2.gif)	57
Abbildung 25: Anzahl der untersuchten Individuen nach Zeitstellung und Geschlecht	62
Abbildung 26: Relative Häufigkeit der untersuchten Individuen	63
Abbildung 27: Einteilung der Individuen der frühen und späten Zeitstellung in Altersklassen	63
Abbildung 28: Einteilung der Individuen in Altersklassen – Gesamtübersicht	64
Abbildung 29: Humerus-Femur-Diagramm mit Individuen 195 und 219	76
Abbildung 30: Regressionsgeraden für frühe Zeitstellung mit Individuum 195	77
Abbildung 31: Regressionsgeraden für späte Zeitstellung mit Individuum 219	78
Abbildung 32: Regressionsgeraden für weibliche Individuen	79
Abbildung 33a und 33b: Boxplot für die Länge von Femur bzw. Humerus	81
Abbildung 34: Boxplot für den Durchmesser Femurkopf	82
Abbildungen 35a und 35b: Boxplot für den Durchmesser anterior-posterior von Femur bzw. Humerus	83
Abbildungen 36a und 36b: Boxplot für den Durchmesser medial-lateral von Femur bzw. Humerus	84
Abbildung 37: Boxplot für die nach Pearson geschätzten Körperhöhen	86
Abbildung 38: Mittelwerte für die nach Pearson geschätzten Körperhöhen	87
Abbildungen 39a und 39b: Häufigkeiten Körperhöhen (w), frühe und späte Zeitstellung	87
Abbildungen 40a und 40b: Häufigkeiten Körperhöhen (m), frühe und späte Zeitstellung	88
Abbildungen 41a und 41b: Trennwert für frühe und späte Zeitstellung	89
Abbildungen 42a und 42b: Trennwerte für weibliche und männliche Individuen	89
Abbildung 43: Gesamtüberblick über aufgefundene Zähne	91
Abbildung 44: Sterbealterverteilung der hinsichtlich Zahnstatus untersuchten Individuen	92
Abbildung 45: Verteilung des intravitalen Zahnverlustes auf Altersklassen	93
Abbildung 46: Verteilung der Kariesintensität auf Altersklassen	94
Abbildung 47: Bef. 238: Durch einen Abszess gebildete Eitertasche (links) und Bef. 215 mit Zahnstein, Parodontose und „Pfeifenlücken“ (rechts, siehe S. 97)	95
Abbildung 48: Bef. 213 Adulte Frau mit Schmelzhypoplasien	96
Abbildung 49: Pfeifenlücken (oben), Tonpfeifen-mundstück (unten)	97

