

Soziale Stratifizierung im frühen Mittelalter

—

Aussage- und Nachweismöglichkeiten anhand von biologischen Indikatoren

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



von
Andrea Maria Czermak

München 2011



Bild Deckblatt aus Suhr G. und Fehr H. 2007, Goldohrring und Bajuwarenschwert. Bruckmühl am Ende der Merowingerzeit

Grabzeichnung Bruckmühl Grab 17

Körbchenohrringe aus Grab 31 Bruckmühl

Gold, mit Almandinen und zentraler Schmuckeinlage aus Cerussit, Durchmesser der Ringe: 3,6 cm, Gewicht 9,4 g

Erstgutachter: Prof. Dr. Gisela Grupe

Zweitgutachter: Prof. Dr. Thomas Cremer

Arbeit eingereicht am 15.03.2011

Tag der mündlichen Prüfung: 20.12.2011

Die vorliegende Arbeit wurde durch ein Promotionsstipendium der Hanns-Seidel-Stiftung München gefördert.

für Poldi

*„Des is' wia bei jeder Wissenschaft,
am Schluss stellt sich dann heraus,
dass alles ganz anders war.“*
Karl Valentin

Vorwort

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Analyse von Populationen auf Gräberfeldern, in enger Zusammenarbeit mit der Archäologie. Der Schwerpunkt lag auf der morphologischen und histologischen Begutachtung der Skelettfunde, ergänzt durch Isotopenanalysen zur Rekonstruktion der Ernährung, die im Hinblick auf soziale Stratifizierung ausgewertet wurden. Es erfolgte eine systematische, umfassende und gründliche Aufarbeitung der untersuchten Gräberfelder, sowie deren Einordnung und Vergleich in den archäologischen Kontext.

Die klassische historische Anthropologie befasst sich mit den körperlichen Überresten vergangener Populationen, um aus diesen archäo-biologischen Archiven möglichst umfassende Informationen über Lebensumstände und Umwelt in Raum und Zeit zu gewinnen (Grupe et al. 2005). Dies kann nur in enger Zusammenarbeit mit der Archäologie geschehen. Die archäologischen Funde und Befunde liefern die Fragestellungen, anhand derer die anthropologisch erhobenen Daten gemäß den erstellten Hypothesen ausgewertet werden. Die klassische Anthropologie ist demnach eine Naturwissenschaft an der Grenze zur Geisteswissenschaft. Nach traditioneller Auffassung stehen die Naturwissenschaften den Geisteswissenschaften gegenüber. Diese Einteilung muss jedoch relativiert werden. Naturwissenschaften definieren sich über ihre Methoden und den Erkenntnisprozess. Es werden Hypothesen erstellt und zu deren Überprüfung systematische Experimente durchgeführt. Die in dieser Arbeit untersuchten Thesen beinhalten zumeist archäologische und demnach geisteswissenschaftliche Fragestellungen. Es wurde versucht diese geisteswissenschaftlichen Fragestellungen anhand von naturwissenschaftlichen Methoden zu verifizieren. Viele der verwendeten klassischen anthropologischen Methoden wie die morphologische Geschlechts- und Sterbealtersbestimmung oder die Untersuchung physischer Belastung anhand von Aktivitätsmustern und degenerativen Veränderungen an den Gelenken und der Wirbelsäule sind jedoch als „*evident*“¹ zu betrachten. Aussagen hierüber beruhen weitgehend auf empirischen Erkenntnissen. Die Hypothesen sind zwar nachvollziehbar und wiederholbar, aber können meist nicht im Sinne einer wissenschaftlich verifizierbaren oder falsifizierbaren „Hypothese“ bestehen. Da es sich um historisches Material handelt, sind die meisten Aussagen auch nicht, oder nur sehr schwer anhand von Versuchen überprüfbar. Die klassische Anthropologie ist also größtenteils als empirische Wissenschaft zu betrachten, Hypothesen haben meist den Status einer „Annahme“. Die wissenschaftliche Erklärung dieser Annahme erfolgt anhand von Kausalzusammenhängen („*deduktiv-nomologisches Modell*“). Die Hypothesen dienen also entweder der Erklärung schon bekannter Tatsachen oder als Prämissen empirischer Aussagen. Empirische Aussagen werden nur durch Beobachtungen bestätigt, deshalb können sie nicht als endgültig bewiesen, sondern nur als bewährt betrachtet werden (Popper 1935; Stegmüller 1980).

Essentielle Daten zu Sterbealter und Geschlecht der Individuen, aber auch über die Zusammensetzung der untersuchten Population sind für bevölkerungsbiologische Analysen unabdingbar. Solche Daten werden im Wesentlichen mit Hilfe klassischer Methoden bestimmt (z. B. Altersbestimmung nach der Methode von Acsádi & Nemeskéri 1970). Alternativ und/oder ergänzend werden auch mikromorphologische Untersuchungen zur Sterbealtersbestimmung der Individuen wie Histologie am Knochen (Doppler 2007) und am Zahnzement angewandt. Die mikroskopische Auszählung von Zahnzementringen stellt bislang die einzig mögliche weitgehend chronologische Altersbestimmung an Skelettmaterial dar (z.B. Cipriano 1996, Kagerer & Grupe 2001, Czermak et al. 2006a, Wittwer-Backofen et al. 2006). Auch diese Methoden sind weitgehend als evident zu betrachten, da ein genauer Nachweis der Kausalität der beobachteten Strukturphänomene an Knochen und Zahnzement bislang fehlt.

Aufbauend auf diesen makro- und mikromorphologischen Methoden werden in jüngster Zeit biochemische Methoden verwendet. DNA-Analysen werden für genealogische Zusammenhänge oder populationsgenetische Prozesse (z.B. Thomas et al. 1998), zur Identifizierung von Krankheitserregern (z. B. *Yersinia pestis*, *Mycobakterium tuberculosis*)

¹ Evident von lat. *ex videre*: „aus dem Augenschein“, darf nicht mit dem engl. *evidence* „fehlübersetzt“ werden.

(Wiechmann & Grupe 2005, Zink et al. 2005) oder auch zur Geschlechtsbestimmung eingesetzt (Steinlechner et al. 2002; Sullivan et al. 1993). Aminosäure-Razemisierung ist für die Untersuchung der Temperaturexposition von Knochen bei Brandbestattungen (Harbeck & Grupe 2009) oder zur Datierung verschiedener archäologischer Materialien (Miller et al. 1992) geeignet. Ernährungs- und Umweltrekonstruktionen (Paläoökosystemanalyse) können mit Hilfe stabiler Isotope leichter Elemente aus Knochenkollagen und strukturellem Karbonat (z.B. Ambrose 1993) erfolgen. Über stabile Isotope des Strontiums aus biologischem Apatit können zugewanderte Personen und möglicherweise deren Herkunft bestimmt werden (z.B. Price et al 1994).

Modernere Methoden wie DNA- oder Isotopenanalysen können meist Ergebnisse im Sinne der naturwissenschaftlichen Definition liefern. Es ist demnach unerlässlich, die in der modernen Anthropologie zur Verfügung stehenden archäometrischen Methoden auf allen Ebenen zu nutzen, um ein möglichst umfassendes Bild der Lebensumstände vergangener Zeiten zu erhalten. Dabei sollten aber trotz der technischen und methodischen Neuerungen, vor allem im molekularbiologischen Bereich, die klassischen Methoden nicht vernachlässigt werden. Es darf nicht außer Acht gelassen werden, dass die klassischen anthropologischen Methoden die Basisdaten liefern, mit denen die Ergebnisse der archäometrischen Analysen erst interpretierbar sind.

Bei der Auswertung von Gräberfeldern spielt häufig auch die Finanzierbarkeit eine Rolle. Morphologische und histologische Untersuchungen sind, zumindest was den Materialaufwand betrifft, kostengünstig. Nicht zu vernachlässigen ist allerdings der Zeitaufwand, gerade bei der Erhebung der morphologischen Daten und der Anfertigung der histologischen Dünnschnitte sowie der quantitativen Auswertungen der Daten. Die „klassischen“ Methoden sind jedoch universal anwendbar und für eine erste morphologische Begutachtung ist kein Labor notwendig, diese kann bereits „im Felde“ stattfinden. So ist es möglich, Gräberfelder schnell und kostengünstig auszuwerten.

Ergebnis- und Diskussionsteil dieser Arbeit wurden im Abschnitt „Ergebnisse und Methodendiskussion“ zusammengefasst. Aufgrund der Anzahl der verwendeten Methoden erschien eine Trennung der Ergebnisse von deren Interpretation und Diskussion zu unübersichtlich. Der Abschnitt „archäologische und anthropologische Schlussfolgerung“ beinhaltet den Vergleich der anthropologischen Ergebnisse mit den archäologischen Befunden und Interpretationen. Dabei wird auch versucht, auf die Problematik einzugehen, wenn Auswertungen und Interpretationen von Daten der einen Disziplin auf den Vorannahmen eines anderen Faches aufbauen (siehe auch Meier & Tillesen 2010).

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	7
1 Zusammenfassung	1
2 Einführung	3
2.1 Archäologische und historische Hintergründe	3
2.1.1 Historische Hintergründe.....	3
2.1.2 Archäologische Hintergründe und Befunde.....	5
2.2 Biologische Ansätze	6
2.3 Vorannahmen	7
2.3.1 Rekonstruktion des sozialen Status anhand der Ernährung	7
2.3.2 Einteilung der „Friedhofsklassen“	8
2.4 Ziele der Arbeit	9
3 Material (Fundorte)	10
3.1 Kelheim - Kanal I (Keh).....	10
3.2 Enkering – Mauergarten (Enk).....	11
3.3 Bruckmühl (Brm).....	12
3.4 Ingolstadt	12
3.4.1 Etting – Sandfeld (Ett)	13
3.4.2 Großmehring (Grm).....	13
4 Methoden	15
4.1 Morphologische Untersuchungen am Skelett	15
4.1.1 Waschen und Restaurieren.....	15
4.1.2 Bestimmung des Repräsentanzgrades der Skelette	15
4.1.3 Geschlechtsbestimmung	16
<i>Erwachsene Individuen</i>	16
<i>Subadulte Individuen</i>	19
4.1.4 Morphologische Bestimmung des Sterbealters.....	20
<i>Adulte Individuen</i>	20
<i>Subadulte Individuen</i>	22
4.1.5 Degenerative Veränderungen	22
<i>Wirbelsäule</i>	22
<i>Große Gelenke</i>	23
4.1.6 Aktivitätsmuster / Muskelansatzstellen.....	24
4.1.7 Traumata und andere Pathologica	24
4.2 Tooth cementum annulation (TCA).....	25
4.2.1 Auswahl der Zahnproben	25
4.2.2 Herstellung der Präparate	25
4.2.3 Mikroskopie und Bildbearbeitung	26
4.2.4 Auszählen der Zahnzementringe	27
4.3 Demographische Rekonstruktion.....	28
4.3.1 Berechnung einer Sterbetafel.....	28
4.3.2 Berechnung des Maskulinitätsindex.....	29
4.3.3 Berechnung der Größe der Lebendpopulation	29
4.4 Osteometrie	30
4.4.1 Indices	30
4.4.2 Körperhöhenberechnung.....	31
4.5 Rekonstruktion der Ernährung.....	32
4.5.1 Bestimmung des Verhältnisses der stabilen C- und N-Isotope	32
4.5.2 Kollagen- / Gelatineextraktion	32
4.5.3 Bestimmung der Isotopenverhältnisse	33
4.5.4 Qualitätsstandard	34
4.6 Statistische Datenauswertung	35
5 Ergebnisse und Diskussion	36
5.1 Erhaltungsgrad des Skelettmaterials	36
5.2 Morphologische Altersschätzung.....	37
5.2 Tooth Cementum Annulation (TCA)	38
5.2.1 Handzählung	38
5.2.2 Computerzählung (Auto-TCA).....	38
<i>Entwicklung des Zählprogramms</i>	38
<i>Anwendung des Zählprogramms</i>	42
<i>Methodenvergleich (TCA, Auto-TCA und Morphologie)</i>	43
5.2.3 Probenentnahme, -qualität und -auswertung	49

5.2.4	Entstehung der Zahnzementringe	53
	<i>Strukturbildung</i>	53
	<i>Mechanische Ursachen</i>	56
	<i>Stoffwechselbedingte Ursachen</i>	56
5.2.5	Diskussion der Methoden zur Sterbealtersbestimmung	58
5.3	Geschlechtsbestimmung	62
5.3.1	Ergebnisse der Geschlechtsbestimmung	62
	<i>Erwachsene Individuen</i>	62
	<i>Kinder und Jugendliche</i>	63
5.3.2	Diskussion der Methoden zur Geschlechtsbestimmung am Skelett	63
	<i>Kombinierte Merkmale</i>	64
	<i>Meatus acusticus internus (M.a.i.)</i>	64
5.3.3	Geschlechterverteilung, Maskulinitätsindex und Kinderanteil	64
	<i>Ergebnisse</i>	65
	<i>Neuberechnung unter Berücksichtigung der mittleren Lebenserwartung</i>	65
	<i>Geschlechterverteilung auf den Separatfriedhöfen</i>	67
	<i>Diskussion der Geschlechterverteilung und des Kinderanteils</i>	69
5.4	Demographische Berechnungen	71
5.4.1	Ergebnisse	71
	<i>Altersverteilung der Bevölkerung</i>	71
	<i>Durchschnittliche Lebenserwartung</i>	74
	<i>Lebenserwartung in den verschiedenen Altersklassen</i>	75
	<i>Mortalität</i>	77
	<i>Kleinkinddefizit</i>	77
	<i>Berechnung von Lebendpopulation und Siedlungsgröße</i>	78
5.4.2	Diskussion der Paläodemographie und Berechnung der Siedlungsgröße	80
	<i>Paläodemographie und Berechnung der Siedlungsgröße</i>	80
	<i>Soziale Aspekte von Lebenserwartung und Geschlechterverteilung</i>	83
5.5	Osteometrie	86
5.5.1	Körperhöhe	86
	<i>Ergebnisse</i>	87
	<i>Zusammenhang von Ernährung und Körperhöhe</i>	87
	<i>Diskussion</i>	88
5.5.2	Indices	92
	<i>Humerus Längen-Dicken Index</i>	92
	<i>Femur Robustizitäts Index</i>	94
	<i>Femur Index Platymericus</i>	96
	<i>Diskussion von Mobilität, Händigkeit und Aktivitätsmustern anhand von Indices</i>	99
5.6	Aktivitätsmuster und degenerative Veränderungen (DJD)	101
5.6.1	Ausprägung der Muskelansatzstellen	101
5.6.2	Degenerative Veränderungen der Gelenke	102
	<i>Ergebnisse</i>	102
	<i>Degenerative Veränderungen der Wirbelsäule</i>	115
5.6.3	Diskussion der Aktivitätsmuster und degenerativen Veränderungen	116
	<i>Wirbelsäule:</i>	116
	<i>Gelenke</i>	117
	<i>Zusammenfassung</i>	121
5.7	Besondere pathologische Befunde	123
5.7.1	Morbus Bechterew (Bruckmühl Grab 27)	123
5.7.2	Hiebverletzungen	125
	<i>Verheilte Läsionen</i>	126
	<i>Letale Läsionen</i>	128
	<i>Diskussion der Hiebverletzungen</i>	131
	Sonderbestattung / Großmehring B4, Grabgruppe 73 / 74 / 75	133
5.8	C/N-Isotopenanalyse zur Rekonstruktion der Ernährungsweise	136
5.8.1	Qualitätskontrolle des Kollagens	137
5.8.2	Allgemeine Auswertung	138
	<i>Tierknochen</i>	139
	<i>Vergleich der Isotopenwerte in Raum und Zeit</i>	142
	<i>Nutztierhaltung und Ernährung im Mittelalter</i>	144
5.8.3	$\delta^{13}\text{C}$ -Werte	146
	<i>Diskussion $\delta^{13}\text{C}$</i>	148
5.8.4	$\delta^{15}\text{N}$ -Werte	154
	<i>Vergleich der $\delta^{15}\text{N}$-Werte verschiedener Gräberfelder und „Rindereichung“</i>	154
	<i>Altersklassen</i>	157
	<i>Friedhofsklassen</i>	160
	<i>Bestattungen mit Waffen</i>	165
5.8.5	Zusammenfassende Diskussion der Methode	168

	<i>Einflüsse auf die $\delta^{13}\text{C}$- und $\delta^{15}\text{N}$-Isotopensignaturen</i>	168
	<i>Rekonstruktion der Ernährung</i>	169
	<i>Nahrung und Gesellschaft</i>	170
5.9	Sr- und O-Isotopenanalyse zur Herkunftsrekonstruktion	173
5.9.1	Bisherige Darstellung und Auswertung der Ergebnisse (Gaugler 2006 und Strott 2008)	173
	<i>Sauerstoff</i>	173
	<i>Strontium</i>	176
	<i>Kombinierte Darstellung der Sr- und O-Daten</i>	176
5.9.2	Diskussion und Neuinterpretation der Ergebnisse	177
	<i>Sauerstoff ($\delta^{18}\text{O}$)</i>	177
	<i>Strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)</i>	178
6	Archäologische und anthropologische Synthese	186
7	Literatur	191
	Anhang	211
	Lebenslauf	271
	Publikationen	272
	Zeitplan	274
	Danksagung	276
	Erklärung	277

1 Zusammenfassung

Soziale Unterschiede innerhalb von Populationen sind ein zentraler Forschungsgegenstand der Archäologie und Anthropologie. Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, ob es biologische Indikatoren gibt, die mit sozialem Stand korrelieren und ob diese verwendet werden können, den sozialen Stand eines Individuums oder einer Gruppe festzustellen. Zu diesem Zweck wurden vier frühmittelalterliche „Separatfriedhöfe“ und ein Reihengräberfeld im Hinblick auf demographische Aspekte, degenerative Veränderungen der Gelenke, Ernährung und Migration untersucht.

Die ausgewerteten Friedhöfe (Bruckmühl, Etting, Enkering und Großmehring) liegen im südlichen Bayern in der Grenzregion zum damaligen fränkischen Herrschaftsgebiet. Sie wurden archäologisch in die späte Merowingerzeit (ca. 650-720 n. Chr.) datiert. Zu dieser Zeit war das Herzogtum Bayern ein autonomer Teil des fränkischen Reiches. Um 700 n. Chr. fand ein politischer Umbruch statt und die aufstrebende Dynastie der Karolinger (beginnend mit Karl Martell) versuchte ihre Herrschaft auf bajuwarischem Gebiet zu festigen. In dieser Zeit fand ein deutlicher gesellschaftlicher Umbruch statt: Die alten Gesellschaftsstrukturen, die sich in der Sitte widerspiegeln, die Verstorbenen „alle gleich“ in Reihengräbern zu bestatten, lösen sich auf und einige Personen separieren sich nun in der Art ihrer Bestattungen demonstrativ vom Rest der Bevölkerung. Es erscheinen, parallel zu den üblichen Reihengräberfeldern, so genannte „Separatfriedhöfe“. Diese kleinen Friedhöfe mit etwa 30-40 Bestattungen zeichnen sich durch ihre spezifischen Grabstrukturen und ihre reiche Beigabenausstattung aus, und könnten demnach eine entstehende soziale Oberschicht repräsentieren. Eine Hypothese wäre, dass es sich bei den auf Separatfriedhöfen Bestatteten um fränkische „Adelige“ handelt, die von den Herrschern als lokale Exekutive, als eine Art „Verwaltungsangestellte“ eingesetzt wurden. Auch im Kontext mit der Ausbreitung des Christentums im Frühmittelalter werden die Anfänge eines feudalen Gesellschaftssystems erkennbar. Anhand der Friedhofsstruktur und der Beigabenausstattung wäre eine Zweiteilung der Separatgrablegen denkbar. Die Gräber wurden daher in Friedhofskategorien eingeteilt: Reich ausgestattete Zentralgräber und deren umgebende Gräber auf der einen Seite, einfache Bestattungen auf der anderen Seite des Separatfriedhofs und, im Fall des Bestattungsplatzes Großmehring, mit dem des Reihengräberfeldes eine weitere Kategorie.

Um mögliche soziale Abstufungen festzustellen wurden zunächst das Sterbealter und das Geschlecht jedes Individuums (n=158) morphologisch bestimmt. Zusätzlich fand bei Erwachsenen die TCA-Methode (*tooth cementum annulation*) zur Sterbealtersbestimmung Verwendung. Zur vereinfachten quantitativen Auswertung der Zahnzementringe aus den histologischen Zahnquerschnitten wurde in einer Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Informatik der FH Rosenheim ein automatisiertes Zählprogramm entwickelt.

Die demographische Rekonstruktion aus den Sterbedaten zeigt, dass die Populationen der Separatgrablegen im Gegensatz zu der Population des Reihengräberfeldes eine niedrigere Kindersterblichkeit und eine höhere Lebenserwartung aufweisen.

Darüber hinaus wurde jedes erwachsene Individuum morphologisch im Hinblick auf degenerative Veränderungen der Gelenke und der Wirbelsäule untersucht. Es zeigen sich keine Geschlechtsunterschiede und die allgemeine körperliche Belastung der Individuen auf allen ausgewerteten Friedhöfen scheint altersgemäß und relativ gering gewesen zu sein. Interessanterweise zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen Separatfriedhof und Reihengräberfeld. Die Ergebnisse der Wirbelsäule zeigten einen unerwarteten Unterschied: Separat bestattete Männer waren in einem höheren Maß belastet als Männer auf dem Reihengräberfeld. Anhand von physischen Aktivitätsmustern und Belastung der Gelenke konnte hier keine soziale Abstufung festgestellt werden. Diese scheinen vielmehr von individuellen Aktivitäten, Arbeitsbelastungen, Krankheiten und Prädispositionen abhängig zu sein.

Ein weiterer Indikator für gute Lebensbedingungen ist die Qualität der Nahrung. Daher wurde das $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ und $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ -Isotopenverhältnis des Knochenkollagens, mit Fokus auf den „Trophiestufeneffekt“ des ^{15}N -Isotops untersucht. Der Verzehr von tierischem Eiweiß führt zu

einer Anreicherung von ^{15}N im Knochenkollagen. Unter der Annahme, dass zu dieser Zeit hauptsächlich wohlhabende und / oder höher gestellt Personen Zugang zu tierischen Proteinen (Fleisch, Eiern und Milchprodukten) hatten, können hohe $\delta^{15}\text{N}$ -Werte einen höheren sozialen Status widerspiegeln und eine „hierarchische Abstufung“ zeigen. Im direkten Vergleich der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der verschiedenen Friedhofsklassen sind keine signifikanten Unterschiede erkennbar, aber die Werte der Individuen aus den reich ausgestatteten Gräbern erscheinen leicht erhöht. Es besteht in Etting sogar ein signifikant abfallender Gradient zwischen den Zentralgräbern, über deren assoziierte Gräber zu dem Hauptteil der Gräber, im Fall von Großmehring eine abfallende Tendenz bis zum Reihengräberfeld. Bei Bruckmühl und dem Vergleichsfriedhof Kelheim sind keine Unterschiede nachweisbar.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass biologische Indikatoren wie Kindersterblichkeit und Ernährung Hinweise auf den sozialen Rang eines Individuums geben können. Die Auswertung anhand der Voreinteilung in „Friedhofsklassen“ erwies sich jedoch als problematisch.

Zusätzlich wurde die Sauerstoff- und Strontium-Isotopen Verhältnisse einiger ausgewählter Individuen untersucht, um zu testen, ob es sich bei Personen, die mit nicht-lokalen Beigaben oder in „exklusiven“ Gräbern bestattet wurden möglicherweise um „Ortsfremde“ handelt. Bei den meisten dieser Individuen zeigte die Isotopenzusammensetzung jedoch „lokale“ Signaturen, lediglich ein Mann muss seine Kindheit in einem anderen geologischen Gebiet verbracht haben. Die Theorie, dass es sich bei den auf Separatfriedhöfen bestatteten Gruppen um „fränkische Verwaltungsangestellte“ handelt konnte nicht bestätigt werden.

Diese archäo-biologische Untersuchung der Separatfriedhöfe leistet einen Beitrag zum Verständnis des Entstehungsprozesses gesellschaftlicher Strukturen im frühen Mittelalter. Sie kann als Ausgangspunkt für weitere Studien dienen, um mit Hilfe archäologischer und anthropologischer Methoden Entwicklungen in historischen Gesellschaften beleuchten, deren geschichtliche Hintergründe mangels schriftlicher Quellen weitgehend im Dunkeln liegen.

2 Einführung

2.1 Archäologische und historische Hintergründe

Die Epoche des frühen Mittelalters (ca. 350-800 n. Chr.), mit dem Zusammenbruch des römischen Reiches, den Völkerwanderungen und dem Prozess der Neuorganisation einer früheuropäischen Gesellschaft liegt aus heutiger Sicht weitgehend im Dunkeln. Die Erkenntnisse über das „finstere Mittelalter“ beruhen, abgesehen von wenigen historischen Quellen, die durch die kirchlich monopolisierte Schriftlichkeit des Frühmittelalters bestimmt sind, weitgehend auf archäologischem Fundgut, zumeist Grabbeigaben. Die Schwelle zwischen Spätantike und Mittelalter bildet jedoch den Grundstein für die abendländische Kultur und das heutige Europa mit seiner politischen wie religiösen, inneren Verbundenheit. Wichtigstes Medium dieses für die Entstehung Europas bedeutenden Akkulturationsvorgangs war die christliche Kirche. Sie übernahm das Erbe der Antike und verband römische und germanische Kulturelemente (Bosl 1970; Prinz 2003b). Die Kirche wurde aber auch legitimierende Macht für das mittelalterliche Fürstentum² (Prinz 2003b). In der sich neu strukturierenden Gesellschaft des Merowingerreichs sind eine frühfeudale Gesellschaftsgruppe und deren elitäre Aussonderung aus der Gemeinschaft zu erkennen. Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen Christianisierung und Herausbildung einer Herrenschaft, wie sie um 700 n. Chr. archäologisch in der Separierung der Oberschichtengräber von den allgemeinen Reihengräbern manifestiert ist (Prinz 2003b). Die Tatsache, dass die frühmittelalterlichen Gesellschaften komplex strukturiert waren, wurde in der Archäologie lange Zeit nicht ausreichend wahrgenommen. Der Fokus lag lediglich auf zwei Aspekten: die Unterscheidung zwischen „arm“ und „reich“, sowie die Gegenüberstellung von „Einheimischen“ und „Fremden“ (Brather 2009). Eine neuere Fragestellung der Archäologie des Frühmittelalters befasst sich mit dem Entstehungsprozess und den möglichen Strukturen einer frühmittelalterlichen Adels- bzw. Oberschicht und der fortschreitenden Christianisierung der Bevölkerung. Zu dieser Zeit findet ein deutlich wahrnehmbarer gesellschaftlicher Umbruch statt. Die alten Sozialstrukturen, die sich zuvor in den Reihengräberfeldern widerspiegeln, lösen sich auf und manche Gruppen sondern sich demonstrativ durch die Wahl ihrer Bestattungsplätze ab (Bosl 1970). Diese so genannten „*Separatfriedhöfe*“, Grablegen mit ca. 20-40 Individuen, sind Ausdruck dieser gesellschaftlichen Veränderungen, die sich in der späten Merowingerzeit vor allem auf bajuwarisch-alamannischem Gebiet fassen lassen (Burzler 2000; Ledderose 2006).

2.1.1 Historische Hintergründe

In der Zeit vom 4. bis 8. Jahrhundert n. Chr. fanden auf dem Gebiet des heutigen Altbayerns gravierende gesellschaftliche und wirtschaftliche Veränderungen statt. An Stelle der römischen Provinz *Raetia* bildete das bajuwarische Herzogtum, unter der Herrscherfamilie der Agilolfinger³ den politischen Rahmen. Die bevölkerungsreichen römischen Städte in dieser Region wie Augsburg (*Augusta Vindelicorum*) oder Regensburg (*Castra Regina*), wurden teilweise aufgegeben oder bestanden nur in reduziertem Umfang fort. An die Stelle der römischen Gutsbetriebe (*villa rustica*) traten neu gegründete dorfartige Siedlungen, die teilweise in heutigen Dörfern fortbestehen⁴. Die aus Stein errichteten römischen Villen wurden nicht weiter genutzt, die Häuser wurden wieder aus Holz errichtet. Die Siedlungen bestanden aus einzelnen Hofstellen, die entlang eines Straßensystems angelegt waren. Jede Hofstelle besaß Haupt- und Nebengebäude. Die Hauptgebäude waren langgestreckt, mit lehmverputzten Wänden, die Dächer waren mit Schilf oder Holzschindeln gedeckt. Der

² Die enge Verbindung von politischer Gewalt und geistlicher Zielsetzung zeigt sich bereits bei Chlodwig, dem Gründer des Merowingerreichs, (466/511 n. Chr.), durch seine Verwaltungspraxis (*lex salica*) und Kirchenpolitik (Prinz 2003a).

³ Die Agilolfinger waren die erste bayerische Herzogsdynastie, eingesetzt von den Merowingerkönigen. (Regierungszeit: 6. bis Ende des 8. Jahrhundert, anfangs als Amtsherzöge, später als Stammesherzöge). Mehrere Versuche die Oberhoheit der Merowinger abzuschütteln, z.B. durch eigene Bistumsgründungen und ein eigenes Stammesrecht (*Lex Baiuvariorum*, um 740) blieben ohne Erfolg (Jahn 1991; Reiser 1977; Störmer 1972; Störmer 2002).

⁴ Endungen von Ortsnamen wie -ing, -heim als älteste Siedlungsgründungen und -dorf, -hausen oder -hofen als Siedlungen während des Landesausbaus im 7. und 8. Jahrhundert zeugen von Ortsgründungen aus dieser Zeit (Diepolder 1988).

Innenbereich war in Eingangs-, Wohn- und Schlafbereich und meist noch einem Stallteil unterteilt. Die Nebengebäude waren kleiner und könnten als Speicher, Werkstatt, Stall oder auch Wohngebäude genutzt worden sein (Diepolder 1988).

Auch das Christentum setzte sich seit dem 7. Jahrhundert durch, es wurden Klöster gegründet und Kirchen erbaut (Suhr & Fehr 2007)⁵. Inwieweit es vom Großteil der Bevölkerung angenommen wurde ist jedoch noch unklar, da Zeichen eindeutigen Bekenntnisses in den Gräbern kaum vorkommen (Gillich 2008). Ab dem 7. Jahrhundert treten auch Bestattungen in Eigenkirchen auf und nehmen gegen Ende des Jahrhunderts zu. Die Gründung der Eigenkirchen wird als Ausdruck einer praktizierten christlichen Lebensweise gesehen. Es ist mit großer Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass Eigenkirchen auf Initiative der adeligen Oberschicht zurückgehen, da es sich meist um reiche Gräber handelt (Gillich 2008). In manchen Fällen wurde beispielsweise auf Separatfriedhöfen nachträglich eine Kirche gebaut (Gillich 2008; Theune-Großkopf 2001). Die außerhalb der Ortschaften gelegenen Gräberfelder wurden durch bei den Ortskirchen gelegenen Grabstätten („Kirchhöfe“) abgelöst. Der Vorgang erfolgte in Zwischenstufen von den Reihengräbern über die Separatgrablegen und Hofgrablegen bis zu den Kirchhöfen (Theune-Großkopf 2001).

Auf bajuwarisch-alamannischem Gebiet stellen in der gesamten Merowingerzeit (Ende 5. bis Mitte 8. Jahrhundert n. Chr.) große Gräberfelder mit in Reihen angeordneten Gräbern (Reihengräberfelder) die übliche Bestattungsform dar. Diese neue Bestattungsweise entwickelte sich seit Mitte des 5. Jahrhunderts n. Chr. in den Randgebieten des ehemaligen römischen Reiches an Rhein und Donau. Die Toten wurden unverbrannt beigesetzt, mit dem Gesicht zur aufgehenden Sonne gewandt. Große Teile der Bevölkerung gaben ihren Verstorbenen Waffen, Ausrüstungsgegenstände, Festtagskleidung und Schmuck mit ins Grab (Suhr & Fehr 2007). Ab dem frühen 7. Jahrhundert findet sich zusätzlich eine neue Art der Beisetzung, mit kleinen, etwas abseits angelegten Friedhöfen (Steuer 2004). Diese „*Separatnekropolen*“ (Ament 1970; Burzler 2000; Christlein 1973; Stein 1967) zeichnen sich durch geringe Gräberanzahl und kurze Belegungsdauer aus und weisen meist mehrere Gräber mit einer überdurchschnittlich reichen Beigabenausstattung auf, oder mit Beigaben, die Ausdruck eines besonderen „Standes“ oder persönlicher und wirtschaftlicher Macht sind, wie zum Beispiel Waffen oder Steigbügel (Böhme 2000). Auch besondere Grabbauten wie Kammergräber aus Stein, Steineinfassungen und Kreisgräben oder Hügel kennzeichnen derartige Grabplätze (Koch 2001; Steuer 2001; Steuer 2004; Stork 2001; Theune-Großkopf 2001). Separatfriedhöfe werden als Hinweis auf Angehörige eines höheren sozialen Standes gesehen, die sich in der Anlage ihrer Bestattungsplätze bewusst vom Rest der Bevölkerung, der weiterhin in Reihengräberfeldern bestattet wurde, absetzten und sich dies auch leisten konnten (Koch 2001; Steuer 2004; Theune-Großkopf 2001; Zeller 1988). Das Auflösen alter Gesellschaftsstrukturen steht mit Sicherheit auch in Verbindung mit dem aufkeimenden christlichen Glauben (Burzler 1992; Fischer 1988; Theune-Großkopf 2001).

Es ist bislang nicht geklärt, welche Personengruppen sich auf solchen Separatfriedhöfen bestatten ließen. Waren es Personen mit besonderem sozialen Rang innerhalb der Gemeinschaft, wohlhabende Bevölkerungsschichten (Burzler 1992; Steuer 2001; Steuer 2004) oder ist hier eventuell sogar ein Nobilifizierungsprozess, also eine sich herauskristallisierende Adelsschicht zu erkennen (Bosl 1970; Burzler 2000)⁶? Historische Quellen belegen für die Zeit um 700 n. Chr. eine politische Führungsschicht, die an der Machtausübung in Bayern beteiligt war. Herzog Theodo II. (Regierungszeit ca. 680-717 n. Chr.), der erste in kirchlichen Quellen namentlich genannte bayerische Herzog, schien sich des fränkischen und somit merowingischen Einflusses durch den Versuch einer eigenen

⁵ Der iro-fränkischen Mission durch Columban und dessen Nachfolger Eustasius im frühen 7. Jahrhundert darf ein beträchtlicher Anteil am christlichen Charakter Bayerns um 700 zugeschrieben werden (Mayr 1988).

⁶ Bei der Verwendung des Begriffes „Adel“ ist hier Vorsicht geboten, da diese Form des „höheren Standes“ nicht mit dem Adelsbegriff des Hochmittelalters vergleichbar ist. In der *Lex baiuvariorum*, dem bayerischen Stammesrecht, ist der Adel als eigener Stand unbekannt (Hartmann, 1988; Störmer, 1988; Burzler, 2000). Die Gesetze belegen zwar, dass die Gesellschaft im 7. und 8. Jahrhundert dem Rang nach gestaffelt war, auf dem römischen Recht aufbauend gab es Abhängige, Halbfreie und Freie, aber die Position in der Gemeinschaft wurde nicht durch die Zugehörigkeit der Familien zu einem rechtlichen definierten Stand, sondern durch Erfolge im Krieg, Landbesitz und Reichtum erreicht. Ebenso bestimmte das Ausüben eines Amtes den Rang im Merowingerreich, es „adelte“. Es gab noch keine fest gefügten Bevölkerungsschichten, sondern Familienverbände unterschiedlichen Ranges, der Rang war jedoch nicht erbbar (Bosl 1970; Hartung 1983; Steuer 2001).

Bistumsorganisation und durch innenpolitische Maßnahmen zu erwehren und die Eigenständigkeit des bayerischen Herzogtums zu betonen⁷ (Hartmann 1988). Der fränkische Hausmeier Karl Martell stärkte jedoch um 730 den fränkischen Einfluss in Bayern, der unter Karl dem Großen (reg. 768-814 n. Chr.) endgültig gefestigt war (Störmer 1988).

Die Friedhöfe Enkering, Etting und Großmehring befinden sich im damaligen Grenzbereich zwischen Franken und Bayern. Deshalb ist auch die Frage, welche Volksgruppe hier bestattet ist, nicht sicher zu beantworten. Das Gebiet, in dem sich die Separatfriedhöfe befinden, liegt zwar auf damalig bajuwarischem Territorium, ein relativ weit reichender fränkischer Einfluss im Gebiet um Ingolstadt und Eichstätt im frühen 8. Jahrhundert ist aber anzunehmen (Kaiser 1990)⁸. Die auf Separatfriedhöfen Bestatteten müssen nicht zwingend der ansässigen Population angehören (Steuer 2004). Es könnte sich auch um zugewanderte Personen handeln, die nur kurze Zeit vor Ort lebten. Es könnte sich um fränkische „Verwaltungsangestellte“, aber auch um einheimische bajuwarische „Stammesfürsten“ und deren Familienangehörige handeln (Kaiser 1990). Auch Klostergründungen durch bayerische Adelsclans im Alpenvorland (Benediktbeuern, um 740 n. Chr. und Tegernsee, Mitte 8. Jhd.), unweit des Friedhofs Bruckmühl, waren zweifellos von besonderer politischer Bedeutung im Widerstand der bayerischen Herzöge gegen die fränkische Vormacht⁹.

2.1.2 Archäologische Hintergründe und Befunde

Die archäologische Analyse der Separatfriedhöfe Enkering, Etting und Großmehring ist Teil einer Dissertation zur Spät- und Endmerowingerzeit im Ingolstädter Raum (Ledderose 2006). Die archäologischen Funde des Friedhofs Bruckmühl wurden noch nicht wissenschaftlich bearbeitet, konnten aber Dank der beispiellosen Dokumentation bereits wenige Jahre nach der Entdeckung detailliert beschrieben und in ihren historischen Zusammenhang eingeordnet werden (Suhr & Fehr 2007).

Wie die Geschichtswissenschaften beschäftigt sich die Archäologie mit der Rekonstruktion der Lebensverhältnisse in vergangenen Zeiten. Die Archäologie des Frühmittelalters verwendet vor allem Grabfunde, unter der Prämisse, dass sich das Dasein der lebenden Bevölkerung in der Anlage der Gräber und der Ausstattung der Toten widerspiegelt. Grundsätzlich ist es möglich, anhand geschlossener, möglichst vollständig ergrabener Bestattungsplätze chronologische, soziologische, wirtschaftliche und in einigen Fällen auch ethnische Untersuchungen vorzunehmen. Die soziale Interpretation von Grabfunden ist eine wichtige Fragestellung der frühmittelalterlichen Archäologie.

Es lässt sich beispielsweise ein inhaltlicher Zusammenhang mit dem Aufkommen der frühmittelalterlichen Reihengräberfelder und einer Veränderung der Sozialstrukturen erkennen. In den Regionen an der Peripherie des spätantiken Imperiums wurden Reihengräberfelder angelegt, wo es angesichts des Verschwindens der übergreifenden politischen Strukturen des römischen Reiches besonders auf die Demonstration sozialen Status' vor der Lokalgesellschaft ankam. Als Medium hatten sich hierfür Bestattungsrituale offenbar angeboten. Auch um ca. 700 n. Chr. findet ein erneuter Wandel in den Bestattungssitten statt (Ledderose 2006).

Zur gesellschaftlichen Einordnung der Gräber liefern aber vor allem Beigaben wertvolle Informationen (Christlein 1973, 18f). Mit der Reduzierung der Beigabensitte aufgrund des aufkeimenden Christentums in der Merowingerzeit (5. bis Mitte 8. Jhd.) verschwinden jedoch diese Attribute einer herausragenden Lebensführung zusehends und der soziale Stand der Bestatteten ist archäologisch schwerer nachweisbar. Aufgrund der doch sehr

⁷ Herzog Theodo II. war für das frühe Christentum in Bayern von größter Bedeutung. Unter seiner Herrschaft gab es eine erste erkennbare aktive Kirchenpolitik, die auf eine feste Organisation der Kirche abzielte. Er zog als „erster seines Stammes“ (*Liber Pontificalis*) nach Rom und wollte seinem Herzogtum nach dem Tod des fränkischen Hausmeiers Pippin des Mittleren (†714) eine größere politische Selbstständigkeit sichern, indem er seine geplante Neuorganisation der Kirche durch den Papst absegnen ließ. Unter seiner Herrschaft fand auch die kirchenrechtlichen Gründung der Bistümer Regensburg, Freising, Passau und Salzburg statt (Hartmann & Dopsch 1988).

⁸ Mit der Bistumsgründung in Eichstätt im 8. Jh. ist der fränkische Anspruch auf dieses Gebiet verbunden (Kaiser 1990).

⁹ Die Benediktiner Klöster Benediktbeuern, Landkreis Bad Tölz-Wolfratshausen, und Tegernsee wurden um 739/740 durch bayerische Herzöge gegründet (www.datenmatrix.de/projekte/hdbg/kloster/html-data/geschichte_ks0405.php 2008; www.kloster-benediktbeuern.de 2008).

außergewöhnlichen Beigabensituation der untersuchten Separatgrablegen können die dort bestatteten Personen von archäologischer Seite aus als sozial höher gestellt eingestuft werden (Ledderose 2006; Suhr & Fehr 2007).

2.2 Biologische Ansätze

Separatfriedhöfe bieten mit ihrer geringen Gräberzahl, der kurzen Belegungsdauer und der örtlichen Begrenzung einen guten Ansatzpunkt für bevölkerungsbiologische Analysen. Ziel ist es, genauere Aussagen bezüglich der sozialen Stellung sowohl des gesamten Kollektivs als auch einzelner Individuen zu treffen, mögliche Beziehungen der Bestatteten untereinander festzustellen und ortsfremde Personen zu detektieren. Die Rekonstruktion des allgemeinen Gesundheitszustandes der Bevölkerung und einzelner Individuen erlaubt Rückschlüsse auf Arbeitsbelastung, Lebensbedingungen und Umwelteinwirkungen. Die soziale und wirtschaftliche Lage kann so abgeschätzt werden (Grupe 1986).

Für die demographische Rekonstruktion wurden Sterbealter und Geschlecht der einzelnen Individuen mit der kombinierten Methode nach Acsádi & Nemeskéri (1970) bestimmt. Das Sterbealter wurde zusätzlich mikromorphologisch mit Hilfe der TCA-Methode (*tooth cementum annulation*) ermittelt (z.B. Großkopf 1990, Kagerer & Grupe 2001, Wittwer-Backofen et al. 2004), da diese Methode die Möglichkeit bietet, das chronologische Alter der Individuen annähernd zu fassen. Starke Abweichungen zwischen dem chronologischen Alter und dem biologischen Alter des Skelettes lassen Rückschlüsse auf die Lebensweise zu. Zur automatisierten Auswertung der Zahndünnschnittbilder konnte ein automatisiertes Zählprogramm entwickelt werden (Czermak et al. 2006a).

Um genauere Aussagen über Lebensweisen, Arbeitsbedingungen und starke physische Belastung treffen zu können, wurden die Skelette der Individuen morphologisch auf degenerative Veränderungen und Pathologien untersucht (z.B. Larsen 1997). Durch die Bestimmung des Verhältnisses stabiler Kohlenstoff- und Stickstoffisotope aus dem Knochenkollagen können Rückschlüsse auf die Ernährung gezogen werden (z.B. Ambrose 1993), die wiederum potentiell Aufschlüsse über die gesellschaftliche Position der Menschen geben kann. Es ist anzunehmen, dass die teure, da in der Produktion energieintensivere, fleisch- beziehungsweise proteinreiche Ernährung zu dieser Zeit vor allem reichen und höher gestellten Personen vorbehalten war.

Die Art der Beziehungen, welche die auf den Separatfriedhöfen bestatteten Personen zu Lebzeiten miteinander verband, ist für das Verständnis der gesellschaftlichen Verhältnisse von großem Interesse. Soziale und räumliche Nähe bedeuten meist gleiche Umweltbedingungen, die sich möglicherweise in der gesamten Population und vor allem in den Doppel- und Mehrfachbestattungen oder aufeinander bezogenen Gräbern widerspiegeln. Ebenso stellt sich die Frage nach Rang und Status der mit Waffen und Sporen ausgestatteten Krieger (z.B. Privat et al. 2002). Diese Krieger könnten im Zusammenhang mit der Sicherung des fränkischen Machtanspruches im bajuwarischen Raum gesehen werden (Ledderose 2006). Es ist also vorstellbar, dass auf den Separatfriedhöfen Verwaltungsangestellte in fränkischen Diensten, teilweise vielleicht mit ihren Familien beigesetzt wurden (Nawroth 2001). Durch die Analyse stabiler Strontium-Isotope können zugewanderte Personen fassbar und deren Herkunft eingegrenzt werden (Schweissing & Grupe 2000). Einige dieser Personen wurden mit aus weiter entfernten Gebieten stammenden Beigaben bestattet. Im Hinblick darauf wurden die betreffenden Personen zusätzlich untersucht (Gaugler 2006).

2.3 Vorannahmen

2.3.1 Rekonstruktion des sozialen Status anhand der Ernährung

Um die allgemeine Ernährung zu rekonstruieren wurde das Verhältnis der ^{13}C zu ^{12}C , sowie der ^{15}N zu ^{14}N Isotope aus dem Knochenkollagen bestimmt. Die Ernährung des Menschen setzt sich in der Regel aus pflanzlichen Bestandteilen und einem sich ändernden Anteil tierischen Proteins (Fleisch, Eier, Milch, Milchprodukte) zusammen. Während die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte das Habitat widerspiegeln (vgl. Anhang Abb. 1.31), zeigt der $\delta^{15}\text{N}$ -Wert den relativen Anteil an tierischem Protein in der Nahrung (Ambrose & Norr 1993).

Da sich das schwere Stickstoff-Isotop ^{15}N im Verlauf der Nahrungskette in den Geweben der Konsumenten anreichert kommt es zu einem „Trophiestufeneffekt“ (Ambrose & De Niro 1986; Bocherens et al. 1997a; Schoeninger 1985; Schoeninger et al. 1983) (Abb 2.1)

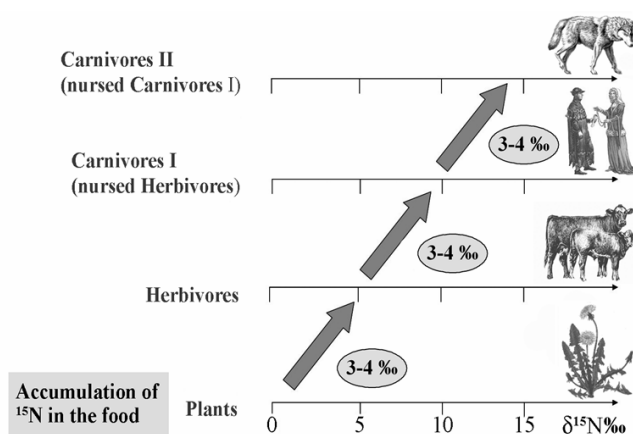


Abb. 2.1: Stark vereinfachtes Schema zum Prinzip des „Trophiestufeneffekts“ im Verlauf der Nahrungskette (Czermak et al. 2006).

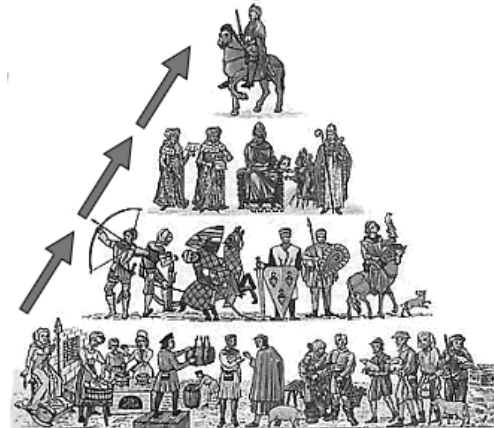


Abb. 2.2: Schema des sozialen Status'¹⁰ am Beispiel einer mittelalterlichen „Lebenspyramide“ mit dem hypothetischen Ansteigen der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte mit steigendem sozialen Status. In Anlehnung an den „Trophiestufeneffekt“ sollten bei Individuen höheren Standes auch höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte zu erwarten sein. (Abbildung modifiziert nach www.brydesworld.fateback.com/magate/ma_texte/lehenspyramide.gif).

Auf jeder Trophiestufe geht jedoch ein Großteil der Energie verloren. Die trophische Effizienz, also der zur nächsten Stufe weitergegebene in Biomasse gespeicherte Energiegehalt, beträgt nur 10 %. Demnach nimmt die Energie, die jeder Ebene zur Verfügung steht exponentiell ab. Dadurch ist die Nahrungskette in ihrer Länge eingeschränkt. Aus 100 kg Pflanzenmasse können so 10 kg Herbivoren- und 1 kg Carnivoren-Biomasse entstehen (Campbell 1997). Je höher also die Trophiestufe der Nahrung, desto energieintensiver und desto teurer. Die Ernährung kann somit potentiell Aufschlüsse über die gesellschaftliche Position geben (Le Huray & Schutkowski 2005; Privat et al. 2002). Eine teure, da energieintensivere Ernährung mit tierischen Proteinen war im Mittelalter vermutlich vor allem reichen und höher gestellten Personen vorbehalten. Daher sollten in Anlehnung an den „Trophiestufeneffekt“ bei Individuen höheren sozialen Status' auch tendenziell höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte zu erwarten sein (Abb. 2.2). Der Abstand wird

¹⁰ Die Lebenspyramide beschreibt den Aufbau der Herrschaftsstrukturen des mittelalterlichen Feudalstaates. Die mittelalterliche Gesellschaft Europas gliederte sich in mehrere Stände. Stände sind gesellschaftliche Gruppen, die durch rechtliche Bestimmungen (Vorrechte oder Benachteiligungen) klar voneinander abgetrennt sind. Der Herrscher steht an der Spitze, gefolgt von Adeligen und Fürsten über Krieger bis hin zu Bauern und Unfreien (Borst 1983). Das Ständesystem war ein gesellschaftliches Ordnungsmodell das einen Ursprung zwar im frühen Mittelalter hat, dessen Ausprägung aber noch nicht in der dargestellten Form gegeben war (Borst 1983). Daher wird hier von „Status“ gesprochen.

vermutlich keine ganze Trophiestufe betragen, da die Ernährung des Menschen für gewöhnlich aus einer Mischkost aus pflanzlicher und tierischer Nahrung besteht. Es wird jedoch eine hypothetische Erhöhung der Werte der sozial höher gestellten Individuen um 1-2 ‰ angenommen.

2.3.2 Einteilung der „Friedhofsklassen“

Die Gräber innerhalb der Bestattungsplätze wurden für die anthropologische Auswertung in vier verschiedene Kategorien eingeteilt. Diese richteten zum einen nach der Friedhofsstruktur, zum anderen nach den Beigaben. Bei den Friedhöfen Etting und Großmehring richtet sich die Einteilung nach der Friedhofsstruktur und der Qualität der Beigaben, in Kelheim nur nach der Friedhofsstruktur, da Beigaben fehlen und in Bruckmühl wurde die Klassifizierung anhand der Beigaben vorgenommen, da eine Friedhofsstruktur nicht eindeutig erkennbar war (Abb. 2.3).

In Etting, Großmehring und Kelheim bietet sich in Anlehnung an die Friedhofsstruktur eine Dreiteilung an. Die Klassifizierung in „Zentralgräber“, „Kreisgraben“ und „Grabreihen“ erfolgte in absteigender Qualität, die zum Separatfriedhof Großmehring B3 gehörenden Gräberfelder B1, B2 und B4 wurden als „Reihengräberfeld“ klassifiziert. Die Gräber in Bruckmühl wurden analog dazu in „Beigaben“, „Ostteil“ und „Westteil“ unterteilt (Czermak et al. 2009; Czermak & Ledderose 2004; Czermak et al. 2006b).

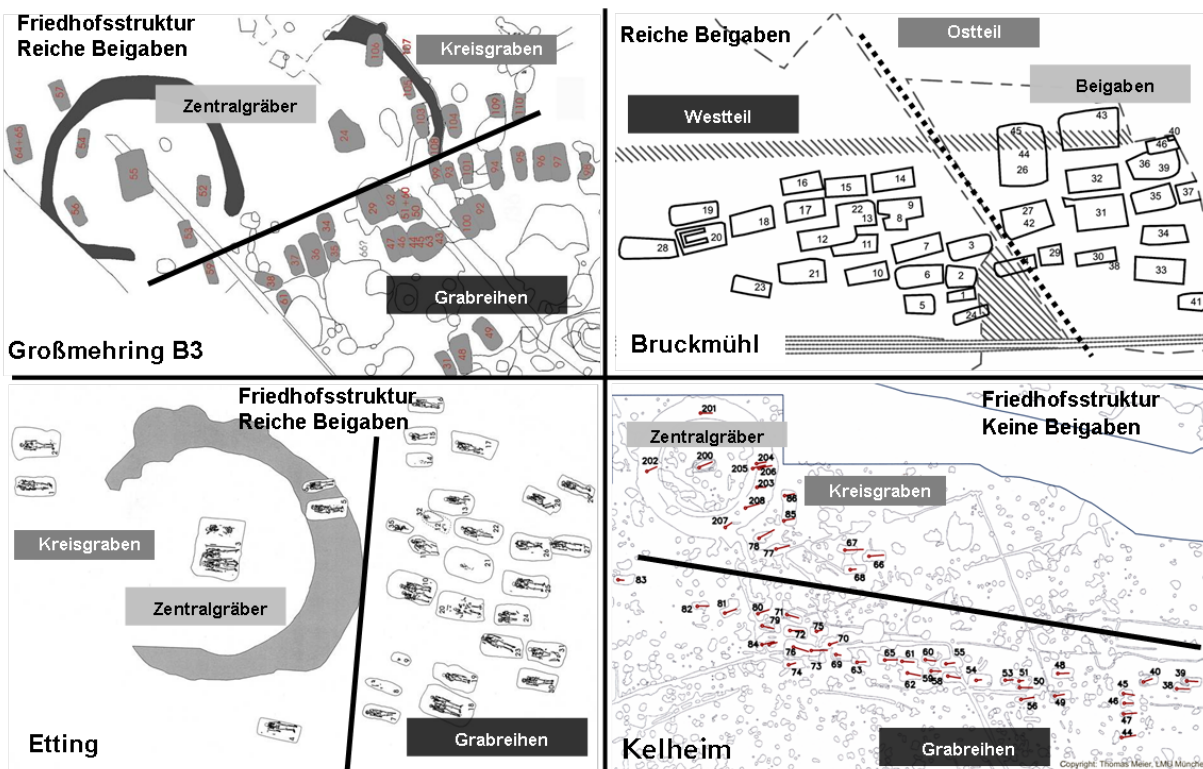


Abb. 2.3: Einteilung der Separatfriedhöfe in die verschiedenen Friedhofsklassen. Die Einteilung erfolgte innerhalb der Separatfriedhöfe in drei Klassen (Qualität absteigend): Zentralgräber, Kreisgraben und Grabreihen, in Bruckmühl analog dazu Beigaben, Ostteil und Westteil.

2.4 Ziele der Arbeit

Die Frage nach sozialen Unterschieden innerhalb von historischen Populationen ist ein zentraler Forschungsgegenstand der Archäologie. Mittels naturwissenschaftlicher Methoden wurde in der vorliegenden Arbeit versucht, Antworten auf diese archäologische und historische Fragestellung zu finden. Biologische Indikatoren sollten auf mögliche Korrelationen mit Status und/oder Rangordnungen und deren Anwendbarkeit für den Nachweis von sozialem Stand einzelner Individuen oder ganzer Gruppen untersucht werden. Dabei wurden klassische anthropologische Methoden verwendet und mit modernen Labormethoden kombiniert, um ein valides demographisches Profil, den Grad der physischen Belastung und den Anteil tierischer Proteine in der Nahrung zu rekonstruieren. Für die Auswertung der Daten erfolgte eine Einteilung der Individuen in soziale Gruppen. Diese Einteilung richtete sich nach archäologischen Parametern wie Beigabenausstattung und/oder Friedhofsstruktur. Die Daten der Separatfriedhöfe im südbayerischen Raum sollten untereinander verglichen und dem Reihengräberfeld gegenübergestellt werden. Die Ergebnisse dieser umfangreichen biologischen Analysen wurden wiederum mit den archäologischen Befunden (Ledderose 2006) verglichen und gemeinsam diskutiert, um ein möglichst vollständiges Bild der Alltagsgeschichte im frühen Mittelalter zu erhalten.

Für die histologische Analyse des Zahnzementes zur chronologischen Altersbestimmung wurde zusätzlich ein automatisiertes Zählprogramm entwickelt, um das Verfahren zu vereinfachen, zu beschleunigen und die Ergebnisse reproduzierbar zu machen (Czermak et al. 2006a), da bisher kein automatisches Analysesystem existiert, welches die Zahnzementringe zuverlässig identifiziert und analysiert (Martin et al. 1998).

Es sollte ein zweckmäßiger Überblick und eine gründliche Zusammenfassung der gängigen Methoden und deren wissenschaftliche Hintergründe gegeben werden. Dabei wurde besonders darauf geachtet, nach Möglichkeit nur veröffentlichte Vergleichsdaten und „online“ zugängliche Literatur zu verwenden, um die Quellen allgemein nachvollziehbar zu halten. Nur in Ausnahmefällen werden Kataloge, Festschriften oder Diplomarbeiten zitiert. Darüber hinaus soll die vorliegende Arbeit insbesondere auch als Grundlage für eine gründliche methodische Auswertung von Skelettserien dienen.

3 Material (Fundorte)

In der Dissertation werden insgesamt fünf so genannte „Separatfriedhöfe“ und ein Reihengräberfeld untersucht. Die Bestattungsplätze wurden alle annähernd zeitgleich datiert (um 700 n. Chr.) und haben in etwa gleiche Individuenzahl und ähneln sich in Anordnung und Beigabenausstattung der Gräber. Die Grabung Großmehring erbrachte, neben einem separaten Friedhofsteil, ein nicht ganz vollständiges Reihengräberfeld und zwei weitere Bestattungsplätze. Großmehring bietet demnach eine einmalige Vergleichsmöglichkeit der potentiellen Herrscher-, bzw. Oberschicht mit sozial niedriger gestellten Personen desselben Kollektivs.

Die untersuchten und ausgewerteten Fundplätze liegen alle im Gebiet des heutigen Oberbayerns: Bruckmühl - Staatsstraße (Landkreis Rosenheim) im Alpenvorland, Enkering (Markt Kinding, Landkreis Eichstätt) in der Fränkischen Alb, Etting - Sandfeld (Stadt Ingolstadt) und Großmehring (Landkreis Ingolstadt) in Donaunähe. Der bereits von Strott (2006) untersuchte Separatfriedhof Kelheim – Kanal I (Landkreis Kelheim, Niederbayern) befand sich ebenfalls in Donaunähe, daher wurden die Daten in die Auswertung miteinbezogen (Abb. 3.1).

Die Landschaft zwischen Donau und Altmühl ist durch besonders vorteilhafte Böden gekennzeichnet, die zu allen vor- und frühgeschichtlichen Zeiten bevorzugt besiedelt wurden (Rieder 1993). Die Schotterflächen der risszeitlichen Hochterrassen, die überwiegend von lößhaltigen, sandigen Lehmen bedeckt sind, bieten günstige Voraussetzungen für Ackerbau (Jerz 1995; Krämer 1970; LFUBayern 1973). Eine Rohstoffquelle von wichtiger wirtschaftlicher Bedeutung ist seit keltischer Zeit Eisenerz, das in den Talauen der Donau um Ingolstadt in größeren Mengen abgebaut werden konnte (Krämer 1970 S. 20). Wie einige Grabungen zeigen, ist eine umfangreiche Eisenverarbeitung in der Region, vor allem für das 7. und 8. Jahrhundert anzunehmen (Riedel 1995, 223f; Rieder 1993, 144).

Das glazial geformte Alpenvorland ist spätestens seit dem Jungneolithikum (ab 4500 v. Chr.) besiedelt. Siedlungsfunde können für die Bronzezeit (2000-1600 v. Chr.), Urnenfelderzeit (1200-800 v. Chr.) und Hallstattzeit (800-500 v. Chr.) und die Römerzeit (ab Mitte 1. Jhd n. Chr.) nachgewiesen werden (Suhr & Fehr 2007). Erste größere Rodungen der ursprünglich bewaldeten Region fanden durch die Kelten etwa 500 v. Chr. statt. Durch die Römer wurden ausgedehnte Flächen gerodet und für den Getreideanbau kultiviert. Ein Großteil der Rodungen, die die heutige Wald-Feld-Verteilung in ihren Grundzügen formte, fällt in den Zeitraum von den Völkerwanderungen bis in das von Klöstern geprägte Früh- und Hochmittelalter (www.lfu.bayern.de 1997). Aufgrund der naturräumlichen Gegebenheiten und der Bodenqualität wurde vermutlich schon zu damaliger Zeit extensive Weidewirtschaft und Milchviehhaltung betrieben (Abel 1962). (Für eine genauere topographische Beschreibung der Fundplätze siehe Ledderose 2006, Meier 2007 und Suhr & Fehr 2007).

3.1 Kelheim - Kanal I (Keh)

Kelheim-Kanal I liegt im Mündungsgebiet der Altmühl, die von Nordwesten in die Donau fließt. Im Zeitraum zwischen 1976 und 1982 wurde im Zuge der Baumaßnahmen der letzten Teilstrecke des Rhein-Main-Donau-Kanals eine große archäologische Flächengrabung (ca. 6,12 ha) im Kelheimer Becken durchgeführt. Das hier ausgewertete Gräberfeld mit Kreisgraben, Zentralgrab und einer südöstlich anschließenden Gruppe von 44 Gräbern wurde 1977 am Nordrand der Südost-Siedlung archäologisch untersucht (Eibl & Meier 2006; Meier 2007). Es zeichnet sich eine Kontinuität in der Besiedlung des Kleinraums seit dem späten 4. Jahrhundert n. Chr. ab, obgleich es mehrfach zu einer Verlagerung der Siedlungsstelle kam. Der Kreisgraben und die zugehörige Gräbergruppe wurden dem 8. Jahrhundert zugewiesen (Meier 2007).

Dieser Bestattungsplatz wurde bereits von Strott (2006) untersucht. Die Originaldaten der Isotopenanalysen und der morphologischen Untersuchungen wurden in die hier vorgenommenen Auswertungen mit einbezogen.



Abb. 3.1: Geographische Lage der Fundorte.
(Kartengrundlage: (www.geodaten.bayern.de 2008)
(www.weltkarte.com/europa/deutschlandkarten 2008)

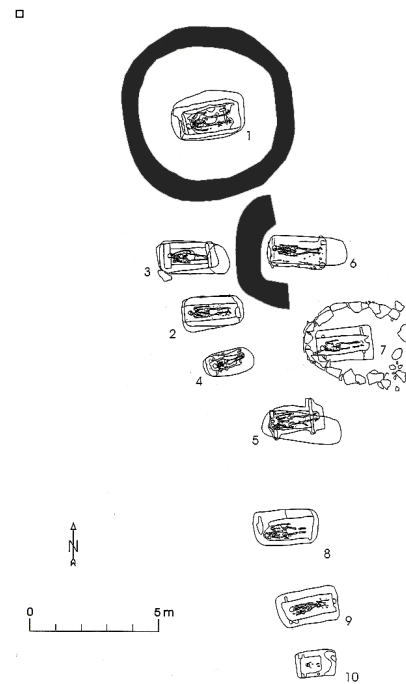


Abb. 3.1: Schematischer Plan des Separatfriedhofs
Enkering. (Gräberfeldplan modifiziert nach Ledderose
2007)

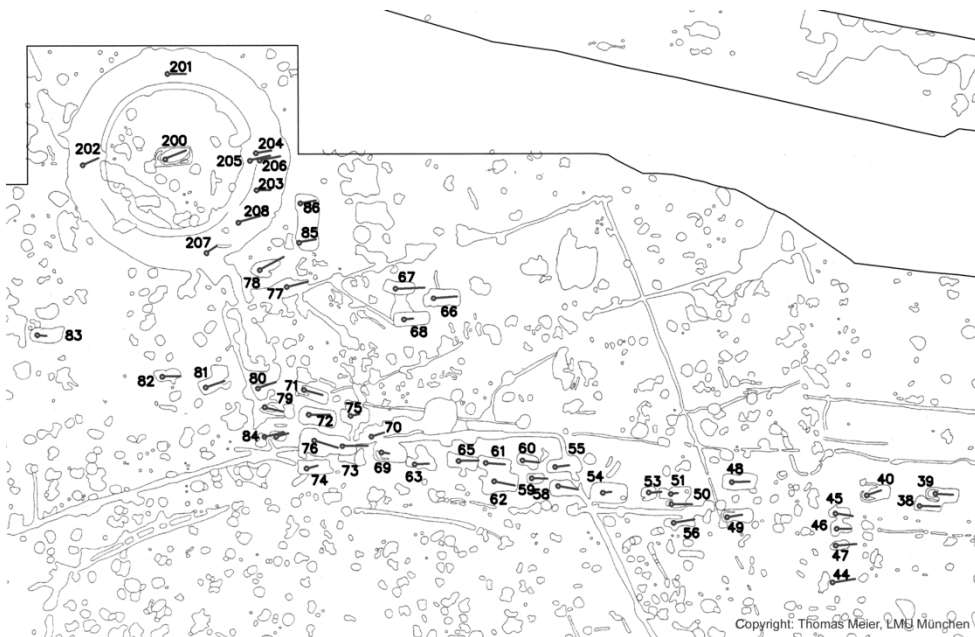


Abb. 3.3:
Gräberfeldplan
des
Separatfriedhofs
Kelheim-Kanal I.
(Mit freundlicher
Genehmigung
von Prof. Dr.
Thomas Meier)

3.2 Enkering – Mauergarten (Enk)

In Enkering, Markt Kinding, Landkreis Eichstätt wurde beim Anlegen eines neuen Friedhofes ein kleiner merowingerzeitlicher Bestattungsplatz mit 10 Gräbern entdeckt. Ein Grab befand sich innerhalb eines Kreisgrabens (Grab 1), für zwei weitere Gräber wurden Steineinfassungen angelegt (Grab 6 und 7). Jedes dieser Gräber war mit reichen Beigaben (Schwerter, Sporen und Messer) ausgestattet. Für eine zugehörige Siedlung gibt es hier keine Hinweise. Seiner verkehrsgeographischen Lage nach ist der Bestattungsplatz in ein schon seit vorgeschichtlicher Zeit bestehendes Wegesystem eingebunden, das eine günstige Überquerung der fränkischen Alb ermöglichte (für genauere Beschreibung des Fundplatzes: siehe Ledderose 2006). Aufgrund der geringen Individuenzahl konnte dieser Bestattungsplatz bei den meisten Auswertungen nicht mit berücksichtigt werden.

3.3 Bruckmühl (Brm)

Im Juni 2003 wurden der bei Bauarbeiten an der Kreuzung der Staatsstraße 2078 mit der Gemeindestraße frühmittelalterliche Gräber entdeckt und im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege ausgegraben (Abb. 3.4). Es wurden 46 Gräber in 25 Grabgruben gefunden. Davon waren 32 Gräber Beigaben führend, einige davon sehr reich ausgestattet, wie die Frauengräber 31, 32, 33 und 35, sowie das Kriegergrab 34 und das geplünderte Grab 43. Der Bestattungsort wurde auf die späte Merowingerzeit (ca. 650-720 n. Chr.) datiert. Auffällig ist auch hier eine Zweiteilung des Friedhofs, mit einem beigabenlosen oder spärlich ausgestatteten Westteil und einem sehr reichen Ostteil. Einige Individuen wurden mit ortsfremden Grabbeigaben bestattet (Gräber 31, 33, 34 und 35). Möglicherweise befinden sich weitere Gräber östlich des Friedhofs (Suhr & Fehr 2007). Der Friedhof Bruckmühl wurde nachträglich in die Dissertation aufgenommen, da die Befunde des Bestattungsortes sowohl thematisch und als auch zeitlich zum Thema passen (genaue Beschreibung des Fundplatzes: siehe Suhr & Fehr 2007).

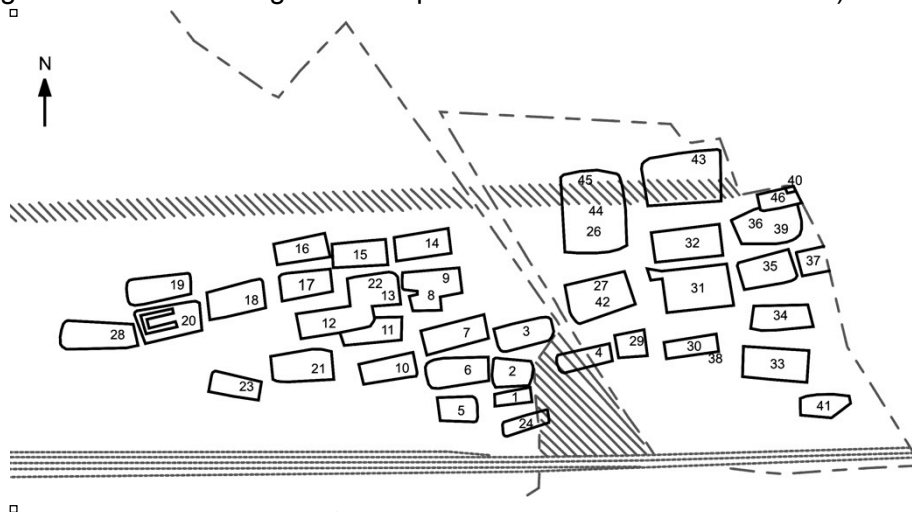


Abb. 3.4:
Schematischer Plan
des Bestattungs-
platzes Bruckmühl.
(Gräberfeldplan
modifiziert nach Suhr
& Fehr 2007).

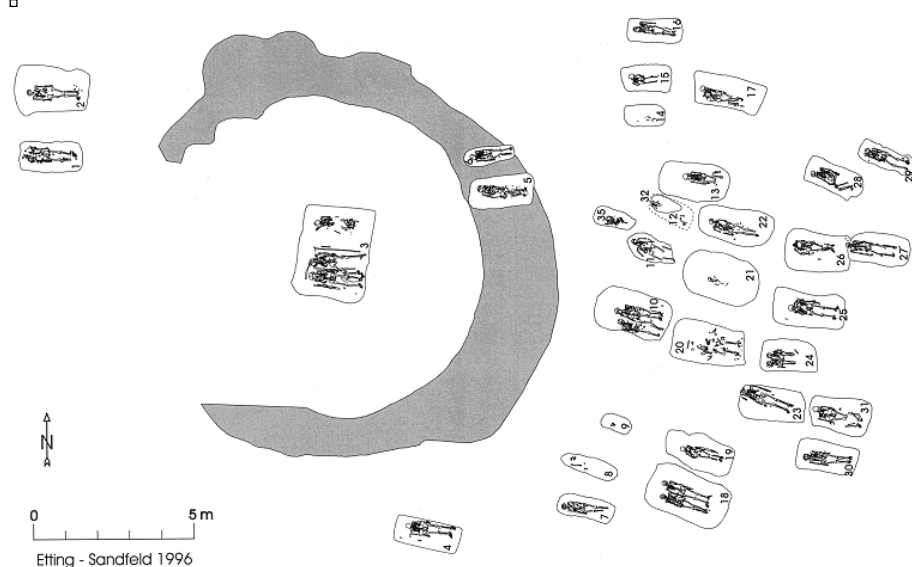


Abb. 3.5:
Schematischer Plan
des Separatfriedhofs
Etting.
(Gräberfeldplan
modifiziert nach
Ledderose 2006).

3.4 Ingolstadt

In den späten neunziger Jahren fanden im Vorfeld zahlreicher Baumaßnahmen in der Umgebung von Ingolstadt großflächige archäologische Untersuchungen durch das Bayerische Landesamt für Denkmalpflege statt. Hierzu gehören die Grabungen von Etting-Sandfeld (Stadt Ingolstadt) und Großmehring (Landkreis Ingolstadt), die zahlreiches spät- und endmerowingerzeitliches Material erbrachten (genauere Beschreibung der Fundplätze: siehe Ledderose 2006).

3.4.1 Etting – Sandfeld (Ett)

Auf dem Friedhof von Etting-Sandfeld (Abb. 3.5) konnten 31 Grabgruben mit 37 menschlichen Individuen, davon vier Doppelgräber (3A/B, 18, 10, 24) und einer Hundebestattung (Grab 35) nachgewiesen werden. Im Westen des Friedhofs lag ein Kreisgraben mit einem zentralen Grab (3A/B und C), die dort bestatteten Männer trugen als Beigaben Schwerter und Sporen, Attribute berittener Krieger. Die Gräber 18 und 19 ähneln dieser Konstellation. Zwei bedeutende Fundstücke sind hier ein Trinkhorn aus dem großbritannisch-irischen Raum (Grab 3B) und eine Fibel mit christlichen Motiven (Grab 10/2), die bislang nur einmal in ähnlicher Ausführung in einem Gräberfeld bei München-Giesing gefunden wurde.

Die günstige Verkehrs- und Siedlungslage des Platzes war zweifellos schon in römischer Zeit ausschlaggebend für die Errichtung einer *villa rustica*, die in der Nähe des Bestattungsortes nachgewiesen wurde. In der Nähe der *villa rustica* konnte eine vermutlich zum Gräberfeld zugehörige Siedlung nachgewiesen werden (Ledderose 2006).

3.4.2 Großmehring (Grm)

Das Gebiet liegt auf dem fruchtbaren Hochufer über dem Tal der Donau. Auch hier sind zahlreiche Siedlungsspuren dokumentiert (*villa rustica*, Hausgrundrisse). In Großmehring war vermutlich ebenfalls die verkehrsgünstige Lage ausschlaggebend für die verstärkte Besiedelung. Von besonderer Bedeutung ist hier der Donauübergang¹¹, der vermutlich römischen oder sogar vorgeschichtlichen Ursprungs sein könnte.

Die weitläufige Fundstelle Großmehring (Abb. 3.7) erbrachte insgesamt 158 Individuen die in vier Areale unterteilt werden können. Die gesamte Fläche erbrachte einen separaten Friedhofsteil mit zwei Kreisgräben (Bestattungsplatz 3, Abb. 3.6) ein annähernd zeitgleiches Reihengräberfeld (Bestattungsplatz 2), einige etwas später datierte Hofgrablegen (Bestattungsplatz 4) und ein etwas früher datiertes, zweigeteiltes Bestattungsareal (Bestattungsplatz 1). Die Beigabenausstattung der Separatgrablege ähnelt denen der anderen Separatfriedhöfe, während die Individuen der Reihengräber überwiegend ohne Beigaben bestattet wurden.



Abb. 3.6: Schematischer Plan des Separatfriedhofs Großmehring (Bestattungsplatz 3). (Gräberfeldplan modifiziert nach Ledderose 2006).

¹¹ Der Übergang soll nach der Überlieferung im Nibelungenlied bei (Groß)mehring bestanden haben: „*Dā ze Mæringen si wāren über kōmen*,...“ Nibelungenlied, Strophe 1591 (De Boor 2003). Die genaue Lage des Übergangs ist jedoch nicht bekannt (Rieder 1990, Ledderose 2007).

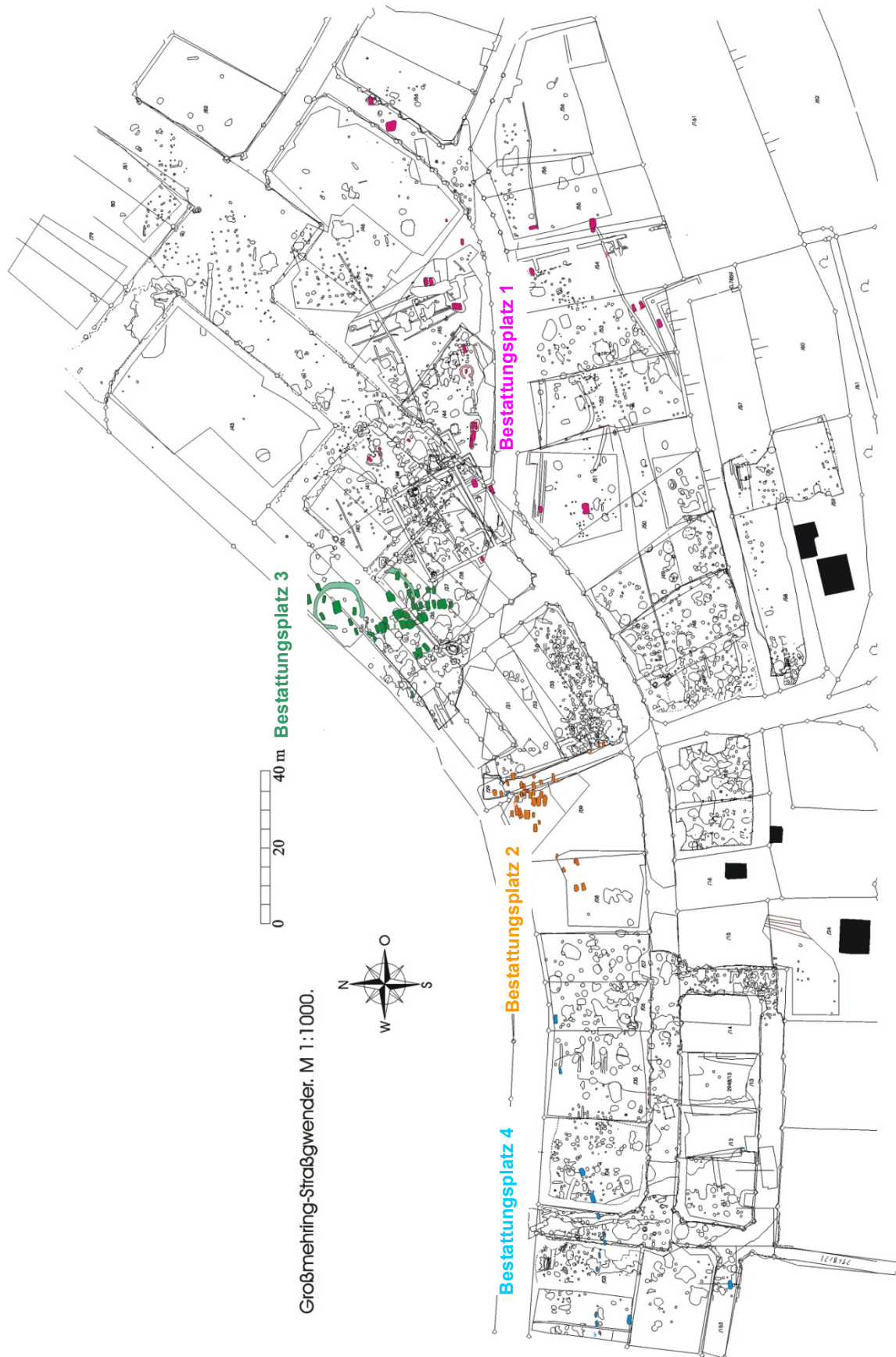


Abb. 3.7: **Grabungsplan Großmehring.** Gesamtübersicht der Bestattungsplätze 1-4. (Gräberfeldplan modifiziert nach Ledderose 2006)

4 Methoden

4.1 Morphologische Untersuchungen am Skelett

4.1.1 Waschen und Restaurieren

Das bodengelagerte Skelettmaterial musste zunächst von Sediment befreit werden. Die Skelettteile der Individuen wurden einzeln unter fließendem Wasser mit Handbürste, Zahnbürste und Präpariernadel in einem mit feinmaschigen Nylonnetzen ausgelegten Waschtrog gereinigt (Abb. 4.1A), anschließend auf Gitterrosten drei bis fünf Tage getrocknet (Abb. 4.1B) und nach dem Trocknen, soweit nötig und möglich, mit wasserlöslichem Ponal expressTM Holzleim restauriert. Auf die Bruchflächen der Knochenfragmente wurde dabei beidseitig unverdünnter Leim aufgetragen und die Klebestelle mit TesaTM Kreppklebeband fixiert (Herrmann et al. 1990).



Abb. 4.1: Vorbehandlung des Skelettmaterials. (A) Waschen der Skelette. Die einzelnen Skeletteile wurden unter fließendem Wasser mit einer Hand- oder Zahnbürste von Sediment befreit. (B) Trocknen der Skelette. Auf Gitterrosten trocknen die Skelettelemente etwa 3-5 Tage.

4.1.2 Bestimmung des Repräsentanzgrades der Skelette

Zu Beginn der Untersuchungen am Skelett wurde zunächst die Individualität geprüft. Anhand der Passform der Gelenke und Bruchkanten, der allgemeinen Robustizität und der Ausprägung von Größenmerkmalen kann festgestellt werden, ob die Skeletteile zu einem einzigen Individuum gehören (Rösing et al. 2005a).

Für die repräsentative Befunderhebung der Gräberkollektive wurde der Erhaltungsgrad der Skelette bestimmt. Der Gesamtzustand des Knochenmaterials eines Individuums wurde in 5 Repräsentanzgrade eingeteilt (Tab. 4.1).

(1) Sehr gut	Das Skelett ist annähernd vollständig vorhanden
(2) Gut:	Alle oder fast alle Knochen des Skeletts sind vorhanden, wobei von jedem einzelnen Knochen mehr als die Hälfte erhalten ist.
(3) Mittel:	Mindestens ein Drittel der Knochen eines Skelettes sind gut erkennbar, die Gelenkflächen sind gut erhalten.
(4) Schlecht:	Weniger als ein Drittel der Knochen eines Skeletts sind in identifizierbaren Bruchstücken vorhanden, die Gelenkflächen sind schlecht erhalten.
(5) Sehr schlecht	Kaum auswertbares Material, wie Reste der Langknochen, Schädelfragmente, einzelne Gelenkflächen sind erhalten.

Tab. 4.1: Einteilung des Repräsentanzgrades. Die Bestimmung des Erhaltungsgrades wurde aus einer Diplomarbeit übernommen (Bergner 1995), modifiziert und erweitert.

4.1.3 Geschlechtsbestimmung

Geschlechts- und morphologische Altersbestimmung am Skelett erfolgten gemeinsam, da sich die beiden Diagnosen aufgrund geschlechtsabhängiger Altersindikatoren und altersabhängiger Geschlechtsindikatoren gegenseitig bedingen können. So zeigt sich bei Männern eine endgültige Ausprägung der relevanten Merkmale oft erst in der mittel- bis spätadulten Lebensphase, bei Frauen kann eine Vermännlichung der Merkmale aufgrund der hormonellen Umstellung nach der Menopause erfolgen (Herrmann et al. 1990).

Erwachsene Individuen

Bei der morphologischen Geschlechtsbestimmung wurden der Gesamteindruck des Skelettes und die wichtigsten signifikanten Merkmale an Becken und Schädel überprüft. Alle untersuchten Merkmale wurden in fünf Kategorien eingeteilt (Tab. 4.2). Die am häufigsten vorkommende Kategorie führte zur endgültigen Geschlechtsdiagnose. Bei der Auswertung der Ergebnisse aus den weiteren Untersuchungen wurden die Kategorien „eher männlich“ und „männlich“, sowie die Kategorien „eher weiblich“ und „weiblich“ zu jeweils einer Kategorie zusammengefasst.

Becken:

Die Zuverlässigkeit einer morphologischen Geschlechtsdiagnose am Becken liegt bei 90-95% (Herrmann et al. 1990). Dort zeigt sich aufgrund der biologisch unterschiedlichen Funktion der deutlichste Geschlechtsunterschied, da das weibliche Becken in Form- und Größenmerkmalen an die Reproduktionsvorgänge angepasst ist (Acsádi & Nemeskéri 1970; Bruzek 2002; Herrmann et al. 1990; Rösing et al. 2005b; Sjøvold 1988; Steyn et al. 2004). Die morphologischen Merkmale des Beckens wurden deshalb am stärksten gewichtet. Die untersuchten Merkmale sind in Abb. 4.2 dargestellt, die Gewichtung der Merkmale erfolgte nach Steyn et al. (2004) (Tab. 4.3).

Unterhalb der *Facies auricularis* kann ein so genannter *Sulcus praeauricularis* erkennbar sein. Im weiblichen Becken spricht diese Erscheinung für eine stattgefundene Schwangerschaft und / oder Geburt. Die Bänder der Beckengelenke können, obwohl aufgrund der Hormonumstellung während der Schwangerschaft ein Erweichen der Bänder erfolgt, an der Anhaftstelle am Knochen während des Geburtsvorganges einreißen. Eine aktive Resorption des Knochens durch Osteoklasten neben den Anhaftstellen der Bänder führt zur Bildung einer Eintiefung (*Sulcus*) (Houghton 1974). Auch die Ausbildung von Exostosen und zapfenartigen Verformungen des *Tuberculum pubicum* auf der *Facies anterior* und eine vermehrte Grubenbildung auf der *Facies posterior* entlang der Schambeinsymphyse können geburtsbedingt sein (Herrmann et al. 1990; Sjøvold 1988). Außerdem können Gruben in der sonst seichten Furche des *Sulcus praeauricularis* als geburtstraumatische Veränderungen aufgefasst werden (Houghton 1974; Sjøvold 1988).

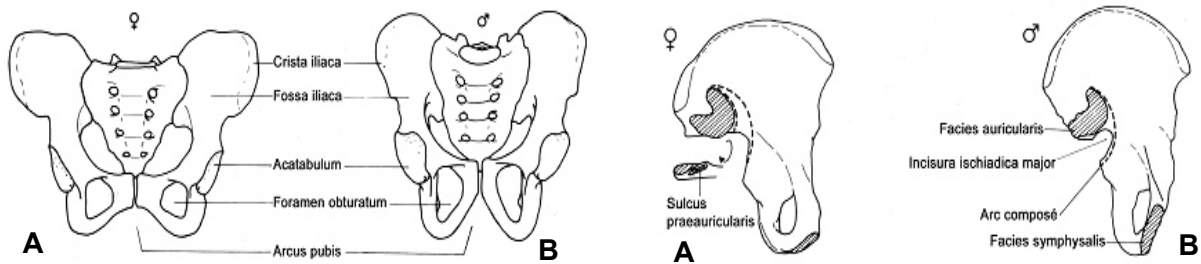


Abb. 4.2: Geschlechtsunterschiede am Becken, (A) weiblich, (B) männlich (nach Herrmann et al. 1990).

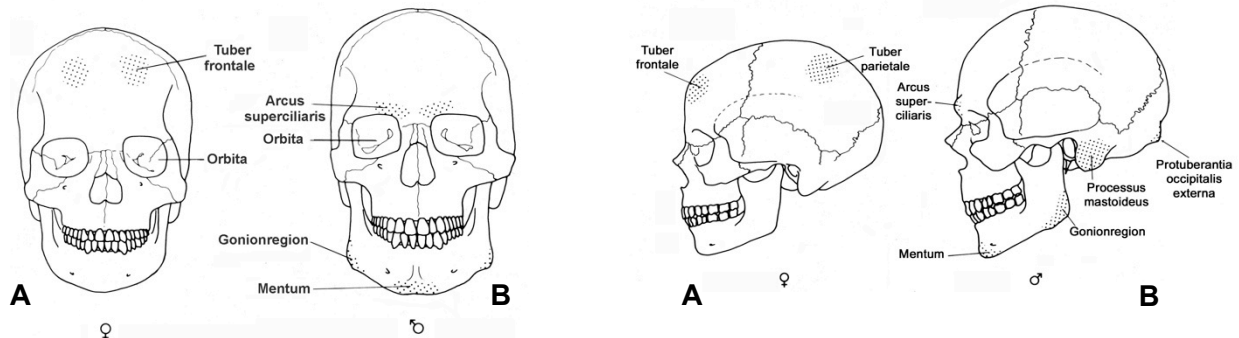


Abb. 4.3: Geschlechtsunterschiede am Schädel, (A) weiblich, (B) männlich (nach Herrmann et al. 1990).

Männlich	M
Eher männlich	m
Nicht bestimmbar	X
Eher weiblich	w
Weiblich	W

Tab. 4.2: Kategorien der Geschlechtsbestimmung. Es wird unterschieden in „eindeutig männlich“ (M), „eindeutig weiblich“ (W), „eher männlich“ (m), „eher weiblich“ (w) und „nicht bestimmbar“ (X), wobei nicht vorhandene Merkmale und Merkmale die keiner anderen Kategorie eindeutig zuzuordnen waren als „nicht bestimmbar“ gewertet wurden.

Merkmal	Frauen	Männer
Gesamtaspekt	breiter niedriger	schmäler höher
Beckeneingang	queroval	herzförmig
Incisura ischiadica major**	weit	eng
Sulcus praeauricularis**	tief eingefurcht	flach bis fehlend
Arc compositus***	doppelter Bogen	einfacher Bogen
Angulus pubis****	weit	eng
Foramen obturatum**	geringere S-Krümmung	stärkere S-Krümmung
Acetabulum**	kleiner, lateral gelegen	größer, anterolateral

Tab. 4.3: Geschlechtsdifferente Merkmale am Becken. Ausprägung der untersuchten Merkmale, geordnet nach diagnostischem Wert (Bruzek 2002; Herrmann et al. 1990; Sjøvold 1988), Gewichtungsziffern (*) nach Steyn et al. 2004 und Rösing et al. 2005b, höhere Anzahl bedeutet höhere Gewichtung.

Merkmal	Frauen	Männer
Cranium		
Gesamteindruck	leichter, kleiner	größer, schweren
Glabella und Arcus superciliaris ***	nicht prominent, fließender Übergang zur Nasenwurzel	prominent, gegen die Nasenwurzel abgesetzt
Orbitaform **	rund, hoch	rechteckig, niedrig
Protuberantia occipitalis externa	wenig ausgeprägt	abgesetzt, gelegentlich zapfenartig ausgezogen
Processus mastoideus **	klein, schmale Basis	voluminös, breite Basis
Stirnneigung **	gerundet, eher steil	eher fliehend
Mandibula		
Gesamteindruck	grazil	eher kräftig
Mentum mandibulae *	klein, gerundet, glatt	kräftig, oft dreieckig
Gonion	glatt	rauh, seitlich ausgezogen

Tab. 4.4: Geschlechtsdifferente Merkmale am Schädel. Ausprägung der untersuchten Merkmale, geordnet nach diagnostischem Wert (Acsádi & Nemeskéri 1970; Herrmann et al. 1990; Sjøvold 1988), Gewichtungsziffern (*) nach Steyn et al. 2004 und Rösing et al. 2005b, höhere Anzahl bedeutet höhere Gewichtung.

Schädel:

Bei der Untersuchung der Geschlechtsunterschiede am Schädel ist die Variabilität innerhalb der Population zu beachten. Der Schädel des Mannes ist gegenüber dem weiblichen Schädel im Allgemeinen größer und schwerer, mit stärker ausgeprägten Einzelmerkmalen und stärker markierten Muskelansätzen (Acsádi & Nemeskéri 1970; Herrmann et al. 1990; Sjøvold 1988; Steyn et al. 2004). Die untersuchten Merkmale werden in Abb. 4.3 dargestellt, die Gewichtung der Merkmale erfolgte nach Steyn et al. (2004) (Tab. 4.4).

Meatus acusticus internus (M.a.i.):

Bei sehr schlechtem Erhaltungszustand, besonders des Beckens, wurde das Geschlecht zusätzlich anhand der Krümmung des lateralen Winkels des *meatus acusticus internus* bestimmt. Dieser beschreibt den Winkel des inneren auditorischen Kanals in Relation zur medialen Fläche des *pars petrosum* des *Os temporale* (Graw et al. 2005; Lynnerup et al. 2006; Norén et al. 2005; Rösing et al. 2005a).

Der *Meatus acusticus internus* (engl. *internal acoustic meatus* oder *internal auditory meatus*) ist ein Kanal im Felsenbein des *Os temporale* (Abb. 4.4). Die Öffnung, der *Porus acusticus internus* liegt im inneren der Schädelhöhle, nahe der Mitte der posterioren Fläche des *Os temporale*. Die Größe kann stark variieren. Der Kanal ist kurz (ca. 1 cm), und verläuft schräg in den Knochen. Durch ihn verlaufen *Nervus vestibulocochlearis* und *Nervus facialis* vom Inneren des Craniums zum Mittel- und Innenohr, ebenso andere, kleinere Nerven und Gefäße. Der *Nervus vestibulocochlearis* ist einer der zwölf Cranial-Nerven und teilt sich in den cochlearen- und den vestibularen Nerv. Er generiert die Übermittlung von Geräusch- und Gleichgewichtsinformationen vom Innenohr zum Gehirn (Lescanne et al. 2002).

Bei Männern steigt der *Meatus acusticus internus* in einem flachen Winkel von der *Facies posterior* in laterocaudale Richtung, bei Frauen ist der Winkel steiler (Graw et al. 2003). Ein kleiner Knochengrat am Eingang des *Meatus acusticus internus*, bei Frauen häufiger und ausgeprägter, kann auch ein Hinweis auf ein weibliches Individuum sein (Wahl 2004, pers. Mitteilung).

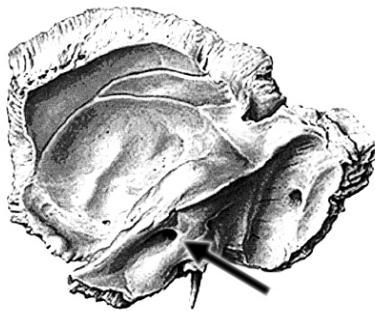


Abb. 4.4: Mediale Ansicht des rechten Os temporale mit dem Pars petrosum an der unteren Seite. Öffnung des *Meatus acusticus internus* (Pfeil) (Abbildung modifiziert nach Sobotta 1988 und Norén et al. 2005).