7. Anhang

Abbildung 50: Zahnteilprothese	97
Abbildung 51: Absolute Häufigkeiten der im Hinblick auf degenerative Gelenkerkrankung untersuchten Individuen	99
Abbildung 52: Vergleich der degenerativen Gelenkerkrankungen bei weiblichen und männlichen Individuen der frühen und späten Zeitstellung	100
Abbildung 53: Absolute Häufigkeiten der im Hinblick auf degenerative Veränderungen an den Wirbeln untersuchten Individuen	101
Abbildung 54: Degenerative Wirbelkörperveränderungen männlicher und weiblicher Individuen der frühen und späten Zeitstellung	102
Abbildung 55: Sterbealterverteilung der auf Arthrosen untersuchten Individuen	103
Abbildung 56: Verteilung der Intensität der Gelenkveränderungen auf Altersklassen.....	104
Abbildung 57: Periostale Auflagerungen an einer Tibiadiaphyse	112
Abbildung 58: Absolute Häufigkeiten von Individuen mit Periostitis.....	114
Abbildung 59: Absolute Häufigkeiten von Individuen mit Periostitis (nur Befunde)	115
Abbildung 60: Periostitis bei weiblichen Individuen der frühen und späten Zeitstellung in Abhängigkeit des Ausprägungsgrades	115
Abbildung 61: Periostitis bei männlichen Individuen der frühen und späten Zeitstellung in Abhängigkeit des Ausprägungsgrades	116
Abbildung 62: Sterbealterverteilung der auf Periostitis untersuchten Individuen	116
Abbildung 63: Verteilung der Periostitisfrequenz auf die Altersklassen.....	117
Abbildung 64: Zusammenfassung Gesundheitszustand.....	119
Abbildung 65: Bef. 38, weibliches Individuum mit rachitisch verbogenen Extremitäten....	120
Abbildung 66: Bef. 69 mit einem ossifizierten subperiostalen Hämatom	121
Abbildung 67: Druckverteilung am Kniegelenk nach Hofmann 1992	122
Abbildung 68: Bef.-Nr. 276 Patella von ventral (li.) und dorsal (re.)	123
Abbildung 69: Zwei von Knochen teilweise eingeschlossene bleihaltige Fremdkörper am rechten Os illiums (linkes Foto) und an der Crista illiaca (rechtes Foto) eines männlichen Individuums.....	123
Abbildung 70: Bef. 4: Parallel verlaufende, nicht verheilte Scapulafrakturen	124
Abbildung 71: Porotische Hyperostose an den Ossa parietale, mit stellenweiser Auflösung der Tabula externa	125
Abbildung 72: Sutura Metopica	126
Abbildung 73: Lage der Skelette mit einer Sutura Metopica (rot markiert).	127

7. Anhang

Abbildung 74: Worm'sche Knochen gelb markiert	
http://de.wikipedia.org/wiki/Wormsche_Knochen	127
Abbildung 75: linker Humerus anterior, distal, mit Foramen	128
Abbildung 76: Gemessene Sauerstoffisotopenwerte bezogen auf den PDB-Standard. Der rote Bereich markiert die Variabilität von +-1‰ ausgehend vom Mittelwert (rote Linie), bei Zahnschmelz (Rauten), die für die lokale Signatur stehen. Die Knochenwerte (Quadrate) zeigen deutlich negativere Werte und liegen nicht innerhalb des Wertebereichs für die „lokale Signatur“ Altdorfs. Die Werte der 3 am Knochen gemessenen Tierspezies sind mit gefüllten Kreisen markiert.....	132
Abbildung 77: $\delta^{18}\text{O}$ (‰) vs. V-SMOW Vergleich Knochen Zahnschmelz.....	134
Abbildung 78: Vergleich der Altersstrukturen der beiden Gruppen von Sauerstoffisotopen	135
Abbildung 79: Kohlenstoffisotope aus Knochen sinken im Gegensatz zu den Werten aus Zahnschmelz mit dem Alter	136
Abbildung 80: Mittelwerte der Kohlenstoffisotope nach Altersgruppen.....	137
Abbildung 81: Absolute Häufigkeit der vorkommenden Gew. %	141
Abbildung 82: Molares C/N-Verhältnis gegen Stickstoffanteil in %	142
Abbildung 83	143
Abbildung 84	144
Abbildung 85	145
Abbildung 86: $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Kinder nach Altersgruppe	147
Abbildung 87: Carbon-Spacing.....	149
Abbildung 88: Individuen und Nahrungsquellen im $\delta^{13}\text{C}/\delta^{15}\text{N}$ -Diagramm.....	152
Abbildung 89: Gemittelte Anteile für die angenommenen Nahrungsquellen	154
Abbildung 90: Quantitativer Vergleich des Standards mit gemessenen Kollagenproben aus Altdorf	156
Abbildung 91: Güte des Kollagenerhalts differenziert nach Altersgruppe	159
Abbildung 92: Güte des Kollagenerhalts differenziert nach Geschlecht und Grablage.....	160
Abbildung 93: Quantitativer Vergleich des Standards mit Messungen (Femora bzw. Rippen) unter Angabe der Mittelwerte, der Minimal-und Maximalwerte	161
Abbildung 94: Durchschnittliche Abweichung für Femora/Rippen vom Standard	162
Abbildung 95:.....	166
Abbildung 96:.....	166
Abbildung 97:.....	166
Abbildung 98: Oxford Histologischer Index nach Grablage.....	166

7. Anhang

Abbildung 99:.....	167
Abbildung 100:.....	167
Abbildung 101:.....	167
Abbildung 102: Doppelbrechungsindex nach Grablage	167
Abbildung 103:.....	168
Abbildung 104:.....	168
Abbildung 105:.....	168
Abbildung 106: Fluoreszenzeigenschaften nach Grablage	168
Abbildung 107: Bef. 41 mit bräunlicher periostaler Färbung	169
Abbildung 108: Verfärbung unter Strukturerhalt nach Grablage unter Strukturerhalt	169
Abbildung 109: Bef. 8 Endostaler Bereich mit diffusem exogenem Material der „Stufe 30-60%“	170
Abbildung 110: Diffuses exogenes Material nach Grablage.....	170
Abbildung 111: Kollagenerhalt nach Grablage.....	171
Abbildung 112: Bef. 1: Periostaler und mittiger Bereich mit bräunlicher Verfärbung und mikrobieller Zerstörung der Mikrostruktur im mittleren Bereich des Querschnittes.....	172

7.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Faktoren, die die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte beeinflussen können.....	17
Tabelle 2: UV-Index (rechts positiv Kontrolle)	48
Tabelle 3: Oxford-Histologischer Index	51
Tabelle 4: Doppelbrechungseigenschaften.....	52
Tabelle 5: Korrigierte Sterbetafel für weibliche Individuen der frühen Zeitstellung.....	64
Tabelle 6: Korrigierte Sterbetafel für männliche Individuen der frühen Zeitstellung	65
Tabelle 7: Korrigierte Sterbetafel für die frühe Zeitstellung gesamt	65
Tabelle 8: Korrigierte Sterbetafel für weibliche Individuen der späten Zeitstellung.....	65
Tabelle 9: Korrigierte Sterbetafel für männliche Individuen der späten Zeitstellung.....	66
Tabelle 10: Korrigierte Sterbetafel für die späte Zeitstellung gesamt	66
Tabelle 11: Korrigierte Sterbetafel für weibliche Individuen gesamt.....	66
Tabelle 12: Korrigierte Sterbetafel für männliche Individuen gesamt.....	67
Tabelle 13: Korrigierte kombinierte Sterbetafel aller untersuchten Individuen.....	67
Tabelle 14: Wichtige aus der Sterbetafel abgeleitete Parameter, wobei für q_{0-1} , q_{0-5} und e_0 zum Vergleich unkorrigierte, sowie um den Effekt des Kleinkinddefizits korrigierte Werte angegeben sind.	68
Tabelle 15: Überblick zur Lebenserwartung	69
Tabelle 16: Überblick zur Sterbewahrscheinlichkeit	70
Tabelle 17: Parameter der Diskriminanzfunktion	73
Tabelle 18: Individuen mit zu bestimmendem/r Geschlecht/Zeitstellung.....	74
Tabelle 19: Bestimmung von Geschlecht/Zeitstellung mittels Diskriminanzanalyse.....	75
Tabelle 20: Ergebnisse (Signifikanzniveaus) der ANOVA für Langknochenmaße	80
Tabelle 21: Statistische Auswertung der Länge von Humerus bzw. Femur	81
Tabelle 22: Statistische Auswertung des Durchmessers Femurkopf	82
Tabelle 23: Statistische Auswertung anterior-posterior von Humerus/Femur.....	82
Tabelle 24: Statistische Auswertung medial-lateral von Humerus bzw. Femur	83
Tabelle 25: Femur-Robustizitäts-Index.....	84
Tabelle 26: Humerus Robustizitäts Index	85
Tabelle 27: Statistische Auswertung der nach Pearson geschätzten Körperhöhe	86
Tabelle 28: Ergebnisse (Signifikanzniveaus) der ANOVA für Körperhöhenschätzungen.....	88
Tabelle 29: Durchschnittlicher intravitaler Zahnverlust in [%]	92
Tabelle 30: Überblick Kariesintensität in [%].....	93