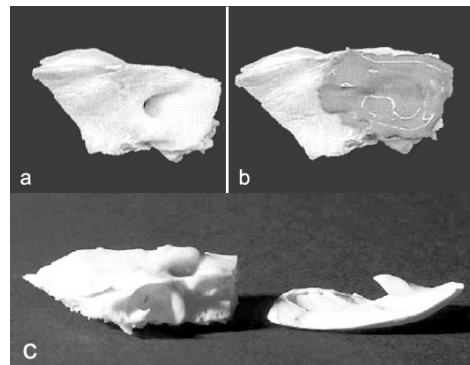


Abb. 4.5: Anwendung der Abdruck-Technik. (a) Felsenbein des linken *Os temporale*. (b) Das Abgussmaterial wird in den *Meatus acusticus internus* eingeführt und der Bereich um die Öffnung großzügig überschichtet (modifiziert nach Norén et al. 2005). (c) *Pars petrosum* (links), Abdruck (rechts) (Abbildungen modifiziert nach Graw et al. 2005).

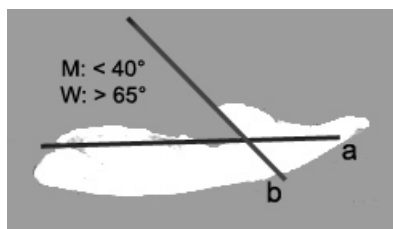


Abb. 4.6: Messung des lateralen Winkels mit Hilfslinien. Kopie einer Hälfte des Längsschnitts durch den Abdruck. Die Grundlinie verläuft entlang der unteren Fläche (a). Die zweite Linie wird entlang der inneren Kante gezogen (b). Dann kann der Winkel bestimmt werden. Winkel unter 40° sprechen für männliche, Winkel über 65° für weibliche Individuen (Abbildungen modifiziert nach Graw et al. 2005).

Vorgehensweise (nach Wahl, pers. Mitteilung 2004):

Der *Meatus acusticus internus* wird mit dem Abgussmaterial, eine Plastilinmasse oder additionsvernetzendes Silikon Abformmaterial (z.B. Affinis light body 6501, Fa. Coltene Whaledent), vollständig ausgefüllt und der Bereich um die Öffnung großzügig überschichtet. Wenn das Material ausgehärtet ist, wird der Abdruck vorsichtig abgelöst. Nach Anfertigung eines Längsschnittes durch den Abdruck, angesetzt an der lateralen Kante, wird der Winkel bestimmt (Abb. 4.5). Die Grundlinie ist entlang der unteren Fläche anzusetzen, die zweite Linie wird entlang der inneren Kante gezogen (Abb. 4.6). Bei Winkeln unter 40° ist von einem männlichen, bei Winkeln über 65° von einem weiblichen Individuum auszugehen. Diese Winkелеinteilung erlaubt eine rein „optische“ Begutachtung unter Feldbedingungen (Graw et al. 2003; Graw et al. 2005), ein Winkel von 45° ist als definitiver Trennwinkel anzusehen (Norén et al. 2005).

Subadulte Individuen

Das Geschlecht wurde bei Kindern vorrangig anhand des *Meatus acusticus internus* (M.a.i.) bestimmt (Graw et al. 2009). Zusätzlich wurden Becken und Mandibula untersucht (Abb. 4.7 und 4.8) (Norén et al. 2005; Schutkowski 1990; Schutkowski 1993). Wie bei erwachsenen Individuen wurden die Merkmale in Bestimmungskategorien eingeteilt, wobei aufgrund der geringen Anzahl der untersuchten Merkmale nur die drei Kategorien „eher männlich“, „nicht bestimmbar“ und „eher weiblich“ verwendet wurden.

Bei juvenilen Individuen, vor allem nach dem Einsetzen der Pubertät und der oft schon charakteristischen Ausprägungen geschlechtstypischer Merkmale, erfolgte die Beurteilung nach den Kriterien für erwachsene Individuen (Herrmann et al. 1990; Sjøvold 1988). Bei juvenilen Individuen mit noch schwach ausgeprägten Merkmalen wurde, wie bei den Kindern, der M.a.i. untersucht (Norén et al. 2005).

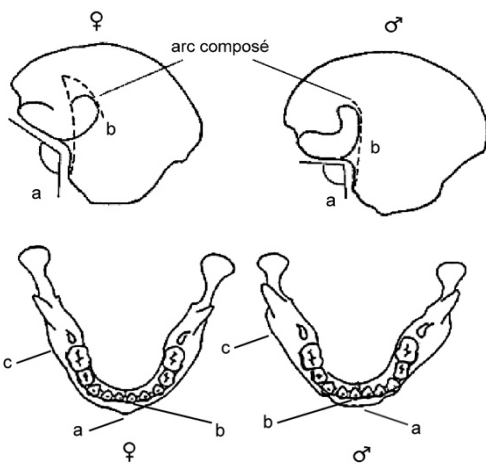


Abb. 4.7: Geschlechtsunterschiede am kindlichen Becken (*Os ilium*). (a) Winkel der *Incisura ischiadica major*: bei Knaben beträgt er ca. 90°, bei Mädchen ist er weiter (>90°); (b) *Arc composé* (gestrichelte Linie): beschreibt bei Knaben einen einfachen, bei Mädchen einen doppelten Bogen (Abbildung modifiziert nach Schutkowski 1990).

Abb. 4.8: Geschlechtsunterschiede der kindlichen Mandibula. (a) Kinnregion: bei Knaben eher kantig und in der Aufsicht eckig, bei Mädchen spitz und schmal (b) Form des Frontzahnbereiches: bei Mädchen gerundet, parabolisch, die Eckzähne treten nicht hervor, der Zahnbogen erscheint schmal; bei Knaben befinden sich die Alveolen der Frontzähne in einer Reihe, der Zahnbogen erscheint breit U-förmig. (c) Eversion der Gonionregion: Bei Knaben wirkt die Gonionregion massiver und stärker nach außen gekehrt (Abbildung modifiziert nach Schutkowski 1990).

4.1.4 Morphologische Bestimmung des Sterbealters

Adulte Individuen

Bei frühadulten und juvenilen Individuen wird das Alter vorrangig anhand der Ossifikationsmerkmale der Epi- und Apophysen bestimmt (Abb. 4.9). Da der Schädel meist gut erhalten war, wurde bei erwachsenen Individuen der Verknöcherungsgrad der drei großen Schädelnähte *Sutura coronalis*, *Sutura sagittalis* und *Sutura lambdoidea* untersucht. Da die Verknöcherung (*ektokraniale Obliteration*) in mehreren Stufen erfolgt, ist das Alter, je nach Grad der Verknöcherung am oberen oder unteren Ende der möglichen Zeitspanne einzuordnen (Abb. 4.10). Des Weiteren wurde, soweit vorhanden, das Relief der Schambeinsymphyse und der *Facies auricularis* untersucht (White 2000). Die Individuen werden, in zehn Altersklassen eingeteilt (Tab. 4.5), wobei bei der Auswertung der Ergebnisse aus den weiteren Untersuchungen meist nur die sechs Hauptaltersklassen verwendet wurden.

Haupt-Altersklasse	Altersklasse	Abkürzung	Jahre
Infans 1	Infans 1	I1	0-6
Infans 2	Infans 2	I2	7-12
Juvenilis	Juvenilis	J	13-18 (-20)
Adultas	Frühadult	fA	20-24
	Mitteladult	mA	25-31
	Spätadult	sA	32-38
	Frühmatur	fM	39-45
Maturitas	Mittelmatur	mM	46-52
	Spät matur	sM	53-59
Senilis	Senilis	S	60+

Tab. 4.5: Einteilung der Altersklassen
Sechs Hauptaltersklassen und zehn Unterklassen.

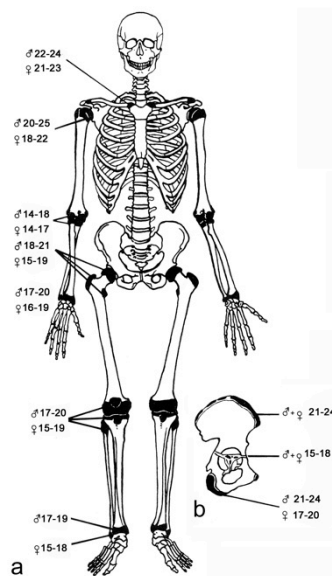


Abb. 4.9: Skelettelemente eines Jungerwachsenen (Juvenil-Frühadult, ca. 14-25 Jahre). (a) Vollständiges Skelett (frontal). Durchschnittliches Alter zum Zeitpunkt der Verknöcherung der Epi- und Apophysen. (b) Becken: Verwachsung der Epi- und Apophysen (Abbildung modifiziert nach White 2000).

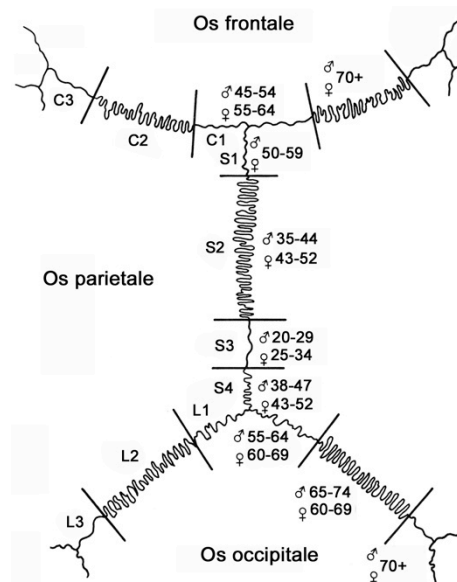


Abb. 4.10: Schädelnähte (schematische Darstellung) und durchschnittliche Altersspannen für die ektokraniale Obliteration bei Männern und Frauen. C = *Sutura coronaria*, S = *Sutura sagittalis*, L = *Sutura lambdoidea* (Abbildung modifiziert nach White 2000).

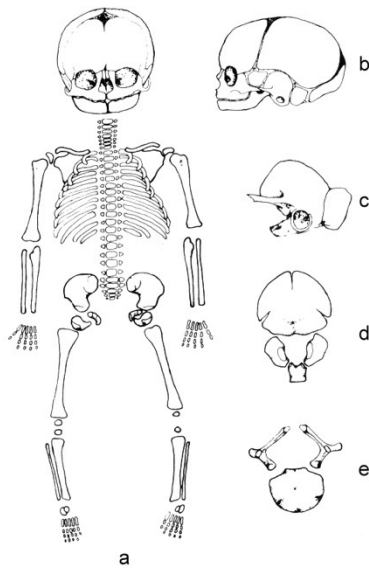


Abb. 4.11: Skelettelemente eines geburtsreifen Neugeborenen. (a) Vollständiges Skelett (frontal). Die Epiphysen am Kniegelenk, *Calcaneus* und *Talus* sind knöchern angelegt. (b) *Cranium* (lateral): *Fontanellen* offen. (c) *Os temporale*: Der *Annulus tympanicus* ist an die *Pars petrosa* angeschlossen. (d) *Os occipitale*: Liegt in vier Teilen vor (*Squama*, *Partes laterales*, *Pars basilaris*). (e) Wirbel: dreiteilig (*Corpus vertebrae*, *Arcus* zweiteilig) (nach Herrmann et al. 1990).

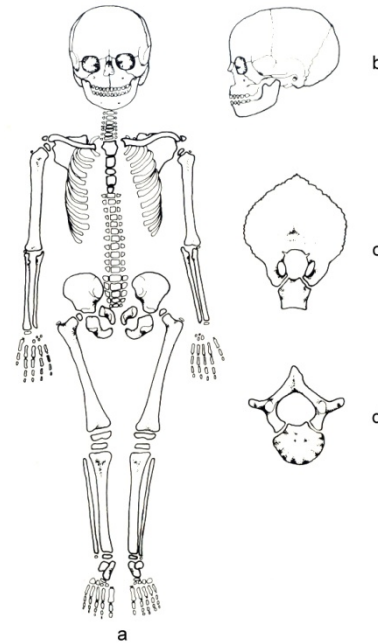


Abb. 4.12: Skelettelemente eines Kleinkindes (Infans I, ca. 3-4 Jahre). (a) Vollständiges Skelett (frontal). (b) *Cranium* (lateral): *Fontanellen* geschlossen (endgültiger Verschluss der kleinen *Fontanelle* mit ca. zwei Monaten, der großen mit ca. 2 Jahren). (c) *Os occipitale*: *Partes laterales* sind an die *Squama* angeschlossen, die *Pars basilaris* ist noch frei. (d) Wirbel: Die Hälften des *Arcus vertebrae* sind verbunden, der *Corpus* ist noch frei und weist radiäre Furchen auf (nach Herrmann et al. 1990).

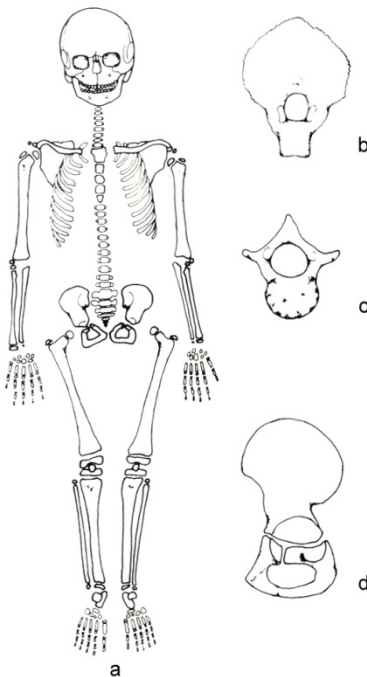


Abb. 4.13: Skelettelemente eines Kindes (Infans II, ca. 6-7 Jahre). (a) Vollständiges Skelett (frontal). (b) *Os occipitale*: Die *Pars basilaris* ist an das *Os occipitale* angeschlossen. (c) Wirbel: Wirbelkörper und Wirbelbogen sind miteinander verwachsen. Der Wirbelkörper hat ausgeprägte Radiärfurchen. (d) Becken: Schambein- und Sitzbeinast sind miteinander verwachsen, das *Acetabulum* ist noch dreiteilig (Abbildung modifiziert nach Herrmann et al. 1990).

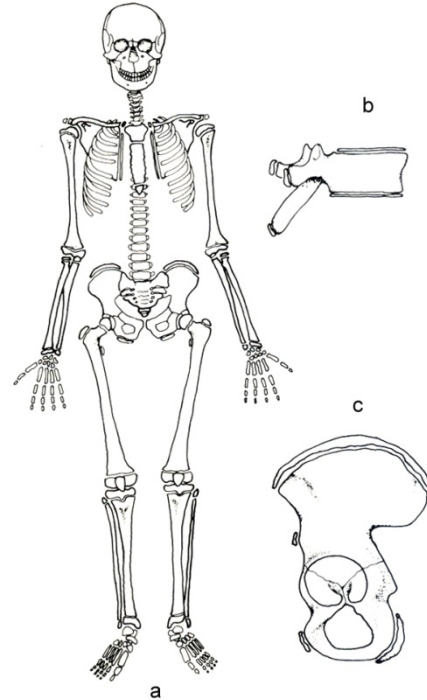


Abb. 4.14: Skelettelemente eines Jugendlichen (Juvenis, ca. 12-15 Jahre). (a) Vollständiges Skelett (frontal). Alle Epiphysen sind knöchern vorhanden und z. T. bereits angeschlossen (vgl. Abb. 4.9) (b) Wirbel: Deckplatten (*Apophysen*) sind knöchern angelegt. (c) Becken: *Os ilium*, *Os ischium* und *Os pubis* sind verwachsen, die Synostosenfuge ist im *Acetabulum* noch sichtbar. *Apophysen* am Beckenkamm und am Sitzbein sind knöchern angelegt (Abbildung modifiziert nach Herrmann et al. 1990).

Subadulte Individuen

Das Sterbealter von Säuglingen und Kleinkindern wurde anhand der Zahnentwicklung beurteilt (Abb. 4.15). Zusätzlich, und besonders bei Fehlen des Schädels bzw. der Zähne, wurde die Verknöcherung der Epiphysen untersucht (Abb. 4.11 und 4.12, Anatomie siehe Anhang). Ebenso erfolgte bei Kindern und Jugendlichen zusätzlich zum Zahnstatus eine Beurteilung der Ossifikationsmerkmale (Abb. 4.13, 4.14 und 4.9).

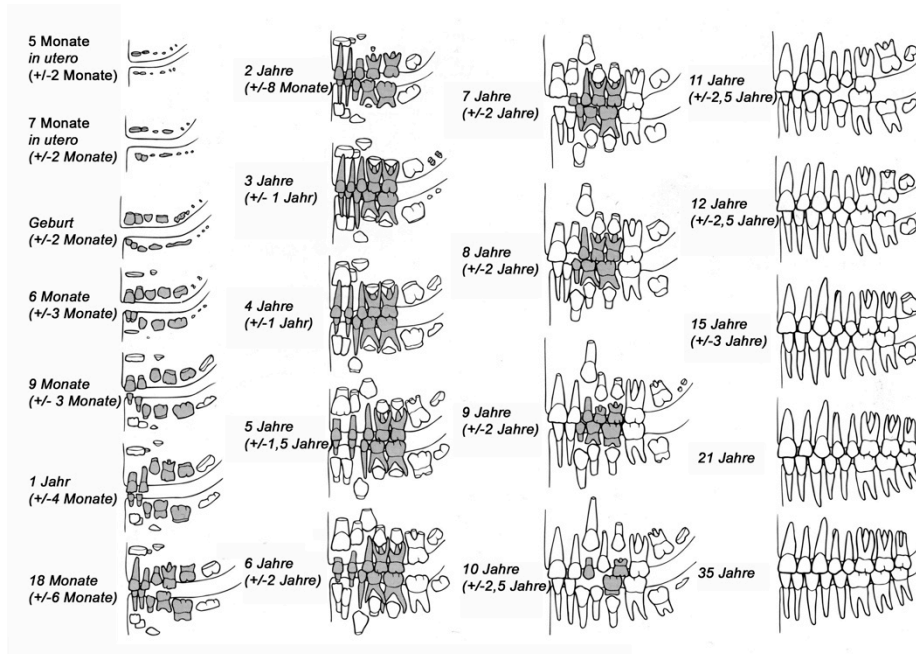


Abb. 4.15:
Schematische Darstellungen der Zahnentwicklung.
Buccale Ansicht des Kiefers, dunkel schattiert: Milchzähne, weiß: Dauerzähne (Abbildung modifiziert nach White 2000).

4.1.5 Degenerative Veränderungen

Anhand degenerativer Veränderungen lassen sich Aussagen über besonders starke oder häufige physische Belastung, Arbeitsbedingungen oder eventuelle Arbeitsteilung zwischen Männern und Frauen treffen. Deshalb wurden die Wirbelsäule und die großen Gelenke erwachsener Individuen auf degenerative Veränderungen untersucht. Anatomie und Beschreibung degenerativer Gelenksveränderungen siehe Anhang Kap. 1.3 und 1.4.

Wirbelsäule

Die Wirbelsäule wurde auf degenerative Veränderungen, wie Osteophytenbildung an Wirbelkörpern und -gelenken, Strukturveränderungen der Oberfläche, Höhenveränderungen der Wirbelkörper und Deckplatteneinbrüche (Schmorl'sche Knötchen) untersucht. Dabei wurden die Gelenkflächen und der Wirbelkörper jedes einzelnen Wirbels erfasst (Abb. 4.16). Die Veränderungen wurden in 6 Schweregrade (0 – 5) eingeteilt (Tab. 4.6). Da bei bodengelagertem Material die Wirbelsäule mit 24 Wirbeln häufig nicht vollständig vorhanden ist, wurde die Wirbelsäule für die statistische Auswertung der Ergebnisse in 8 Abschnitte zu je 3 Wirbeln gegliedert (Tab. 4.7). Für eine Wertung des Abschnittes mussten mindestens 2 Wirbel vollständig vorhanden sein. Der jeweils höchste Schweregrad pro Wirbelabschnitt wurde gewertet (Stloukal 1970).

Arthrosestufe	Arthrosestufe	Arthrosestufe
Gelenkfläche links	Wirbelkörper	Gelenkfläche rechts
Arthrosestufe	Arthrosestufe	Arthrosestufe

Abb. 4.16: Schema für die Begutachtung der einzelnen Wirbel. Berücksichtigt wurden die oberen und unteren Gelenkflächen und die obere und untere Deckplatte des Wirbelkörpers.

0	Gelenk/ Wirbelkörper nicht vorhanden/erkennbar
1	Gelenk/ Wirbelkörper ohne degenerative Veränderungen
2	Osteophyten bis 3 mm, Schmorlsche Knötchen
3	Osteophyten bis 7 mm
4	Osteophyten über 7 mm, mit Tendenz zur Blockbildung
5	Wirbel/Gelenkflächen, bei denen zwei benachbarte Wirbel/Gelenkflächen durch spondylotische Osteophyten zu einem Block verwachsen sind („Blockwirbel“)

Tab. 4.6: Einteilung der spondylotischen Veränderungen an den Deckplatten der Wirbelkörper in Stärkegrade (Stloukal 1970).

1	Obere Halswirbelsäule	C1-C3
2	Untere Halswirbelsäule	C4-C6
3	Cervico-thorakaler Übergang	C7-Th2
4	Obere Brustwirbelsäule	Th3-Th5
5	Mittlere Brustwirbelsäule	Th6-Th8
6	Untere Brustwirbelsäule	Th9-Th11
7	Thorako-lumbaler Übergang	Th12-L2
8	Untere Lendenwirbelsäule+Os sacrum	L3-L5+Os sacrum

Tab. 4.7: Einteilung der Wirbelsäulenabschnitte. Die Wirbelsäule wird in acht Abschnitte zu je drei Wirbeln untergliedert.

Große Gelenke

Die einzelnen Gelenkflächen von Schulter-, Ellenbogen-, Hand-, Hüft- und Fußgelenken jedes Skelettes werden auf das Vorhandensein von degenerativen Veränderungen untersucht und in Schweregrade eingeteilt (Tab. 4.8). Die höchste vorkommende Arthrosestufe aller zum Gelenk gehörenden Gelenkflächen wird gewertet (Stloukal & Vyhnánek 1975) (Schweregrade Tab. 4.9, Anatomie siehe Anhang Kap. 1.3).

Gelenk	Knochen	Gelenkfläche
Schultergelenk	<i>Scapula</i> <i>Humerus</i>	<i>Fossa articularis scapulae</i> <i>Caput humeri</i>
Ellenbogengelenk	<i>Humerus</i> <i>Ulna</i> <i>Radius</i>	<i>Trochlea humeri</i> <i>Capitulum humeri</i> <i>Incisura semilunaris</i> <i>Incisura radialis ulnae</i> <i>Fovea capituli radii</i> <i>Circumferentia articularis</i>
Proximales Handgelenk	<i>Radius</i> <i>Os naviculare</i> <i>Os lunatum</i> <i>Os triquetrum</i>	<i>Facies articularis carpica</i> Proximale Gelenkfläche Proximale Gelenkfläche Proximale Gelenkfläche
Hüftgelenk	<i>Pelvis</i> <i>Femur</i>	<i>Facies lunata</i> <i>Caput femoris</i>
Kniegelenk	<i>Femur</i> <i>Tibia</i> <i>Patella</i>	<i>Condylus tibialis femoris</i> <i>Condylus fibularis femoris</i> <i>Facies patellaris</i> <i>Facies articulares proximales</i> <i>Facies articularis patellae</i>
Fußgelenk	<i>Tibia</i> <i>Fibula</i> <i>Talus</i>	<i>Facies articularis distalis</i> <i>Facies articularis malleoli tibiae</i> <i>Facies articularis malleoli fibulae</i> <i>Trochlea tali</i>

Tab. 4.8: Gelenke mit den jeweils beteiligten Knochen und den bewerteten Gelenkflächen.

0	Gelenkfläche nicht vorhanden/erkennbar
1	Gelenk ohne degenerative Veränderungen
2	Gelenk mit Osteophyten < 3mm, Gelenkoberfläche intakt
3	Gelenk mit Osteophyten > 3mm, Abschleifung der Gelenkfläche, Eburnisation oder spongiöse Struktur

Tab. 4.9: Einteilung der Schweregrade der degenerativen Gelenkveränderungen (nach Stloukal & Vyhnanek 1975).

4.1.6 Aktivitätsmuster / Muskelansatzstellen

Um eventuelle Aktivitätsmuster festzustellen, wurden mit den großen Gelenken assoziierte Muskelansatzstellen untersucht. Am Schultergelenk: Der Ansatz des *M. infraspinatus* am Humeruskopf und der Ansatz des *M. biceps brachii* an der Tuberositas des Radius. Am Hüftgelenk: Die *Tuberositas gluteae* an der *Linea aspera* des Femurs als Ansatzstelle des *M. adductor magnus*. Die Ausprägung wurde in drei Kategorien eingeteilt (Hawkey & Merbs 1995) und die Ergebnisse mit den Daten der Auswertung der degenerativen Veränderungen der Gelenkflächen des Schulter- und Hüftgelenks verglichen (Anatomie siehe Anhang).

1	Flache bis mittlere Ausprägung (0-1,9 mm)
2	Mittlere bis starke Ausprägung (2-4,9 mm)
3	Sehr starke Ausprägung (>5 mm)

Tab. 4.10: Einteilung der Ausprägung der Muskelansatzstellen.

4.1.7 Traumata und andere Pathologica

Jedes Individuum wurde auf eventuell vorhandene Verletzungen oder krankheitsbedingte Veränderungen untersucht. Besonders schwere oder bemerkenswerte Befunde wurden fotografiert und / oder geröntgt.

Röntgen:

Material:

- Röntgengerät (Siemens)
- Verstärkerfolien (Cea OAG, 50fache)
- Schaltgerät Optident-Elektronik (Fischer) Elektronik
- Filmentwicklergerät Ac 245 (Dürr Dental)
- Röntgenfilm (Cea OAG, Green sensitive 24x30 cm)
- Adobe Photoshop 6.0

Mit Hilfe des Röntgenapparates wurden Bilder des ausgewählten Knochenmaterials aufgenommen. Die Belichtungsdauer richtete sich jeweils nach der Dicke des Materials. Anschließend wurde der Film im Entwicklergerät entwickelt. Die Bilder wurden, je nach Relevanz gescannt und mit Adobe Photoshop nachbearbeitet.

Fotografie:

Material:

- Kodak DCS 460 Digitalkamera
- LUMIX DMC-TZ5 Panasonic
- Adobe Photoshop 6.0

Die Bilder wurden mit einer digitalen Kamera aufgenommen und anschließend mit Adobe Photoshop digital nachbearbeitet.

4.2 Tooth cementum annulation (TCA)

Im Gegensatz zur Sterbealtersbestimmung anhand morphologischer Merkmale kann durch die Zählung der Zuwachsringe im Zahnzement eine Möglichkeit das Sterbealter quantitativ ermittelt werden. Diese Methode war bereits in den 1970ern für Wildtiere etabliert (Grue & Jensen 1979) und wurde später für humane Zähne (Stott et al. 1982) und archäologisches, bodengelagertes Zahnmaterial angewandt (z.B. Großkopf 1988; Wittwer-Backofen et al. 2004). Für die Zahnzementanalyse (TCA) wird das azelluläre Fremdfaserzement (AEFC) verwendet. Es enthält keine Zementozyten (Renz et al. 1997) und besteht aus dicht gepackten Bündeln von Sharpey-Fasern, die radiär verlaufen (Schroeder 2001; Schumacher & Schmidt 1990). In diesem Bereich sind demnach die Zahnzementringe deutlich sichtbar und eine Regelmäßigkeit der Anlagerung kann postuliert werden. Als zellfreies Gewebe unterliegt das AEFC keinem Umbau (Lindskog et al. 1987). Entwicklung und Aufbau und Stoffwechsel der Zähne siehe Anhang Kap. 1.1.

4.2.1 Auswahl der Zahnproben

Für die Bestimmung der Zuwachsringe wurden Prämolaren verwendet (Tab. 4.11). Sie lassen sich aufgrund ihrer Dimensionierung und der Anzahl der Wurzeln gut unterscheiden und haben das stabilste Durchbruchsalter mit einer Abweichung von +/- 1,55 Jahren (Charles et al. 1986; Schumacher & Schmidt 1983).

Oberkiefer	R 18 17 16 15 14 13 12 11	L 21 22 23 24 25 26 27 28
Unterkiefer	48 47 46 45 44 43 42 41 M M M P P C I I	31 32 33 34 35 36 37 38 I I C P P M M M

Tab. 4.11: Zahnschema der Dauerzähne. Markiert: Die für die TCA verwendeten Prämolaren.

Material:

- Epoxidharz Biodur E12 (Biodur Products)
- Härter E1 (Biodur Products)
- Einbettungsform
- Exsikkator
- Mikrotomsäge (Sägeschnittmikrotom Leica 1600, Leitz)
- Objektträger (76 x 26 x 1 mm)
- Deckgläschen (24 x 50 mm)
- Eukitt (Kindler GmbH)

4.2.2 Herstellung der Präparate

Für eine hohe Schnittqualität sollten möglichst gut erhaltene und kariesfreie Prämolaren ausgewählt werden.

Das Epoxidharz Biodur E12 wurde über Nacht bei 50°C im Trockenschrank gelagert um eine mögliche Kristallbildung rückgängig zu machen. Anschließend wurden Biodur und Härter E1 im Verhältnis 100 zu 28 gemischt. Die Zahnprobe wird parallel zur Bodenfläche in eine Einbettungsform gelegt und mit der Kunstharzmischung überschichtet. Das Kunstharz stabilisiert den Zahn während des Schneidevorgangs.

Die Zahnproben werden 48 Stunden bei -0,8 bar im Exsikkator evakuiert um Lufteinschlüsse zu entfernen. Dadurch wird die Stabilität des Schnittes erhöht. Das endgültige Aushärten der Proben erfolgt 24 Stunden bei 30°C im Trockenschrank und anschließend ca. 3 Tage bei Raumtemperatur.

Die eingebetteten Zähne werden quer zu ihrer Längsachse angeschliffen, mit Sekundenkleber auf die Spannvorrichtung aufgeklebt und in die Mikrotomsäge eingespannt (Abb. 4.17). Die Zahnkrone wird nach Augenmaß entfernt und vom mittleren Drittel der

Zahnwurzel ca. 8-12 etwa 70 µm dicke Schnitte angefertigt (Abb. 4.18) (Czermak et al. 2006a).

Nach dem Lufttrocknen werden die Dünnschnitte auf Objektträgern mit EukittTM überschichtet. Nach einer Trockenzeit von ca. 1-2 Tagen werden brauchbare Abschnitte im Zahnzement ausgewählt und fotografiert.

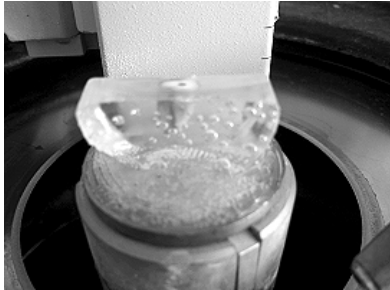


Abb. 4.17: In der Mikrotomsäge eingespannter Zahn im Biodur-Block mit entfernter Krone.

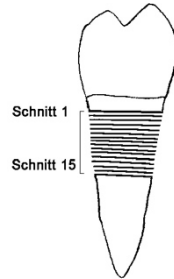


Abb. 4.18: Lokalisation der Dünnschnitte am Zahnschema. Ansicht lateral.

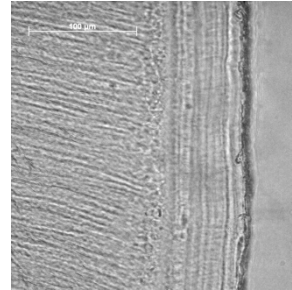


Abb. 4.19: Zahndünnschnitt. Zahnzementschicht mit Zuwachsringsen („*incremental lines*“) (rechts), Dentin (links). 40-fache Vergrößerung (GrmB2 133/I, Schnitt 5, Bild 1).

4.2.3 Mikroskopie und Bildbearbeitung

Material:

- Hellfeld-Lichtmikroskop: Axioskop 2 plus (Zeiss, Jena), Objektive: 20x/NA 0,63 und 40x/NA 0,63
- CCD-Kamera: AxioCam MRc (Zeiss, Jena)
- Axiovision Software
- Adobe Photoshop 6.0

Alle Schnitte des mittleren Drittels der Zahnwurzel wurden im Hellfeld-Lichtmikroskop betrachtet. Stellen, an denen das Zahnzement gut erhalten und die Ringstruktur gut sichtbar war, wurden ausgewählt und mit einer MRc CCD-Kamera fotografiert. Die Objektivröße richtete sich nach der Breite der Zementschicht im Sichtfeld, in der Regel wurde ein 40x Objektiv (Numerische Appertur 0,63) verwendet, bei besonders breiter Zementschicht das 20x Objektiv (NA 0,63). Die Größe der Öffnung des Kondensor-Appertur Diaphragmas wurde so eingestellt, dass der bestmögliche Kontrast gewählt ist (Czermak et al. 2006a).

Abschnitte an der palatinalen und vestibulären Seite des Zahnes erschienen für eine Zählung günstig (Grupe & Lippitsch 2007; Kagerer 2000; Lippitsch 2007). Da für das Zählen per Computer die Ausrichtung der Bilder relevant ist (siehe Kap. 5.3.2 Computerzählung), wurden die Zahnzementringe möglichst in senkrechter Orientierung fotografiert (Abb. 4.19) (Czermak et al. 2006a). Nach Möglichkeit wurden mindestens fünf Bilder pro Zahn ausgewählt.

Die unkomprimierten Bilder wurden als Graustufenbild im TIFF- oder BMP-Format gespeichert, um einen Informationsverlust im Hinblick auf die computergestützte Bildanalyse mit dem entwickelten Programm (siehe Ergebnisse Kap. 5.3.2, Computerzählung) zu vermeiden (Czermak et al. 2006a).

Für die manuelle Kontrollzählung wurden die Bilder mit einem Bildbearbeitungsprogramm (z.B. Adobe Photoshop 6.0 oder ImageJ) digital nachbearbeitet. Um die Zahnzementringe deutlicher sichtbar zu machen wurden die Farbinformationen verworfen und im Graustufenbild Kontrast und Helligkeit optimiert.

4.2.4 Auszählen der Zahnzementringe

Startpunkt der Auszählung ist die so genannte Durchtrittslinie. Diese hell erscheinenden Linie in der Nähe der Zement-Dentin-Grenze wird während der Zahneruption angelegt und ist aufgrund ihrer Mindermineralisierung an der hellen Färbung zu erkennen (Kagerer & Grupe 2001a). Gezählt werden entweder die schwarzen oder die weißen Ringe. Die Sterbealtersbestimmung erfolgt durch Addition des stabilsten Wertes der Zählungen mit dem Durchbruchsalter des jeweiligen Zahnes (Tab. 4.12).

	Oberkiefer		Unterkiefer	
	1. Prämolare	2. Prämolare	1. Prämolare	2. Prämolare
Männlich	10,43	11,22	10,90	11,61
Weiblich	10,06	10,87	10,32	11,06
Durchschnitt	10,25	11,05	10,61	11,30

Tab. 4.12: Durchschnittliches Durchbruchsalter der Zähne (Adler 1967).

Die Zahnzementringe wurden mit Hilfe einer eigens dafür entwickelten Software ausgezählt (Czermak 2004) (vgl. Kap 5.3.2, Computerzählung). Hierbei ist die genaue Schnittausswahl, die Art der Bildaufnahme und die Auswahl des zu zählenden Bereiches im Zahnzement (ROI) zu beachten (vgl. Kap. 5.3.2, Anwendung der Auto-TCA). Nach Möglichkeit wurde der gesamte abgebildete Zementbereich, unterteilt in bis zu vier ROIs, Linie für Linie analysiert. Der am häufigsten gezählte Wert (Modalwert) einer ROI, der je nach Größe der ausgewählten Region 300-500 Einzelzählungen erreichen kann, wurde für die folgenden Berechnungen weiter verwendet. Aus den Modalwerten der einzelnen Zählungen eines Bildes wurde ein Mittelwert gebildet und der Mittelwert aus den einzelnen Bildern eines Zahnes mit dem durchschnittlichen Durchbruchsalter des verwendeten Zahnes addiert (Czermak et al. 2006a).

Die Bilder des Friedhofs Etting wurden zusätzlich „per Hand“ am Bildschirm ausgezählt (Programm: Adobe Photoshop). Die gezählten Linien wurde farbig markiert und das Bild gespeichert. Jedes der bis zu fünf Bilder eines Zahnes wurde fünfmal gezählt und aus den etwa 25 Zählungen pro Zahn der stabilste Wert ermittelt.

4.3 Demographische Rekonstruktion

Bei guter Erhaltung können aus den Skelettserien demographische Grundgrößen wie Geschlechterverhältnis und Altersverteilung abgeleitet werden. Anhand der Altersverteilung kann eine Sterbetafel berechnet werden, mit deren Hilfe demographische Parameter der Lebendbevölkerung (Lebenserwartung, Mortalität, Größe der Lebendbevölkerung) rekonstruiert werden können (Herrmann et al. 1990).

4.3.1 Berechnung einer Sterbetafel

Die paläodemographische Untersuchung verknüpft die an den einzelnen Skeletten eines Gräberfeldes erhobenen Individualdaten zu Kollektivdaten. Diese charakterisieren die „Bevölkerung der Verstorbenen“. Auf dieser Grundlage erfolgt die Rekonstruktion der Lebendbevölkerung. Mit Hilfe der gewonnenen Individualsterbedaten wird unter Annahme einer stationären Bevölkerung eine Sterbetafel der Population berechnet (Jürgens 1988). In einer stationären Bevölkerung sind die Geburtenraten konstant und mit den Sterberaten identisch (Herrmann et al. 1990). Stationäre Bevölkerungen sind real nicht existent, es handelt sich um eine Modellannahme, die auch in der rezenten Demographie verwendet wird. Aus dem erhaltenen Sterberisiko wird die durchschnittliche Lebenserwartung in jeder Altersklasse berechnet (Drenhaus 1988).

Die Sterbetafel wird nach folgenden Formeln berechnet:

Der relative Anteil der Gestorbenen jeder Altersklasse x (d_x) wird anhand der Anzahl der in x gestorbenen Individuen (D_x) bestimmt und pro 1000 Individuen ausgedrückt.

$$d_x = \frac{D_x \times 1000}{\sum D_x}$$

Für jede Klasse werden nun ihre und die nachfolgenden Gestorbenen bis zur ältesten Altersklasse aufaddiert. Daraus ergibt sich die relative Anzahl der jeweils Überlebenden pro 1000 Individuen (l_x), die „Absterbeordnung“ (Jürgens 1988).

$$l_x = l_{x-1} - d_{x-1}$$

Die Sterbewahrscheinlichkeit (q_x) jeder Altersklasse berechnet sich aus dem Verhältnis der Gestorbenen einer Altersklasse und der Zahl der Individuen, die in diese Altersklasse eingetreten sind. Es ist die Wahrscheinlichkeit, im Alter x bis zur nächsten Altersstufe zu sterben.

$$q_x = \frac{d_x}{l_x}$$

Daraus ergibt sich auch die Überlebenswahrscheinlichkeit (p_x), also die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Person im Alter x die nächste Altersklasse erreicht.

$$p_x = 1 - q_x$$

Die von den Individuen jeder Altersklasse in dieser Zeitspanne (x bis $x + a$) durchlebten Jahre (L_x) errechnen sich aus dem arithmetischen Mittelwert der in die Zeitspanne eintretenden und sie wieder verlassenden Individuen, multipliziert mit der Länge der Zeitspanne, bezogen auf 1000 Individuen.

$$L_x = \frac{a(l_x + l_{x+1})}{2}$$

Aus diesen Werten lassen sich die für jede Altersklasse noch zu durchlebenden Jahre (T_x) bestimmen, auf 1000 Individuen bezogen.

$$T_x = T_{x-1} - L_{x-1} \quad \text{mit} \quad T_x = 0 = \sum L_x$$

Nun ist die mittlere Lebenserwartung (e_x^0), die noch zu lebenden Jahre pro Altersklasse, zu berechnen.

$$e_x^0 = \frac{T_x}{l_x}$$

x	=	Altersklasse
a	=	Umfang der Altersklasse in Jahren
D_x	=	Anzahl der in der Altersklasse x gestorbenen Individuen
d_x	=	Relative Anzahl der in der Altersklasse x gestorbenen Individuen
l_x	=	Relative Anzahl der Überlebenden in x
q_x	=	Sterbewahrscheinlichkeit in der Altersklasse x
p_x	=	Überlebenswahrscheinlichkeit in der Altersklasse x
L_x	=	Anzahl der insgesamt gelebten Jahre zwischen x und x+1
T_x	=	Anzahl der noch zu lebenden Jahre
e_x⁰	=	Mittlere Lebenserwartung in der Altersklasse x

Tab. 4.13: Zusammenfassung der Parameter für die Berechnung der Sterbetafel (Acsádi und Nemeskéri 1970; Drenhaus, 1988; Herrmann und Grupe et al. 1990).

4.3.2 Berechnung des Maskulinitätsindex

Das zahlenmäßige Verhältnis zwischen Männern und Frauen einer Bevölkerung wird mit dem Maskulinitätsindex (**MI**) berechnet. Der MI beschreibt den Anteil gleichzeitig lebender Männer und Frauen. Dabei werden die Individuen der Altersgruppen Infans I und II nicht mit berücksichtigt. Ein MI von 100 bezeichnet ein ausgewogenes Geschlechterverhältnis, ein MI >100 einen Männerüberschuss und ein MI < 100 einen Frauenüberschuss (Herrmann et al. 1990).

$$MI = \text{Männer} \times 100 / \text{Frauen}$$

4.3.3 Berechnung der Größe der Lebendpopulation

Aus den Daten der Sterbetafel lässt sich weiterhin ein durchschnittlicher Bevölkerungsumfang berechnen. Die Gesamtzahl der Verstorbenen (**D**) und die durchschnittliche Lebenserwartung (e_0^0) im Verhältnis zum Belegungszeitraum (**t**) zeigen den Umfang der Bevölkerung (**P**).

$$P = k \times \frac{D \times e_0^0}{t}$$

Der Korrekturfaktor (**k**) gleicht die durch die Verwendung des stationären Bevölkerungsmodells bedingte Fehlbestimmung des Umfangs einer wachsenden Bevölkerung aus. Bei einer sich nicht verändernden Bevölkerung müsste $k = 0$ sein. Da davon ausgegangen werden muss, dass Teile der Bevölkerung an anderen Begräbnisplätzen bestattet wurden wird der Korrekturfaktor $k = 1,1$ verwendet (Acsádi & Nemeskéri 1970). Dieser Korrekturfaktor beruht auf Daten von realen, vorindustriellen Bevölkerungen (Acsádi & Nemeskéri 1970; Drenhaus 1988; Herrmann et al. 1990). Kritische Größe bei der Berechnung der Lebendbevölkerung ist die Belegungsdauer (**t**), die eine gute Datierbarkeit der Bestattungen voraussetzt (Herrmann et al. 1990).

P	=	Anzahl der gleichzeitig lebenden Individuen
D	=	Gesamtzahl der Verstorbenen
e°	=	Lebenserwartung zum Zeitpunkt der Geburt
t	=	Belegungsdauer des Friedhofes
k	=	1,1 / Korrekturfaktor für Migration

4.4 Osteometrie

Die verwendeten Messmethoden am postcranialen Skelett und die Berechnungen für die Körperhöhe, Robustizitätsmerkmale und Formvarianten basieren auf der Grundlage von Martin (1928) und Herrmann et al. (1990). Anatomische Beschreibung siehe Anhang.

4.4.1 Indices

Die morphologische Untersuchung der Individuen erfolgte mit besonderem Augenmerk auf Aktivitätsmuster und überdurchschnittliche körperliche Belastungen. Um die Ergebnisse der osteologischen Untersuchung zu unterstützen, wurden daher der Humerus Längen-Dicken-Index, der Femur Robustizitätsindex und der *Femur Index Platymericus* berechnet (Herrmann et al. 1990; Martin 1928).

Humerus Längen-Dicken-Index (HLD)

Der Humerus Längen-Dicken-Index wird anhand des kleinsten Umfangs der Diaphyse (*minimum mid-shaft diameter dimension*), geteilt durch die größte Länge (*maximum length*) des Humerus, mal einhundert berechnet:

$$\text{HLD} = \frac{\text{kleinster Diaphysenumfang}}{\text{größte Länge Humerus}} \times 100$$

Der Messpunkt des kleinsten Umfangs der Diaphyse befindet sich etwas unterhalb der *Tuberositas deltoidea*, die größte Länge des Humerus wird an der geradlinigen Entfernung des höchsten Punktes des *Caput humeri* von dem tiefsten Punkt der *Trochlea* gemessen (Abb. 4.1). Durch den Humerus Längen-Dicken-Index kann auf die Händigkeit bzw. eine einseitig stärkere Belastung des jeweiligen Armes geschlossen werden.

Femur Robustizitäts-Index (FR)

Bei der Berechnung des Femur Robustizitäts-Index werden der sagittale (F3) (Abb. 4.2) und der transversale (F4) Durchmesser der Diaphysenmitte addiert, durch die ganze Länge des Femur (F2) geteilt (Abb. 4.2 und Abb. 4.3) und mit dem Faktor 100 multipliziert:

$$\text{FR} = \frac{(\text{sagittaler } \varnothing \text{ Diaphysenmitte} + \text{transversaler } \varnothing \text{ Diaphysenmitte})}{\text{Femur ganze Länge}} \times 100$$

Durch die erhaltenen Werte für den rechten und den linken Femur soll eine mögliche Lateralisation, also eine einseitige Belastung des jeweiligen Beines festgestellt werden.

Femur Index Platymericus (FP)

Der FP kann Hinweise auf die Mobilität eines Individuums geben. Er berechnet sich aus dem oberen sagittalen Durchmesser (F5) geteilt durch den oberen transversalen Durchmesser (F6) der Femurdiaphyse (Abb. 4.2 und Abb. 4.3) multipliziert mit dem Faktor 100.

$$FP = \frac{\text{oberer sagittaler } \varnothing \text{ Femurdiaphyse}}{\text{oberer transversaler } \varnothing \text{ Femurdiaphyse}} \times 100$$

Die Ergebnisse werden zur Bewertung der Knochenquerschnittsform in folgendes Klassifikationsschema eingeteilt:

Platymer:	75,0-84,9
Eurymer:	85,0-99,0
Stenomer:	100,0-x

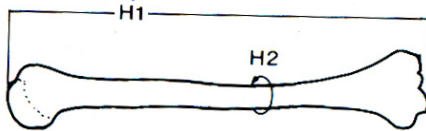


Abb. 4.1: Messtrecken am Humerus. Größte Länge Humerus (H1), kleinster Umfang der Diaphyse (H2), (Abbildung modifiziert nach Herrmann et al. 1990).

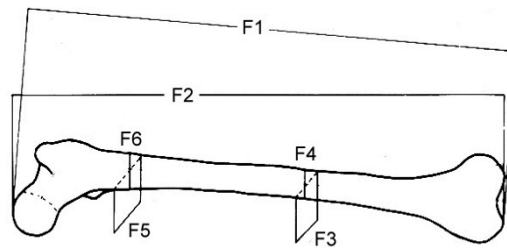


Abb. 4.2: Messtrecken am Femur. Größte Länge des Femur (Caput-Condylenlänge) (F1), Ganze Länge des Femur in so genannter natürlicher Stellung (F2), sagittaler Durchmesser der Diaphysenmitte (F3), transversaler Durchmesser der Diaphysenmitte (F4), oberer sagittaler Durchmesser der Diaphyse (F5), oberer transversaler Durchmesser der Diaphyse (F6), (Abbildung modifiziert nach Herrmann et al. 1990).