7. Anhang

Tabelle 31: Prozentualer Anteil der Individuen mit Zahnpathologien in [%].....	95
Tabelle 32: Häufigkeit von Schmelzhypoplasien in Abhängigkeit der Intensität an Incisivi und Canini [%]	96
Tabelle 33: Überblick Intensität der degenerativen Gelenkerkrankungen (n=untersuchte Gelenkflächen) in %	103
Tabelle 34: Überblick Frequenz der Gelenkveränderung in % (n=Anzahl der Individuen ...	105
Tabelle 35: Rangkorrelationskoeffizient r_s (weibliche Individuen / frühe Zeitstellung).....	106
Tabelle 36: Kendall's τ (weibliche Individuen / frühe Zeitstellung)	106
Tabelle 37: Rangkorrelationskoeffizient r_s (männliche Individuen / frühe Zeitstellung)....	107
Tabelle 38: Rangkorrelationskoeffizient r_s (weibliche Individuen / späte Zeitstellung)	108
Tabelle 39: Rangkorrelationskoeffizient r_s (männliche Individuen / späte Zeitstellung)	108
Tabelle 40: Mittelwerte der Rangkorrelationskoeffizienten r_s	109
Tabelle 41: Signifikanzniveaus für gleiche Ausprägung von Arthrosen bei Gelenken	109
Tabelle 42: Korrelation des Arthrosegrades mit dem Robustizitätsindex.....	110
Tabelle 43: Übersicht periostale Veränderungen	113
Tabelle 44: Überblick Periostitisintensität in %	117
Tabelle 45: Überblick Periostitisfrequenz in %	118
Tabelle 46	126
Tabelle 47: Vorkommen.....	127
Tabelle 48: Vorkommen Foramen supratrochleare.....	128
Tabelle 49: Gemessene Karbonatproben aus Knochen.....	130
Tabelle 50: Gemessene Karbonatproben aus dem Zahnschmelz	131
Tabelle 51	131
Tabelle 52: Gemessene Kollagenproben.....	138
Tabelle 53: Kennwerte der $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ - Isotopie	143
Tabelle 54: $\delta^{15}\text{N}$ u. $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Kinder	146
Tabelle 55: Verwendete Messwerte für das Mischungsmodell	149
Tabelle 56: Stickstoff- und Kohlenstoffisotope sowie -konzentrationen der potentiellen Nahrungsquellen.....	151
Tabelle 57: Anteile der Nahrungsquellen von Individuen der frühen und späten Zeitstellung sowie Kinder der frühen Zeitstellung.....	153
Tabelle 58: Aminosäurenausbeute in nmol / 100mg Knochen	157
Tabelle 59: Aminosäure Kennwerte, Werte sind in nmol % angegeben.....	157