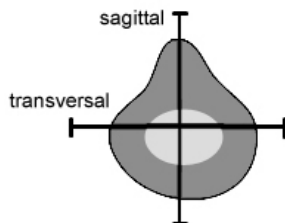


Abb. 4.3: Schematischer Querschnitt durch die Femurdiaphyse. Messtrecken des transversalen und des sagittalen Durchmessers. Je kleiner der sagittale Durchmesser, desto platymer der Femur, bei gleichem sagittalem und transversalem Durchmesser ist der Femur stenomer.

4.4.2 Körperhöhenberechnung

Die Körperhöhe der erwachsenen Individuen wurde anhand der größten Länge des Femur berechnet (Abb. 4.2). Die gebräuchlichsten Formeln für die Berechnung der Körperhöhe bei europäischen Skelettfunden erwachsener Individuen sind für männliche Individuen die Formel nach Breitinger (1937) und für weibliche die Formel nach Bach (1965):

Männliche Individuen (Breitlinger 1938): $94,31 + 1,645 \times \text{Femur} \pm 4,8 \text{ cm}$

Weibliche Individuen (Bach 1965): $106,69 + 1,313 \times \text{Femur} \pm 4,1 \text{ cm}$

4.5 Rekonstruktion der Ernährung

4.5.1 Bestimmung des Verhältnisses der stabilen C- und N-Isotope

Die Analyse der stabilen Kohlenstoff- und Stickstoffisotope kann gleichermaßen individuelle und kollektive Daten zur Ernährungsweise liefern, die jeweiligen Anteile vegetabilen und tierischer Nahrung können abgeschätzt werden, wobei die Stickstoff-Isotope des Kollagens den Proteinanteil der aufgenommenen Nahrung widerspiegeln. C- und N-Kreislauf, und -Isotope sowie Rekonstruktion allgemeiner Nahrungsquellen siehe Anhang 1.5.

Knochenmatrixkollagen ist aufgrund seiner Maskierung durch Kalziumphosphat besonders widerstandsfähig gegen postmortale Veränderungen (Ambrose 1993). Die Umbaurate von Kollagen in erwachsenen Säugetieren beträgt mehrere Jahre, daher kann die Analyse des organischen Knochenbestandteils einen Überblick über die Ernährung der letzten Jahre vor dem Tod der Individuen geben (Fizet et al. 1995) Aufbau und Zusammensetzung des Knochens siehe Anhang Kap. 1.2.

4.5.2 Kollagen- / Gelatineextraktion

Material:

- Ultraschallbad, Bachofer Reutlingen
- Mörser
- Kugelschwingmühle, Retsch MM 200
- Feinwaage, Ohaus Analytical Plus
- Teflonröhrchen
- 1 M HCl
- 0,001 M HCl (pH3)
- 0,125 M NaOH
- Aqua dest.
- Rollschüttler, Neolab Shaker DOS-10L
- Zentrifuge, Sigma 2K 15
- Wasserstrahlpumpe / Vakuumpumpe
- Filternutschen
- Rollrandgläser
- Lyophilisator, Alpha 1-4 LD

Methode:

Das Knochenmatrixkollagen muss zunächst von der mineralischen Phase des Knochens getrennt werden (Gelatineextraktion nach Longin 1971). Gleichzeitig werden bei der Gelatine-Extraktion Verunreinigungen aus dem umgebenden Sediment wie Kohlenstoff und Stickstoff und organische Bestandteile wie Wurzeln, Pilzhyphen, Insekten oder Huminsäuren aus dem Boden entfernt (Ambrose 1993; Longin 1971).

3-5 g Knochenmaterial werden mit Hilfe einer Bürste unter fließendem Wasser zunächst mechanisch, dann im Ultraschallbad gereinigt und ca. 3 Tage luftgetrocknet.

Nach dem Trocknen werden die Proben mit einem Mörser grob zerkleinert und in einer Kugelschwingmühle pulverisiert.

Etwa 250-300 mg des Knochenpulvers werden in Teflonröhrchen mit 10 ml 1 M Salzsäure versetzt und 20 min auf einem Rollschüttler aufgeschlämmt¹². Durch HCl werden die mineralische Phase und *post-mortem* eingelagerte Karbonate gelöst, sowie einige organische Verschmutzungen entfernt (Ambrose 1993; Longin 1971). Die Säure löst auch einige der Wasserstoffbrücken des Kollagens. Dadurch wird es in heißem Wasser löslich (Longin 1971).

¹² Die Dauer der Vorbehandlung ist abhängig von der Feinheit des Knochenpulvers. Ein zu langes Inkubieren des Pulvers mit HCl führt zu einer Hydrolyse der Proteinketten und zu einem Verlust des Kollagens (Longin 1971).

Die Proben werden anschließend 5 min bei 3000 U/min zentrifugiert und der Überstand, der hauptsächlich gelöste Mineralien und ungebundene Proteine enthält, mit einer Wasserstrahlpumpe abgesaugt. Um die Verunreinigungen gänzlich zu entfernen, wird das Pellet mit destilliertem Wasser in 3-4 Waschschritten annähernd bis zur Neutralität (ca. pH 6) gewaschen. Nach jedem Waschschriff wird erneut zentrifugiert.

Das Pellet wird anschließend für 20 Stunden in 10 ml 0,125 M NaOH überführt. Durch das basische Milieu werden Verunreinigungen wie Fette und Huminsäuren entfernt (Ambrose 1993). Anschließend wird erneut bis zur Neutralität gewaschen.

Das Sediment wird abschließend für 10 bis maximal 17 Stunden in 10 ml 0,001 M HCl (pH3) bei 90°C im Wasserbad inkubiert. Das Kollagen löst sich bei dieser Temperatur in leichter Säure (Gelatinisierung) (Grupe 1989).

Die Lösung wird mit Hilfe von Nutschen filtriert, das Filtrat in Rollrandgläser überführt und nach ca. drei- bis vierstündigem Vorfrieren im Lyophilisator bei -50°C innerhalb von 3-4 Tagen gefriergetrocknet.

4.5.3 Bestimmung der Isotopenverhältnisse

Material:

- Gekoppelter CHN-Analysator (Thermo Finnigan NA2500)
- Isotopenverhältnis- Massenspektrometer (Thermo Finnigan Delta plus)

Methode:

0,3 mg lyophilisiertes Knochenkollagen werden in Zinkkapseln eingewogen und in dem CHN-Analysator unter Sauerstoffzufuhr bei ca. 1500°C verbrannt. Das entstehende Gasgemisch wird in Helium als Trägergas als CO₂ bzw. N₂ via CONFLO II-Interface in das Massenspektrometer überführt.

Die Isotopenverhältnisse werden gegen einen kalibrierten gasförmigen Laborstandard bestimmt. Die Kalibration wird für CO₂ gegen die IAEA Standards NBS 19 und NBS 20, für N₂ gegen N1 und N2 vorgenommen. Die Messwerte werden auf PDB-Standard für Carbonat (Marine Carbonate: PDB ¹³C/¹²C = 11 237,20 +/- 2,9 ppm)¹³ und AIR-Standard für Stickstoff (Atmospheric Nitrogen: ¹⁵N/¹⁴N = 3676,50 +/- 8,1 ppm) bezogen und als Abweichung von diesem in δ-Notation und ‰ dargestellt.

$$\delta^{13}\text{C} = \frac{{}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}_{\text{Probe}} - {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}_{\text{Standard}}}{{}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}_{\text{Standard}}} \times 1000 (\text{‰})$$

$$\delta^{15}\text{N} = \frac{{}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}_{\text{Probe}} - {}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}_{\text{Standard}}}{{}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}_{\text{Standard}}} \times 1000 (\text{‰})$$

Je höher der Gehalt des schweren Isotops ist, desto positiver erscheint demnach der δ-Wert der Probe. Der Messfehler beträgt maximal 0,5‰.

Die Messungen der Proben aus Etting, Enkering und Großmehring wurden von Dr. Ulrich Struck, GeoBio-Center der LMU, die Messung der Proben aus Bruckmühl von Dr. Michael Joachimski, Lehrstuhl für Geologie der Universität Erlangen-Nürnberg, durchgeführt.

¹³ Die Grundlage dieses Standards ist Carbonat aus der Schale von *Belemnitella americana*, ein fossiler Mollusk, der in der Pee Dee Formation in South Carolina, USA, gefunden wurde (Francey 1998).

4.5.4 Qualitätsstandard

Der Erhaltungsgrad des extrahierten Kollagens wurde anhand des prozentualen Anteils von Kohlenstoff und Stickstoff (Ambrose 1993; Harbeck & Grupe 2009; van Klinken 1999) und des molaren C/N Verhältnisses abgeschätzt (Bocherens et al. 1997a; Bocherens et al. 1997b; De Niro 1985; Harbeck & Grupe 2009). Da es sich um historisches Material handelt, umfassen die verwendeten Werte für den Qualitätsstandard die gesamte Spanne der empirisch und experimentell festgelegten Werte. Dies ergibt eine Wertespanne von C % < 44 und N % < 16. Bei C/N wurde ein Toleranzwert von +0,4 bei C/N hinzugefügt, gemäß der Standardabweichungen bei den hier vorgenommenen Messungen, da die Durchschnittswerte bei allen hier gemessenen Bestattungsplätzen generell höher waren (siehe 5.9.1. Qualitätskontrolle des Kollagens). Dies ergibt eine Wertespanne von C/N = 2,9-4,0 (Tab. 4.14). Individuen, deren Werte die sich außerhalb der Spanne von C/N = 2,9-4,0, C % < 44 und N % < 16, befinden wurden von der Bewertung ausgeschlossen. Aminosäureanalyse (ASA) und Qualitätskontrolle siehe Kap. 4.5.3.

Quelle	Methode	C/N	C %	N %
(van Klinken 1999)	Empirischer Wert	> 3,2	< 35 %	11-16 %
(Ambrose 1993)	Theoretischer Wert anhand der Aminosäurekomposition von Kollagen	-	< 43 %	< 16 %
(De Niro 1985)	Vergleich rezentens und prähistorisches Material	2,9-3,6	-	-
(Harbeck & Grupe 2009)	Experimentelle Degradation	2,9-4,1	< 44 %	< 15 %
Verwendeter Qualitätsstandard		2,9-4,1	< 44 %	< 16 %

Tab. 4.14: Verwendeter Qualitätsstandard für den Erhaltungsgrad des Kollagens und Literaturvergleich.

4.6 Statistische Datenauswertung

Alle vorhandenen Daten werden zunächst in Excel 2003 (Microsoft) eingegeben und mit dessen Hilfe graphisch dargestellt. Soweit sinnvoll, erfolgte die statistische Auswertung mit SPSS (Superior Performing Software System, SPSS 14.0 und 15.0 für Windows).

Die Daten der morphologischen Untersuchungen und der Isotopenanalysen wurden hauptsächlich nach folgenden Aspekten statistisch ausgewertet: Geschlecht, Altersklassen, Friedhofsklassen, Gräberfelder.

Allen statistischen Berechnungen voran erfolgt ein Test auf Normalverteilung. Der verwendete Kolmogorow-Smirnow-Test (KS) überprüft, inwieweit die Werte signifikant von der Normalverteilung abweichen. Danach wurden die statistisch auszuwertenden Daten mit Hilfe einer explorativen Datenanalyse untersucht und beurteilt.

Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Merkmalen untereinander wurden mit dem Korrelationskoeffizienten nach Pearson (Pears) bestimmt. Wenn die Daten jedoch nicht parametrisch sind (ordinale Daten), erfolgt die Berechnung der Korrelationen nach Spearman-Rho (SpRho). Dabei wird keine lineare Verteilung angenommen und ein Rangkorrelationskoeffizient angegeben (Heidemann 2004).

Je nach Voraussetzung erfolgte ein Mittelwertvergleich (ANOVA) oder die Verteilung zwischen den verschiedenen Gruppen wurde bestimmt. Die erhobenen Daten wurden nach folgender Vorgehensweise statistisch ausgewertet (Doppler 2008) (Abb. 4.23)

Für eine genauere Ausführung der angewandten statistischen Tests siehe Anhang 1.1.4 Statistische Datenauswertung, Übersicht der Abkürzungen: Tab. 4.15.

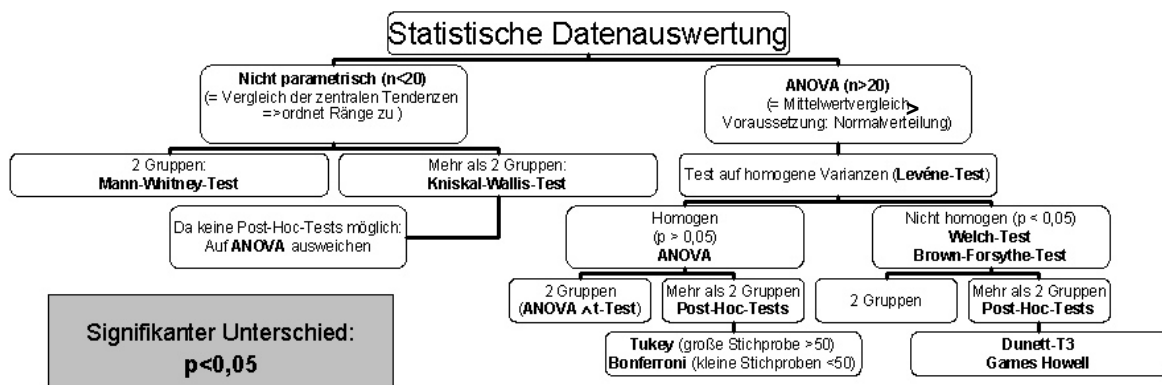


Abb. 4.23: Schema der Vorgehensweise bei der Statistischen Datenauswertung mit SPSS. (Schema der Auswertung nach Doppler 2008).

Korrelationen	Normalverteilt	Pearson	Pears
	Nicht normalverteilt	Spearman-Rho	Sp-Rho
Unterschiede	Mittelwertvergleich	Analysis of variance	ANOVA
		Welch-Test	W
	Vergleich zentraler Tendenzen	Brown-Forsythe-Test	BF
		Mann-Whitney-U-Test	MWhU
		Kruskal-Wallis-Test	KW

Tab. 4.15:
Zusammenfassung
der verwendete
Abkürzungen der für
die Auswertung
verwendeten
statistischen Tests.

5 Ergebnisse und Diskussion

Die untersuchten Gräberfelder Bruckmühl, Etting, Großmehring B1-B4 und Enkering umfassen insgesamt 250 Bestattungen. Zu Vergleichszwecken wurden die Daten des Separatfriedhofs Kelheim mit in die Auswertungen aufgenommen (Strott 2006), so dass insgesamt 279 Individuen ausgewertet werden konnten.

5.1 Erhaltungsgrad des Skelettmaterials

Der Erhaltungsgrad ist entscheidend für die morphologische Begutachtung des Materials. Die Genauigkeit der Bestimmung von Geschlecht und Sterbealter nimmt mit der Qualität der Erhaltung ab (Rösing et al. 2005a). Ebenso wird die Aussagekraft der statistischen Auswertung der Indices, Aktivitätsmuster und degenerativen Veränderungen beeinträchtigt. Deshalb wurde das Vorhandensein jedes Knochens und seiner einzelnen Gelenkflächen festgehalten und der Erhaltungsgrad festgelegt.

Von 231 der insgesamt 279 Individuen war auswertbares Skelettmaterial vorhanden. Der durchschnittliche morphologische Erhaltungsgrad der Skelette war gut, wobei das Knochenmaterial der Grablege Bruckmühl am schlechtesten erhalten war (Tab. 5.1).

Qualität und Beschaffenheit des Bodens ist ein Faktor für die makromorphologische Erhaltung des Knochens. Alle Gräberfelder befinden sich in Donaunähe auf Lößbodengebiet (Ledderose 2006; Meier 2004; Strott 2006). Der Bestattungsplatz Bruckmühl liegt im Voralpenland, die Bodenbeschaffenheit des glazial geformten Gebietes ist geprägt von Kalklehm und Schotterkies. Während die Skelette im feinsandigen Lößboden „sicher“ eingebettet sind, könnten grobsteinige Kiesanteile im Boden zur schnelleren Zerstörung des Knochenmaterials beitragen.

Der morphologische Erhaltungsgrad korreliert nicht mit der Grabtiefe, ebenso kann die Erhaltung von direkt nebeneinander bestatteten Individuen stark schwanken. Allerdings zeigt sich eine Korrelation von Erhaltungsgrad und Friedhofsklasse bei den Separatfriedhöfen Etting und Kelheim, wobei in Etting die Individuen auf den höherklassigen Bestattungsplätze signifikant besser, in Kelheim schlechter erhalten sind als die Reihengräber. In Etting lagen die Individuen der höherklassigen Bestattungen in Grabkammern oder Holzsärge, deren Spuren archäologisch nachgewiesen werden konnten. Dies könnte die tendenziell bessere Erhaltung dieser Einzelindividuen erklären.

Bis auf Einzelfälle war die Erhaltung der Individuen auf den einzelnen Gräberfeldern für eine Geschlechts- und Altersbestimmung ausreichend. Ebenso konnte die Untersuchung der Gelenke in statistisch verwertbarem Maße durchgeführt werden.

Individuenanzahl	Brm	Ett	GrmB3	GrmB1	GrmB2	GrmB4	Enk	Keh	gesamt
Bestattungen ges	45	39	56	19	45	36	10	49	299
Auswertbare Gräber	39	36	56	17	44	33	7	47	279
%	86,7	92,3	100,0	89,5	97,8	91,7	70,0	95,9	93,3
Erhaltungsgrad \bar{x}	3,23	2,63	2,27	2,53	2,00	2,58	1,86	2,81	2,56

Tab. 5.1: Übersicht über die Anzahl der archäologisch dokumentierten Bestattungen, der ausgewerteten / auswertbaren Individuen und des durchschnittlichen Erhaltungszustandes. (Originaldaten Kelheim: Strott 2006).

5.2 Morphologische Altersschätzung

Das Sterbealter der Individuen wurde sowohl morphologisch als auch anhand der *Tooth-Cementum-Annulation* (TCA) bestimmt. Das morphologische Alter konnte bei 153 (87%) erwachsenen Individuen geschätzt werden, wobei davon 22 nur als „erwachsen“ (A+) klassifiziert werden konnten. Bei 12 dieser Individuen war es aber möglich das Alter anhand der TCA genauer zu bestimmen. 11 Individuen konnten ausschließlich morphologisch altersgeschätzt werden. Bei 134 (77%) erwachsenen Bestatteten war es möglich Zahnproben zu entnehmen, bzw. die Ergebnisse der TCA auszuwerten. Durch Kombination der beiden Methoden konnte so bei 167 (95%) der erwachsenen Individuen ein Sterbealter bestimmt werden (Tab. 5.2).

Bestattungsplatz	Erwachsene				Altersbestimmung						
	Individuen				Morphologisch				TCA		
	ges.	best.	%	unb.	best.	%	A+	unb.	best.	%	unb.
Bruckmühl	37	33	89%	4	29	78%	8	4	28	76%	5
Etting	30	26	86%	4	26	87%	-	-	26	87%	-
Großmehring B3	45	45	100%	-	40	89%	3	3	33	73%	10
B1B2B4	63	63	100%	-	58	92%	11	-	47	75%	11
Gesamtindividuen	175	167	95%	8	153	87%	22	7	134	77%	26

Tab. 5.2: Sterbealtersbestimmung erwachsener Individuen. Anzahl und prozentualer Anteil aller Bestatteten, derjenigen Individuen bei denen das Sterbealter anhand morphologischer Methoden schätzbar war (A+ = Individuen die nur als „erwachsen“ eingestuft werden konnten) und der Individuen deren Zahnzementringe ausgewertet werden konnten.

Da das chronologische Alter nicht dem biologischen entsprechen muss und jedes Skelettteil unterschiedlich altern kann (Kemkes-Grottenthaler 2002), erfolgte die morphologische Altersschätzung erwachsener Individuen, sofern möglich, anhand des Verwachsungsgrades der Schädelnähte (Acsádi & Nemeskéri 1970; Lovejoy et al. 1985; Meindl & Lovejoy 1985; Meindl et al. 1985). Diese sind weitgehend unbeeinflusst von Umweltbedingungen und Verschleißerscheinungen¹⁴, die auf andere für die Sterbealtersbestimmung verwendete Merkmale einwirken, beispielsweise dem Relief der Schambeinsymphyse oder dem Abkautungsgrad der Zähne (Acsádi & Nemeskéri 1970; Kemkes-Grottenthaler 2002). Zudem ist der Schädel meist, wenn auch nicht immer vollständig, vorhanden und eine Bestimmung des Verschlussgrades der Schädelnähte ist in der Regel auch an den Bruchstücken möglich. Als zweites Kriterium, vor allem wenn der Schädel nicht mehr in dem erforderlichen Maß vorhanden war, wurde auf das Relief des Iliosakralgelenks zurückgegriffen (Acsádi & Nemeskéri 1970; Buckberry & Chamberlain 2002; White 2000).

Bei 87% der morphologisch untersuchten Individuen konnte ein Sterbealter festgelegt werden, lediglich bei sieben Individuen war zu wenig Skelettmaterial vorhanden, so dass keinerlei Altersschätzung mehr möglich war. Vier davon befanden sich auf dem Friedhof Bruckmühl, auf dem das Skelettmaterial vergleichsweise schlecht erhalten war.

¹⁴ Als Ausnahme muss hier die Möglichkeit einer *Kraniosynostose* erwähnt werden. Diese genetisch determinierte Krankheit verursacht ein frühzeitiges Verwachsen der Schädelnähte im Kindesalter (Wilkie 1997).

5.2 Tooth Cementum Annulation (TCA)

Zur Bestimmung eines chronologischen Sterbealters wurde bei erwachsenen Individuen die Methode der *Tooth-Cementum-Annulation* (TCA) angewandt. Hierfür wurden ausschließlich Prämolaren verwendet. Bislang wurden die Zahndünnschnitte anhand von Ausdrucken bzw. direkt am Computerbildschirm gezählt. Um die Zählung der Zahnzementringe zu beschleunigen und reproduzierbarer zu machen wurde in einer Kooperation mit der Fachhochschule Rosenheim, Fachbereich Informatik, ein Programm zur Automatisierung der Zählung entwickelt („TCA-Programm“ oder „Auto-TCA“). Der Prototyp des Programms wurde an den hier untersuchten Proben getestet, weiterentwickelt und mit den Handzählungen verglichen.

5.2.1 Handzählung

Die Zementringe der Zahndünnschnitte der Individuen aus Etting wurden „per Hand“ gezählt, um diese mit der Computerzählung zu vergleichen (vgl. Tab. 5.4). Da die Qualität der Proben sehr gut war, konnten alle der 26 Proben ausgezählt werden. Die Zementringe wurden an Ausdrucken der Bilder gezählt und zur Kontrolle zusätzlich direkt am Bildschirm. Es wurden nur Ringe gewertet, die deutlich erkennbar waren. Wenn Linien in den ausgewählten Abschnitten nicht optimal sichtbar waren, wurde in jenen Fällen die Zählung einer gut erkennbaren Linie folgend in einem deutlicher zu sehenden Abschnitt fortgesetzt.

5.2.2 Computerzählung (Auto-TCA)

Entwicklung des Zählprogramms

Im Vordergrund stand die einfache Anwendbarkeit der Software. Eine vorhergehende Bearbeitung der Bilder sollte nicht erforderlich sein. Der Benutzer sollte den zu zählenden Bereich lediglich festlegen und danach automatisch das Zählergebnis erhalten. Der Zählbereich sollte frei wählbar und leicht zu markieren sein. Bei einer automatisierten Zählung der Ringe müssen sowohl die natürlich gewachsener Struktur des Zahnes und der Zementschicht, als auch mögliche Störungen wie lokale Dekomposition oder Sägespuren berücksichtigt werden. Die ausgewählte Bildregion muss daher zunächst mit Hilfe digitaler Bildbearbeitung für eine automatisierte Zählung optimiert werden.

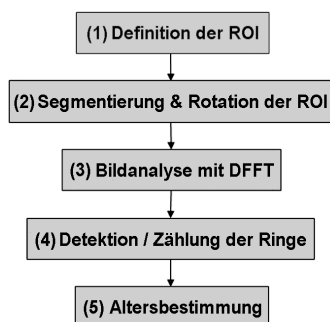


Abb. 5.1: Graphische Illustration der einzelnen Schritte des TCA-Programms (Czermak 2004, Czermak et al. 2006a).

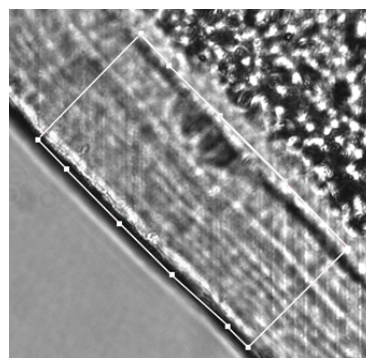


Abb. 5.2: Region of interest (ROI). Um eine Bildregion auszuwählen, müssen einige Punkte markiert werden. Dabei wird ein Polygon um die betreffende Bildregion gespannt. Die Grenzlinien sollten der hellen „Durchbruchlinie“ auf der einen Seite und der dunklen Übergangsregion zum Einbettungsharz auf der anderen Seite folgen (Czermak 2004, Czermak et al. 2006a).

Die entwickelte TCA-Software zählt die Jahresringe auf der Basis von Graustufenlevel-Maxima eines Linienscan-Profiles, das die Zahnzementlinien senkrecht kreuzt (Abb. 5.7). Daher sollten die Bilder als Graustufenbilder aufgenommen werden. Das Programm („Auto-TCA“) läuft in mehreren Schritten ab (Abb. 5.1):

(1) Der Anwender definiert den zu zählenden Abschnitt („*region-of-interest*“, ROI), (2) dann folgt die Optimierung der Bilder durch digitale Bearbeitung. Um die natürlich gewachsene

Struktur des Zementes für eine automatisierte Zählung verwendbar zu machen wird die ROI automatisch in einzelne Segmente unterteilt und diese so gedreht, dass sie möglichst senkrecht übereinander liegen. (3) Anschließend erfolgt eine weitere digitale Bearbeitung unter Benutzung von Gauss-Filter und Fourier-Transformation um mögliche Störungen zu filtern. (4) Das so entstandene „Bild“ wird anschließend automatisch Pixelreihe-per-Pixelreihe gescannt, die Graustufen-Maxima der Linienscans ermittelt und gezählt. (5) Das Ergebnis wird in einem Fenster ausgegeben, danach können Altersbestimmung und statistische Auswertung erfolgen.

(1) Markieren der ROI

Der Anwender definiert den zu zählenden Abschnitt (ROI) auf einem 8-bit Graustufenbild eines Zahnzement-Dünnschnittes. Dafür müssen einige Punkte markiert werden, um ein Polygon um die ausgewählte Bildregion zu spannen (Abb. 5.2). Die Begrenzungslinie der ROI sollte auf der einen Seite entlang der Durchtrittslinie erfolgen, auf der anderen Seite entlang der dunklen Grenzlinie zum Einbettungsharz, so dass die Zahnzementlinien von beiden Linien eingeschlossen sind. Dadurch werden gleichzeitig „helle“ und „dunkle“ Bildpunkte definiert, an denen sich die Software bei der Neudefinition der Graustufenlevel in Schritt (3) orientieren kann.

(2) Digitale Optimierung der ROI

Das Originalbild muss zunächst vom Computer verändert werden, um es für eine digitale Analyse verwendbar zu machen. Da die Zementschicht der natürlich gewachsenen Struktur des Zahnes folgt, ist die Zementschicht und demnach die Ringstruktur in der Regel gekrümmt. Dies sollte bereits bei der Aufnahme der Bilder berücksichtigt werden (vgl. Kap. 4.2.3 Methoden). Um das Bild für die Computerzählung zu optimieren, muss die gesamte Struktur der Zementringe annähernd vertikal orientiert werden. Dafür segmentiert das Programm die ausgewählte ROI in gleichmäßige Rechtecke mit einer Länge von 128 Bildpunkten entlang der dunklen Außenlinie des Präparates. Die Breite der Rechtecke ist durch die Breite der ROI definiert. Jedes Segment wird anschließend unter Anwendung einer *bikubischen Interpolation* gedreht und in eine horizontale Position gebracht, wobei die dunkle Grenzlinie als Referenz benutzt wird. Die gedrehten Rechtecke werden aneinander gelegt um ein „neues“ Bild zu kreieren in dem die Zementringe exakt vertikal orientiert sind. Da die Zementringe eher einer zirkulären als einer geraden Linie folgen, kann der Winkel der Drehung für jedes einzelne Segment unterschiedlich sein. Um sicherzugehen, dass nach der Drehung keine Lücken zwischen den Segmenten entstehen, wurde ein Algorithmus verwendet, der ein Viertel der Länge des Segmentes als Überlappungsbereich benutzt. Die Drehung der Segmente erfolgte in mehreren Schritten unter Verwendung eines Gauss-Tiefpass-Filters¹⁵ und einer Fourier Transformation (DFFT)¹⁶ (Ernst 2003, Czermak 2004).

Durch die Fourier Transformation erhält man ein Amplitudenbild, welches die maximale Auslenkung der Konturen der Bildsegmente zeigt. Dieses so erhaltene *power spektrum* wird in ein 8-bit Bild skaliert und binarisiert. Der resultierende *Scatterplot* zeigt eine bevorzugte Auslenkungsrichtung an, die in einer passenden Gerade deutlich wird. Diese Linie beschreibt den idealen Drehwinkel des Segments (Abb. 5.3). Die mit diesem Winkel gedrehten Segmente der ROI werden dann zu einem Bild zusammengesetzt (Abb. 5.4) (Czermak et al. 2006a; Czermak 2004). Das Bild mit den Segmenten und deren Drehwinkel wird nach jeder Zählung als Qualitätskontrolle angezeigt.

¹⁵ Mit Hilfe eines 11 x 11 Gauss-Tiefpass-Filters werden die uneinheitlichen Seiten der Segmente geglättet. Der Gauss-Filter ist ein zweidimensionaler linearer Filter, bei dem eine quadratische Umgebung um einen zentralen Punkt zur Bewertung mit herangezogen wird. Tiefpass Filter können hochfrequentes Rauschen unterdrücken und scharfe Bildkanten abflachen und verwischen. Der Gauss Tiefpass Filter ist ein „weicher“ Tiefpass, der *isotrop* (in alle Richtungen) wirkt. Dadurch werden abrupte Übergänge vermieden (Czermak 2004; Ernst 2000; Ernst 2001).

¹⁶ Nach dem „Glätten“ der Segmente durch den Gauss-Tiefpass-Filter wird eine *Fourier Transformation* (DFFT, „Discrete Fast Fourier Transformation“) angewandt. Allgemein umfasst der Begriff Fourier-Transformation eine Reihe von Transformationen, die Funktionen in Frequenzkomponenten oder Elementarschwingungen zerlegen. Sie haben eine zentrale Aufgabe in der Bildverarbeitung und können zur Klassifizierung von Objektkonturen herangezogen werden. Eine *schnelle Fourier-Transformation* (FFT, Fast Fourier Transformation) ist ein Algorithmus zur effizienten Berechnung der Werte einer diskreten Fourier-Transformation (DFT). Diese werden vor allem zur Bestimmung der in einem abgetasteten Signal hauptsächlich vorkommenden Frequenzen und zur Bestimmung der einzelnen Amplituden zu diesen Frequenzen verwendet (Czermak 2004; Ernst 2003).

(3) Entfernen von Störungen im Bild

Die Struktur der Zahnzementlinien wird häufig durch Refraktions- oder Diffraktions-Artefakte, durch partielle Dekompositions-Erscheinungen oder Sägespuren gestört. Letztere haben das gleiche Erscheinungsbild wie die Zementringe (Abb. 5.4 Pfeile) und können, wenn sie parallel zu den Zuwachslinien verlaufen diese „imitieren“, was zu einem falschen Zählergebnis führen kann. Um die störenden Artefakte zu entfernen und die Bildqualität für die automatische Zählung der Linien zu verbessern, werden die Daten des in (2) „gedrehten“ Bildes erneut mit einer Fourier-Transformation (DFFT) berechnet. In dem so entstandenen „Power Spektrum“ gruppieren sich vertikal orientierte Zementlinien in der Nähe der zentralen waagrechten Linie (Abb. 5.5). Im Gegensatz dazu erscheinen nicht lineare Strukturen (z. B. partiell verunreinigte Stellen) oder Linien, die im Originalbild in einem anderen Winkel zu den Zementlinien orientiert sind (z. B. Sägespuren), als Bildpunkte mit einem größeren Abstand zur Horizontalinie des Spektrums.

Um die störenden Artefakte weitgehend zu beseitigen wird ein „Winkelfilter“-Algorithmus verwendet. Dafür wird eine „punktsymmetrische Maske“ auf das Bild angewandt. Dabei werden, ausgehend vom Mittelpunkt (M) zwei sich nach außen öffnende Keile mit einem definierten Winken (α) angelegt (Abb. 5.6). Als optimaler Winkel für die Maskenkeile wurde empirisch ein spitzer Winkel mit 20° festgelegt. Allen Bildpunkten außerhalb der Maske wurde der Graustufenwert null (=schwarz) zugewiesen. Innerhalb der Maske wird der mittlere Bildpunkt (M) als mittlerer Graustufenwert (=128) definiert (0=schwarz, 255=weiß), die übrigen Punkte werden anhand dieses Mittelwertes neu skaliert (Abb. 5.8). Nach einer *Fourier-Rücktransformation* (Ernst 2000) erhält man eine Abbildung der ROI, bei der Störungen beseitigt und die Ringe deutlich erkennbar sind (Abb. 5.7A) (Czermak et al. 2006a; Czermak 2004).

(4) Detektion der Ringe

Im Idealfall sind nun aufeinander folgende helle und dunkle Linien zu sehen. Die ROI wird nun Linie für Linie „abgetastet“ (Algorithmus: Czermak 2004) und die Grauwertstufe Bildpunkt für Bildpunkt bestimmt (Abb. 5.7A). Lokale Maxima der Grauwerte repräsentieren helle Linien, lokale Minima dunkle Linien. Der Graph wird dann invertiert, so dass nun lokale Maxima die dunklen Ringe repräsentieren. Jedes dieser Maxima stellt einen dunklen Ring entlang der gemessenen Linie dar (Abb. 5.7B). Die Auto-TCA Software detektiert die Anzahl der dunklen Ringe, die mit einem „Peak-Finder“-Algorithmus (Czermak 2004) gezählt werden. Dieser Algorithmus vergleicht die Graustufenwerte aller Bildpunkte mit den Werten ihrer benachbarten Bildpunkte. Ein Bildpunkt wird als Maximum erkannt, wenn dessen Wert (i) höher ist als ein vorgegebener Minimalwert und (ii) dessen Graustufenlevel jeweils höher ist als die Werte der zwei vorhergehenden („*left-neighbors*“) und der nachfolgenden („*right-neighbors*“) Bildpunkte. Das Maximum wird weiter als Referenzpunkt benutzt, um dessen linke und rechte Minima festzustellen. Dadurch wird sichergestellt, dass es sich um ein tatsächliches Maximum handelt, es kann also ein echter „*peak*“ von „Rauschen“ unterschieden werden (Czermak 2004, Czermak et al. 2006).

(5) Zählung der Ringe

Jede Bildpunktreihe der ausgewählten ROI wird wie oben beschrieben analysiert und die detektierten Maxima jeder Scan-Linie gewertet. So erhält man pro Zählvorgang, je nach Größe der ROI etwa zwischen 300 und 500 Einzelzählungen. Das Programm zeigt die Ergebnisse der Zählungen einer ROI in einem Fenster an, geordnet nach der am häufigsten vorkommenden Ringanzahl in absteigender Reihenfolge. Der am häufigsten gezählte Wert (Modalwert) einer ROI wurde für die folgenden Berechnungen weiter verwendet. Aus den Modalwerten der einzelnen Zählungen eines Bildes wurde ein Mittelwert gebildet. Von den Mittelwerten der einzelnen Bilder eines Zahnes wird wiederum der Mittelwert gebildet (Tab. 5.3) und für die Sterbealtersbestimmung mit dem durchschnittlichen Durchbruchsalter des verwendeten Zahnes addiert.

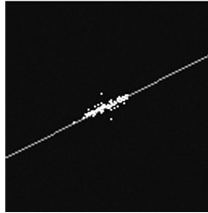
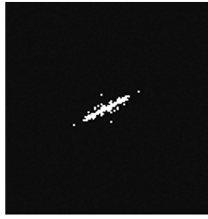


Abb. 5.3: Scatterplot nach einem 11 x 11 Gauss low-pass Filter und einer Fourier Transformation (DFFT, „Discrete Fast Fourier Transformation“). Das Streudiagramm zeigt eine bevorzugte Richtung der Punkte, verdeutlicht durch eine passende Gerade. Die Linie beschreibt gleichzeitig den idealen Rotationswinkel (Czermak 2004, Czermak et al. 2006a).

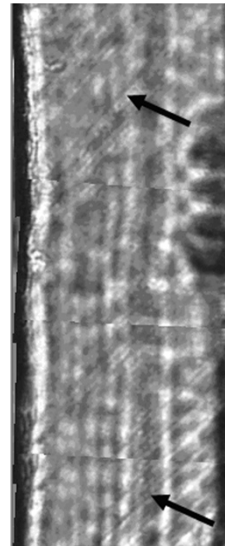


Abb. 5.4: ROI nach Rotation der einzelnen Segmente. Die Zahnzementringe sind nun in vertikaler Richtung orientiert. Die Zementringe können durch Diffraktionsartefakte gestört werden (vgl. Abb. 5.10.), durch partielle Dekomposition der Zementschicht, oder durch Sägespuren, die bei der Herstellung der Dünnschnitte entstehen können (Pfeile). gestört werden. Sägespuren haben das gleiche Erscheinungsbild wie die Zementringe und können, wenn sie parallel zu diesen verlaufen das Zählergebnis beeinflussen (Czermak 2004, Czermak et al. 2006a).

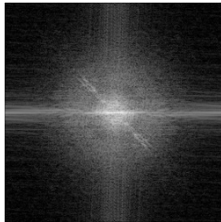
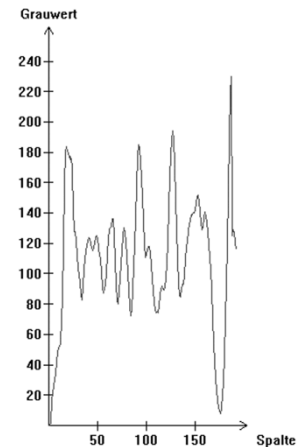


Abb. 5.5: Power-Spektrum der rotierten ROI. Vertikal orientierte Zementlinien gruppieren sich in der Nähe der zentralen waagrechten Linie des Power-Spektrums. Im Gegensatz dazu erscheinen nicht lineare Strukturen oder Linien, die im Originalbild in einem anderen Winkel zu den Zementlinien orientiert sind (z.B. Sägespuren), als Bildpunkte mit einem größeren Abstand zur Horizontallinie (Czermak 2004, Czermak et al. 2006a).



A



B

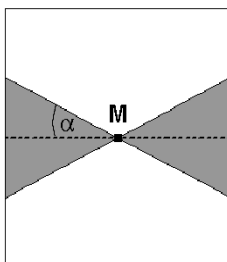


Abb. 5.6: „Winkelfilter“. Über das Power-Spektrum wird eine „punktsymmetrische Maske“ gelegt. Ausgehend vom Mittelpunkt (M) werden zwei sich nach außen öffnende Keile mit einem empirisch definierten Winkel (α) angelegt. (Graue Fläche = maskierter Abschnitt). Die Graustufenwerte der weißen Fläche werden auf „null“ (=schwarz) gesetzt (Czermak 2004).

Abb. 5.7 (A): ROI nach Fourier-Rücktransformation des gefilterten Powerspektrums. Alle Störungen wurden beseitigt und die Ringe sind deutlich erkennbar. Es folgt ein Scannen der ROI „line-by-line“ und die Bestimmung der Grauwertstufe jedes Pixels. (B) Graustufenlevel-Diagramm der Bildpunkte entlang der schwarzen Linie in (A). Lokale Maxima repräsentieren helle Linien, Minima dunkle Linien. Anschließend wird der Graph invertiert und die Maxima, die nun die dunklen Ringe repräsentieren, durch einen „peakfinder-Algorithmus“ identifiziert und gezählt (Czermak 2004, Czermak et al. 2006a).

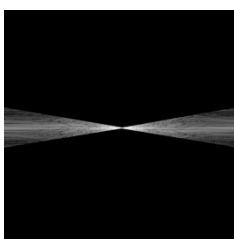


Abb. 5.8: Power-Spektrum nach Anwendung der „Winkelfilter“-Maske. Den Bildpunkten außerhalb der Maske wurde der Graustufenwert „null“ (=schwarz) zugewiesen. Innerhalb der Maske gibt der Farbwert des mittleren Bildpunktes (M) die Helligkeit des rücktransformierten Bildes vor. M wird als mittlerer Graustufenwert (=128) definiert (0=schwarz 255=weiß), die übrigen Punkte werden anhand dieses Mittelwertes neu skaliert (Czermak 2004, Czermak et al. 2006a).

	Einzelzählungen	Verwendeter Wert
1 Zahn	≈ 8000 pro Zahn	Mittelwert der Bilder
≈ 5 Bilder	≈ 1600 pro Bild	Mittelwert der ROIs
≈ 4 ROI pro Bild	≈ 400 pro ROI	Mittelwert der Modalwerte der Einzelzählungen
≈ 400 Einzelzählungen pro ROI		Modalwert pro ROI

Tab. 5.3: Anzahl der Einzelzählungen pro Zählebene und jeweils für die weitere Auswertung verwendete Werte.

Anwendung des Zählprogrammes

Auswählen des Schnittes

Es hat sich gezeigt, dass Bildaufnahmen und Zählungen aus verschiedenen Bereichen einer Zahnwurzel häufig variieren, da sich die Dicke der Zementschicht deutlich zwischen Schnitten in Kronennähe und in Wurzelnähe unterscheiden (Abb. 5.17, siehe auch Kap. 5.3.3, Methodische Diskussion der TCA).

Um ein verfälschtes Ergebnis der Sterbealtersbestimmung durch eventuellen Verlust bzw. eine fehlende Anlagerung der Zementschicht zu vermeiden, sollten demnach Schnitte aus dem mittleren Bereich der Zahnwurzel für eine Auswertung mit TCA bevorzugt werden.



Abb. 5.9: Längsschnitt durch Zahn und Kieferknochen. Eine entzündliche Erkrankung des Zahnfleischsaumes (Parodontitis) kann zu Zahnfleischschwund und zu freiliegenden Zahnhälsen führen. (Abbildung modifiziert nach: www.bertelsmann-bkk.de, 2010)

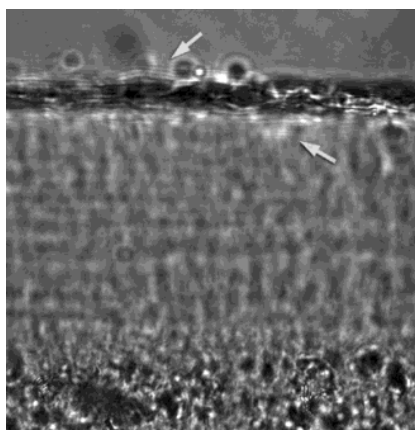


Abb. 5.10: Diffraktionsartefakte („Beugungsartefakte“) (Objektiv: 40x). Im Übergangsbereich zwischen Präparat und Einbettungsmaterial sind häufig Artefaktlinien (Pfeile) zu sehen. Bei geringerer Vergrößerung (Objektiv: < 40x) erscheinen Artefaktlinien mit der gleichen Breite wie die Zahnzementringe und können fälschlicherweise als solche gewertet werden. Bei einer stärkeren Vergrößerung sind die Zuwachsringe breiter als die Artefaktlinien und somit von diesen eindeutig zu unterscheiden (Bild: Etting Grab 16, Objektiv: 40x) (Czermak et al. 2006a).

Mikroskopie und Bildaufnahme

Bei der mikroskopischen Betrachtung der Bilder sollte das Bild nicht „scharf“ gestellt werden. Der optische Eindruck des kristallinen hell / dunkel-Kontrastes der Zahnzementringe bietet an sich keine scharfe Struktur (vgl. auch Abb. 5.18). Daher ist bei einer Focusebene in der Mitte des Präparates der visuelle Eindruck weniger „scharf“ als an den Rändern. Erscheinen die Strukturen „scharf“ liegt der Fokus auf den Oberflächen des Präparates. Dabei besteht jedoch die Gefahr, dass Schnittartefakte („Sägespuren“) falsch „positiv“ gewertet werden.

Nach einigen Anwendungen der Auto-TCA erwies es sich als hilfreich für einen stabilen Ablauf des Programms, wenn bereits bei Aufnahme der Bilder die Ringstruktur senkrecht verläuft. Dadurch wird Schritt (2) des Programmverlaufs vereinfacht. Der Winkel mit dem die einzelnen Segmente der ROI gedreht werden ist dadurch kleiner und eine Drehung der Abschnitte beansprucht demnach weniger Rechenleistung.

Bei Aufnahmen mit verschiedenen Vergrößerungen wurde deutlich, dass die Ringe bei höherer Vergrößerung deutlicher erkennbar sind. So können Linien die dichter gepackt sind oder deren Grauwertstufen sich nur gering voneinander unterscheiden besser erkannt werden (Abb. 5.16) (Czermak et al. 2006). Bei besonders breiten Zementschichten, die den

Bildausschnitt überschreiten, ist es natürlich sinnvoller, aufgrund der benötigten Bildkapazität eine geringere Vergrößerung zu verwenden.

Bei Materialien mit unterschiedlicher optischer Dichte können im Übergangsbereich Beugungsartefakte entstehen. Bei den Zahnschnitten kommt dies häufig am Rand der Zementschicht im Übergangsbereich zum Einbettungsmaterial vor. Bei geringerer Vergrößerung erscheinen diese Artefakte mit der gleichen Breite wie die Zementringe und können mit diesen verwechselt werden. Bei einer stärkeren Vergrößerung erscheinen die Zuwachsringe breiter als die Artefaktlinien (Abb. 5.10). Eine Verwechslung und ein fälschliches Mitzählen kann sowohl bei der Computerzählung als auch bei der Handzählung durch eine stärkere Vergrößerung ausgeschlossen werden (Czermak et al. 2006).

Um den Datenverlust möglichst gering zu halten ist es empfehlenswert die Bilder als Graustufenbilder im tiff- oder bmp-Format zu speichern.

Auswählen der ROI

Wegen der irregulären Struktur der Zementschichten kann es innerhalb der ROI pro Pixelreihe zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen. Es hat sich gezeigt, dass bei schlechter Qualität der Zementschicht in der ausgewählten ROI die Anzahl der gezählten Ringe weiter streut als bei besser erhaltenen Abschnitten. Daher ist ein möglichst gut erhaltener Abschnitt auszuwählen.

Das Programm verläuft stabiler, wenn die ROI nicht zu nahe an den Randbereichen des Bildes liegt und nicht zu groß gewählt ist. Wenn sich der ausgewählte Bereich zu nahe am Bildrand befindet, wird die Drehung der einzelnen Bildsegmente in Schritt (2) des Programmverlaufs beeinträchtigt. Wenn der Winkel, der für eine Drehung der Ringe in die Vertikale benötigt wird zu groß ist, ragen Abschnitte des obersten Segmentes aus dem Bild und ein erneutes Zusammensetzen der Segmente durch das Programm ist nicht mehr möglich. Ein zu groß gewählter Bildausschnitt kann die Kapazität der Software überfordern.

Das Auto-TCA-Programm zählt die erkennbaren Linienstrukturen in der markierten Bildregion. Wenn alle Kriterien für die Auswahl des Schnittes, die Markierung der ROI und die Bildaufnahme erfüllt sind, zählt das Programm zuverlässig und reproduzierbar.

Methodenvergleich (TCA, Auto-TCA und Morphologie)

Das Sterbealter aller Individuen wurde sowohl morphologisch als auch mit der TCA-Methode bestimmt. Bei den auf dem Friedhof Etting Bestatteten wurden die Zahnzementbilder zunächst per Hand gezählt (Czermak 2002; Czermak & Ledderose 2004) und die Ergebnisse mit Hilfe der Computerzählung überprüft (Tab. 5.4) (Czermak et al. 2006a).

Die Auswertung der Altersbestimmungs- und Zählmethoden basiert auf einer Einteilung in zehn Altersklassen. Für die demographischen Berechnungen wurde diese Einteilung beibehalten, wobei für ältere Individuen, deren TCA Ergebnisse deutlich von den morphologischen abweichen bevorzugt die morphologische Altersbestimmung verwendet wurde. Die Ergebnisse der Altersbestimmung (Tab. 5.4) wurden miteinander verglichen (Abb. 5.11). Der Erhaltungsgrad der Ettinger Skelettfunde war sehr gut, so dass bei allen Individuen das Sterbealter morphologisch relativ genau bestimmt werden konnte, ebenso konnten von allen Erwachsenen auswertbare Zahndünnschnitt-Bilder angefertigt werden.

Die Einteilung bei der morphologischen Sterbealtersbestimmung erfolgte in 10 Altersklassen (I1, I2, J, fA, mA, sA, fM, mM, sM, S, siehe Kapitel 5.1.4). Die für die TCA angegebene Fehlerspanne von +/-3 Jahren (Wittwer-Backofen et al. 2004) entspricht bei dieser Einteilung genau der Spannweite einer Altersklasse. Bei einer Einteilung in nur sechs große Altersklassen (I1, I2, J, A, M, S) gibt es keine signifikanten Abweichungen zwischen den Ergebnissen der drei Methoden bei juvenilen und adulten Individuen. Lediglich in den höheren Altersklassen unterscheiden sich die Befunde signifikant. Die Einteilung erfolgte hier in zehn Altersklassen. Auch hier stimmt das festgelegte Sterbealter bei jungen Individuen (J, fA und mA) bei allen drei Methoden weitgehend überein. In der Altersklasse mA wurden zwei Individuen morphologisch deutlich jünger bestimmt als mit der TCA (Gräber 18/2 und 28). Hier handelt es sich um Individuen aus besonders reich ausgestatteten Gräbern, deren biologisches Alter aufgrund einer geringen physischen Belastung „jünger“ gewesen sein könnte als ihr chronologisches Alter.

Grab	Morph. Erh.- zustand	Geschl.	Sterbealter	TCA			
			Morph	Handzählung		Auto-TCA	
			Alterklasse	Jahre	Altersklasse	Jahre	Altersklasse
13	gut	m	fA	20	fA	21	fA
17	mittel	w	J	19	fA	22	fA
26	gut	w	fA	23	fA	23	fA
27	gut	m	mA	26	mA	27	mA
1	gut	m	fA	23	fA	27	mA
3B	gut	m	fA	27	mA	28	mA
3C	gut	m	mA	28	mA	29	mA
7	schlecht	m	mA	28	mA	31	mA
16	mittel	w	mA	23	fA	26	mA
5	gut	w	sM	49	mM	38	sA
29	gut	m	sA	38	sA	37	sA
10/II	mittel	w	mA	25	mA	32	sA
4	gut	w	mA	32	sA	32	sA
23	gut	w	sA	30	mA	35	sA
30	mittel	w	mM	38	sA	33	sA
2	mittel	m	sA	43	fM	38	fM
3A	gut	m	fM	36	sA	44	fM
18/I	gut	m	mM	42	fM	45	fM
18/II	mittel	m	mA	39	fM	42	fM
22	mittel	m	S	30	mA	39	fM
28	gut	w	mA	45	fM	40	fM
34	schlecht	w	sA	28	mA	41	fM
33	gut	w	mM	49	mM	42	fM
25	gut	m	mM	48	mM	54	sM
20	schlecht	w	mM	46	mM	57	sM
6	gut	w	fM	46	mM	59	sM

Tab. 5.4: Einzelergebnisse der verwendeten Methoden zur Sterbealtersbestimmung (Gräberfeld Etting). Geordnet nach Altersklassen, ausgehend von der computergezählten TCA.

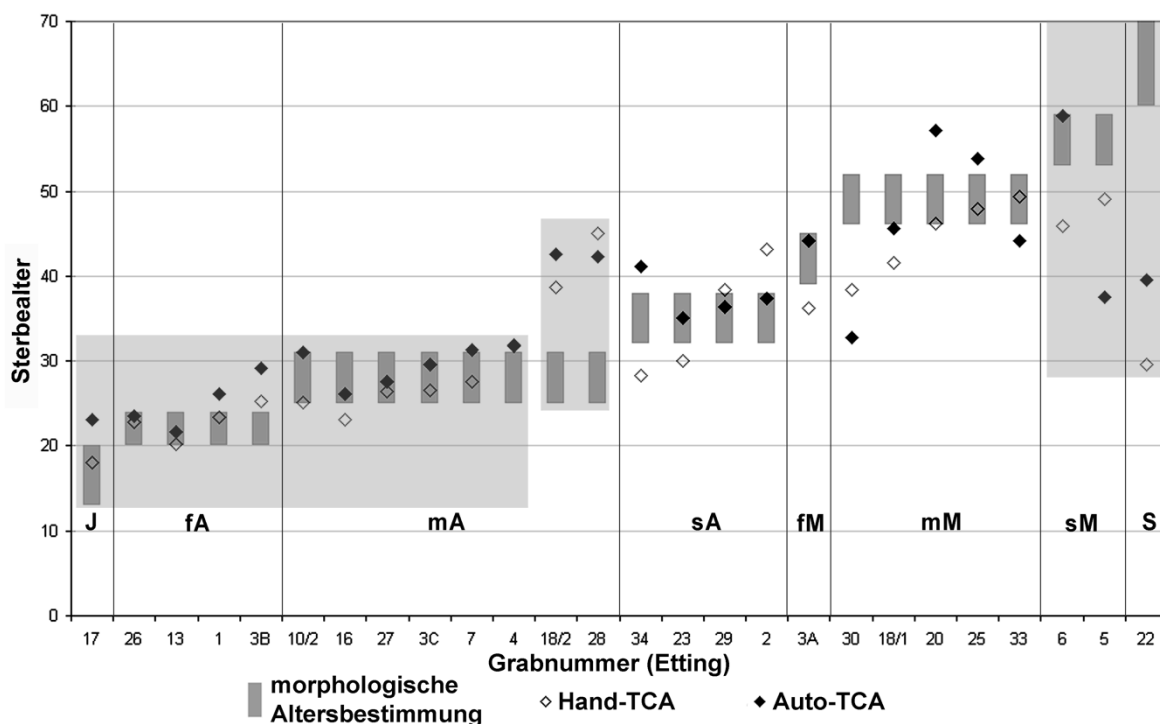


Abb. 5.11: Vergleich der morphologischen Altersbestimmung mit der TCA, Handzählung und Computerzählung (Auto-TCA). Für die morphologisch bestimmte Altersklasse wird eine Zeitspanne angegeben (dunkelgrau), für die Ergebnisse der TCA wird das jeweils bestimmte Alter angegeben (Czermak et al. 2006). Bei jüngeren Individuen stimmen die Ergebnisse der drei Methoden weitgehend überein (hellgrau hinterlegt, links), Ausnahmen bilden Grab 18/2 und 28 (hellgrau, mittig). In den höheren Altersklassen liegen die Ergebnisse der TCA deutlich unter denen der morphologischen Bestimmung (hellgrau, rechts).

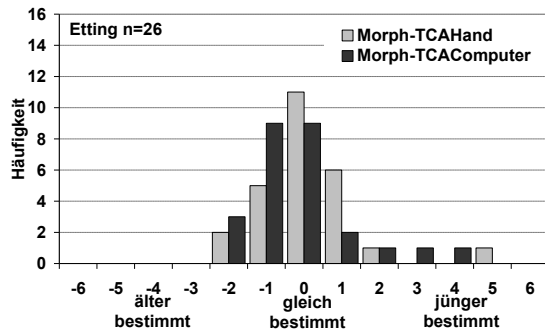


Abb. 5.12: Abweichungen der Altersbestimmung mit TCA Hand und TCA Computer (Auto-TCA) von der morphologischen Altersbestimmung (Einteilung in zehn Altersklassen). Die Ergebnisse der TCA unterscheiden sich nicht signifikant (KW) von der morphologischen Altersbestimmung. Einige Individuen wurden morphologisch älter eingeschätzt, wobei anhand der Computerzählung (dunkle Balken) mehr Individuen als „jünger“ identifiziert wurden (Gräberfeld Etting).

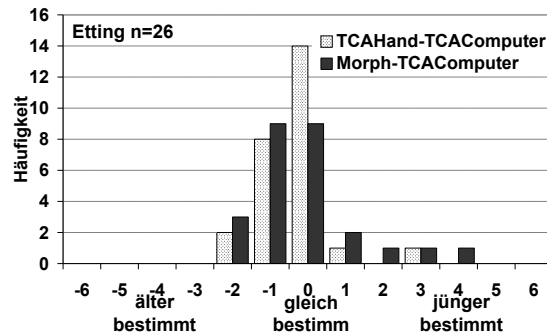


Abb. 5.13: Abweichungen der Altersbestimmung mit TCA Computer (Auto-TCA) von der morphologischen Altersbestimmung und TCA Hand (Einteilung in zehn Altersklassen). TCA-Handzählung und Computerzählung stimmen in den meisten Fällen überein, einige Individuen wurden älter eingestuft (helle Balken). Im Vergleich mit der morphologischen Altersbestimmung wurden einige Individuen wesentlich jünger bestimmt (dunkle Balken) (Gräberfeld Etting)

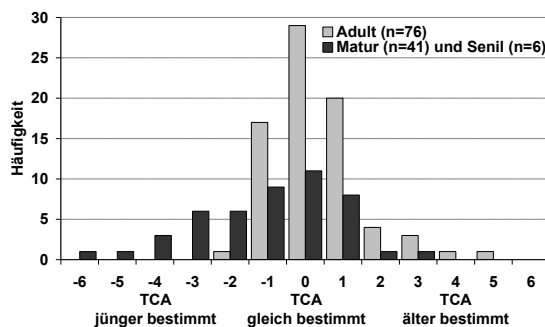


Abb. 5.14: Abweichungen der Altersbestimmung mit TCA (Auto-TCA) von der morphologischen Altersbestimmung in den einzelnen Altersklassen. Bei adulten Individuen (helle Balken) stimmen die Ergebnisse der morphologischen Altersbestimmung und der TCA weitgehend überein, einige Individuen wurden älter bestimmt als ihr „biologisches“ Alter. Bei den maturen und senilen Individuen (dunkle Balken) streuen die Ergebnisse deutlich weiter. Ein Großteil der Individuen anhand der TCA jünger bestimmt als morphologisch eingestuft. (Individuen aus Etting und Großmehring B1-B4).

Die Ergebnisse der TCA Hand- und TCA Computerzählung unterscheiden sich nur unwesentlich und schwanken in der Regel nicht um mehr als eine Altersklasse. Bei drei adulten Individuen (Gräber 26, 13 und 27) gab es eine genaue Übereinstimmung der Zählergebnisse. In den höheren Altersklassen (sM und S) ist der Unterschied stärker. Anhand der Computerzählung werden die Individuen tendenziell etwas älter bestimmt als mit der Handzählung. Je älter ein Individuum ist, desto stärker schwanken die Ergebnisse der drei Methoden. In den höheren Altersklassen scheinen die Ergebnisse der TCA häufiger deutlich unter denen der morphologischen Altersbestimmung liegen (siehe Abb. 5.14).

Der Vergleich der TCA-Zählungen per Computer und per Hand, ausgehend von der morphologischen Altersbestimmung zeigt, dass die Werte generell im normalverteilten Bereich liegen und sich nicht signifikant unterscheiden (KW). Die Ergebnisse der Handzählung stimmen häufiger mit denen der morphologischen Bestimmung überein als die Computerzählung (Abb. 5.12 hellgrau). Mit der Auto-TCA wurden einige wenige Individuen im Vergleich zur morphologischen Schätzung deutlich jünger bestimmt als mit der Handzählung (Abb. 5.12 dunkelgrau). Einige Individuen wurden sowohl mit der Hand-, als auch mit der Computerzählung ein bis zwei Altersklassen älter klassifiziert, wobei die Ergebnisse der Computerzählung häufiger von der morphologischen Schätzung abweichen. Der Modalwert aller gezählten Ringe war bei der automatisierten Zählung aber generell niedriger als bei der Handzählung (Abb. 5.12).

Ein Vergleich der Computerzählung mit der Handzählung zeigt, dass in über der Hälfte der Fällen die Ergebnisse übereinstimmen. Anhand der Auto-TCA wurde jedoch ein Drittel eine Altersklasse älter bestimmt (Abb. 5.13 helle Balken). Der Vergleich Computerzählung und morphologische Altersbestimmung zeigt eine Übereinstimmung in nur etwa einem Drittel der Fälle. Anhand der Computerzählung werden die Individuen tendenziell älter bestimmt. Fünf

Individuen wurden mit der Computerzählung jünger bestimmt als morphologisch geschätzt, zwei davon um eine und jeweils ein Individuum um zwei, drei oder sogar vier Altersklassen (Abb. 5.13 dunkelgrau).

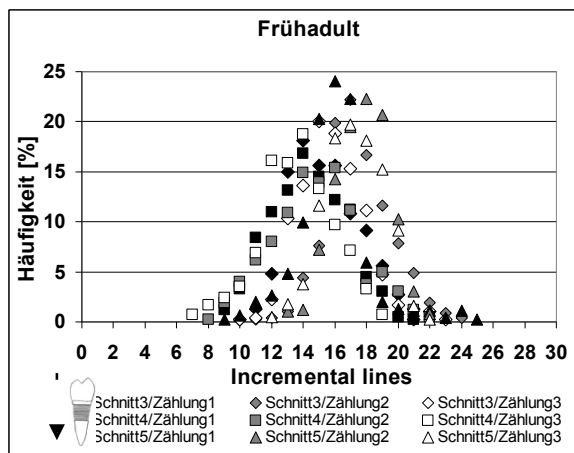
Anhand Abb. 5.14 wird deutlich, dass die Individuen, bei denen zwischen morphologischer Altersbestimmung und der TCA die stärksten Differenzen bestehen, also das mit TCA ermittelte Sterbealter deutlich jünger war, alle morphologisch der maturen oder senilen Altersklasse zugewiesen wurden (dunkle Balken). Bei adulten Individuen stimmen die Ergebnisse der TCA weitgehend mit der morphologischen Altersbestimmung überein (38%), bei jeweils einem Viertel der Individuen besteht eine Abweichung um eine Altersklasse jünger oder älter. Einige der adulten Individuen werden hier mit TCA älter bestimmt, teilweise um vier bis fünf Altersklassen (helle Balken). Bei Individuen der maturen und senilen Altersklasse streuen die Ergebnisse stärker (dunkle Balken). Eine Übereinstimmung von TCA und morphologischer Bestimmung gab es nur in 23% der Fälle, eine Abweichung um eine Altersklasse bei insgesamt 36% (davon 19% jünger und 17% älter). Einzelne wurden zwar um zwei oder drei Altersklassen älter bestimmt, aber es zeigt sich eine deutliche Tendenz, dass ältere Individuen anhand der TCA-Methode jünger bestimmt werden. 36% aller maturen und senilen Individuen wurden mit der TCA um mindestens zwei Altersklassen jünger eingestuft, davon jeweils 13% um zwei und drei Klassen, 6% um vier und einzelne um fünf oder sechs Altersklassen. Anhand der Abbildungen 5.12-5.14 konnte gezeigt werden, dass eine größere Anzahl von Individuen, die aufgrund der morphologischen Altersbestimmung als „matur“ oder „senil“ klassifiziert wurden mit der TCA-Methode deutlich jünger bestimmt werden. Auch streuen die TCA-Ergebnisse. Mature und senile Individuen müssten demnach entweder morphologisch zu alt oder mit der TCA-Methode zu jung bestimmt worden sein.

Die morphologische Altersbestimmung kann selbstverständlich nur ungefähr erfolgen (Kemkes-Grottenthaler 2002; Steyn et al. 2004; Szilvássy 1988). Mit zunehmendem Individualalter wirken immer mehr Faktoren ein, die zum biologischen Alterungsprozess beitragen. Demnach kann nur das biologische Alter bestimmt werden (Kemkes-Grottenthaler 2002). Allerdings erfolgte die morphologische Altersbestimmung der untersuchten Individuen hauptsächlich anhand des Verwachsungsgrades der Schädelnähte (Acsádi & Nemeskéri 1970; Lovejoy et al. 1985; Meindl & Lovejoy 1985; Meindl et al. 1985), der weitgehend unbeeinflusst von Umwelt und Verschleißerscheinungen ist (Acsádi & Nemeskéri 1970; Kemkes-Grottenthaler 2002). Daher kann eine Schwankung von einer Altersklasse als Übereinstimmung gewertet werden. Allerdings wurden hier auch zwei der maturen Individuen anhand der Zementzuwachsringe zwei oder drei Klassen älter bestimmt als morphologisch klassifiziert.

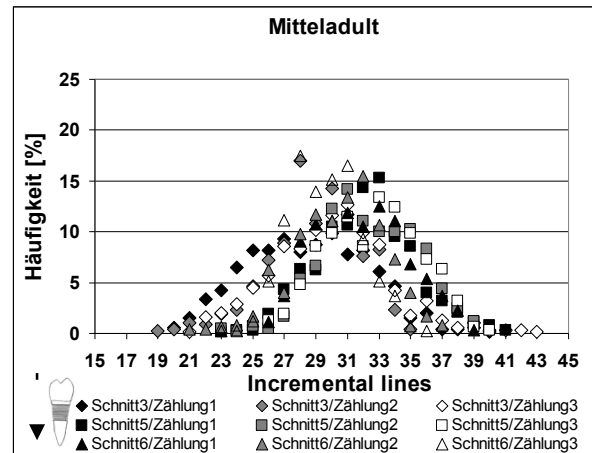
Eine weitere Möglichkeit ist, dass ältere Individuen mit der TCA-Methode zu jung eingeschätzt werden. Da hier mit dem Computer gezählt wurde, kann ein „*observer-error*“ ausgeschlossen werden. Die graphische Darstellung der Einzelergebnisse der Computerzählung verdeutlicht, dass die Anzahl der Ringe bei älteren Individuen zwischen einzelnen Schnittebenen eines Zahnes schwanken, abhängig von der Nähe zur Zahnkrone. Die Darstellung einiger Einzelergebnisse der automatischen Zählung (Abb. 5.15) zeigt, dass sich die Unterschiede zwischen den einzelnen Schnittebenen vergrößern können, je älter das Individuum ist. Die Einzelergebnisse der Zählungen einer ROI sind jeweils normalverteilt. Bei den früh- und mitteladulten Individuen ist der „peak“, also der am häufigsten gezählte Wert, bei den Zählungen an Schnitten aus verschiedenen Ebenen gleich. Je älter das Individuum ist, desto flacher wird die Kurve, die Werte streuen weiter und das Ergebnis ist nicht mehr so eindeutig (Abb. 5.15 A und B).

Bei dem spätadulten Individuum erscheinen zwei unterschiedliche peaks, also zwei verschiedene Werte mit am häufigsten gezählten Ringen. Je näher sich der Schnitt an der Zahnkrone befindet, desto weniger Ringe werden gezählt. Die Ergebnisse sind innerhalb eines Schnittes gleich und bei zwei aufeinander folgenden Schnitten weichen sie nur unwesentlich voneinander ab. Der Abstand der beiden Modalwerte ist aber noch nicht besonders groß (Abb. 5.15 C). Spätestens ab der maturen Altersklasse ist ein deutlicher Unterschied erkennbar. Die Werte innerhalb eines Schnittes bleiben normalverteilt und auch

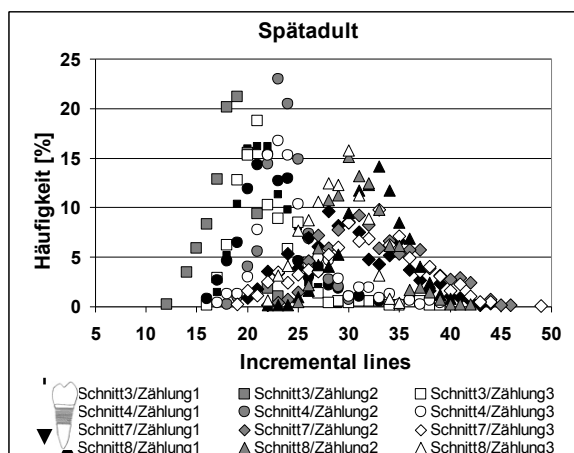
weichen bei direkt aufeinander folgenden Schnitten nicht wesentlich voneinander ab, die Kurven sind jedoch deutlich flacher und die Werte streuen weiter (Abb. 5.15 D). Je weiter aber die Schnittebene von der Zahnkrone entfernt liegt, desto mehr Ringe werden gezählt.



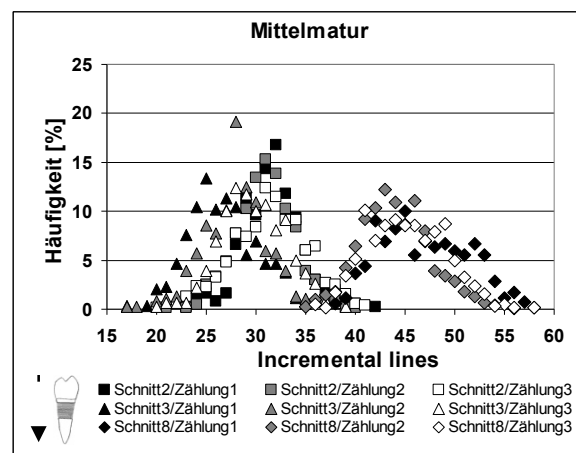
A: Morphologisch bestimmtes Alter: Frühadult (20-24 Jahre). Etting Grab 1, männlich. Bestimmtes Alter mit Auto-TCA (Modalwert aller Einzelzählungen): 27 Jahre (mA).



B: Morphologisch bestimmtes Alter: Mitteladult (25-31 Jahre). Etting Grab 18/2, männlich. Bestimmtes Alter mit Auto-TCA (Modalwert aller Einzelzählungen): 42 Jahre (fM).

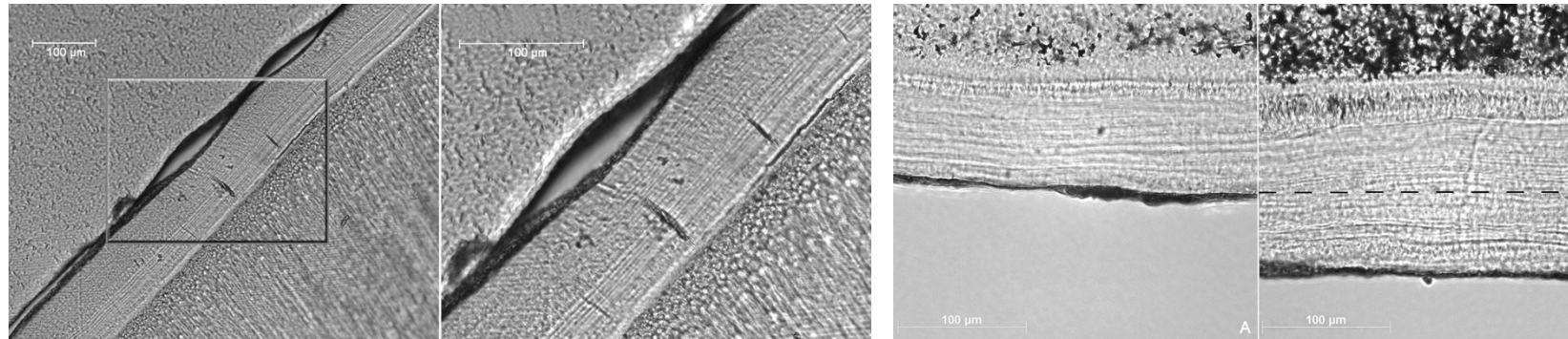


C: Morphologisch bestimmtes Alter: Spätadult (32-38 Jahre). Etting Grab 2, männlich. Bestimmtes Alter mit Auto-TCA (1) 37 Jahre (sA): Modalwert aller Einzelzählungen + Durchbruchsalter. (2) 40 Jahre (fM): Modalwert der Zählungen der Schnitte aus Wurzelmitte + Durchbruchsalter.



D: Morphologisch bestimmtes Alter: Mittelmatur (46-52 Jahre). Etting Grab 33, männlich. Bestimmtes Alter mit Auto-TCA (1) 45 Jahre (fM): Modalwert aller Einzelzählungen + Durchbruchsalter. (2) 53 Jahre (sM): Modalwert der Zählungen des Schnittes aus Wurzelmitte + Durchbruchsalter.

Abb. 5.15: Auto-TCA Zählergebnisse der Zahnzementlinien von Individuen verschiedenen (morphologisch bestimmten) Alters. Die Zählergebnisse eines Schnittes sind normalverteilt und mehrere Zählungen an verschiedenen Stellen eines Schnittes stimmen weitgehend überein. Je jünger das Individuum, desto schmaler die Kurve und desto eindeutiger das Ergebnis (A). Mit fortschreitendem (morphologisch bestimmtem) Alter wird die Kurve flacher und die Ergebnisse streuen stärker (B). In den hier dargestellten höheren Altersklassen sind deutliche Unterschiede zwischen Schnitten in Kronennähe und in Wurzelnähe zu erkennen (C). Je älter das Individuum, desto weiter können die Ergebnisse der einzelnen Schnitte auseinander liegen (D) (Czermak et al. 2006a).



20x Objektiv

Ringanzahl	n	%
28	50	20,1
27	50	20,1
29	43	17,3
26	40	16,1
30	22	8,8
25	21	8,4
24	10	4,0
31	5	2,0
32	4	1,6
23	2	0,8
22	1	0,4
21	1	0,4
Zählungen	249	

40x Objektiv

Ringanzahl	n	%
38	37	11,3
37	36	11,0
42	34	10,4
39	32	9,8
40	31	9,5
43	23	7,0
41	23	7,0
36	19	5,8
44	18	5,5
45	13	4,0
34	12	3,7
35	10	3,0
46	5	1,5
33	5	1,5
30	5	1,5
28	5	1,5
32	4	1,2
27	4	1,2
31	3	0,9
48	2	0,6
47	2	0,6
29	2	0,6
25	2	0,6
50	1	0,3
Zählungen	328	

Abb. 5.16: Zahnzementabschnitt, aufgenommen mit unterschiedlicher Vergrößerung. 20x-Objektiv (links) und 40x-Objektiv (rechts). Bei stärkerer Vergrößerung werden die Zahnzementringe deutlicher sichtbar und sind optisch besser zu unterscheiden. Auch das Zählprogramm kann bei stärkerer Vergrößerung mehr Linien erkennen und mehr Einzelzählungen pro ROI vornehmen (Czermak et al. 2006a) (Probe: Großmehring B3, Grab 57, männlich, morphologisch bestimmtes Alter: spätadult-frühmatur).

A

Ringanzahl	n	%
30	46	14,8
29	46	14,8
27	39	12,5
28	37	11,9
32	29	9,3
31	29	9,3
26	21	6,8
33	15	4,8
34	11	3,5
25	10	3,2
24	9	2,9
36	6	1,9
35	4	1,3
39	3	1,0
23	2	0,6
37	1	0,3
38	1	0,3
40	1	0,3
41	1	0,3
Zählungen	311	

B (oberer Abschnitt)

Ringanzahl	n	%
28	24	16,7
23	18	12,5
26	17	11,8
25	16	11,1
30	15	10,4
24	15	10,4
27	14	9,7
29	10	6,9
22	7	4,9
31	5	3,5
32	2	1,4
21	1	0,7
Zählungen	144	

B (gesamt)

Ringanzahl	n	%
45	54	16,6
46	51	15,6
44	51	15,6
47	47	14,4
48	27	8,3
43	23	7,1
49	19	5,8
42	17	5,2
41	10	3,1
50	9	2,8
51	7	2,1
54	4	1,2
52	3	0,9
40	2	0,6
39	1	0,3
38	1	0,3
Zählungen	326	

Abb. 5.17: Dünnschnitte eines Zahnes in Kronennähe (A) und in Wurzelnahe (B). Die Dicke der Zementschicht variiert deutlich zwischen den Schnitten. Die Anzahl der Ringe des Schnittes in Kronennähe (links) stimmt mit der Anzahl der Ringe in dem Bereich mit der gleichen Zementdicke im Schnitt aus der Wurzelmitte (rechts) überein (Czermak et al. 2006a) (Probe: Etting Grab 2, männlich morphologisch bestimmtes Alter: Spätadult). Graphische Darstellung der Ergebnisse siehe Abb. 5.15C.

Je älter also ein Individuum, desto größer kann der Unterschied von Werten von Schnitten aus verschiedenen Bereichen der Zahnwurzel sein. Dies verdeutlichen die Bildaufnahmen der in Abb. 5.15C gezählten Dünnschnitte aus den verschiedenen Bereichen der Zahnwurzel (Abb. 5.17 A und B). Die Dicke der Zementschicht variiert deutlich zwischen den Schnitten in Kronennähe (A) und in Wurzelnähe (B) gesamt). Die Aufnahmen von verschiedenen Schnittebenen des gleichen Zahnabschnittes zeigen deutlich, dass dem Schnitt aus der Kronennähe (A) Zementmaterial „fehlt“, das aber einige Millimeter in Richtung der Zahnwurzel angelagert wurde (B). Die Zählung des Schnittes aus Kronennähe (A) und des oberen Abschnittes des Dünnschnittes (B), die in etwa die gleiche Breite haben, ergab eine ähnliche Anzahl an Zementringen. Da die Randstruktur der Aufnahme (A) relativ einheitlich ist, kann nicht davon ausgegangen werden dass es sich um einen Materialverlust handelt.

Mit Hilfe der automatisierten Auszählung der Zahnzementringe konnte verdeutlicht werden, dass das Ergebnis der Altersbestimmung unpräziser werden kann, je älter ein Individuum ist. Die Wahl der Schnittebene ist daher entscheidend für die Validität des Ergebnisses.

Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass die Vergrößerung mit der das Bild aufgenommen wird Auswirkungen auf das Ergebnis haben kann (Abb. 5.16). In einem mit stärkerer Vergrößerung aufgenommen Bildabschnitt sind die Grauwertstufen besser unterscheidbar und deutlich mehr Ringe erkennbar (Czermak et al. 2006).

5.2.3 Probenentnahme, -qualität und -auswertung

Bei den auszuwertenden Bildern von Zahnzementringen können auch bei gut erhaltenen und kariesfreien Zähnen deutliche Qualitätsunterschiede bestehen und sich die Ergebnisse innerhalb eines Schnittes, eines Zahnes und/oder eines Individuums deutlich unterscheiden. Daher stellt sich die Frage, welche Probe für die Beurteilung des Sterbealters verwendet werden soll.

Die Zementschicht erscheint nicht überall gleich dick und die Anzahl der Ringe kann sich sowohl in den verschiedenen Quadranten des Zahnes als auch in den verschiedenen Schnittebenen unterscheiden (Czermak et al. 2006a; Czermak et al. 2006b; Grupe & Lippitsch 2007; Kay et al. 1984; Renz & Radlanski 2006). Das könnte die häufige Varianz der Anzahl der Zementringe pro Zahn und die in manchen Fällen schlechte oder ungenaue Annäherung an das tatsächliche Sterbealter erklären. Als Ursachen werden peridontale Veränderungen (z.B. Ablösung der Wurzelhaut, Parodontose) oder natürliche Zahnbewegung aufgrund von Kaukräften genannt, die Unterschiede könnten aber auch „zufällig“ entstehen (Renz & Radlanski 2006).

Welcher Zahn?

Eine Altersbestimmung mit TCA ist prinzipiell an allen Zahntypen möglich (Kagerer & Grupe 2001a; Kagerer & Grupe 2001b; Wittwer-Backofen et al. 2004), bevorzugt werden aber Prämolaren verwendet (Charles et al. 1986; Condon et al. 1986; Czermak et al. 2006a; Kvaal & Solheim 1995; Pilloud 2004), da hier das Alter des Zahndurchbruchs relativ konstant ist (Adler 1967; Großkopf 1990; Obertova & Francken 2009; Schroeder 2001) und somit eine der möglichen Fehlerquellen, bzw. Unsicherheitsfaktoren reduziert wird. Außerdem erscheint die Zementschicht bei Zähnen mit nur einer Wurzel regelmäßiger als bei mehrwurzeligen Zähnen z.B. Molaren, bei denen an den Teilungsstellen der Zahnwurzel (Bi- oder Trifurkationen) die Zementapposition unregelmäßig erfolgen kann (Schroeder 2001; Wittwer-Backofen & Buba 2002). Ursache hierfür ist vermutlich die ungleichmäßige Kraftübertragung auf die einzelnen Zahnwurzeln bei mehrwurzeligen Zähnen während des Kauvorgangs. Bei Zähnen mit einer Wurzel wird die Kaukraft nur auf eine Wurzel übertragen (Liebermann 1993; Liebermann 1994; Renz & Radlanski 2006).

Welche Schnittebene?

In verschiedenen Studien wurden für die Auszählung der Zahnzementringe unterschiedliche Wurzelabschnitte verwendet. Die Zählung erfolgte am ganzen Zahn (Kagerer & Grupe 2001a; Stott et al. 1982), am Mittelpunkt der Wurzel (Miller et al. 1988), an Schnitten des

mittleren Drittels (Cool et al. 2002; Czermak et al. 2006a; Renz & Radlanski 2006; Wittwer-Backofen et al. 2004), aber auch des oberen Drittels (Charles et al. 1986; Condon et al. 1986; Großkopf 1990). Der Bereich des azellulären Fremdfaserzements erscheint wegen seines regelmäßigen Aufbaus, des überwiegenden Fehlens von Zellen, Einschlüssen und Resorptions- bzw. Reparaturprozessen für die TCA optimal. Es wird vorwiegend in der Nähe der Zahnkrone angelagert. In Richtung der Zahnwurzel wird der Anteil von zellulärem Zement größer und daher nehmen auch Unregelmäßigkeiten in Struktur und Breite der Zementschicht zu (Charles et al. 1986; Condon et al. 1986). Die Schnittqualität nimmt daher von der Krone zur Wurzel tendenziell ab (Grupe & Lippitsch 2007; Lippitsch 2007). Dies konnte auch hier beobachtet werden. Das mittlere Wurzeldrittel erwies sich auch hier als der Bereich, in dem die Ringe am deutlichsten erkennbar und am besten auswertbar waren (Cool et al. 2002; Czermak et al. 2006a; Kagerer & Grupe 2001a; Lippitsch 2007; Renz & Radlanski 2006; Wittwer-Backofen et al. 2004).

Eine Erklärung für die bessere Sichtbarkeit der Ringe im mittleren Wurzelbereich ist der in diesem Bereich optimale Schnittwinkel. Die Ringe sind im Durchlicht am deutlichsten sichtbar, wenn der Schnitt genau in rechtem Winkel zur Wuchsrichtung der Wurzel erfolgt. In diesem Fall liegen die Ringe genau übereinander, es entsteht ein stärkerer Kontrast zwischen hellen und dunklen Linien. Weicht der Winkel zur Zahnwurzel von 90° ab, so erscheinen die Ringe im mikroskopischen Bild unschärfer (Maat et al. 2006). In der Regel werden die Dünnschnitte des Zahnes nicht dem Verlauf der Wurzel folgend angefertigt, sondern im rechten Winkel zur Achse der Zahnwurzel. Im oberen Bereich des mittleren Wurzeldrittels entspricht dies genau einem rechten Winkel zur Wuchsrichtung der Wurzel (Abb. 5.18).

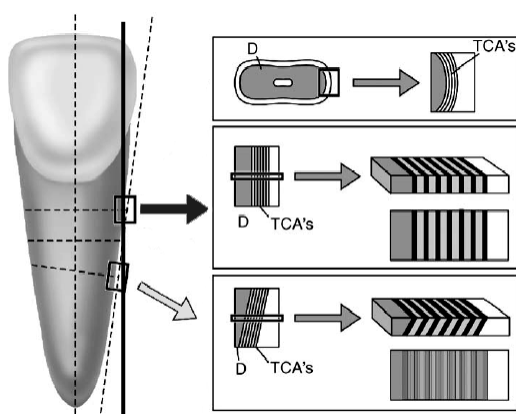


Abb. 5.18: Schema der unterschiedlichen mikroskopischen Erscheinungsbilder von Schnitten, die in verschiedenen Winkeln zum Wurzelverlauf stehen. Bei Dünnschnitten, die im 90°-Winkel zum Wachstumsverlauf der Wurzel gemacht wurden, liegen die Ringstrukturen direkt übereinander. Im Durchlicht entsteht dadurch ein stärkerer Kontrast zwischen hellen und dunklen Linien. Erfolgen die Schnitte entlang der Achse der Zahnwurzel, so erscheinen die Ringe an Stellen, die nicht lotrecht zur Wuchsrichtung der Wurzel liegen gegeneinander verschoben und wirken unscharf (Maat et al. 2006). Wenn, wie in der Regel üblich, der Schnitt entlang der Achse der Zahnwurzel erfolgt (schwarze Linie), liegt der Schnitt in etwa auf Höhe des mittleren Wurzeldrittels senkrecht zur Wuchsrichtung der Wurzel, bei Schnitten in diesem Bereich sind die Ringe demnach am deutlichsten sichtbar (schwarzer Pfeil). Abkürzungen: TCA's = Tooth-cementum-annulations (Zahnzementringe), D = Dentin. (Abbildung modifiziert nach Maat et al. 2006).

Die Anzahl der Zementringe erscheint, besonders bei älteren Individuen, in nahe an der Zahnkrone gelegenen Schnitten geringer als in Schnitten aus dem mittleren Wurzeldrittel (Czermak et al. 2006a; Lippitsch 2007; Pilloud 2004; Renz & Radlanski 2006) (siehe Abb. 5.15 C, D und 5.17). Die Dicke des Zahnzementes nimmt generell von der Wurzelspitze bis zur Zahnkrone ab.

Eine Erosion des Zementes könnte postmortal durch Liegemilleu oder Liegebedingungen auftreten (Kagerer & Grupe 2001b). Abrasion durch Zahn-auf-Zahn-Kontakte (Attrition) oder durch harte Nahrung (Demastikation) kann ebenfalls zu einer verminderten Ringanzahl führen (Lieberman et al. 1990). Der Rückgang des den Zahnhals schützenden Zahnfleisches wird jedoch als Hauptursache für die verminderte Anlagerung in den coronalen Zementabschnitten gesehen (Geppert & Müller 1951a; Geppert & Müller 1951b; Grupe & Lippitsch 2007; Renz & Radlanski 2006; Schumacher & Schmidt 1990; Zander & Hürzeler 1958).

Im Bereich der Schmelz-Zement-Grenze, oberhalb des Gingiva-Saumes, ist bei Retraktion der Gingiva bzw. des Alveolarsaumes (altersbedingt oder durch periodontale Erkrankung) der „offene“ Zahnhals den Umweltbedingungen (z.B. säurehaltigen Lebensmitteln oder verstärktem Abrieb) relativ ungeschützt ausgeliefert (Naylor et al. 1985).

Auch ein nicht intakter Zahnhalteapparat verursacht z.B. durch periodontale Erkrankungen (Parodontitis oder Parodontose) oder Nichtgebrauch eines Zahnes (z.B. hervorgerufen durch Schmerz oder fehlende Antagonisten) kann zu einer verminderten Anzahl der Zementringe führen. Ohne funktionelle und mechanische Beanspruchung, kommt es zum Abbau des Zahnhalteapparates und daraus folgend zu einer reduzierten Zementapposition (Condon et al. 1986). So können Gebiss- und Zahnfehlstellungen einen Einfluss haben, falls ihr Auftreten zu periodontaler Gewebszerstörung führt (Kagerer & Grupe 2001b). Ein Fehlen des biomechanischen Reizes kann zum Abbau des Desmodontes und der Alveolen führen (Schumacher & Schmidt 1990). Karies hingegen hat, sofern nicht am Zahnhals, kaum einen Einfluss auf die Bildung von Zementringen (Kagerer & Grupe 2001a; Kagerer & Grupe 2001b).

Die Folgen einer periodontalen Erkrankung und dem daraus resultierenden Zahnfleischrückgang ergeben sich aus den physikalischen Gegebenheiten. Physikalisch vereinfacht ist der Zahn mit einem zweiarmligen Hebel vergleichbar. Das Hebelgesetz:

$$(F_K \cdot l_K = F_L \cdot l_L) \text{ Kraft} \cdot \text{Kraftarm} = \text{Last} \cdot \text{Lastarm}$$

besagt, dass bei gleich bleibender Last die Größe der Zugkräfte u. a. vom Verhältnis Lastarm zu Kraftarm abhängig ist. Je länger der Hebel an dem die Last angreift, desto größer werden die Zugkräfte auf der Gegenseite. Durch die beim Kauvorgang in horizontaler Richtung wirkenden Kräfte oder Rotationsbewegungen erfährt die Zahnwurzel im zervikalen und apikalen Bereich die größte mechanische Belastung. Der zervikale Hebel der Zahnwurzel ist im gesunden Zahnhalteapparat länger, daher wirken am apikalen Hebelende größere Kräfte (Schumacher & Schmidt 1990) (Abb. 5.19). Um dieser Kraft entgegen zu wirken sollte demnach an der Wurzelspitze die Zementschicht stärker ausgebildet sein („Puffermatrix“) als im oberen Bereich (Lippitsch 2007). Das Verhältnis von Kraft zu Lastarm beim Zahn kann sich durch Rückgang des Zahnfleisches und/oder des Alveolarknochens verändern und den Kraftarm verlängern und den Druck auf den unteren Bereich verstärken (Abb. 5.19 rechts) (Lippitsch 2007; Schumacher & Schmidt 1990).

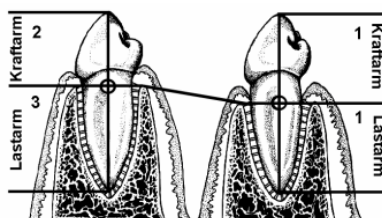


Abb. 5.19: Verhältnis von Kraftarm zu Lastarm gemäß dem Hebelgesetz am Zahnlängsschnitt (links, Verhältnis 2/3) und die Verschiebung des Drehpunktes bei Rückgang des Zahnfleisches und des Alveolarknochens (rechts, Verhältnis 1/1). Beim gesunden Zahnhalteapparat ist der Lastarm länger als der Kraftarm, somit ist der zervikale Hebel der Zahnwurzel länger und am unteren Ende der Wurzel wirken stärkere Kräfte. Bei Verlagerung des Drehpunktes (rechts) verkürzt sich der Lastarm und somit wird die Krafteinwirkung auf den unteren Teil der Wurzel verstärkt (Abbildung modifiziert nach Schumacher & Schmidt 1990).

Bei einer funktionellen Belastung des Zahnes kommt es dadurch auch zu einer weiteren Verbreiterung des Peridontalspaltes. Fehlt die Verbindung zu den umliegenden Strukturen, fehlen auch die im Zement verankerten Sharpey'schen Fasern, die Zahn und Kieferknochen verbinden. Da die Mineralisierung entlang der Fasern erfolgt (Schroeder 2001), wird bei deren Fehlen die Zementschicht an diesen Stellen nicht weiter gebildet. Dadurch dürfte einerseits an der Wurzelspitze mehr Material angelagert werden, an der Kronenseite deutlich weniger.

Auch der alters- oder krankheitsbedingte Abbau der Gingiva wirkt sich auf die Zementbildung aus. An den Stellen am Zahnzement, die nicht mehr von Gingiva-Epithel umgeben sind, sind die Kollagenfasern komplett zerstört. In den Bereichen mit zerstörten Fasern verringern sich auch Anzahl und Größe der Kristalle in den äußeren Schichten des Zementes (Hallmon et al. 1996; Selvig 1966). In solchen Fällen sind an den pathologischen Bereichen weniger Zementringe vorhanden, da sie zerstört, resorbiert oder gar nicht erst gebildet werden. (Kagerer & Grupe 2001a; Kagerer & Grupe 2001b; Kvaal & Solheim 1995; Zander & Hürzeler 1958). Wenn die Oberfläche des Zementes der Mundflora ausgesetzt ist, kann außerdem die äußerste Zone der Zementschicht hypermineralisiert werden (Nanci & Bosshardt 2006).

Welche Stelle am Zahn (Quadrant)?

In dieser Untersuchung wurden, wie in den meisten Studien, die Stellen des Zahnquerschnittes für die Auszählung verwendet, an denen die Zementringe deutlich sichtbar und an denen die meisten Ringe vorhanden waren (Czermak et al. 2006a; Großkopf 1990; Liebermann 1994; Stott et al. 1982; Wittwer-Backofen & Buba 2002; Wittwer-Backofen et al. 2004). Dies entspricht in der Regel den von Lippitsch (2007) empfohlenen mesialen und buccalen Quadranten eines Zahnquerschnittes.

Die Zementdicke einwurzeliger Zähne steigt zwar mit dem Alter generell im Durchschnitt um das dreifache an, in den einzelnen Quadranten des Zahnes ist die Zunahme aber nicht immer gleich (Geppert & Müller 1951a; Geppert & Müller 1951b; Grupe & Lippitsch 2007; Renz & Radlanski 2006; Schumacher & Schmidt 1990; Zander & Hürzeler 1958). An den buccalen und lingualen Bereichen des Zahnes ist die Zementschicht deutlich dünner. Die Zementstruktur erscheint an diesen Stellen im mikroskopischen Bild unscharf und die Ringe sind teilweise schwer zu differenzieren. In den Bereichen, die an benachbarte Zähne grenzen, ist die Zementschicht dicker und die Ringe sind klarer voneinander getrennt (Grupe & Lippitsch 2007). Bei zu starker Druckbelastung kann die Zementschicht abgenutzt, abgebaut oder „komprimiert“ werden. Vermutlich ist aber an den Stellen mit dünnerer Zementschicht die Matrix lediglich kompakter und die Anzahl der Ringe somit nur scheinbar reduziert (Lippitsch 2007).