7. Anhang

Tabelle 60: Kriterien zur Beurteilung von Kollagen.....	158
Tabelle 61: Vergleich Qualität des Kollagenerhalts bei Rippen und Femora	162
Tabelle 62: Durchschnittliches Rippe/Femur Verhältnis (aus OH-Pro, Glu, Pro, Gly, Ala) ..	163
Tabelle 63: Rangkorrelationskoeffizient r_s für Diageneseparameter.....	164
Tabelle 64: Korrelation der Kompaktastärke mit weiteren Merkmalen	165
Tabelle 65 Gesamtheit der befundenen Individuen für beschreibende Statistik und Demographie (175 Individuen)	192
Tabelle 66 Indices für Langknochen (100 Individuen).....	195
Tabelle 67 Zahnstatus – Anzahl entsprechender Zähne (83 Individuen).....	197
Tabelle 68 Arthroseindices (122 Individuen).....	199
Tabelle 69 Periostitisindices (111 Individuen).....	201
Tabelle 70 Ergebnisse Aminosäureanalyse Rippen -1 (32 Individuen).....	204
Tabelle 71 Ergebnisse Aminosäureanalyse Rippen -2 (32 Individuen).....	205
Tabelle 72 Ergebnisse Aminosäureanalyse Femur -1 (14 Individuen)	206
Tabelle 73 Ergebnisse Aminosäureanalyse Femur -2 (14 Individuen)	206
Tabelle 74 Proben für C-und N-Isotopenmessungen aus Kollagen	207
Tabelle 75 Proben für C-und O-Isotopenmessungen aus dem Karbonat des Knochens.....	208
Tabelle 76 Proben für C- und O-Isotopenmessungen aus dem Karbonat des Zahnschmelzes	209
Tabelle 77: Isotopenmessungen (insgesamt 61 Individuen)	210
Tabelle 78 Diageneseparameter auf Skala 1-3 (45 Individuen).....	211
Tabelle 79 Vergleich der Aminosäure-Anteile (in %) für Rippe und Femur sowie des Verhältnisses (in %) Rippe/Femur -1	213
Tabelle 80 Vergleich der Aminosäure-Anteile (in %) für Rippe und Femur sowie des Verhältnisses (in %) Rippe/Femur -2	214

Erklärung

Erklärung

Diese Dissertation wurde im Sinne von § 12 der Promotionsordnung von Frau Professor Dr. Gisela Grupe betreut. Ich erkläre hiermit, dass die Dissertation nicht einer anderen Prüfungskommission vorgelegt worden ist und dass ich mich anderweitig eine Doktorprüfung ohne Erfolg nicht unterzogen habe.

Ehrenwörtliche Versicherung

Ich versichere hiermit an Eides statt, dass die vorgelegte Dissertation von mir selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt wurde.

München, den 17.02.2014

Andrea Maria Grigat

Publikationen

Publikationen

Grigat A 2008. The Pankratius churchyard in Altdorf/Düren (North Rhine-Westphalia, Germany)- selected pathologies from a 19th/20th century population, *Documenta Archaeobiologiae* Vol.6, pp. 61-79.

Hoke N, **Grigat A**, Grupe G, Harbeck M 2013. Reconsideration of bone postmortem interval estimation by UV-induced autofluorescence. *Forensic Science International* 228, pp. 171-176.

Vorträge und Posterpräsentationen

Grigat A (2007): Anthropological and archaeometrical examination of the St. Pankratius churchyard of Altdorf, District of Düren", Poster und Postervortrag, 7. Kongress der Gesellschaft für Anthropologie e.V., 10.-14. September 2007, Freiburg i.B.

Grigat A. (2008): Posterpräsentation am Tag der Archäologie in Titz „Anthropologische und archäometrische Untersuchung des St. Pankratius Kirchhofs von Altdorf, Kreis Düren.

Grigat A, Grupe G (2009): The Pankratius churchyard of Altdorf/Nord-Rhein Westfalen - results of the morphological examination of a modern skeleton collection (19th/20th century), 8. Internationaler Kongress der Gesellschaft für Anthropologie (GfA), 14.-18. September 2009, München

Grigat A (2009): Posterpräsentation am Tag der Archäologie in Titz, „Die Skelettserie aus dem Bereich der ehemaligen Kirche St. Pankratius in Altdorf, Kreis Düren – Anthropologische und archäometrische Befunde.

Grigat A, Grupe G (2013): The St. Pankratius Churchyard in Altdorf / Düren-results of the morphological and archaeometric investigations of an 18th-20th century rural population, 10th International Meeting of the German Society of Anthropology (GfA): “ Biological Anthropology: Prospects and Perspectives, 2.-6. September 2013, EURAC Bozen, Italy.

Danksagung

Danksagung

Zuvordest möchte ich Frau Prof. Dr. Gisela Grupe für die Bereitstellung des Themas, das Vertrauen in meine Arbeit und ihre Unterstützung herzlich danken. Vielen Dank auch für die Erstellung des Gutachtens für mein Stipendium.