Die Zementapposition ist vermutlich eine Funktion der Kaudruckbelastung. An funktionellen Zähnen wird generell mehr Zement aufgelagert als an Zähnen, die nicht in Okklusion stehen (Kronfeld 1938). In Bereichen einwirkenden Zuges ist die Zementapposition stärker als auf den jeweils korrespondierenden Seiten, die Druck ausgesetzt sind (Geppert & Müller 1951a; Geppert & Müller 1951b). Demnach müsste an den belastungsarmen Zonen der mesialen und distalen Quadranten die Zementanlagerung regel- und gleichmäßig erfolgen und die Ringe sollten klar voneinander abgrenzbar sein. Daher sollten bevorzugt die Bereiche, die in Richtung der benachbarten Zahne stehen, für die Auszählung der Ringe verwendet werden. Diese Stellen werden aber vermutlich auch ohne besondere Erwähnung verwendet, da dort die Zementschicht in der Regel am dicksten und die Ringe am deutlichsten sichtbar sind (Grupe & Lippitsch 2007; Lippitsch 2007).

Sowohl die Zementdicke innerhalb eines Schnittes, als auch die Anzahl der Ringe bei Schnitten aus verschiedenen Wurzelbereichen variieren stark innerhalb eines Zahnes. So lag in einer systematischen Untersuchung die größte Differenz zwischen erstem und letztem Schnitt bei 34, im Mittel bei 10 Jahren. Vergleichbare Unterschiede ergaben auch Zählungen der verschiedenen Quadranten eines Schnittes (Grupe & Lippitsch 2007, siehe auch Renz und Radlinski 2006).

Die Anzahl der Ringe und die Validität der Altersbestimmung sind abhängig von Quadrat und Schnittebene. Werden also stets die Zementbereiche eines Schnittes mit der maximalen Anzahl an Ringen ausgewertet, so wird eine Unterschätzung innerhalb des Schnittes vermieden. Werden aber nur Schnitte aus dem oberen Drittel der Wurzel ausgewertet, muss von einer Unterschätzung des Alters ausgegangen werden (Czermak et al. 2006a; Lippitsch 2007). Bei weiteren, die Ringanzahl potentiell reduzierenden Faktoren kann es daher zu einer Mehrfachunterschätzung des Alters kommen. Aufgrund der vielen möglichen Faktoren sollte grundsätzlich von einer generellen Altersunterschätzung bei älteren Individuen ausgegangen werden.

Quantitative Auswertung

Sowohl bei der hier verwendeten Computerzählung, als auch bei manueller Zählung werden die Ergebnisse der Einzelzählungen entweder als Mittelwert, als Median oder als Modalwert verwendet. Es stellt sich die Frage, welcher dieser Werte verwendet werden sollte.

Die Anzahl der Zementringe kann an einigen Stellen erhöht sein durch Zementwucherungen, Doubling, Hyperzementosen und Zementeinschlüsse (Lippitsch 2007). Aber auch durch Sägespuren und optische Interferenzen (siehe Abb. 5.10) kann die Anzahl überschätzt werden (Czermak et al. 2006a; Lippitsch 2007; Pilloud 2004). Umgekehrt können weniger Ringe angelagert sein durch peridontale Erkrankung oder erhöhte Kaudruckbelastung (Kagerer & Grupe 2001a; Lippitsch 2007). Aber auch durch schlechte Erhaltung und

mikrobielle Dekomposition oder durch unscharfe Zementstrukturen, zu geringe Vergrößerung (vgl. Abb. 5.16) und methodisch bedingte Unschärfe der Bilder kann die Ringanzahl unterschätzt werden (Czermak et al. 2006a; Lippitsch 2007; Pilloud 2004). Median und Modalwert können daher mögliche Ausreißer und „verzerrte“ Ergebnisse verhindern, die bei der Verwendung des Mittelwertes mit einfließen.

Setzt sich die Datenmenge aus Zählungen der Zementbereiche zusammen, an denen die Ringe am besten zu sehen und am zahlreichsten vorhanden sind (also den mesialen und distalen Quadranten), sollten sowohl maximaler, als auch häufigster oder Mittelwert nicht stark voneinander abweichen. Bei Handzählung wird es daher als sinnvoll angesehen, gemäß des „Schnittebenen- und Quadranten-Trends“ den Maximalwert, also den höchsten gezählten Wert zu verwenden (Lippitsch 2007). Hier wurde bei der Handzählung gemäß Kagerer & Grupe (2001a) der Modalwert bevorzugt, um mögliche Ausreißer auszuklammern, die aufgrund der relativ geringen Anzahl der Einzelzählungen ins Gewicht fallen könnten.

Bei der automatischen Zählung wurde ebenfalls der Modalwert verwendet. Die Einzelergebnisse (ca. 400 pro ROI) sind normalverteilt (siehe Abb. 5.15) und der Modalwert entspricht der Spitze der Verteilungskurve. Bei dem Maximalwert würde es sich meist um eine einzige Zählung mit diesem „Maximalergebnis“ handeln, das häufig stark vom „peak“ der Kurve abweicht (Czermak et al. 2006a).

5.2.4 Entstehung der Zahnzementringe

Die Apposition der Zementringe unterliegt vermutlich einer Interaktion von nutritiven, klimatischen, genetischen, biomechanischen und funktionellen Faktoren, deren genaue Prozesse allerdings immer noch nicht bekannt sind (z.B. Cool et al. 2002; Grue & Jensen 1979; Pilloud 2004; Renz & Radlanski 2006; Wedel 2007; Wittwer-Backofen & Buba 2002). Das Erscheinungsbild wird durch Faktoren beeinflusst, die sich saisonal ändern und auf die Mikrostruktur des Zements einwirken können. Als ausschlaggebenden Faktoren werden biomechanische und ernährungsbedingte Ursachen, sowie hormonell induzierte Stoffwechselvorgänge genannt (Liebermann 1994; Stallibrass 1982).

Strukturbildung

Zahnzement ist ein funktioneller Teil des Zahnhalteapparates. Der Zahnhalteapparat hat die Funktion, den Zahn mit einem dreidimensional verspannten Fasersystem in der Alveole elastisch zu verankern und ihn optimal im Kiefer auszurichten, um eine möglichst schonende Ableitung der beim Kauvorgang entstehenden Kräfte über die Zahnwurzel und den Kiefer auf den Schädelknochen zu gewährleisten. Das Zement wird appositionell angelagert und umgibt die Zahnwurzel. Im Mikroskop erscheinen sich abwechselnde helle und dunkle Linien, wobei ein und dieselbe Linie im Durchlicht dunkel, im Polfilter hell erscheint (Lam 2008). Diese Zahnzementzuwachsringe entstehen durch schubweise erfolgende Bildung der Kollagenfasern und deren Mineralisation (Kronfeld 1938; Schumacher & Schmidt 1990). Die lamelläre Struktur ist mit den Jahresringen eines Baumes vergleichbar (Liebermann 1994). Ein heller und ein dunkler Ring repräsentieren einen Wachstumszyklus (Lam 2008). Durch appositionelle Anlagerung nimmt die Zementschicht mit dem Alter an Dicke zu (Azaz et al. 1974; Großkopf 1988; Miller et al. 1988; Schroeder 2001). Innerhalb von zwei bis drei Jahren hat das azelluläre Fremdfaserezement ein Dickenwachstum von 60 μm , eine typische Wachstumslinie beträgt 5-40 μm (Azaz et al. 1974; Liebermann 1994; Miller et al. 1988; Stutz 2002). Ein Ab- oder Umbau des Zementes findet nur in geringem Umfang statt (Kay et al. 1984; Liebermann 1994; Lindskog et al. 1987; Raspanti et al. 2000). Auch das Vorkommen von sogenannten „Krisenringen“ ist ein Hinweis darauf, dass kein nennenswertes Remodelling des Zahnzementes stattfindet (Kagerer & Grupe 2001a).

Voraussetzung für eine kontinuierliche Zementapposition ist ein intakter Zahnhalteapparat (Kagerer & Grupe 2001a). Die Sharpey'schen Fasern werden in der jeweils neu aufgelagerten Zementschicht verankert. Dadurch wird die Verbindung von Zement und Desmodont aufrechterhalten und somit die Stabilität des Systems gewährleistet (Schroeder 2001).

Die Zuwachsringe erscheinen im Normalfall regelmäßig und in konstanter Breite. In einigen Fällen sind jedoch breitere, im Hellfeld durchsichtig-hell erscheinende Ringe zu erkennen. Diese Ringe können mit unterschiedlichen Begebenheiten und Lebensumständen korrelieren. So entsteht einerseits während des Zahndurchbruches eine deutlich erkennbare, breite Linie („Durchtrittsline“). Vermutlich wird durch den Durchtrittsvorgang die Zementschicht weniger mineralisiert (Kagerer & Grupe 2001a; Kagerer & Grupe 2001b). Die Durchtrittsline trennt die präeruptiv gebildeten Zahnzementringe in der Dentin-Zement-Verbindungszone von den posteruptiven Linien ab. Als Ursache für die Entstehung der präeruptiven Schicht wird die Bewegung des Zahnes vor dessen Durchbruch vermutet (Kagerer & Grupe 2001b). Nach Durchbruch des Zahnes beginnt die kontinuierliche Zementapposition, vermutlich als Reaktion auf die physikalische Beanspruchung während des Kauvorgangs (Liebermann 1993; Liebermann 1994; Liebermann & Meadow 1992). Aber auch im weiteren Verlauf der Anlagerung treten gelegentlich deutlich breitere Linien auf („Krisenringe“). Diese konnten mit besonderen Lebensumständen und Krankheiten in Verbindung gebracht werden, wie Schwangerschaften, Traumata des Skelettes und Nierenkrankheiten (Kagerer & Grupe 2001a; Kagerer & Grupe 2001b), aber auch mit Kältestress (Cipriano 2002). Hier könnte es sich um verstärkt Calcium verbrauchende metabolische Prozesse oder Störungen des Mineralstoffwechsels handeln. In manchen Dünnschnitten eines Zahnes wurde eine annähernde Verdoppelung der Ringanzahl beobachtet. Bei diesem so genannten „doubling“ werden im Verlauf eines Jahres statt zwei Ringen vier oder mehr angelagert (Kagerer 2000; Kagerer & Grupe 2001a; Stott et al. 1982). Die Ursache konnte bisher nicht geklärt werden.

Zahlreiche Studien versuchten in der Vergangenheit, sich teilweise widersprechend, die Entstehung der Ringe und deren Aussehen zu erklären (Tab. 5.5). So sollen durch erhöhtes Wachstum in den Sommermonaten breite Ringe mit geringer Mineralisierung entstehen, im Winter aufgrund der geringeren Wachstumsrate des Zements schmale Ringe mit höherer Mineralisierung (Liebermann 1994; Morris 1972). Die dunklen Ringe könnten auch im Sommer gebildet worden und hypermineralisiert sein, die hellen jedoch hypomineralisiert und im Winter gebildet (Cipriano 2002; Kagerer & Grupe 2001b; Wada et al. 1978). Ringe, die im polarisierten Licht hell (bzw. im Durchlicht dunkel) erscheinen, werden allgemein mit einer Zeit des Wachstums korreliert (Liebermann 1994).

In seiner Studie konnte Wedel (2007) anhand von Proben aus Zahnarztpraxen mit dokumentierten Patientendaten nachweisen, dass das Erscheinungsbild der Ringe von der Jahreszeit abhängig ist. Hierbei wurde der äußerste Ring untersucht und in Korrelation zum Zeitpunkt der Extraktion gebracht. Ein Wechsel der Banden fand jeweils Ende September / Anfang Oktober und Ende März / Anfang April statt. Die Breite der Linien korrelierte mit der Anzahl der Tage der fortgeschrittenen Jahreszeit (vgl. Abb. 5.20).

Die genauen, für die Bildung der Ringstruktur verantwortlichen Mechanismen wurden bislang nicht definitiv nachgewiesen. Einige Hypothesen versuchen, die Ursache des dreidimensionalen Erscheinungsbildes der Mikrostruktur zu erklären. Einerseits können die Linien im Zahnzement durch Änderung in der Orientierung der extrinsischen Fasern oder deren Dichte resultieren (Hillson 1988; Liebermann 1994; Liebermann & Meadow 1992; Schmidt & Kiel 1972) (Abb. 5.20 A).

Autor	Helle Linien	Dunkle Linien	Technik
Jankauskas (2001)	Sommer , breite Ringe, Zementozyten	Winter , schmale Ringe, geringer Ca-Anteil	Lichtmikroskop (Durchlicht)
Kagerer (2001) Cipriano (2002)	Winter Hypomineralisiert, lockere Mineralisierung	Sommer Hypermineralisiert, dichter	Lichtmikroskop (Phasenkontrast)
Liebermann (1993)		Hypermineralisiert, Reduzierte Zementogenese (Diät mit wenig Mineral)	Lichtmikroskop (orig. im Microradiograph untersucht)
Wedel (2007)	Sommer Wachstumsphase	Winter Ruhephase	Lichtmikroskop (Polfilter) Abhängig von Orientierung der Kollagenfasern oder Mineralstruktur = Invers Durchlicht

Tab. 5.5: Zusammenfassung verschiedener Studien zu Aussehen und vermuteter Entstehungsursachen der Zahnzementzuwachsringe und der verwendeten Mikroskopiertechnik.

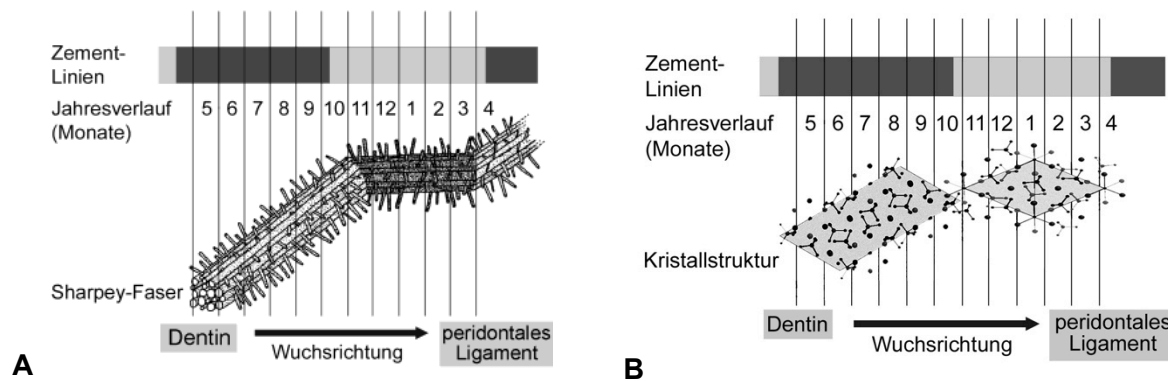


Abb. 5.20: Zusammenhänge bei der Entstehung der Linien im azellulären Zahnzement. Die im Durchlichtmikroskop sichtbaren hellen Linien entstehen in den Wintermonaten, die dunklen in den Sommermonaten (Liebermann 1994; Stutz 2002). Der Übergang der Banden findet Ende März/Anfang April und Ende September/Anfang Oktober statt (Wedel 2007). **(A)** Für das Erscheinungsbild der Linien scheint die unterschiedliche Orientierung der Kollagenfasern verantwortlich zu sein (angenommene Wuchsrichtung der Sharpey'schen Fasern im Jahresverlauf) (Liebermann 1993; Liebermann 1994) und die, vermutlich daraus folgende, unterschiedliche Orientierung und/oder Größe der Kristalle (Cool et al. 2002) **(B)**. (Abbildungen: Czermak).

Zunächst wurde Kollagen selbst für die Strukturbildung verantwortlich gemacht. Die Sharpey'schen Fasern sind parallel zueinander, in einem schrägen Winkel zur Dentin-/Zementgrenze orientiert. Die intrinsischen Kollagenfasern innerhalb der Zement-Matrix sind hauptsächlich im rechten Winkel zu den Sharpey-Fasern angeordnet und wickeln sich um diese (Liebermann 1993). Auf wechselnde biomechanische Kräfte, beispielsweise verursacht durch veränderten Kaudruck aufgrund eines Wechsels von Qualität und / oder Härte der Nahrung (Liebermann & Meadow 1992), reagiert das Zahnzement durch eine wachsende Anzahl Sharpey'scher Faserbündel. Diese sind dann in einem vertikaleren Winkel ausgerichtet (Abb. 5.20) (Liebermann 1993; Liebermann 1994). Kollagen ist eine optisch anisotrope Substanz mit hoher Doppelbrechung. Dadurch könnte das Licht in zwei Wellen geteilt werden, die in rechtwinklig entgegengesetzte Richtungen schwingen. Unter polarisiertem Durchlicht erscheinen dann die Zementschichten entweder undurchsichtig oder lichtdurchlässig, abhängig von ihrer Orientierung zum Polfilter. Zementregionen mit unterschiedlich orientiertem Kollagen müssten demnach im Wechsel verdichtet und durchlässig erscheinen (Gilbert 1989; Liebermann 1994; Stutz 2002). Träfe diese Theorie zu, so müssten die Zementringe unter Polfilter hervorragend unterscheidbar sein. Da dies bei historischem Material nicht der Fall war, wurden dafür von Stutz (2002) diagenetische Prozesse verantwortlich gemacht.

Es konnte experimentell nachgewiesen werden, dass weder die Kollagendichte noch dessen Orientierung für den optischen Effekt verantwortlich sein können. Nach vollständiger De-Kollagenisierung der Proben blieb die Ringstruktur erhalten, nach vollständiger De-Mineralisierung war nur eine schwache Ringstruktur erkennbar. Demnach muss die mineralische Phase hauptverantwortlich für die Doppelbrechung des Zements sein (Cool et al. 2002).

Zunächst wurde vermutet, dass Variationen in der relativen Mineralisation das optische Phänomen der unterschiedlichen Linien generieren. Die einzelnen Banden könnten sich in ihrem prozentualen Anteil an eingelagertem Mineral unterscheiden, was sich optisch im nicht polarisierten Licht ausprägt. Unterschiede in der Mineralisierung der Zahnzementlinien konnten elektronenmikroskopisch festgestellt werden (Hillson 1988; Liebermann 1994), aber es gibt keine definitive Aussage darüber, welche der Linien stärker mineralisiert ist. So bezeichnen Klevezal und Kleinenberg (1967) Linien, die im Durchlichtmikroskop undurchlässig erscheinen als *hypercalzifiziert*, andere Autoren die gleichen Linien als mindermineralisiert (Liebermann 1994; Ohsumi et al. 1963).

Eine Untersuchung der Mineralzusammensetzung ergab keine Veränderung in Anzahl und Dichte der Hauptelemente Calcium, Phosphat und Schwefel auf der gesamten Breite der Zementschicht (Bosshardt & Selvig 1997; Cool et al. 2002). Es besteht demnach keine

Änderung in der Mineraldichte, daher kann auch nicht von einer Hyper-, oder Hypomineralisierung der Ringe gesprochen werden.

Die mögliche Ursache für die hell und dunkel erscheinenden Schichten des Zementes scheinen demnach strukturelle Unterschiede in der mineralischen Phase, also eine unterschiedliche Orientierung oder Größe der Kristalle zu sein (Cool et al. 2002) (Abb. 5.20 B). Dafür wiederum könnte die unterschiedliche Wuchsrichtung der Sharpey'schen Fasern und deren Mineralisierung mit verantwortlich sein (Abb. 5.20 A).

Mechanische Ursachen

Die unterschiedliche Wuchsrichtung der Sharpey'schen Fasern hat vermutlich mechanische Ursachen. Das Zahnzement beteiligt sich funktionell an der Erneuerungsdynamik der peridontalen Gewebe und des Zahnhalteapparates (Schroeder 2001). Die Ausprägung der Zementapposition entsteht durch mechanische Belastung aufgrund der natürlichen Zahnbewegung während des Kauvorgangs. Während des Kauvorgangs wird der Zahnhalteapparat durch die Kaukräfte zum Teil stark belastet. Der Kaudruck wird durch das Höckerrelief der Zähne über die Zahnwurzel und anschließend über das Fasersystem auf den Alveolarknochen abgeleitet und verteilt. Abhängig vom individuellen Kaumuster wirken diese Kräfte auf die Oberfläche der Wurzel ein und können so die Zementapposition beeinflussen. Beim Knochen wirken Zugkräfte stimulierend auf die Knochenneubildung, Druck führt zu Knochenabbau (Bouvier 1985; Huiskes et al. 2000; Jones et al. 1977; Robbling & Stout 2000). Auch Zahnzement muss sensibel auf mechanische Beanspruchung reagieren. Die Apposition des Zementes wird demnach an der Druckseite reduziert und an der Zugseite forciert (Geppert & Müller 1951b). Die Zementschicht wird dabei im Bereich der Zugzonen verdickt (Dastmalchi et al. 1990).

Durch die gesteigerte Belastung kommt es zu verstärkter Ausbildung der Sharpey'schen Fasern, die Zement und Desmodont verbinden, zu deren vertiefter Verankerung im Zement und zu einer gesteigerten Zementapposition. Kaudruck wandelt sich dabei durch die Orientierung der Fasern des Desmodonts in Zugkraft um. Bei verstärkter Kaubelastung ändert sich die Orientierung der Sharpey'schen Fasern, der Winkel zur Dentin-Zement-Verbindungszone wird flacher. Da intrinsische und extrinsische Fasern senkrecht aufeinander stehen wirkt sich eine verstärkte Kaubelastung auf das gesamte Zementkollagen aus. Es erfolgt eine Änderung der Orientierung der Sharpey'schen Fasern und deren Mineralisierung in einem flacheren Winkel zur Dentin-Zement-Verbindungszone (Geppert & Müller 1951a; Liebermann 1994). In stark druckbelasteten Bereichen erscheint demnach eine kompaktere Matrix, deren geringere Zementdicke eine Differenzierung der einzelnen Ringe erschwert (Lippitsch 2007). Demnach könnte Qualität und Härte der Nahrung die Bildung und Ausprägung von Zementringen beeinflussen. Bei nährstoffarmer Kost konnte beispielsweise eine verminderte Zementbildung nachgewiesen werden (Liebermann 1994). Da die Nahrung des Menschen bezüglich Qualität und „Härte“ nicht immer saisonal bedingt ist, ist die Ringbildung selbst nicht darauf zurück zu führen. Die Ausprägung hingegen dürfte aber von diesen Faktoren beeinflusst werden (Renz & Radlanski 2006).

Stoffwechselbedingte Ursachen

Für die Saisonalität der Zahnzementringe werden der Calciumstoffwechsel und dessen hormonelle Steuerung verantwortlich gemacht. Der circaannuale Rhythmus der Zementapposition könnte durch komplexe Interaktion von physiochemischen und umweltbedingten Faktoren entstehen (z. B. Grue & Jensen 1979; Halberg et al. 1983; Kvaal & Solheim 1995; Morris 1972).

Die wichtigsten, den Calciumstoffwechsel regulierenden Hormone sind Calcitonin, Parathormon und Calcitriol (Vitamin D₃). Calcitriol stimuliert die Calcium- und Phosphataufnahme im Darm. Es kann mit der Nahrung aufgenommen oder mit Hilfe von UVB-Strahlung in der Haut endsynthetisiert werden (siehe Anhang Kap. 1.2.2, Physiologie des Knochens). Calcitriol wird, wie die anderen Vitamin-D-Metabolite, im Blut zu >90 % an Vitamin D bindende Proteine gebunden und hat dort eine Halbwertszeit von 19-25 Stunden. In dieser Zeit wird es entweder im Fettgewebe gespeichert oder in der Leber zu

25 (OH) Vitamin₃ hydroxyliert. Als 25 (OH) Vitamin D₃ ist es im Blut wieder an Vitamin-D-bindendes Protein gebunden und hat im Blut eine Halbwertszeit von 19 Tagen bis zu 3-4 Monaten. In den Nieren wird es in seine aktive Form (Calcitriol) gebracht. Dies ist mit einer Halbwertszeit von 3-5 Tagen stark reguliert. Die Bildung des Vitamin D₃ in der Haut durch UVB-haltiges Sonnenlicht ist dadurch auf maximal 250 - 500 µg täglich begrenzt (SCF 2002). Diese Werte gelten für junge Erwachsene. Im Alter sinkt der 7-Dehydrocholesterolgehalt in der Haut. Die Fähigkeit der Haut Vitamin D₃ zu bilden nimmt daher ungefähr um den Faktor 3 ab (Holick 1995). Der Blutspiegel wird über eine tägliche Vitamin D Zufuhr von 20 µg bis 250–500 µg bei Erwachsenen in einem Bereich von 30 bis 88 ng/ml gehalten und steigt erst bei noch höherer Zufuhr an (SCF 2002). Ab einer Serumkonzentration von unter 30 ng/ml steigt die Konzentration des Parathormons im Blut, was zu verstärktem Knochenabbau führt. Diese Faktoren können demnach eine Mindermineralisierung von Knochen und Zahnzement im Alter bedingen. Dies kann Erkrankungen (z.B. Osteoporose) oder längere Heilungszeiten bei Knochenbrüchen zu Folge haben (Hollis 2005), sowie eine fehlende oder verminderte Apposition der Zementschicht im Alter (vgl. Abb. 5.11 & 5.15 D).

Die in der Haut gebildete Vitamin-D Menge ist abhängig von Quantität (Intensität) und Qualität (entsprechende Wellenlänge) der UVB-Strahlung und der Dauer der Exposition (Webb et al. 1988). Bei in vitro Bestrahlung einer bestimmten Menge 7-Dehydrocholesterol mit simuliertem äquatoralem Sonnenlicht ist nach einigen Minuten ca. 20% der Ausgangsmenge zu Cholecalciferol umgewandelt. Diese Menge bleibt jedoch bei weiterer Bestrahlung in einem konstanten Gleichgewicht, da Provitamin-D₃ photolabil ist und durch weitergehende UVB-Bestrahlung während der nächsten 8 Stunden zu physiologisch inaktiven Formen abgebaut wird bevor es zu Vitamin D₃ isomerisiert. Auch Vitamin D₃ selbst ist photolabil, es muss daher schnell genug im Blut abtransportiert werden (Holick 1995).

Bei kurzer Sonnenlichtbestrahlung mit ausreichend hohem UVB-Anteil wird über wenige Minuten ähnlich viel Vitamin D₃ gebildet wie bei einer vergleichbaren Bestrahlung über längere Zeit. Wird die Haut entsprechend großflächig bestrahlt, werden innerhalb der nächsten 24 Stunden 250 µg bis 500 µg Vitamin D₃ gebildet und in das Blut abgegeben. Dies ist ein vielfaches der Nahrungsempfehlungen von 5 µg bis 12,5 µg täglich (Hollis 2005). Eine starke Vitamin D₃-Bildung in der Haut ist also schon bei einer kurzen aber intensiven Sonnenbestrahlung mit hohem UVB-Anteil möglich. Unter optimalen Bedingungen kann in der Haut eines jungen erwachsenen Menschen 250-500 µg (10.000 bis 20.000 IE¹⁷) Vitamin D täglich gebildet werden (Hollis 2005). Ist die Lichtintensität allerdings zu gering, beispielsweise in UVB-strahlungsarmen Wintern, kann kein Vitamin-D₃ in der Haut gebildet werden (Holick 1995). Bei einem ca. 80 kg schweren Erwachsenen sind täglich 12,5–25 µg (500–1000 IE) Vitamin D₃ aus der Nahrung notwendig, um mittelfristig einen (niedrigen) Vitamin-D₃-Spiegel von 20–30 ng/ml im Blut zu halten (Heaney et al. 2003).

Die Intensität der UV-Strahlung hängt primär vom Einfallswinkel der Strahlung und damit von Breitengrad und Jahreszeit ab. Die UV-Strahlung der Sonne erreicht ihr Maximum am Äquator. Die Sonne steht dort annähernd senkrecht, im Vergleich zu mittleren und höheren Breitengraden. Je höher der Breitengrad, desto schräger wird der Winkel der Sonneneinstrahlung. In diesen Gebieten können in den Wintermonaten nur geringe Mengen oder kein Vitamin D (abhängig vom Breitengrad) und nur in den Sommermonaten die maximale Menge gebildet werden. Ein wichtiger Faktor ist auch die Konzentration an Melanin in der Haut. Melanin absorbiert UVB-Strahlung der Wellenlänge 290-320 nm und wirkt als Lichtschutzfilter (Harris & Dawson-Hughes 1998; Norman 1998; Stamp & Round 1974). Eine hohe Melaninkonzentration führt, zusammen mit der verminderten Sonneneinstrahlung in nördlicheren Breiten zu Vitamin D-Mangel (Harris & Dawson-Hughes 1998; Heaney et al. 2003; Hollis 2005; Norman 1998; Stamp & Round 1974; Vieth 2006). So reicht beispielsweise die Sonneneinstrahlung von November bis Februar zwischen dem vierzigsten bis fünfzigsten Breitengrad¹⁸ nicht aus, um eine signifikante Menge an

¹⁷ IE, Internationale Einheit (engl. IU, international unit) ist eine Maßeinheit für in der Medizin verwendete Präparate, entweder durch Referenzpräparate oder international vereinbarte Standards definiert eingesetzt für eine reproduzierbare Dosierung der Präparate anhand ihrer Wirkung (nicht ihrer Stoffmenge). 1 IE Vitamin D₃ \triangleq 0,025 µg Vitamin D₃ \triangleq 65,0 nmol Vitamin D₃ (Quelle: <http://nutrition.a-w.de/dge/ger/LEXIKON/LI001450.HTM>, 2008)

¹⁸ München 48,133°N, Bruckmühl 47,883°N, Ingolstadt 48,767°N. Quelle: Datenbank geographische Längen und Breitengrade deutscher Städte und Gemeinden. (<http://www.fwi.egleeb.de/geodat.htm> 2008).

Cholecalciferol in der Haut zu produzieren (Holick 1995). Abhängig von Jahreszeit, geographischer Breite, Nahrungsgewohnheiten, Lebensstil und Bevölkerungsgruppe kann demnach der Vitamin D₃-Spiegel in Bereiche fallen, bei denen von einem Mangel ausgegangen werden muss. Ein dauerhaft niedriger Vitamin-D-Spiegel ist ein Risikofaktor Rachitis, Osteomalazie, Infektanfälligkeit, Autoimmunerkrankungen und Krebs (Hollis 2005). Es hat sich außerdem gezeigt, dass die Kapazität der Haut Vitamin D zu produzieren im Alter um bis zur Hälfte abnimmt (Mac Laughlin & Hollick 1985). Dies könnte ein weiterer Faktor für die verminderte Anzahl der Zahnzementringe bei älteren Individuen erklären.

Die Sonneneinstrahlung unterstützt also indirekt die Calciumeinlagerung in Knochen und Zähnen. Dadurch wird eine ausreichende Mineralisierung der Hartgewebe gewährleistet. Bei ungenügender UVB-Strahlung kommt es zu einer Mindermineralisierung. Dies unterstützte lange die Annahme, die Zahnzementringe wären unterschiedlich stark mineralisiert und die Jahreszeiten und deren unterschiedliche Sonneneinstrahlung könnten entscheidende Faktoren für die Entstehung der Jahresringe sein. Dafür sprach auch, dass die Zementschichten bei Tieren aus tropischen Gebieten einem Nord-Süd-Gradienten folgend schlechter zu differenzieren sind als in nördlichen Breiten. Dies wurde mit der konstant hohen Sonneneinstrahlung und dem weniger stark ausgeprägten Jahreswechsel am Äquator erklärt (Grue & Jensen 1979). Die Zementschichten erscheinen bei frei lebenden Affen allerdings regelmäßiger als bei Zootieren aus nördlichen Breiten. Als mögliche Erklärung wird angegeben, dass Tiere in Gefangenschaft weniger der Photoperiodizität der Jahreszeiten ausgesetzt sind (Cipriano 2002; Wada et al. 1978).

Die Lichteinstrahlung scheint der entscheidende Faktor bei der Entstehung der Ringstruktur im Zahnzement zu sein. Eine saisonale Abhängigkeit konnte anhand eines Bandenwechsels jeweils um den Zeitpunkt des *equinox* (Tag-und-Nacht-Gleiche) anhand von rezenten Dentalproben rekonstruiert werden (Wedel 2007). Da jedoch keine Veränderungen in der Mineraldichte der einzelnen Ringschichten festgestellt werden konnten (Bosshardt & Selvig 1997; Cool et al. 2002), ist eine saisonale Mindermineralisierung nicht für die Ringstruktur verantwortlich. Die Lichtintensität müsste sich demnach auf die Mineralstruktur auswirken.

Neben mechanischen Ursachen und der UVB-Strahlung wurden bisher noch weitere mögliche Einflüsse auf die Zementbildung diskutiert. Umweltparameter wie Temperatur, Feuchtigkeit, Höhe über dem Meeresspiegel und geographischer Breitengrad, aber auch physiologische Parameter wie Ernährung und endokrine Prozesse könnten eine Rolle spielen. Einige dieser Faktoren korrelieren wiederum direkt oder indirekt mit dem Sonnenstand (z.B. Cipriano 2002; Grue & Jensen 1979; Wittwer-Backofen et al. 2004).

5.2.5 Diskussion der Methoden zur Sterbealtersbestimmung

Diese Untersuchung wurde an historischem Material durchgeführt, das genaue Sterbealter der Individuen ist nicht bekannt. Daher konnten die Ergebnisse der automatischen Auszählung lediglich mit der morphologischen Altersbestimmung verglichen werden. Bei den weiteren Auswertungen zur Demographie und Ernährung wurden die Ergebnisse der TCA verwendet. Wenn allerdings das morphologisch bestimmte Sterbealter etwa in der maturen Altersgruppe lag und um mehr als zwei Altersklassen höher war als das anhand der TCA bestimmte, wurde das morphologisch bestimmte Sterbealter verwendet (siehe S.48-53 und Abb. 5.11-5.17).

Morphologische Altersbestimmung

Die Kenntnis des Sterbealters der einzelnen Individuen ist, ebenso wie die Geschlechtsbestimmung, Grundlage für die Auswertung der Ergebnisse aller weiteren hier durchgeführten Analysen. Eine morphologische Bestimmung des Sterbealters kann nur das physiologische Alter eines Individuums wiedergeben. Mit zunehmendem Alter des Individuums wird die Altersdiagnose ungenauer, hohe Altersklassen werden häufig unterschätzt, niedrige überschätzt (Bocquet-Appel & Masset 1982; Rösing et al. 2005a).

Säuglinge und Kleinkinder werden in der Regel vor allem anhand des Zahnstatus beurteilt. Diese Methodik ist relativ genau und Zähne sind auch bei schlecht erhaltenen Skeletten meist vorhanden. Bei frühadulten Individuen wird das Alter vorrangig anhand der Ossifikationsmerkmale der Epi- und Apophysen bestimmt. Die gängigsten Methoden zur

morphologischen Sterbealtersbestimmung am vollständigen adulten Skelett sind die Beurteilung von endo- und ektocranialem Obliterationsgrad der Schädelnähte, dem Abkautungsgrad der Zähne, sowie der Oberflächenstruktur der sternealen Rippen (Steyn et al. 2004), der Schambeinsymphyse und des Iliosakralgelenks (White 2000; Kemkes-Grottenthaler 2002). Ein Hauptproblem der morphologischen Altersbestimmung erwachsener Individuen ist, dass chronologisches und biologisches Alter nicht zwingend übereinstimmen müssen. Jedes untersuchte Skelettelement kann unterschiedlich „altern“ (Kemkes-Grottenthaler 2002).

Bei den hier untersuchten erwachsenen Individuen erfolgte die morphologische Altersschätzung, sofern möglich, anhand des Verwachsungsgrades der Schädelnähte (Acsádi & Nemeskéri 1970; Lovejoy et al. 1985; Meindl & Lovejoy 1985; Meindl et al. 1985), da diese weitgehend unbeeinflusst von Umwelt und Verschleiß sind (Acsádi & Nemeskéri 1970; Kemkes-Grottenthaler 2002). Der Schädel, vollständig oder in Bruchstücken, ist bei den meisten *in situ* Skelettfunden vorhanden und häufig gut erhalten. Der Obliterationsgrad der Nähte kann aber auch nur einen ungefähren Hinweis auf das Alter liefern (Szilvássy 1988). In der Regel werden die Ergebnisse nur grob in drei erwachsene Altersklassen (Adult, Matur, Senil) eingeteilt (Acsádi & Nemeskéri 1970; Herrmann et al. 1990). Hier erfolgte eine Einteilung in neun erwachsene Altersklassen (siehe Kap. 5.1.4). Die Feineinteilung wurde anhand des Verwachsungsgrades innerhalb der für den Verschluss der Nähte angegebenen Zeitspanne vorgenommen. Die Altersdiagnose anhand der Schädelnähte ist zwar umstritten (Rösing et al. 2005b), es zeigte sich aber in dieser Untersuchung, dass Individuen der adulten Altersklasse eine relativ gute Übereinstimmung zwischen morphologischer Altersschätzung und der quantitativen Bestimmung des Sterbealters mit der TCA (siehe Abb. 5.11).

Als zweites Kriterium, um die Altersbestimmung anhand der Schädelnähte zu überprüfen, wurde das Relief des Iliosakralgelenks begutachtet (Acsádi & Nemeskéri 1970; Buckberry & Chamberlain 2002; White 2000). Diese beiden Merkmale werden am wenigsten von Umweltfaktoren beeinflusst (Meindl & Lovejoy 1985; Meindl et al. 1985). Die morphologische Altersschätzung ist in erster Linie abhängig vom Erhaltungsgrad des Materials. Je besser das Material erhalten ist, desto besser sind die entscheidenden Merkmale erkenn- und bestimmbar.

Zahnzementringanalyse (TCA)

Bei der Auswertung der hier gewonnenen Ergebnisse zeigte sich, dass die Unterschiede zwischen morphologischer Altersschätzung und der Sterbealtersbestimmung mit TCA deutlicher und größer werden können, je älter das Individuum anhand der morphologischen Altersschätzung bestimmt wurde. Es besteht die Gefahr, dass ältere Individuen anhand der TCA zu jung eingeschätzt werden.

Dies steht in Kontrast zur Untersuchung von Cipriano-Bechtle et al. (1996) an nicht altersbekanntem Material. Dort wurden einige Individuen mit TCA wesentlich älter bestimmt als morphologisch geschätzt (Cipriano-Bechtle et al. 1996). Durch das Nachzählen der archivierten Bilder (Cipriano-Bechtle 1994) konnte dies auf einen „observer error“ zurückgeführt werden. So erschienen bei Bildern von Individuen, deren Anzahl der Zuwachsringe ein besonders hohes Alter ergaben, zahlreiche Artefaktlinien, die offensichtlich mit in die Zählung aufgenommen wurden¹⁹. Optische Interferenzen entstehen im Mikroskop besonders an Materialgrenzen (hier Zement / Einbettungsmaterial). Diese Linien erscheinen im Lichtmikroskop bei einem 20x Objektiv wie dunkle Zahnzementringe. Bei einer Vergrößerung von 40x erscheinen sie schmaler und sind einfacher von den Zahnzementringen zu unterscheiden (siehe Abb. 5.10) (Czermak et al. 2006a). Eine stärkere Vergrößerung der Bilder könnte demnach diese Fehlerquelle vermeiden.

Bei archäologischen Zahnproben können diagenetische Prozesse das Kollagen und die Kristallstruktur verändern und das Erscheinungsbild der Zuwachsringe verfälschen (Stutz

¹⁹ Bei einer erneuten Zählung der archivierten Bilder des Gräberfeldes Wenigumstadt (Cipriano-Bechtle 1994; Cipriano-Bechtle et al. 1996) konnte gezeigt werden, dass bei einigen der als „senil“ bestimmten Individuen diese Beugungsartefakte (Objektiv 20x) gezählt wurden, diese Individuen also als „zu alt“ eingestuft wurden (Zählung: Czermak, Doppler, 2003). Dabei muss aber erwähnt werden, dass es sich hierbei um analog aufgenommene Fotoabzüge handelt. Bei diesen Aufnahmen sind die Artefaktlinien nur bei deren Kenntnis von den Zementringen unterscheidbar.

2002). Großkopf (1990) konnte keine postmortalen Veränderungen der Zementringe durch Liegemilieu, Liegezeit oder Hitzeeinwirkung bestätigen. Eventuell entstehen in den Ringen Mineralisationsunterschiede durch Abbau organischer Substanzen oder Einbau von Umgebungsmineralien während der langen Bodenlagerung (Pilloud 2004). Rezent Material wird allgemein im Vergleich zu bodengelagertem Material häufig als schlechter geeignet für die Zahnzementringanalyse eingestuft (Charles et al. 1986; Kvaal & Solheim 1995). Daher wird eine Validität der TCA-Methode bei rezenten, meist altersbekannten Zähnen in Frage gestellt. Lediglich Liebermann (1994) belegt eine bessere Sichtbarkeit der Ringe in rezentem Material. Bei dem in bisherigen Studien untersuchten, altersbekannten Zahnmaterial handelt es sich meist um rezente klinische Zähne, deren Extraktion in der Regel aus pathologischen Gründen (Karies oder peridontale Erkrankungen) erfolgte. Durch das „Heraushebeln“ des Zahnes aus der Alveole kann die Zementschicht bei frisch extrahierten Zähnen häufig zerstört oder unvollständig sein (Charles et al. 1986; Condon et al. 1986; Kagerer & Grupe 2001a; Kagerer & Grupe 2001b).

Als eine der Ursachen für deutlicher sichtbare Ringe werden die stärker erlebten Jahreszeitenwechsel bei (prä-)historischen Populationen, die sich im Metabolismus niederschlagen, diskutiert (Jankauskas et al. 2001; Klevezal et al. 2006). Ebenso können Ernährungsgewohnheiten bei der Anlage der Ringe eine Rolle spielen. Die Beanspruchung der Kaumuskulatur und der Zahnschmelzsubstanz war in früheren Epochen deutlich stärker, aufgrund der Nahrungsbestandteile (harte / weiche Nahrung, Zucker- / Stärke-Anteil der Nahrung und Karies als dessen Folge), der Nahrungszubereitung (gekochte / ungekochte Nahrung), Kultur und Alter (peridontale Erkrankungen, Zahnverlust und dem daraus folgenden Rückgang der Kaufähigkeit). Da heute eher weiche, leicht kaubare Nahrung eingenommen wird und somit eine geringere Beanspruchung des Zahnhalteapparates erfolgt, die sich auf die Zementbildung auswirkt, könnte auch dies die Veränderung von Struktur und Sichtbarkeit der Zementringe in rezenten Zähnen erklären (Lippitsch 2007).

In bisherigen Studien an Material mit bekanntem Alter der Individuen konnte das tatsächliche Alter anhand der TCA nicht immer korrekt bestimmt werden. Das Individualalter wurde in Einzelfällen sowohl über- als auch unterschätzt. In lediglich einer Studie wurde das tatsächliche Sterbealter bei Individuen ab 30 mit TCA älter bestimmt (Condon et al. 1986).

In den meisten Untersuchungen wird bei Individuen ab der spätmaternen Altersklasse (>30) das Sterbealter mit der TCA-Methode tendenziell eher unterschätzt, wobei die Wahrscheinlichkeit einer Fehlbestimmung mit fortschreitendem Alter zunimmt (Kvaal & Solheim 1995; Lipsinic et al. 1986; Pilloud 2004; Renz & Radlanski 2006; Wittwer-Backofen & Buba 2002; Wittwer-Backofen et al. 2004). Die Daten streuen ab dem 30.-50.Lebensjahr stärker und oberhalb der Grenze von 50 Jahren wurde das Alter mit der TCA-Methode häufig unterschätzt (Condon et al. 1986; Czermak et al. 2006a; Kvaal & Solheim 1995; Miller et al. 1988; Pilloud 2004; Ritz-Timme et al. 2000).

Auch hier konnte u.a. anhand der automatisierten Auszählung gezeigt werden, dass die Bestimmung des tatsächlichen Alters bei älteren Individuen unpräziser werden kann (vgl. Abb. 5.15 und 5.17). Die Genauigkeit der Methode scheint mit zunehmendem Individualalter generell abzunehmen, in Einzelfällen kann die Altersbestimmung sogar falsch sein, wenn sie mit der bisherigen Zählmethode durchgeführt wird. Ursache für diese Ungenauigkeit scheint die an manchen Stellen fehlende oder unregelmäßige Anlagerung der Zementschicht zu sein. Der Zustand des Zahnzementes hat einen wesentlichen Einfluss auf die Präzision der TCA-Methode. Eine Atrophie des Zementes, beispielsweise durch Parodontose, kann zu einer Unterbrechung oder dauerhaften Beendigung der Zementapposition und somit zu ungenauen Ergebnissen bei der Altersdiagnose führen. Je älter ein Individuum ist, desto höher ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass die Anzahl der Zementringe durch unterbrochene oder beendete Zementanlagerung reduziert ist (vgl. Abb. 5.17, siehe auch Kagerer & Grupe 2001a). Neben dem Abbau des Zahnhalteapparates kann es im Alter auch zu einer Abnahme der Kaukraft kommen. Die geringere mechanische Belastung der Zähne führt zu einer Schwächung, bzw. einem weiteren Abbau des Zahnhalteapparates (Condon et al. 1986). Des Weiteren ist bei älteren Menschen die Kapazität der Haut Vitamin D zu produzieren deutlich vermindert (Mac Laughlin & Hollick 1985), was sich ebenfalls auf die Bildung der Zahnzementringe und deren Regelmäßigkeit auswirken kann.

Zahlreichen Studien zeigen, dass die Zahnzementring-Zählmethode nicht immer die erhofften Ergebnisse bezüglich Validität, Genauigkeit und Stringenz liefert (Charles et al. 1986; Czermak et al. 2006a; Douglas 1986; Klevezal et al. 2006; Obertova & Francken 2009; Pilloud 2004; Roksandic et al. 2009). Da bei Anwendung der Methode das Material unwiederbringlich zerstört wird, stellt sich die Frage, ob eine Altersbestimmung anhand morphologischer Merkmale möglicherweise die schnellere und kostengünstigere Methode zur Sterbealtersbestimmung ist, zumal bei ähnlich validen Ergebnissen. Besonders wenn das zu bestimmende Skelettmaterial weitgehend vollständig ist, bleibt die morphologische Altersschätzung die einfachere und von der Genauigkeit für eine archäologische Interpretation der Funde auch meist ausreichende Methode zur Sterbealtersbestimmung. Wenn eine morphologische Begutachtung nicht oder nur begrenzt möglich, z.B. bei schlecht erhaltenem oder kremiertem Material („Leichenbrand“), kann sie durch die Zahnzementringanalyse unterstützt oder ersetzt werden. Für paläodemographische Zwecke ist eine präzisere Bestimmung des Sterbealters von Vorteil.

Trotz der möglichen Fehlerquellen und Ungenauigkeitsfaktoren ist die TCA bislang die einzige Methode, anhand derer das Alter von erwachsenen Individuen genauer bestimmt werden kann. Unter Berücksichtigung der hier genannten Punkte zur Optimierung der Präparate, der mikroskopischen Bildaufnahmen und der Zählung, können sehr brauchbare Ergebnisse erzielt werden. Eine Standardisierung der Methode ist allerdings unbedingt erforderlich, um einerseits methodische Fehlerquellen zu vermindern und andererseits die gewonnenen Ergebnisse vergleichbar zu machen. Mit Hilfe des Programms können die Zählergebnisse quantitativ ausgewertet werden und dadurch können Schwankungen bei den Zählungen erkannt werden. Und so kann die Validität des Ergebnisses eingeschätzt werden oder bestimmte Zählergebnisse aus Zahnabschnitten nicht in die Wertung einfließen lassen/aus der Wertung ausschließen. Daher ist eine Computerauszahlung einer Auszahlung „per Hand“ vorzuziehen, aufgrund der besseren statistischen Auswertbarkeit und um die Haupt-Fehlerquelle des „*observer error*“ zu vermeiden.

Das Programm orientiert sich an hellen und dunklen Bildpunkten, erkennt deren hellsten oder dunkelsten Wert und zählt diese Minima oder Maxima. Dadurch ist es möglich an digitalen Bildern die Ringe automatisch zu zählen. Es kann aber nur das gezählt werden, was auf den Bildern sichtbar ist. Die Bildqualität, bedingt durch die Auswahl des zu untersuchenden Abschnittes und durch die Einstellung des Mikroskops, kann die Sichtbarkeit der Ringe (oder möglicher Artefakte) und demnach auch das Zählergebnis beeinflussen. Durch die automatisierte Zählung wird die Datengewinnung, deren Auswertung und Vergleich erleichtert, es ist jedoch keine „Methodenverbesserung“. Für eine Validierung der TCA-Methode wäre es daher von großer Wichtigkeit, zunächst die grundlegenden Prozesse der Entstehung und die beeinflussenden Faktoren der Zahnzementapposition zu erforschen (Czermak et al. 2006a; Pilloud 2004; Roksandic et al. 2009).

5.3 Geschlechtsbestimmung

Bei allen Individuen wurde eine Geschlechtsbestimmung vorgenommen. Erwachsene Individuen bei denen weder Becken noch Schädel vorhanden waren oder bei denen die Mehrzahl der untersuchten Merkmale keine eindeutigen Ergebnisse zeigten, wurden als „nicht bestimmbar“ eingestuft. Individuen bei denen die Mehrzahl der Einzelmerkmale nicht eindeutig oder nur tendenziell bestimmt werden konnte, wurden als „eher männlich“, bzw. „eher weiblich“ klassifiziert. Die finalen Einstufungen „eher männlich“ und „eher weiblich“ werden bei der Behandlung der weiteren Befunde, bei denen das Geschlecht relevant ist, als eindeutig betrachtet. Die nicht bestimmbar Individuen wurden bei den weiteren Analysen nicht berücksichtigt, zumal in den meisten Fällen auch das übrige Material nicht mehr befundbar war.

Bei Kindern und Jugendlichen beschränkt sich die Einteilung auf „eher männlich“ bzw. „eher weiblich“, da für die Bewertung nur zwei Merkmale betrachtet wurden (Tab. 5.6).

Bestattungs- platz	Individuen			Erwachsene								Kinder/Jugendliche								
					Männer			Frauen				G	Kinder				Jugendliche			
	B	V	F	G	G	M	m	G	W	w	X		G	m	w	X	G	m	w	X
Bruckmühl	4	39	6	29	9	4	5	18	1	5	2	1	5	1	2	2	5	2	2	1
Enkering	1	7	3	5	2	1	1	3	3	-	-	2	2	1	-	1	-	-	-	-
Etting	3	36	3	25	1	1	3	12	1	2	-	1	6	2	1	3	5	2	3	-
Großmehring	1	14	7	10	4	3	8	55	4	9	2	4	3	1	1	1	9	2	6	1
Grm B1	1	17	2	10	5	5	-	5	5	-	-	7	5	2	-	3	2	-	2	-
Grm B2	4	44	1	27	1	9	3	15	1	2	-	1	1	5	7	3	2	-	1	1
Grm B3	5	55	1	42	2	1	4	20	1	4	2	1	9	4	3	2	4	2	2	-
Grm B4	3	33	3	22	7	6	1	15	1	3	-	1	1	4	3	3	1	-	1	-
Gesamt	2	23	1	16	7	5	1	88	7	1	4	7	5	1	1	1	1	6	1	2
Kelheim	5	48	2	35	1	1	3	17	1	4	-	1	1	3	6	1	3	1	2	-
Gesamt	3	27	2	19	8	6	2	10	8	2	4	8	6	2	2	1	2	7	1	2

Tab. 5.6: Ergebnisse der Geschlechtsbestimmung. (B = Bestattungen, V = vorhandene Gräber, F = fehlende Individuen, G = Gesamtindividuen, M = eindeutig männlich, m = eher männlich, F = eindeutig weiblich, f = eher weiblich, X = nicht bestimmbar).

5.3.1 Ergebnisse der Geschlechtsbestimmung

Erwachsene Individuen

Von den untersuchten 160 erwachsenen Individuen konnte das Geschlecht von 123 (76,9%) eindeutig bestimmt werden. Davon waren 53 eindeutig männlich (43,7%) und 70 eindeutig weiblich (56,9%). Bei 33 Individuen (26,8%) waren die untersuchten Merkmale nicht eindeutig, 16 Skelette erschienen „eher weiblich“ (13,0%) und 17 „eher männlich“ (13,8%). Vier Individuen (3,3%) konnten nicht bestimmt werden (Abb. 5.21). Es besteht kein signifikanter Unterschied in der Repräsentanz von Männern und Frauen zwischen den einzelnen Bestattungspätzen (ANOVA PostHoc). Eine Korrelation von Sterbealter und Geschlecht ist statistisch nicht nachweisbar (SpRho).

Es zeigt sich, dass der Erhaltungsgrad der Skelette mit der Geschlechtsbestimmung korreliert ($r=0,181^{**}$, $p=0,01$; SpRho). Je schlechter der Erhaltungsgrad, desto größer die Tendenz zu einer weiblichen Geschlechtsbestimmung. Die für die Geschlechtsbestimmung untersuchten Merkmale müssen, um als männlich eingestuft werden zu können, deutlich ausgeprägt sein. Bei schlechtem Erhaltungsgrad sind diese aber häufig nicht mehr deutlich erkennbar. Deshalb werden schlecht erhaltene Individuen tendenziell als „eher weiblich“

eingestuft. Dies könnte den „Frauenüberschuss“ auf dem Friedhof Bruckmühl erklären, bei dem die durchschnittliche Erhaltung der Skelette mittel bis schlecht war (Tab. 5.1).

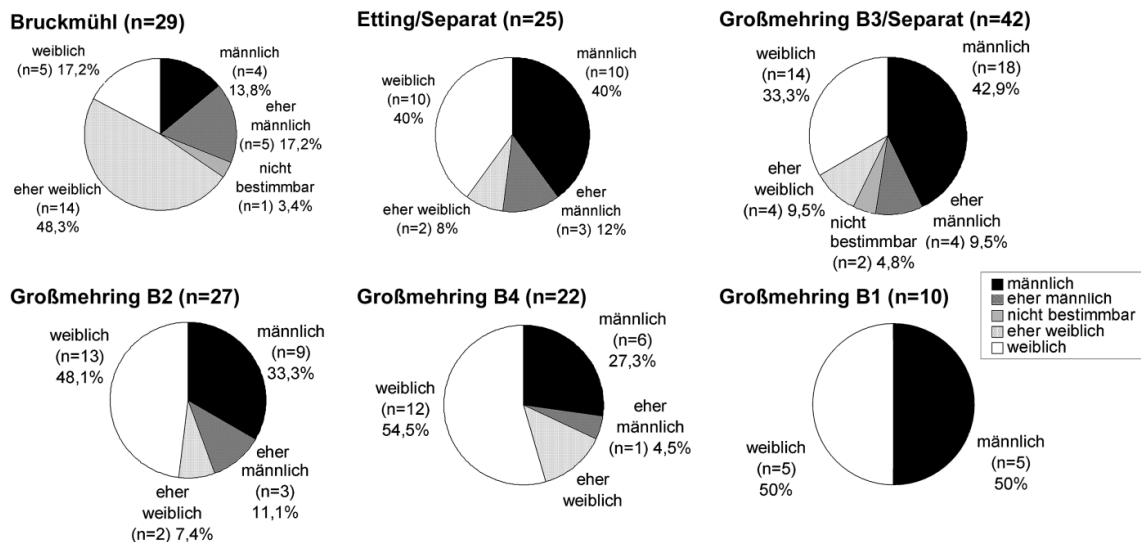


Abb. 5.21: Geschlechterverteilung auf den Gräberfeldern (adulte Individuen).

Kinder und Jugendliche

Unter den insgesamt 71 subadulten Individuen waren 52 Kinder. Davon konnten 19 als männlich (37%), 16 als weiblich (31%) und 17 (33%) nicht geschlechtsbestimmt werden. Sechs der 19 Jugendlichen waren männlich (32%) und elf weiblich (58%), bei zwei Individuen (11%) konnte kein eindeutiges Geschlecht zugewiesen werden. Aufgrund der fortgeschrittenen körperlichen Reife (Becken und Schädel) ist bei Jugendlichen, im Vergleich zu den Kindern, eine eindeutigere Geschlechtsbestimmung möglich. Wie bei den Erwachsenen korreliert der Erhaltungsgrad bei Jugendlichen ($r=0,34^{**}$, $p=0,01$) und Kindern ($r=0,409^{**}$, $p=0,01$; SpRho) mit der Geschlechtsbestimmung. Der Erhaltungsgrad liegt bei beiden Gruppen im mittleren Bereich (Kinder: 2,419; Jugendliche: 2,772). Es besteht keine signifikante geschlechtsdifferente Sterblichkeit bei Kindern, weder im Gesamtkollektiv, noch innerhalb der einzelnen Bestattungsplätze. Die hohe Zahl der nicht bestimmten Individuen lässt sich hier auch auf den teilweise schlechten Erhaltungsgrad der Kinderskelette zurückführen.

Bei Jugendlichen besteht kein signifikanter Unterschied in der Sterblichkeit männlicher und weiblicher Individuen ($p=1,00$ MWh), bei den Kindern besteht eine tendenziell höhere Sterblichkeit der Mädchen ($p=0,07$ MWh), sie ist aber weder bei I1 noch bei I2 signifikant ($p=1,00$ MWh). Die Sterblichkeit von Kindern und Jugendlichen konnte aufgrund der geringen Individuenzahlen statistisch nicht ausgewertet werden.

5.3.2 Diskussion der Methoden zur Geschlechtsbestimmung am Skelett

Alters- und Geschlechtsbestimmung am Skelett sollten stets gemeinsam erfolgen, da es geschlechtsabhängige Altersindikatoren und altersabhängige Geschlechtsindikatoren gibt und sich die beiden Diagnosen demnach gegenseitig bedingen.

Eine morphologische Geschlechtsdiagnose gestaltet sich meist komplex. Geschlechtsbedingte Unterschiede am Skelett sind nicht immer deutlich ausgeprägt und oft ist bei Betrachtung eines einzelnen, im Mittelbereich ausgeprägten Merkmals keine Unterscheidung möglich. Bei schlechter Erhaltung des Skelettes können nicht mehr genügend Informationen für eine sichere Diagnose greifbar sein. Bei einem weitgehend erhaltenen Skelett ist ein indifferentes Ergebnis der Geschlechtsdiagnose jedoch selten (Rösing et al. 2005a; Rösing et al. 2005b; Sjøvold 1988).

Kombinierte Merkmale

Bei der Geschlechtsbestimmung erwachsener Individuen ist der Gesamteindruck des Skelettes entscheidend. Das männliche Skelett ist im Durchschnitt größer als das weibliche, mit größeren Dimensionen der Knochen und kräftigeren Muskelansätzen. Der Ausprägungsgrad der morphologischen Unterschiede unterliegt jedoch einer gewissen Variabilität innerhalb einer Population. Hierbei dienen Individuen mit besonders weiblicher oder männlicher Merkmalsausprägung als Orientierung. Eine Fehldiagnose ist jedoch bei graziilen Männern oder robusten Frauen, also Individuen mit Merkmalsausprägungen, die in der Regel eher auf das andere Geschlecht zutreffen, methodenbedingt nicht auszuschließen (Herrmann et al. 1990). Der Sexualdimorphismus ist außerdem abhängig von der regionalen Bevölkerung (Rösing et al. 2005a).

Meatus acusticus internus (M.a.i.)

Bei erwachsenen Individuen wurde, bei sehr schlechtem Erhaltungszustand des Beckens das Geschlecht anhand der Krümmung des lateralen Winkels des „*meatus acusticus internus*“ bestimmt. Das Geschlecht bei Kindern wurde vorrangig anhand des *meatus acusticus internus* (M.a.i.) bestimmt. Da die Kinderschädel meist fragmentiert vorlagen, bzw. die Schädelplatten noch nicht verwachsen waren und somit freier Zugriff auf den *meatus acusticus internus* bestand, war eine Anwendung der Methode möglich ohne invasiv auf den Schädel einzuwirken.

Bei subadulten Individuen ist eine Geschlechtsbestimmung anhand des Schädels oder des Beckens nur bedingt möglich, da der größte Teil der Geschlechtsunterschiede nach der Pubertät entsteht. Bei Kinderskeletten sind demnach die geschlechtsspezifischen Skelettmerkmale noch wenig ausgebildet, was die morphologische Geschlechtsbestimmung erschwert. Am fetalen und neonaten Kinderskelett wurden am Becken und am Unterkiefer morphologische Geschlechtsunterschiede beschrieben (Schutkowski 1987), aber diese sind nur im begrenzten Umfang verwendbar (Herrmann et al. 1990). Eine weitere Methode wäre die Bestimmung der Größe der Zahnkrone (Ditch & Rose 1972), hierfür ist aber ein Freipräparieren des Zahnkeims und somit ein Zerstören des Kieferknochens erforderlich.

Das Felsenbein wird bereits in der dritten Embryonalwoche entwickelt (Scheuer & Black 2000) und erreicht innerhalb der ersten zwei Lebensjahre 46% seiner finalen Größe. Etwa im zwanzigsten Lebensjahr wird das Wachstum eingestellt (Schmid & Dahm 1977). Des Weiteren ist der laterale Winkel der Öffnung des *Meatus acusticus internus* (Kap. 5.1.3 Methoden, Geschlechtsbestimmung) nicht nur von der spezifischen Kopfgröße abhängig ist, sondern er reflektiert vermutlich auch weitere grundlegende geschlechtsspezifische Größenunterschiede in der Schädelbasis (Norén et al. 2005). Aus diesen Gründen bietet diese Methode einen guten Ansatz zur Geschlechtsbestimmung an subadulten und neugeborenen Individuen (Forschner 2001; Graw et al. 2009; Lynnerup et al. 2006; Norén et al. 2005; Wahl & Graw 2001).

Da das Felsenbein eines der dichtesten und robustesten Strukturen des menschlichen Skeletts ist, ist es auch bei schlecht konservierten Skelettfunden und zerstörten Schädeln meist sehr gut erhalten (Graw et al. 2005; Lynnerup et al. 2006; Norén et al. 2005; Rösing et al. 2005a). Die M.a.i.-Methode, entwickelt von Wahl (1981), erlaubt eine altersunabhängige Geschlechtsbestimmung und ist besonders geeignet für die Geschlechtsbestimmung bei stark fragmentiertem Material (Wahl 1981). Es ist eine einfache, schnelle und kostengünstige Methode, die auch unter „Feldbedingungen“ anwendbar ist (Graw et al. 2003).

5.3.3 Geschlechterverteilung, Maskulinitätsindex und Kinderanteil

Das Geschlechterverhältnis einer Population kann in drei Stufen unterteilt werden (Herrmann & Grupe 1986). Das *primäre* Geschlechterverhältnis beschreibt das Verhältnis männlicher und weiblicher Zygoten, das *sekundäre* die Anzahl männlicher und weiblicher Geburten, welches generell in etwa bei 105 Jungen- zu 100 Mädchengeburten liegt (Esenwein-Rothe 1982). Diese Zahlen können aber regionalen und sozialen Schwankungen ausgesetzt sein (Degenhardt 1980; Wittwer-Backofen 1991). Das *tertiäre* Geschlechterverhältnis wird durch den Maskulinitätsindex beschrieben. Der Maskulinitätsindex erfasst das quantitative

Verhältnis von erwachsenen männlichen und weiblichen Individuen einer Population (Herrmann & Grupe 1986). Daraus können Aussagen über die Entwicklung der untersuchten Bevölkerung getroffen werden, da der Frauenanteil den entscheidenden Faktor in Bezug auf das Bevölkerungswachstum darstellt.

Der Maskulinitätsindex steht in direktem Zusammenhang mit dem Anteil der Kinder in der Gesamtbevölkerung. Es besteht ein Zusammenhang zwischen hohem MI (= Männerüberschuss) und einer geringen Anzahl von Kinderskeletten. Ein Defizit von Frauen im reproduzierfähigen Alter stellt für eine Population einen limitierenden Faktor dar. Dadurch kann ein vermeintliches „Kleinkinderdefizit“ relativiert werden (Grupe 1990). Um dies zu berücksichtigen wird hier versucht, bei der Berechnung der Maskulinitätsindex die mittlere Lebenserwartung der Männer und Frauen mit einzubeziehen.

Ergebnisse

Bei der Berechnung des MI wurden alle geschlechtsbestimmten erwachsenen und juvenilen Individuen mit berücksichtigt. Es sollte normalerweise ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen Männern und Frauen bestehen (MI = 100). Alle Werte innerhalb der einfachen Standardabweichung der erhobenen MI-Werte (+/- σ) werden hier als normal gewertet.

Bei einer Standardabweichung von $\sigma = 27$ zeigen die Ergebnisse einen tendenziellen Männerüberschuss auf den Separatfriedhöfen Großmehring B3 (MI = 116,7), Etting (MI = 108,3) und Kelheim (MI = 105,9). Ein deutlicher Frauenüberschuss findet sich in Großmehring B4 (MI = 46,7), Bruckmühl (MI = 50,0) und in den zusammengefassten Reihengräberfeldern von Großmehring (MI = 68,6), ebenso in Enkering (MI = 66,7), wobei hier die geringe Individuenzahl berücksichtigt werden muss (Tab. 5.7 und Abb. 5.22a). Auf den Reihengräbern von Großmehring befinden sich zusammengefasst mehr Frauen als Männer, wobei der Sterbepeak bei den Frauen etwa bei Mitte zwanzig liegt (vgl. Kap. 5.5.1 Demographie).

Bruckmühl ist die einzige Separatgrablege mit deutlichem Frauenüberschuss. Dies ist einerseits auf den schlechten Erhaltungsgrad zurückzuführen, der die Geschlechtsbestimmung beeinflusst, außerdem konnten 13% der Gesamtindividuen nicht ausgewertet werden. Des Weiteren ist nicht gesichert ob die Fundstätte vollständig ergraben wurde (vgl. Kap. 3.3). Beides kann auch für das Fehlen von Kindern und Kleinkindern, also für das vermeintlich „Kleinkinderdefizit“ verantwortlich sein. Bei weiteren statistischen Berechnungen wird daher dieser Wert außer Acht gelassen.

Maskulinitätsindex	MW	Brm	Ett	GrmB3	GrmB1	GrmB2	GrmB4	Enk	Keh	GrmB1B2B4
MI	83,1	50,0	108,3	122,2	100,0	80,0	46,7	66,7	105,9	68,6
e⁰ Männer	28,2	24,9	26,7	33,1	25,8	26,9	25,9	26,2	36,4	26,3
e⁰ Frauen	30,8	27,9	32,0	33,7	31,7	23,4	33,1	35,8	29,0	28,5
e⁰ Frauen – e⁰ Männer	2,6	3,0	5,3	0,5	5,9	-3,6	7,2	9,6	-7,3	2,2
MI (e⁰)	80,0	44,6	90,3	120,2	81,3	92,2	36,5	48,8	132,6	63,4
Abweichung MI-MI(e⁰)	2,3	5,4	18,2	2,0	18,7	-12,2	10,1	17,8	-26,0	5,2
Kinderanteil (%)	23,6	13,2	16,7	16,4	29,4	34,1	30,3	28,6	20,8	20,8

Tab. 5.7: Maskulinitätsindex. Maskulinitätsindex unter Berücksichtigung der mittleren Lebenserwartung von Männern und Frauen und prozentualer Anteil der Kinder (I1 und I2) (Originaldaten Kelheim: Strott 2006). (MI = Maskulinitätsindex; MW = Mittelwert; e⁰ = Mittlere Lebenserwartung zum Zeitpunkt der Geburt).

Neuberechnung unter Berücksichtigung der mittleren Lebenserwartung

Der Maskulinitätsindex beschreibt den Anteil gleichzeitig lebender Männer und Frauen (Herrmann et al. 1990). Es handelt sich aber hier nicht um eine Lebendbevölkerung, sondern um eine Population Verstorbener. Um diesen Faktor zu berücksichtigen, wurde die Formel verändert und die mittlere Lebenserwartung (e⁰) von Männern und Frauen mit einberechnet (vgl. Kap. 5.5 Demographische Rekonstruktion):

$$MI(e^0) = \text{Männer} \times e^0_{0(\text{Männer})} \times 100 / \text{Frauen} \times e^0_{0(\text{Frauen})}$$

Dabei verschieben sich einige MI-Werte (Abb. 5.22b). Ein Überschuss an erwachsenen Frauen bei gleichzeitig erniedrigter mittlerer Lebenserwartung gegenüber den Männern sollte daher eher für einen ausgeglichenen MI der Lebendbevölkerung sprechen (Herrmann et al. 1990). Deshalb verschiebt sich der MI des Bestattungsplatzes Grm B2 unter Miteinberechnung der Mittleren Lebenserwartung (e^0_0) etwas in Richtung Ausgleich, in Grm B1 ergibt sich ein tendenzieller Frauenüberschuss und der Frauenüberschuss in Grm B4 wird noch verstärkt. In Etting verschiebt sich, bei einem zunächst tendenziellen Männerüberschuss und einer gleichzeitig höheren Lebenserwartung der Frauen, der Index in Richtung Frauenüberschuss. In Kelheim wird der hohe MI durch die höhere Lebenserwartung der Männer noch verstärkt. In Grm B3 und Bruckmühl bleiben die Indices aufgrund der ähnlichen Lebenserwartung von Männern und Frauen gleich (Tab. 5.7 und Abb. 5.22b).

Der Kinderanteil korreliert mit dem Anteil der Frauen im reproduktionsfähigen Alter. Daher sollte auch ein Zusammenhang zwischen dem MI und dem prozentualen Anteil der Kinder auf dem Bestattungsplatz bestehen (Grupe 1990; Herrmann et al. 1990). Auf den untersuchten Gräberfeldern konnte auch eine annähernd lineare Korrelation nachgewiesen werden ($r = 0,776$; berechneter Wert ohne Daten aus Bruckmühl, siehe oben). Die geringe Anzahl der Kinder auf den Separatfriedhöfen lässt sich einerseits durch den Männerüberschuss erklären. Andererseits verschiebt sich das Verhältnis des Kinderanteils zum Maskulinitätsindex unter Berücksichtigung der mittleren Lebenserwartung. Das heißt, bei einer erhöhten Sterblichkeit von Frauen im frühen und mittleren Erwachsenenalter sind im Verhältnis weniger reproduktionsfähige Frauen vorhanden und demnach weniger Kinder zu erwarten.

Mit dem MI (e^0_0) wird die Regressionsgerade flacher, d.h. die Abhängigkeit wird schwächer ($r = 0,622$, Berechnung ohne Bruckmühl). Dafür ist vor allem der deutlich von der Gerade abweichende Wert des Friedhofs Etting verantwortlich. Hier ist jedoch zu beachten, dass sich dort 37,5% der Frauen bereits in der matura Altersklasse befinden und sich daher nicht mehr in der reproduktiven Phase befinden dürften (Tab. 5.9 und Abb. 5.24).

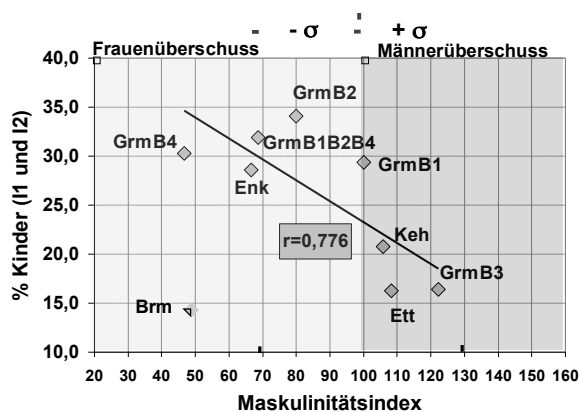


Abb. 5.22A: Maskulinitätsindex MI und Abhängigkeit des Anteils der Kinder vom Maskulinitätsindex.

Standardabweichung: $\sigma = 27,12$,
 MI > 100 = Männerüberschuss (rechte Seite, dunkelgrau)
 MI < 100 = Frauenüberschuss (linke Seite, hellgrau). Die Indices der Separatfriedhöfe (Etting, Kelheim und Großmehring B3) zeigen einen Männerüberschuss. Es besteht eine lineare Abhängigkeit von MI und Kinderanteil % ($r = 0,776$) (ohne Berücksichtigung des Friedhofs Bruckmühl). (Originaldaten Kelheim Strott 2006).

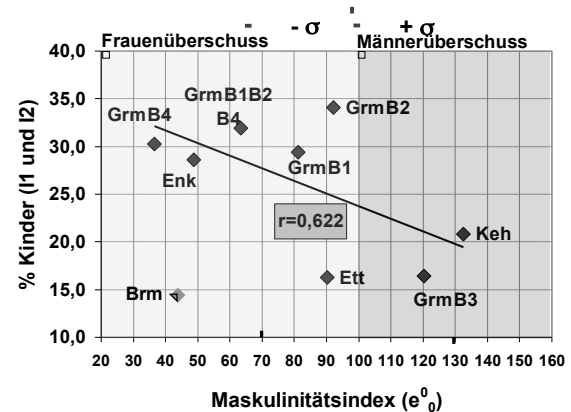


Abb. 5.22B: Maskulinitätsindex unter Berücksichtigung der mittleren Lebenserwartung von Männern und Frauen $MI(e^0_0)$ und Abhängigkeit des Anteils der Kinder vom Maskulinitätsindex.

Standardabweichung: $\sigma = 33,6$.
 Ein Überschuss an Männern bei deren gleichzeitigen höheren Lebenserwartung verschiebt den Index zugunsten der Männer (vgl. Kelheim), ein vermeintlicher Männerüberschuss bei gleichzeitiger höheren Lebenserwartung der Frauen verschiebt den MI zugunsten der Frauen (vgl. Etting). Die lineare Abhängigkeit von MI und Kinderanteil % wird bei Berücksichtigung der mittleren Lebenserwartung flacher ($r = 0,776$; Berechnung ohne Bruckmühl). (Originaldaten Kelheim Strott 2006).

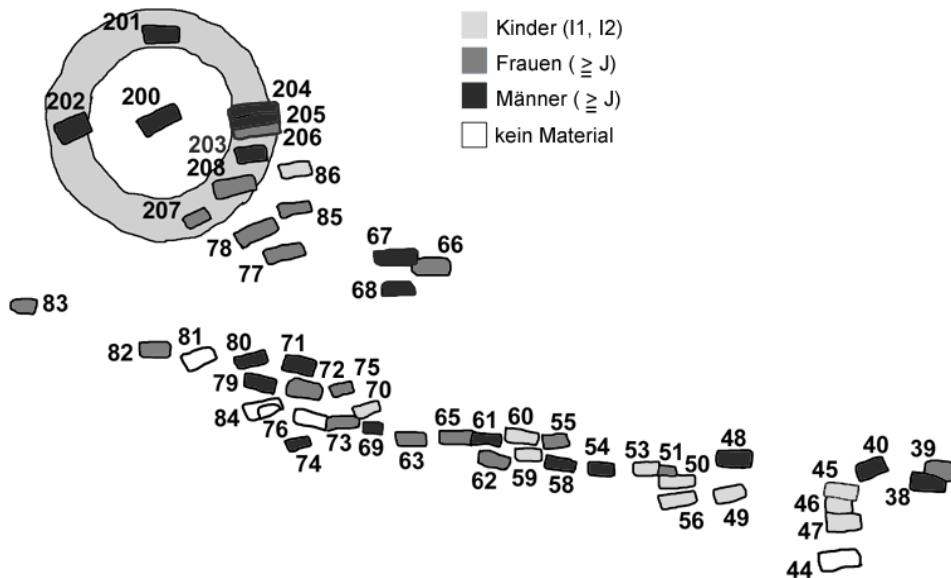
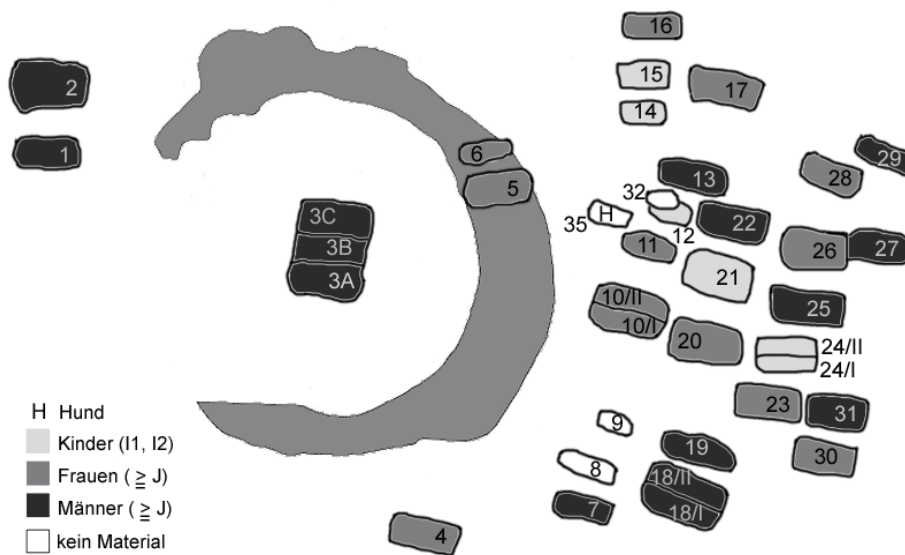
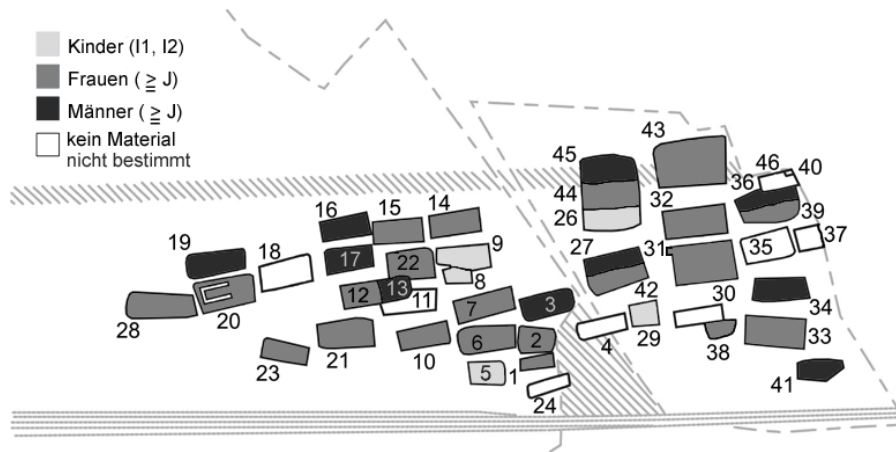


Abb. 5.23: Geschlechterverteilung auf den untersuchten Separatfriedhöfen. Großmehring B3: Gräberfeldplan modifiziert nach Ledderose 2006; Bruckmühl: Gräberfeldplan modifiziert nach Suhr & Fehr 2007; Etting: Gräberfeldplan modifiziert nach Ledderose 2006; Kelheim: Gräberfeldplan modifiziert nach Meier 2005, Originaldaten Kelheim: Strott 2006.

Diskussion der Geschlechterverteilung und des Kinderanteils

Es wurden für einige frühmittelalterliche Bestattungsplätze Grabgruppen nachgewiesen, in denen Bestattungen eines Geschlechts überwiegen und es zeigt sich dort ein allgemeiner Männerüberschuss für die jüngere Merowingerzeit (Sasse 1986)²⁰. Eine räumliche Trennung von Männer- und Frauengräbern könnte zur Verschiebung der Geschlechtsproportionen führen. Diese Trennung kann entweder durch eigene Friedhöfe oder auf eigenen Arealen innerhalb eines Friedhofs erfolgen. Wenn das Gräberfeld nicht vollständig erfasst ist, könnte ein Geschlecht unterrepräsentiert sein. Dies kann hier ausgeschlossen werden, da alle Separatfriedhöfe vollständig ergraben wurden. „Geschlechtsspezifische“ Friedhöfe mit einer räumlichen Trennung von Männern und Frauen sind in der Merowingerzeit nicht bekannt²¹ (Kokkotidis 1999). Auf den Separatfriedhöfen Großmehring B3, Etting und Kelheim zeigte sich ein tendenzieller Männerüberschuss, wobei die Spanne von MI = 103-113 durch die natürliche Variabilität des sekundären Geschlechterverhältnisses gedeckt ist, da die Sexualproportion keine feste Größe, sondern geringen sozialen und regionalen Schwankungen unterworfen ist (Kemkes-Grottenthaler 1997; Matzdorf 1980).

Bei den auf Separatfriedhöfen bestatteten Individuen handelt es sich zweifelsohne um „besondere“, höchstwahrscheinlich um sozial höhergestellte Personen. Eine historisch und archäologisch begründete These vermutet hier von den damals herrschenden Franken eingesetzte „Verwaltungsangestellte“ die nicht aus der ansässigen Bevölkerung stammten (vgl. Kap. 2.1.1 historische Hintergründe). Dafür sprechen die zahlreichen Beigaben, Waffen- und Reiterausstattungen (Czermak & Ledderose 2004; Ledderose 2006). Die untersuchten Populationen dürften daher „mobiler“ und „kriegerischer“ gewesen sein als die auf den Reihengräberfeldern Bestatteten und demnach von Männern dominiert. Wobei sich die These, dass ein Teil der Männer im Zuge von Kriegshandlungen zu Tode gekommen und deshalb „auswärts“ und nicht auf dem Gräberfeld bestattet wurde (Müller 1976) verallgemeinern lässt. Demnach müssten in der Bevölkerungspyramide generell alle Männer im waffenfähigen Alter unterrepräsentiert sein, was hier nicht der Fall ist. Ein Überwiegen der Frauen in den oberen Altersklassen könnte die These von den auswärtig bestatteten Männern zwar erhärten, ist aber aufgrund der geringen Individuenzahl nicht belegbar.

Es wäre auch möglich, dass die höher gestellten Männer ihren damals üblichen Streubesitz zu verwalten hatten und mit ihrem zumeist männlichen Gefolge häufig den Wohnsitz wechselten (Kokkotidis 1999). Es besteht jedoch die Frage, ob nur die Männer abwechselnd auf ihren verschiedenen Besitztümern lebten, während Frauen und Kinder an einem Ort verblieben. Frauen dürften im frühen Mittelalter weniger mobil gewesen sein. Das Reisen war allgemein beschwerlich, daher reisten Frauen eher selten und auch aufgrund der Abhängigkeit vom Manne („Muntehen“²²) kaum alleine (Grupe 1990; Kottje 1987; Ohler 2004). Deshalb wäre es denkbar, dass Frauen und Kinder den Männern nicht unbedingt zu Streubesitzungen folgten. Dies könnte den Männerüberschuss und auch die geringe Kinderzahl auf den Separatgrablegen erklären. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass sich das Verhältnis des Kinderanteils zum Maskulinitätsindex unter Berücksichtigung der mittleren Lebenserwartung verschiebt. Das heißt bei einer erhöhten Sterblichkeit von Frauen im reproduktiven Alter sind auch weniger Kinder zu erwarten.

In anderen Untersuchungen konnte bei Skelettserien der jüngeren Merowingerzeit (7.-8. Jahrhundert) auch ein leichter, wenn auch nicht signifikanter Männerüberschuss (MI 106,3) festgestellt werden (Kokkotidis 1999). Der Erklärungsansatz, die fehlenden Frauenbestattungen mit dem Schwinden der Beigabensitte ab dem 7. Jahrhundert in Verbindung zu bringen, da mit Beigaben ausgestattete und damit datierbare Frauengräber im Verhältnis zu Beigaben führenden Männergräbern abnehmen (Sasse 1986), ist hier nicht brauchbar. Bei den Separatfriedhöfen handelt es sich um weitgehend geschlossene Gemeinschaften, die alle innerhalb ein bis zwei Generationen bestattet wurden (Ledderose 2006).

²⁰ Bei Sasse (1986) wurde das Geschlecht archäologisch bestimmt.

²¹ Einem Separatfriedhof für Männer kommt einzig das Gräberfeld von Niederstotzingen nahe, aber auch dort waren ursprünglich zwei Frauen bestattet (Kokkotidis 1999).

²² „Munt“ = Vormundschaft, „ewa“ = Recht, Gesetz. In der Ehe untersteht die Frau der „Muntgewalt“ des Mannes und ist rechtlich weitgehend handlungsunfähig (Borst 1983; Kottje 1987).

Ein tendenzieller, nach Berücksichtigung der Sterblichkeit sogar ein deutlicher Frauenüberschuss besteht bei den Reihengräbern Großmehring B4, sowie in den zusammengefassten Reihengräberfeldern von Großmehring B1B2B4, aber auch auf dem Separatfriedhof Bruckmühl. Ein tendenzieller Frauenüberschuss auf Reihengräberfeldern scheint gehäuft in der älteren Merowingerzeit (6.-7. Jahrhundert) aufzutreten (Czarnetzki 1987; Kokkotidis 1999; Müller 1976). Als Hypothese hierfür wird die größere Anzahl unverheirateter Mägde auf den landwirtschaftlichen Anwesen genannt (Czarnetzki 1987), was auch auf die hier untersuchten spät-merowingerzeitlichen Reihengräberfelder zutreffen könnte. Auch die Einheirat von Frauen aus fremden Gruppen (*Exogamie*) oder die „ambulante Lebensweise“ der Männer die sich um ihren Streubesitz kümmern wären mögliche Gründe für einen Frauenüberschuss (Kokkotidis 1999). Ebenso könnte ein erneutes Heiraten der Männer nach dem frühen Tod ihrer Frauen (Müller 1976) eine Ursache sein. Diese Theorie deckt sich auch mit der erhöhten Sterblichkeit junger Frauen. Ebenso wäre der Überschuss an bestatteten Frauen erklärbar durch Mehrfachheirat der Männer. Im frühen Mittelalter war vermutlich das System der „Friedelehe“²³ oder „Kebsehe“ bzw. „Konkubinat“²⁴ noch weit verbreitet. Diese Formen der Ehe erlauben es dem Mann Nebenfrauen zu haben (Ennen 1984; Esmyol 2002; Kottje 1987; Prinz 2003a).

Ein Frauenüberschuss auf frühmittelalterlichen Separatfriedhöfen wird von Kokkotidis (1999) auf die falsche Zuweisung von Knaben zu den jeweiligen Schichten zurückgeführt. Männliche Kinder wären in der Oberschicht häufig unterrepräsentiert, vermutlich aufgrund der falschen Zuweisung zur Unterschicht aufgrund fehlender Beigaben. Dies führt dann zu einem vermeintlichen Frauenüberschuss in der Oberschicht (Kokkotidis 1999). Dies kann hier ausgeschlossen werden, da es sich bei den untersuchten Friedhöfen um deutlich separierte Grablagen handelt, deren soziale Einteilung primär aufgrund der Friedhofsstruktur erfolgte. Lediglich in Bruckmühl erfolgte die Einteilung hauptsächlich anhand der Beigaben. Dies ist auch der einzige, als Separatfriedhof klassifizierte Bestattungsort, der einen Frauenüberschuss zeigt. Hier liegt die Ursache aber offensichtlich nicht bei falsch bestimmten männlichen Kindern (vgl. Kap. 5.5 Demographische Berechnung), sondern bei der Unvollständigkeit des Friedhofs.

²³ Nach neueren Forschungen verdichten sich die Hinweise, dass es sich bei der „Friedelehe“ um ein bloßes Forschungskonstrukt handeln könnte, das durch fehlerhafte Quellenauslegung entstanden ist (Esmyol 2002).

²⁴ Diese Eheformen („Kebse“ = Nebenfrau) wurden meist zwischen Freien und Unfreien geschlossen (Esmyol 2002; Kottje 1987).

5.4 Demographische Berechnungen

Die demographische Auswertung erfolgte in der Regel anhand des mit TCA bestimmten Alters (Kap 5.3 TCA, Einzeldaten siehe Anhang). Ausnahmen bilden TCA-Ergebnisse die stark von der morphologischen Altersbestimmung abweichen (> 2 Altersklassen). Aufgrund der möglichen Ungenauigkeit der Zahnzementringanalyse bei älteren Individuen (Czermak et al. 2006a; Pilloud 2004) wurde in diesen Fällen das morphologisch bestimmte Sterbealter verwendet. Die Individuen wurden in zehn Altersklassen eingeteilt: I1, I2, J, fA, mA, sA, fM, mM, sM, S (siehe Kapitel 4.1.4, Einteilung der Altersklassen). Bei allen Kindern und Jugendlichen konnte das Sterbealter bestimmt werden. Einigen Erwachsenen konnte kein genaueres Sterbealter zugewiesen werden. Im Katalog wird deren Mindestalter als „A“ oder „A+“ angegeben. Bei den statistischen Auswertungen werden diese als fA für „A“, bzw. sA für „A+“ gewertet (Tab. 5.8).

Bestattungsplatz	Individuen gesamt			Sterbealter Erwachsene			
	B	V	F	Best.	Ges.	Männer	Frauen
Bruckmühl	45	39	6	29	3	1	2
Enkering	10	7	3	5	1	1	-
Etting	39	36	3	25	-	-	-
Großmehring ges.	156	149	7	101	6	1	5
Grm B1	19	17	2	10	-	-	-
Grm B2	45	44	1	27	2	1	1
Grm B3	56	55	1	42	3	-	3
Grm B4	36	33	3	22	1	-	1
Gesamtindividuen	250	231	19	160	10	3	7
Kelheim	50	48	2	35	-	-	-
Gesamtindividuen	300	273	21	195	10	3	7

Tab. 5.8: Ergebnisse der Altersbestimmung. B = Anzahl der Gesamt-bestattungen, V = vorhandene Individuen, F = fehlende Individuen. Best = Anzahl der altersbestimmten Individuen, Ges. = Anzahl der Individuen ohne genaue Sterbealtersbestimmung (Originaldaten Kelheim: Strott 2006).

5.4.1 Ergebnisse

Altersverteilung der Bevölkerung

Die Altersverteilung auf den untersuchten Gräberfeldern (Tab. 5.9) wird anhand von „Bevölkerungspyramiden“ graphisch dargestellt (Abb. 5.24).

Die Sterbealtersbestimmung, sowohl morphologisch als auch mit Hilfe der TCA ist in den Altersklassen der Jugendlichen und jungen Erwachsenen sehr genau und valide. Eine Falschbestimmung in diesen Altersklassen kann weitgehend ausgeschlossen werden. Bei Betrachtung der Bevölkerungspyramiden wird deutlich, dass sich die Altersstruktur der auf dem Reihengräberfeld Großmehring B1B2B4 bestatteten Population deutlich von den Altersstrukturen der Separatfriedhöfe unterscheidet. Die „Form“ der Bevölkerungspyramide ist bei allen Separatgräberfeldern ähnlich. Auf allen separaten Bestattungsplätzen herrschte eine sehr geringe Säuglingssterblichkeit, es fanden sich wenige Kinder und Kleinkinder, kaum Jugendliche und junge Erwachsene und die höchste Sterblichkeitsrate lag in den spätadulten und frühmaturen Altersklassen. Ausgenommen ist hier Bruckmühl mit der höchsten Sterblichkeit im frühen Erwachsenenalter. Die Reihengräber Großmehring B1B2B4 zeigen zwar auch eine ähnlich geringe Sterblichkeit im Jugend- und frühen Erwachsenenalter, hier war aber die Kleinkindersterblichkeit deutlich erhöht. Bei Frauen Mitte zwanzig herrschte eine erhöhte Mortalität. Die Altersverteilung der einzelnen, hier zusammengefassten Friedhofsteile.

x	Individuenzahl (D _x)																				
	Etting			Bruckmühl			GrmB3			GrmB1			GrmB2			GrmB4			Enkering		
Altersklassen	ges.	M	F	ges.	M	F	ges.	M	F	ges.	M	F	ges.	M	F	ges.	M	F	ges.	M	F
I1 (0-6)	2	0	0	3	1	0	2	2	0	2	0	0	12	4	5	8	4	1	1	0	0
I2 (7-12)	4	2	1	2	0	2	7	2	3	3	2	0	3	0	2	2	0	2	1	1	0
J (13-20)	5	2	3	5	2	2	4	2	2	2	0	2	2	0	1	1	0	1	0	0	0
fA (20-24)	3	1	2	11	3	8	3	1	2	0	0	0	3	0	3	1	0	1	2	1	1
mA (25-31)	6	5	1	8	4	3	16	5	10	2	0	2	9	4	5	6	1	5	2	0	2
sA (32-38)	5	1	4	6	2	4	9	7	2	4	2	2	6	3	3	5	2	3	0	0	0
fM (39-45)	7	4	3	2	0	2	8	6	2	2	2	0	4	2	2	4	2	2	1	1	0
mM (46-52)	2	0	2	1	0	1	3	2	1	2	0	2	3	2	1	2	1	1	0	0	0
sM (53-59)	2	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0
S (60-)	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	1	1	1	1	0	0	0	0
Summe (D)	35	15	16	38	12	22	54	27	24	17	6	8	44	16	23	33	11	19	7	3	3
e ^o _x	27,9	29,2	32,2	25,4	25,6	29,6	30,3	31,5	30,6	27,3	30,0	33,4	25,2	30,7	25,2	29,0	28,6	33,2	23,3	25,7	27,5

Tab. 5.9a: Sterbetafel und Mittlere Lebenserwartung zum Zeitpunkt der Geburt (e^o_x), berechnet aus den Ergebnissen der Sterbealtersbestimmung. Individuen bei denen das Geschlecht nicht bestimmbar war, werden nur in der Kategorie „gesamt“ gewertet. Individuen, bei denen das Alter nicht bestimmt werden konnte, wurden hier nicht berücksichtigt.

x	Individuenzahl (D _x)		
	Kelheim		
Altersklassen	ges.	M	F
I1 (0-6)	4	1	2
I2 (7-12)	6	2	4
J (13-20)	3	1	2
fA (20-24)	1	1	0
mA (25-31)	10	5	5
sA (32-38)	9	2	7
fM (39-45)	6	3	3
mM (46-52)	4	3	1
sM (53-59)	3	3	0
S (60-)	2	1	1
Summe (D)	48	22	25
e ^o ₀	32,5	36,4	29,0

Tab. 5.9b: Fortsetzung der Ergebnisse der Sterbealtersbestimmung. (Originaldaten Kelheim Strott 2006).