Ein herzliches Dankeschön an Herrn Prof. Dr. Bernd Päffgen für die archäologische Betreuung der Arbeit, die Erstellung des Gastvotums und den Hinweis auf die Möglichkeit der Finanzierung über ein Stipendium.

Ein gesonderter Dank gilt der gemeinnützigen Stiftung zur Förderung der Archäologie im Rheinischen Braunkohlenrevier in Köln für die finanzielle Förderung dieser Doktorarbeit im Rahmen eines Promotionsstipendiums.

Außerdem danke ich:

Herrn Prof. Dr. Klaus Schönitzer für die umgehende Bereitschaft das Zweitgutachten zu übernehmen, den Mitgliedern der Prüfungskommission und denen des Umlaufes für ihren Aufwand.

Herrn Prof. Dr. Christoph Mayr, Institut für Geographie, Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg und

Herrn Prof. Dr. Michael Joachimski, Lehrstuhl für Geologie der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, für die Übernahme der Isotopenmessungen.

Herrn Dipl.-Chem. Martin Mach Referatsleiter des Zentrallabors des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege und Herrn Christian Gruber Mitarbeiter im REM-Labor, für die durchgeführten Röntgenfluoreszenzmessungen.

Frau Renate Xhonneux vom Geschichtsverein der Gemeinde Inden e.V., für Informationen und Literatur zur Geschichte Altdorfs, sowie den Mitarbeitern des Pfarramtes Inden/Altdorf für die Bereitstellung der Kirchenbücher.

Ich danke allen Mitgliedern der Arbeitsgruppe Anthropologie und Umweltgeschichte für die schöne Zeit im Biozentrum, insbesondere Dipl. Biol. Nadja Hoke für die intensive ASA-Zeit und Dr. Ferdinand Neuberger für seine Hilfsbereitschaft und für viele nette Gespräche.

Herzlichen Dank auch an Dr. Marina Vohberger, Dipl. Biol. Nadine Carichi-Witjes, Dipl. Biol. Andreas Rott, Dipl. Biol. Ramona Schleuder, Dr. Kristin von Heyking und Dr. Ingrid Wiechmann.

Vielen herzlichen Dank an die Mitarbeiter der Staatssammlung für Anthropologie und Paläoanatomie München. Ich danke Frau Dr. Michaela Harbeck für viele ermunternde Gespräche und konstruktive fachliche Unterstützung, Herrn Dr. George McGlynn für Hilfestellungen bei Übersetzungen ins Englische und bei fachlichen Fragen. Mein Dank gilt auch Frau Sandy Reh für ihre Hilfe bei Transport, Reinigung und Präparation der Skelette, sowie für die moralische und freundschaftliche Unterstützung. Frau Dr. Anja Staskiewicz für interessante Diskussionen. Herrn Dr. Peter Schröter möchte ich für den immer positiven und freundlichen Zuspruch danken, Frau Dipl. Biol. Dominika Wycisk für ihre ansteckende gute Laune und Gesprächsbereitschaft.

Vielen Dank auch an Frau Monika Boulesnam, Herrn Jürgen Koch und Herrn Raphael Stengel.

Ein großes Dankeschön geht an meine Familie für ihren bedingungslosen Rückhalt.
Meinen Eltern und meinem Bruder danke ich für die Unterstützung und das Vertrauen in mich.
Ganz besonders danke ich meinem Mann Ernst Grigat, für die moralische Unterstützung, das Rückenfreihalten und für die Hilfestellung bei statistisch-mathematischen Fragen, sowie für das Korrekturlesen der Arbeit, Larissa Grigat für das Korrekturlesen und wohltuenden Aufmunterungen, Fiona Grigat für wohltuende Ablenkungen und Versorgung mit überlebenswichtigen Cappuccini.

Herzlichen Dank!