Lebenserwartung e ^o ₀			
Gräberfelder	ges.	Männer	Frauen
Bruckmühl	25,4	25,6	29,6
Etting	27,9	27,0	32,2
Kelheim	32,5	36,6	29,0
GrmB3	30,3	30,7	29,8
Grm B1B2B4	27,1	26,3	28,5
GrmB1	27,3	25,1	29,0
GrmB2	25,2	27,8	23,6
GrmB4	29,0	25,6	31,0

Tab. 5.10: Mittlere Lebenserwartung zum Zeitpunkt der Geburt (e^o_0). Die Berechnung von e^o_0 erfolgte anhand von Sterbetafeln (siehe Anhang). Die Werte des Friedhofs Enkering sind aufgrund der geringen Individuenzahl nicht verwendbar (Originaldaten Kelheim Strott 2006).

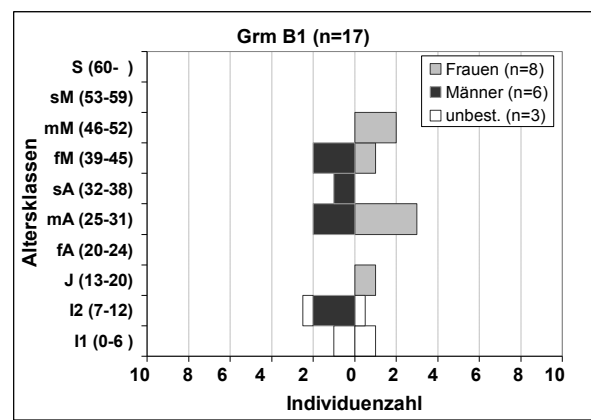
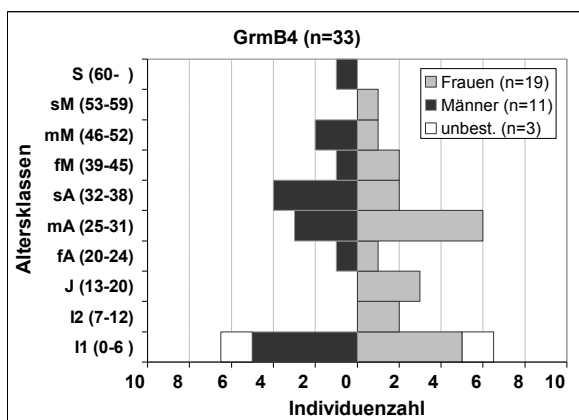
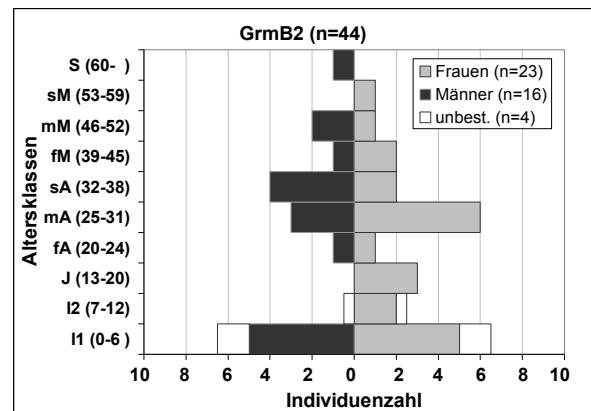
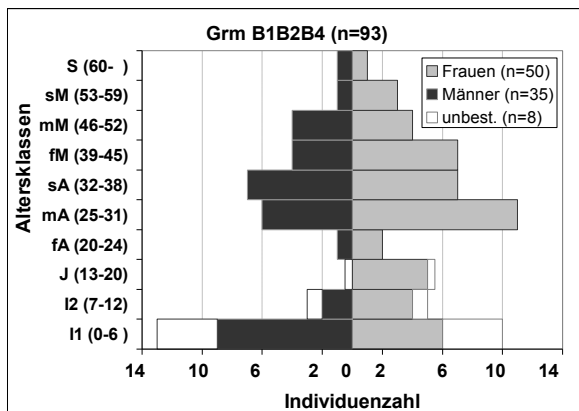
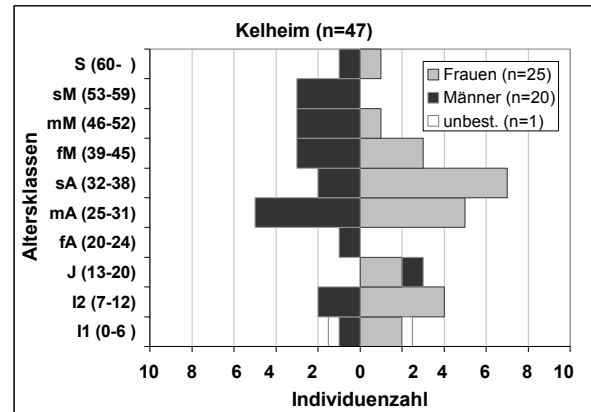
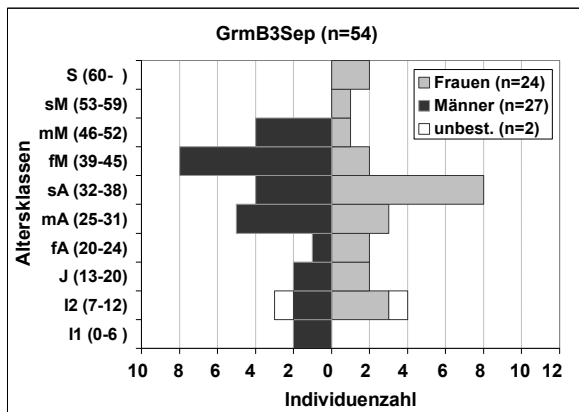
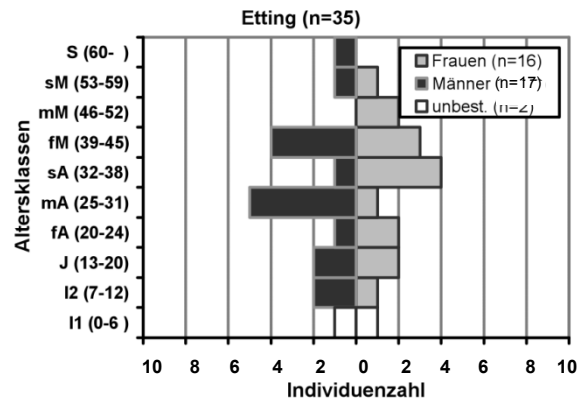
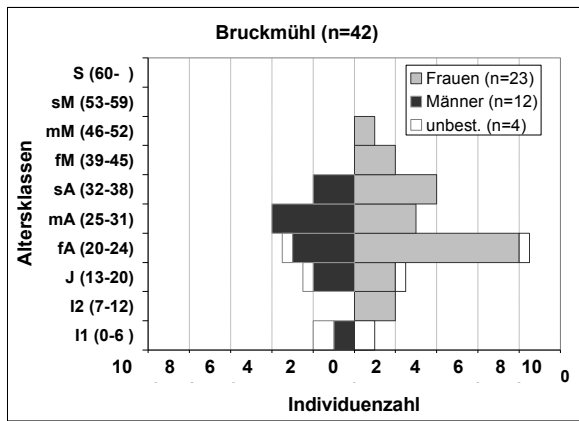


Abb. 5.24: Altersverteilung auf den Bestattungspätzen. Einteilung in zehn Altersklassen. Aufgrund der geringen Individuenzahl wurde der Friedhof Enkering (n=7) nicht graphisch dargestellt (Originaldaten Kelheim Strott 2006).

Grm B2 und B4 spiegeln den Gesamtbefund von B1B2B4 wieder. Der Bestattungsplatz Grm B1 weist für eine Einzelauswertung eine zu geringe Individuenzahl auf.

Auf keinem der Friedhöfe konnte eine Korrelation von Sterbealter und Geschlecht statistisch nachgewiesen werden (Sp-Rho). In Bruckmühl erscheint die Sterblichkeit frühadulter Frauen erhöht. Allerdings herrscht hier aber generell ein Frauenüberschuss und Männer ab der matura Altersklasse befanden sich nicht auf diesem Bestattungsplatz. In Etting war die Sterblichkeit von mitteladulten und frühmatura Männern leicht erhöht, bei Frauen steigt diese ab der spätadulten Altersklasse an. In Großmehring B3 gab es bei Frauen eine erhöhte Mortalität Mitte dreißig, bei Männern Anfang vierzig. Allerdings wurde hier keiner der bestatteten Männer älter als fünfzig. Auf dem Separatfriedhof Kelheim befanden sich kaum Individuen Anfang zwanzig. Es zeigt sich bei Männern eine erhöhte Sterblichkeit im Alter von 25-30 Jahren, bei Frauen zwischen 25 und 35 Jahren. Auf diesem Friedhof wurde im Vergleich zu den anderen Separatgräben bei überdurchschnittlich vielen Individuen das Sterbealter im matura Altersbereich festgelegt (Strott 2006).

Durchschnittliche Lebenserwartung

Um die Fehlerspanne in der Sterbealtersbestimmung auszugleichen wird bei der Berechnung der mittleren Lebenserwartung (e_0^0)²⁵ und der Sterbewahrscheinlichkeit (q_x) eine verkürzte Sterbetafel verwendet. Diese wird auch in der modernen Demographie bei kleinen Bevölkerungsgruppen oder bei unvollständigen Daten verwendet. Dabei werden, nicht wie in der modernen Demographie die einzelnen Altersjahre, sondern Altersklassen benutzt, wobei üblicherweise Fünf-Jahres-Klassen verwendet werden, bei Subadulten ist der Abstand kleiner (Grupe et al. 2005). In dieser Auswertung wurden die Populationen in zehn Altersklassen eingeteilt. Die Werte des Friedhofs Enkering sind aufgrund der geringen Individuenzahl nicht für demographische Berechnungen verwendbar.

Die durchschnittliche Lebenserwartung zum Zeitpunkt der Geburt (e_0^0) der Gesamtindividuen liegt bei allen untersuchten Bestattungsplätzen im mittleren und oberen Bereich der für das frühe Mittelalter angenommenen mittleren Lebenserwartung von 22-29 Jahren (Langenscheidt 1985) (Abb. 5.25). Am niedrigsten ist sie in Bruckmühl ($e_0^0=25,4$) und Großmehring B1B2B4 ($e_0^0=27,1$). In Etting ($e_0^0=31,1$), Großmehring B3 ($e_0^0=32,5$) und Kelheim ($e_0^0=32,5$) werden die durchschnittlichen Werte deutlich überschritten. Allgemein haben die Frauen eine höhere Lebenserwartung als die Männer, in Großmehring B3 ist sie annähernd gleich. Eine Ausnahme bildet auch hier Kelheim, dort ist die Lebenserwartung der Männer um etwa fünf Jahre höher als die der Frauen.

Bei den meisten der untersuchten Separatfriedhöfe liegt die Lebenserwartung deutlich über den für das frühe Mittelalter angegebenen 22-29 Jahren (Ett, Keh, Grm B3Sep), das Reihengräberfeld Grm B1B2B4 liegt an der Obergrenze der Spanne. Lediglich die Lebenserwartung der Individuen aus der Separatgräbe Bruckmühl liegt in der Mitte des genannten Bereichs.

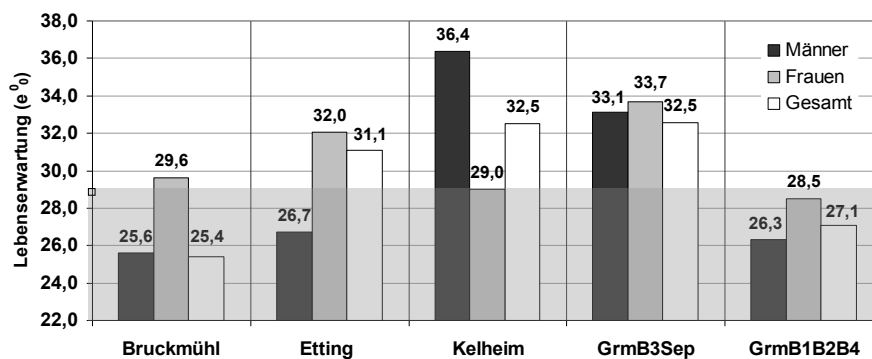


Abb. 5.25: Durchschnittliche Lebenserwartung zum Zeitpunkt der Geburt (e_0^0 , Einteilung der Sterbetafel in 10 Altersklassen). Die mittlere Lebenserwartung im frühen Mittelalter wird mit 22-29 Jahren angegeben (grauer Balken, Langenscheidt 1985). (Originaldaten Kelheim: Strott 2006).

²⁵ Korrekt müsste der Term „ e_0^0 “ als „ e_{0-6}^0 “ bezeichnet werden, da für die Berechnung des Wertes die Anzahl der Kinder im Alter von 0 (=neonat) bis 6 Jahre verwendet wird.

Langenscheidt teilt Populationen bezüglich ihrer Lebenserwartung in drei „Qualitätsgruppen“ ein: (1) Anteil der 5-14 jährigen unter 20% der Erwachsenen, Lebenserwartung >26 Jahre, Säuglingssterblichkeit von 25-26%; (2) Anteil der 5-14 jährigen 20-25%, Lebenserwartung 21-25 Jahre Säuglingssterblichkeit 28-30%; (3) Extrem schlechte Verhältnisse: Anteil der 5-14 jährigen ca. 30%, Lebenserwartung <20 Jahre, Säuglingssterblichkeit >30% (Langenscheidt 1985). Nach dieser Einteilung würden, laut der Lebenserwartung Etting, Kelheim und Großmehring in die Klasse 1 fallen, aber auch Großmehring B1B2B4 fällt noch in diese Kategorie. Bruckmühl befindet sich nach dieser Einteilung an der Obergrenze der Kategorie 2. In Kategorie 3 fällt keiner der hier untersuchten Friedhöfe.

Lebenserwartung in den verschiedenen Altersklassen

Neben der allgemeinen Lebenserwartung (e_0^0) sollte auch die Lebenserwartung in den unterschiedlichen Altersklassen berücksichtigt werden (Abb. 5.26). So können Veränderungen in der Lebenserwartung Hinweise auf bevölkerungsdynamische Prozesse geben (Grupe et al. 2005).

Die Darstellung der Lebenserwartung in den verschiedenen Altersklassen zeigt Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den untersuchten Populationen auf (Abb. 5.26). Die Lebenserwartungskurven der Gesamtbevölkerung sind vom Verlauf alle relativ ähnlich, wobei für die Individuen aus Bruckmühl die berechnete Lebenserwartung in allen Altersklassen um etwa fünf Jahre niedriger ist als auf den übrigen Gräberfeldern (Abb. 5.26A).

Die Lebenserwartung von Kleinkindern zwischen null und sechs Jahren (I1) ist allgemein relativ hoch. In Etting, Großmehring B3 und Kelheim haben Kleinkinder die höchste Lebenserwartung, in Grm B1B2B4 und Bruckmühl ist sie um ca. fünf Jahre niedriger (Abb. 5.26A). Männliche Säuglinge zeigen die höchste Lebenserwartung in Großmehring B3 und Kelheim (Abb. 5.26B). Interessanterweise steigt die Kindersterblichkeit bei den männlichen Individuen auf dem Bestattungsplatz Großmehring B1B2B4 von den Altersklassen I1 (ein bis sechs Jahre) zu I2 (sieben bis zwölf Jahre) an, während sie sonst konstant sinkt (Abb. 5.26B).

Bei den Frauen sind der Verlauf der Lebenserwartung, sowie die Lebenserwartung selbst in allen Gräberfeldern ähnlich, nur in Bruckmühl ist sie deutlich niedriger (Abb. 5.26C). Auch bei den Männern ist der Kurvenverlauf bei allen Friedhöfen ähnlich, die Kurven liegen hier jedoch weiter auseinander. Auch hier ist die Lebenserwartung in Bruckmühl am niedrigsten, gefolgt von Etting. Die höchste Lebenserwartungskurve bei den Männern hat Kelheim, knapp darunter liegt Großmehring (Abb. 5.26B). Es zeigt sich hier, dass die Lebenserwartung der Männer auf dem Separatfriedhof Grm B3 in Jugendalter und in den maturen Altersklassen unter den Werten der Männer auf dem Reihengräberfeld Grm B1B2B4 liegen. In den adulten Altersklassen ist die Lebenserwartung auf beiden Friedhofsteilen gleich.

Bei den Frauen aus Bruckmühl ist die Lebenserwartung zwischen 20 und 24 (fA) niedriger als zwischen 25 und 31 Jahren (mA). Bei allen anderen Friedhöfen nimmt sie konstant ab. Eine Ausnahme bildet hier das Reihengräberfeld Grm B1B2B4. Dort haben Frauen zwischen 39 und 45 Jahren (fM) eine höhere Lebenserwartung als Frauen zwischen 32 und 38 (sA) (Abb. 5.26C).

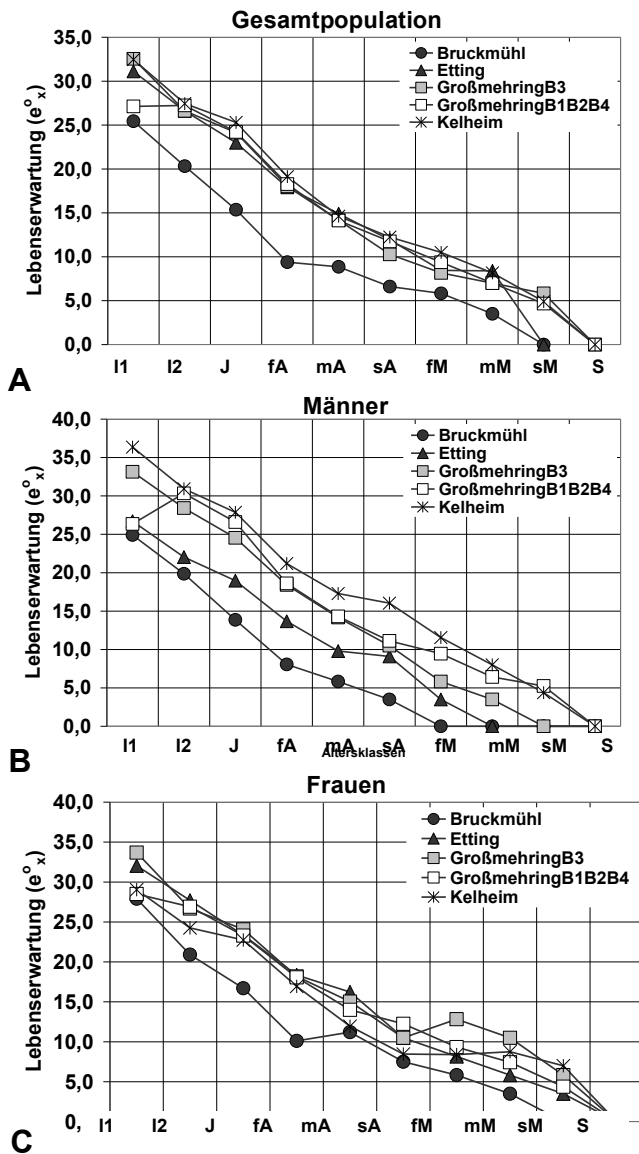


Abb. 5.26: Lebenserwartung der Individuen in den verschiedenen Altersklassen auf den untersuchten Gräberfeldern. Die Lebenserwartungskurven der Gesamtbevölkerung verlaufen ähnlich, wobei für Brm die berechnete Lebenserwartung in allen Altersklassen niedriger ist als auf den übrigen Gräberfeldern (A). Die Lebenserwartung von Kleinkindern ist relativ hoch, in Grm B1B2B4 und Brm ist sie um ca. fünf Jahre niedriger (A). Männliche Säuglinge zeigen die höchste Lebenserwartung in Grm B3 und Keh (B) Bei den Frauen ist der Verlauf der Kurven ähnlich, Brm liegt sie jedoch deutlich niedriger (C). Bei den Männern streuen die Werte stärker, auch hier ist Brm am niedrigsten, aber Ett ist deutlich angenähert. Die höchste Lebenserwartungskurve bei den Männern hat Keh, knapp darunter liegt Grm (B). Die Friedhofsteile von Grm unterscheiden sich bei Männern in den Altersklassen J und M. Die Kindersterblichkeit bei Jungen steigt auf dem Bestattungsort Grm B1B2B4 von den Altersklassen I1 zu I2 an (B). Die Lebenserwartung von Frauen aus Brm ist zwischen 20 und 24 (fA) niedriger als zwischen 25 und 31 Jahren (mA) (C). Auf dem Gräberfeld Grm B1B2B4 haben Frauen der Altersklasse fM eine höhere Lebenserwartung als Frauen der Altersklasse sA (C) (Originaldaten Kelheim: Strott 2006)

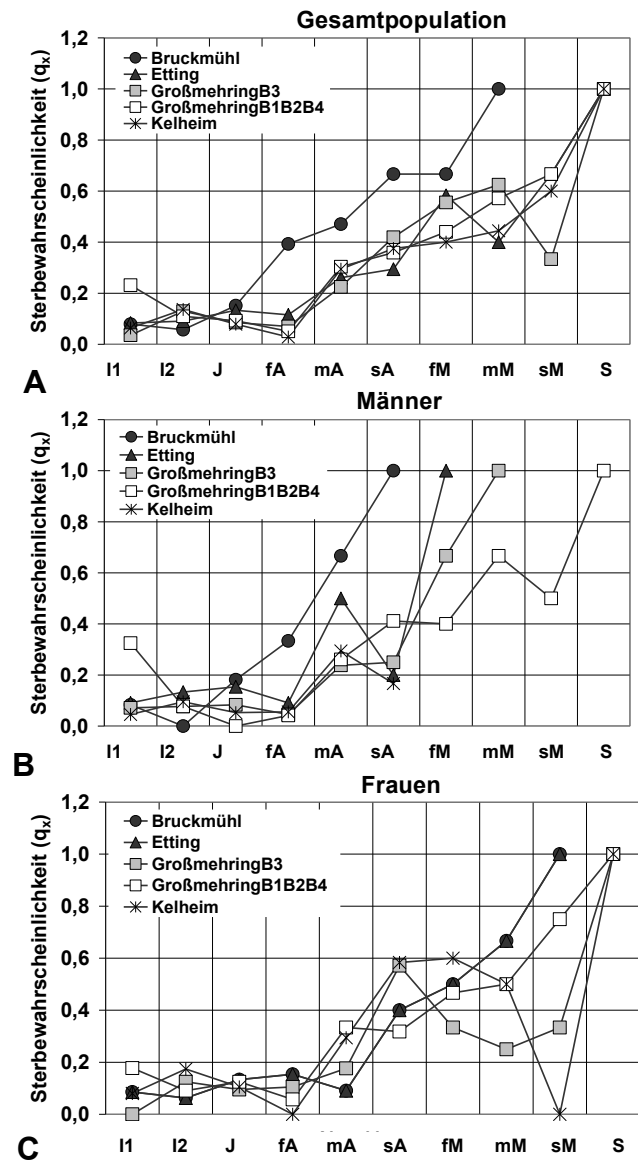


Abb. 5.27: Sterbewahrscheinlichkeit der Individuen auf den untersuchten Gräberfeldern. Es herrscht auf allen Bestattungsorten allgemein eine geringe Kleinkindersterblichkeit, in Grm B1B2B4 ist sie etwas höher (A), besonders bei den männlichen Kleinkindern (B). Im Jugendalter ist die Sterblichkeit ähnlich dem der Kinder (A), wobei sie bei männlichen Jugendlichen stärker streut. Am geringsten ist sie dort bei den Reihengräbern (Grm B1B2B4) (B). Ab dem Erwachsenenalter steigt die Sterbewahrscheinlichkeit, in Brm liegt sie allgemein höher (A), bedingt durch die erhöhte Sterblichkeit der Männer (B). Bei jungen Erwachsenen ist die Sterblichkeit noch relativ gering (A, B, C). Danach beginnt sie anzusteigen (A), wobei sie bei Männern in der mitteladulten Altersklasse, besonders Ett und Brm (B), bei Frauen in der spätadulten Altersklasse, besonders Keh und Grm B3 (C) einen Höhepunkt erreicht. Die Sterbewahrscheinlichkeit in der mittel- und spätadulten Altersklasse liegt gleich bei den Frauen aus Grm B1B2B4 gleich hoch (C), ebenso bei den Männern aus Grm B3 (B). Bei den Frauen aus Grm B3 sinkt die Sterblichkeit in der matura Altersklasse (C), während sie bei allen anderen Bestattungsorten ansteigt (A, B, C). Kelheim: keine Frauen in spätmatura Altersklasse (Originaldaten Kelheim: Strott 2006).

Mortalität

Anhand der Sterbewahrscheinlichkeit (q_x) kann das Sterberisiko in den verschiedenen Altersklassen eingeschätzt werden.

Die Kleinkindersterblichkeit ist auf allen Bestattungsplätzen allgemein gering (Abb. 5.27 A-C). Auf dem Reihengräberfeld Großmehring B1B2B4 erscheint sie jedoch etwas höher (Abb. 5.27 A), besonders bei den männlichen Kleinkindern (Abb. 5.27 B). Die Sterblichkeit im Jugendalter bleibt in etwa auf dem Niveau der Kinder (Abb. 5.27 A), wobei sie bei männlichen Jugendlichen zwischen den einzelnen Bestattungsplätzen stärker streut und dort am niedrigsten bei den Reihengräbern (GrmB1B2B4) ist (Abb. 5.27 B). Ab dem Erwachsenenalter steigt die Sterbewahrscheinlichkeit deutlich an. In Bruckmühl liegt sie allgemein höher (Abb. 5.27 A), bedingt durch die erhöhte Sterblichkeit der Männer (Abb. 5.27 B). Bei jungen Erwachsenen ist die Sterblichkeit noch relativ gering (Abb. 5.27 A-C). Danach beginnt sie anzusteigen (Abb. 5.27 A), wobei sie bei Männern in der mitteladulten Altersklasse, besonders Etting und Bruckmühl (Abb. 5.27 B), bei Frauen in der spätadulten Altersklasse, besonders Kelheim und Großmehring B3 (Abb. 5.27 C) einen Höhepunkt erreicht. In der mittel- und der spätadulten Altersklasse besteht bei den Frauen aus Großmehring B1B2B4 kein Unterschied in der Sterbewahrscheinlichkeit (Abb. 5.27 C), ebenso bei den Männern aus Großmehring B3 (Abb. 5.27 B). Bei den Frauen dort sinkt die Sterblichkeit in der matura Altersklasse (Abb. 5.27 C), während sie bei allen anderen Bestattungsplätzen ansteigt (Abb. 5.27 A-C). Der Ausreißer aus Kelheim dürfte sich im Fehlen von Frauen in der spätmatura Altersklasse begründen (Abb. 5.27 C).

In vielen Untersuchungen von Gräberfeldern aus dem frühen Mittelalter ist für beide Geschlechter das Sterberisiko in den ersten Lebensjahren meist am höchsten. Dabei handelt es sich aber um größere Populationen, bei denen das Kleinkinddefizit rechnerisch korrigiert wurde (Kokkotidis 1999). Ohne diesen Korrekturfaktor erscheint die Sterblichkeit der unter sieben Jährigen ähnlich gering wie auf den hier untersuchten Friedhöfen (z.B. McGlynn 2007). Etwa ab dem 20. Lebensjahr wird ein deutliches Ansteigen der Sterblichkeit bei beiden Geschlechtern angegeben (z.B. Herrmann 1990, Kokkotidis 1999). Bei Frauen ist dies mit den erhöhten Risiken während Schwangerschaften und Geburten begründbar, aber auch durch erhöhte Infektionsrisiken bei der Krankenpflege (Grupe 1990; Herrmann et al. 1990).

Bei Männern wird der Anstieg der Sterblichkeit im frühen Erwachsenenalter mit dem Eintritt in das waffenfähige Alter und dem damit erhöhten Risiko begründet. Unterstützt wird diese Annahme durch die Tatsache, dass bestimmte Waffen wie Spatha, Schild oder Lanze einem Toten erst nach Erreichen dieses Alters ins Grab mitgegeben wurden (Kokkotidis 1999).

Kleinkinddefizit

Da die hier untersuchten Separatfriedhöfe alle vollständig ergraben wurden, wurde bei der demographischen Auswertung und der Berechnung der Sterbetafel auf das mit Einberechnen des Kinderdefizits verzichtet. Der Begriff des Kinderdefizits beschreibt die Differenz zwischen der vermuteten Kindersterblichkeitsrate und der tatsächlichen Anzahl an Kinderbestattungen, die für diese Zeit archäologisch fassbar ist. Für das Frühmittelalter wird allgemein von einem Kinderdefizit auf Bestattungsplätzen ausgegangen, da sich häufig Skelette neugeborener Kinder in den Siedlungen befinden (Czarnetzki 1995).

In der Regel wird bei demographischen Berechnungen das „Kleinkinderdefizit“ mit berücksichtigt (Herrmann et al. 1990). Das „Kinderdefizit“ kann mittels einer auf der Basis rezenter und historischer Populationen entwickelten Regressionsfunktion korrigiert werden (Bocquet & Masset 1977), die nach dem Vorbild von Schätzverfahren für die Berechnung unbekannter Parameter in rezenten Populationen entwickelt wurden (UN 1955; Weiss 1973). Eine der Grundannahmen des Verfahrens geht davon aus, dass zumindest die 10-14 Jährigen in den jeweiligen Skelettserien vollständig repräsentiert sind und auf dieser Basis wird die Anzahl der 5-9jährigen auf Vollständigkeit geprüft und daraus die Anzahl der fehlenden Säuglinge abgeschätzt (Bocquet & Masset 1977).

Für das Frühmittelalter wird häufig eine hohe Kindersterblichkeitsrate angenommen. Dieser Annahme steht aber eine geringe Anzahl von Kinderskeletten auf Bestattungsplätzen

gegenüber. Es gibt keinen Beleg dafür, dass im Mittelalter die Hälfte aller Kinder starb. Die Hypothese einer hohen Kindersterblichkeit geht auf die Interpretation paläoanthropologischer Analysen von Gräberfeldern zurück, die davon ausgehen, dass der Anteil an Kinderskeletten in Bezug auf die Gesamtzahl der Bestattungen bei rund fünfzig Prozent liegt. Durch Zahlenwerte kann dies nicht bestätigt werden. Die Vorgabe eines fünfzigprozentigen Kinderanteils auf Gräberfeldern beruht im Wesentlichen auf Sterbetafeln. Deren Methodik gerät jedoch immer stärker in die Kritik, da die theoretischen Grundlagen eher einem idealisierten demographischen Modell folgen und nicht der Realität (Kölbl 2004). In ihrer Untersuchung konnte Kölbl zeigen, dass auch der Wert der durchschnittlichen Lebenserwartung nur eine geringe Aussagekraft über die allgemeine Sterblichkeitsrate einer Gemeinschaft hat und keine verbindlichen Altersgruppenverhältnisse bestehen müssen. Der Kinderanteil auf Gräberfeldern kann von vielen verschiedenen Faktoren beeinflusst werden und lässt demnach keine Rückschlüsse auf die Kindersterblichkeit zu (Kölbl 2004).

Für das (vermutete) Fehlen von Kinderbestattungen gibt es verschiedene Erklärungsansätze: (1) Biologische Gründe wie fehlende Robustizität der Kinderknochen und geringe Grabtiefe (Herrmann et al. 1990) oder (2) soziokulturelle Gründe wie etwa die Annahme, dass Kindern erst ab einem bestimmten Alter (in Kokkotidis 1999) oder aufgrund der sozialen Stellung der Eltern auf Gräberfeldern bestattet wurden (Wahl 2001).

Auf frühmittelalterlichen Gräberfeldern sind aber alle subadulten Altersklassen vom Neugeborenen bis zum Jugendlichen vertreten (Wahl 2001). Die festgestellten Kinderzahlen geben die tatsächlichen Verhältnisse wieder und die Säuglingssterblichkeit im frühen Mittelalter ist als erheblich geringer einzuschätzen als bislang angenommen (Czarnetzki et al. 1989). Davon ist auch bei den hier untersuchten Grablagen auszugehen, da in der Altersklasse Infans I sämtliche Lebensalter vertreten sind (siehe z.B. Abb. 5.79, Einzelergebnisse siehe Anhang). In der Regel sind, wenn ein Gräberfeld vollständig ergraben ist, auch alle dort vorhandenen Grabgruben zu erkennen. Selbst wenn sie keine Skelettreste mehr enthalten, kann aufgrund der Größe der Grabgrube Rückschlüsse gezogen werden, ob es sich bei dem dort bestatteten Individuum um ein Kind gehandelt haben könnte. Daher sollte die vorhandene Individuenzahl stets mit der Anzahl der Grabgruben und deren Größe abgeglichen werden um eventuell „fehlende“ Kinder mit in die demographischen Berechnungen aufzunehmen.

Auf dem Separatfriedhof Kelheim fehlten von den 53 Gräbern 27 Individuen (Czermak et al. 2006b). Daher sind demographischen Berechnungen wie mittlere Lebenserwartung und Kindersterblichkeit oder die Größe der Lebendbevölkerung, die ja aufgrund der vorhandenen Daten aus Alters- und Geschlechtsbestimmung berechnet wurden, unter Vorbehalt zu betrachten, da die fehlenden Individuen nicht mit berücksichtigt wurden. Die hohe Lebenserwartung ist dort möglicherweise durch die vermeintlich geringe Anzahl der Kinder und der daraus berechneten geringen Kindersterblichkeit bedingt. Hier könnte es sich also um ein „echtes“ Kleinkinderdefizit handeln (Herrmann et al. 1990), das auch die berechnete hohe mittlere Lebenserwartung (e_0^0) der Individuen aus Kelheim relativieren könnte.

Berechnung von Lebendpopulation und Siedlungsgröße

Anhand der aus den Individualsterbedaten berechneten Lebenserwartung zum Zeitpunkt der Geburt (e_0^0) und der Gesamtzahl der Verstorbenen (D) wurde im Verhältnis zum Belegungszeitraum (t) der Umfang der Bevölkerung (P) berechnet.

Da davon ausgegangen werden muss, dass hier Teile der Bevölkerung an anderen Begräbnisplätzen bestattet wurden wird die dadurch bedingte Fehlbestimmung durch den Korrekturfaktor $k = 1,1$ ausgeglichen (nach Herrmann et al. 1990).

Kritische Größe bei der Berechnung der Lebendbevölkerung ist die Belegungsdauer (t), die eine gute Datierbarkeit der Bestattungen voraussetzt (Herrmann et al. 1990). Da eine genaue Chronologie der Bestattungsplätze aufgrund hohen Anzahl an beigabenlosen Gräbern nicht möglich war (Ledderose 2006), wird von einer Belegungszeit von ein bis zwei Generationen (20 bis maximal 40 Jahre) ausgegangen. Aus der für den jeweiligen Belegungszeitraum ermittelten Größe der Lebendpopulation wurde ein Mittelwert gebildet, der eine Annäherung an die tatsächliche Bevölkerungsgröße bieten kann.

Belegungsdauer (Jahre)	Größe der Lebendpopulation $P = 1,1 * D * e^0 / t$							Kelheim
	Bruckmühl	Etting	Großmehring		B2	B4	B1	
			B3	B1B2B4				
20	56	62	99	136	58	52	26	81
30	37	41	66	91	39	35	18	54
40	28	31	49	68	29	26	13	41
50	22	25	40	54	23	21	11	32
60	19	21	33	45	19	17	9	27
70	16	18	28	39	17	15	8	23
80	14	15	25	34	14	13	7	20
Mittelwert (20-40 Jahre)	40	45	71	98	42	38	19	59
Anzahl Gehöfte	3-4	3-5	5-7	7-10	3-4	3-4	1-2	4-6

Tab. 5.11: Berechnete Größe der Lebendpopulation und Anzahl der Gehöfte pro Siedlung. Anhand der Formel: $P = 1,1 * D * e^0 / t$ wurde die Größe der Lebendbevölkerung in Abhängigkeit zur Belegungsdauer des Friedhofes berechnet. Aufgrund der ungenauen Chronologie (Ledderose 2006), wird von einer Belegungszeit von ein bis zwei Generationen (20 bis maximal 40 Jahre) ausgegangen und der Mittelwert gebildet. Mit angenommenen 10-15 Personen pro Gehöft (Abel 1962; Jankuhn 1976) wird die mögliche Anzahl der Gehöfte pro Bestattungsort berechnet. (Originaldaten Kelheim: Strott 2006).

Die Anzahl der in den untersuchten Gemeinschaften lebenden Individuen dürfte in etwa 40 Menschen betragen. Fürs den separaten Teil des Fundplatzes Großmehring (B3) wurde etwa die doppelte Anzahl ermittelt. Hier befinden sich jedoch zwei Zentralbestattungen und es besteht die Möglichkeit, dass es sich hier eventuell um zwei, möglicherweise zusammengelegte Separatfriedhöfe zweier Familien handelt. In Großmehring wurden demnach etwa 42% der ermittelten Lebendbevölkerung auf dem Separatfriedhof bestattet. Bei dem Bestattungsort Großmehring B1 handelt es sich um so genannte Hofgrablegen (Ledderose 2006; Steuer 2004), deren Behandlung als „Kollektiv“ aufgrund der unterschiedlichen Datierung der Gräber (Ledderose 2004) fraglich sein könnte. Unter der Annahme, dass in Großmehring zunächst das Reihengräberfeld und anschließend der separierte Friedhof belegt wurden, dürften die Friedhofsteile genau genommen nicht als zeitgleich eingestuft werden. Die Belegung des Reihengräberfeldes B1B2B4 begann früher und dauerte länger. Unter archäologischen Aspekten sind nicht unbedingt alle Teile des Reihengräberfeldes B1B2B4 als zeitgleich mit dem Separatfriedhof B3 zu betrachten. Eine genaue Belegungschronologie war aber leider nicht möglich (Ledderose 2006). Werden die Mittelwerte der Belegungsdauer umgerechnet auf eine Individuenzahl von etwa 10-15 Personen pro Gehöft (Abel 1962; Jankuhn 1976)²⁶, so könnten für Bruckmühl etwa 3-4 Gehöfte, für Etting 3-5, für Großmehring insgesamt etwa 12-17 Gehöfte, dabei für den separaten Bereich 5-7 und für die Siedlung aus der auf den Reihengräbern Bestatteten 7-10 angenommen werden. Die Anzahl der Gehöfte eines Dorfes wird für das 7. Jahrhundert mit 5-10 angegeben (Jankuhn 1976).

²⁶ Die angegebene Anzahl der Personen pro Gehöft schwankt zwischen 6-8 Erwachsenen und 9-12 Kindern, also 15-20 Personen insgesamt (Jankuhn 1976) und 5-6 Erwachsenen, also 6-8 Personen insgesamt (Abel 1962).

5.4.2 Diskussion der Paläodemographie und Berechnung der Siedlungsgröße

Paläodemographie und Berechnung der Siedlungsgröße

Paläodemographie

Die Demographie allgemein soll Zustand und Veränderung von Bevölkerung und Bevölkerungsteilen mit statistischen Methoden darstellen. Sie versucht Bevölkerungsstrukturen, -entwicklungen, -bewegungen, die Bevölkerungsverteilung, deren Veränderungen und, als historische Demographie, die Bevölkerungsgeschichte zu beschreiben, zu analysieren und zu erklären (www.gbe-bund.de 2007). Die Paläodemographie leistet einen Beitrag zur Alltagsgeschichtsforschung, soweit sich deren Aspekte in ihren Ursachen und Folgen biologisch greifen lassen. Für eine hinreichende Charakterisierung von Lebensweise, Verhaltensmustern, Krankheitserleben, sozialer Interaktion und Umweltbeziehungen ist eine geschlossene Population die kritische Einheit, die jedoch stets im Kontext des jeweiligen Kulturkreises zu betrachten ist (Grupe et al. 2005). Wegen der geringen Anzahl der bestatteten Individuen oder spezifischer Eigenheiten in der Zusammensetzung der bestattenden Population hat die Untersuchung demographischer Parameter in Skelettserien auf der Basis einzelner Gräberfelder immer nur eine lokale Reichweite (Kokkotidis 1999).

Grundsätzlich stellt sich die Frage nach den demographischen Aussagemöglichkeiten bei archäologischem Fundgut, da bei historischem Material nur indirekt auf die demographischen Parameter geschlossen werden kann. Unter archäologischen Aspekten muss besonders die Vollständigkeit des Grabungsumfanges und die chronologischen Datierung des Gräberfeldes überprüft werden. Unter anthropologischen Aspekten muss die Repräsentativität des Fundmaterials und die Genauigkeit der Geschlechts- und Altersbestimmung der einzelnen Individuen berücksichtigt werden. Besonders die Genauigkeit der Sterbealtersbestimmung nimmt Einfluss auf die Validität der Ergebnisse, da sämtliche paläodemographischen Aussagen auf den Sterbeverhältnissen aufbauen (Jürgens 1988). Das hier untersuchte Material ist zwar nicht als geschlossene Population anzusehen, da aber die meisten Bestattungsplätze vollständig ergraben²⁷ sind, können sie zumindest als „geschlossene Gemeinschaft“ angesehen werden.

Auf die weit reichende Diskussion zum Pro und Contra der Paläodemographie (Bocquet-Appel 1985; Bocquet-Appel & Masset 1982; Bocquet-Appel & Masset 1996; Grupe et al. 2005; Königsberg & Frankenberg 2002; Wood et al. 1992) soll hier nicht weiter eingegangen werden. Die anhand der üblichen Methoden berechneten Daten sollen einen ungefähren Eindruck über die untersuchten Populationen geben um deren Lebensumstände abschätzen zu können. Sie haben keineswegs den Anspruch als absolut zu gelten. Es gibt keine andere Möglichkeit derartige Parameter zu ermitteln, daher muss eine Annäherung genügen. Die Ergebnisse sind zwar de facto nur eine Annäherung, aber da die paläodemographischen Auswertungen mit den gleichen Methoden berechnet werden, sind die Bestattungsplätze untereinander durchaus vergleichbar.

Altersverteilung

Die Altersverteilung wurde grafisch dargestellt (Abb. 5.24). Die Form einer Altersverteilungsgrafik wird von der Historie einer Bevölkerung bestimmt. Dabei sorgen unterschiedliche Ereignisse wie Kriege, Naturkatastrophen, kulturelle und soziale Veränderungen in der Bevölkerung für erkennbare Veränderungen oder Verformungen (Bähr et al. 1992). Bei der Interpretation der Darstellung muss jedoch stets bedacht werden, dass es sich bei den untersuchten Populationen um „Friedhofspopulationen“ handelt, also um eine Gesellschaft Toter, die nicht direkt auf das Modell lebender Populationen umsetzbar ist. So bedeutet ein „Fehlen“ von Individuen in einer Altersklasse auf dem Friedhof, dass diese in der Lebendbevölkerung vorhanden waren. Die hier unterrepräsentierten jungen Erwachsenen konnten demnach, sofern sie nicht andernorts bestattet wurden, während ihrer

²⁷ Auf dem Bestattungsplatz Großmehring B2 fehlen vermutlich einige Individuen, die durch einen Hausbau auf der Fläche nicht mehr zugänglich waren und in Bruckmühl besteht weiterhin die Möglichkeit, dass sich noch einige Individuen unter dem Straßenbelag im Osten der Grabungsfläche befinden.

produktivsten und vor allem reproduktivsten Lebensphase ihren Beitrag zur Weiterentwicklung der Gesellschaft liefern.

Auffallend ist der geringe Anteil an Männern und Frauen zwischen 20 und 30 Jahren. Für präindustriellen Bevölkerungen wird in der frühadulten Altersklasse eine erhöhte Sterblichkeit angegeben (Herrmann et al. 1990). Diese Aussage trifft auf den Friedhof Bruckmühl zu. Bei den anderen hier ausgewerteten Bestattungspätzen, sowohl bei den Separatgrablagen als auch bei dem Reihengräberfeld, erscheint der Sterbegipfel um ein bis zwei Altersklassen nach hinten verschoben.

Die Sterbealtersbestimmung, sowohl morphologisch als auch mit Hilfe der TCA ist in den Altersklassen der Jugendlichen und jungen Erwachsenen sehr genau und valide. Eine Falschbestimmung, zumindest in diesen Altersklassen, kann daher weitgehend ausgeschlossen werden. Eine These für „fehlende“ Männer auf einem Gräberfeld wäre, dass ein Teil der Männer im Zuge von Kriegshandlungen zu Tode gekommen ist und deshalb nicht auf dem „heimischen“ Gräberfeld bestattet wurde (Müller 1976). Da sich die Friedhöfe Etting, Großmehring und Kelheim, im Gegensatz zu Bruckmühl in geographischer Nähe befinden, könnte eine kriegerische Auseinandersetzung in diesem Gebiet eine mögliche Erklärung für die „fehlenden“ jungen Männer sein. Dies stimmt auch in etwa mit historischen Quellen überein (vgl. Kap. 2.1.1 Historische Hintergründe). Dafür müssten aber alle Friedhöfe genau zeitgleich sein, was jedoch archäologisch nicht eindeutig belegt werden kann (Ledderose 2006; Meier 2004; Suhr & Fehr 2007). Generell lässt sich die These von Müller (1976) nicht verallgemeinern. Demnach müssten, im Falle einer größeren kriegerischen Auseinandersetzung generell alle Männer im waffenfähigen Alter, also sicherlich bis in die matura Altersklassen, in der Rekonstruktion der Bevölkerung unterrepräsentiert sein. Außerdem wurden einige Individuen, die nachweislich aufgrund von Kampfhandlungen verstarben auch auf den untersuchten Friedhöfen bestattet (vgl. Kap. 5.8.2 Hiebverletzungen). Gegen diese Theorie spricht ebenso, dass auch Frauen in dieser Altersklasse unterrepräsentiert sind.

Das Fehlen junger Erwachsener beider Geschlechter könnte auch mit dem aufkeimenden Christentum in Zusammenhang gebracht werden, das sich im 7. Jahrhundert langsam in Bayern ausbreitete (Mayr 1988). Da angenommen wird, dass die „Christianisierung“ von der adeligen Oberschicht ausging (Gillich 2008), wäre es möglich, dass sich die junge Oberschicht im Sinne des „neuen Glaubens“ bereits auf anderen Bestattungspätzen, auf „christlichen Friedhöfen“ bestatten ließen, während die „Alten“ noch nach der „alten Sitte“ mit Beigaben beigesetzt wurden (vgl. Kap. 2.1.1 Historische Hintergründe). Dies könnte auch die geringe Anzahl an kleinen Kindern erklären, die eventuell auch bereits auf christlichen Friedhöfen bestattet wurden. Inwieweit es sich jedoch der neue Glaube im Großteil der Bevölkerung durchgesetzt hat ist nach wie vor unklar, da Zeichen eindeutigen Bekenntnisses in den Gräbern kaum vorkommen (Gillich 2008). Die Rolle der Separatfriedhöfe in diesem Kontext ist auch nicht eindeutig geklärt (Gillich 2008; Ledderose 2006; Theune-Großkopf 2001). Außerdem sind nicht nur auf den Separatfriedhöfen, den postulierten Oberschichtengräbern, sondern auch auf den Reihengräberfeldern die jungen Erwachsenen unterrepräsentiert.

Berechnung der „Lebendpopulation“ und der Siedlungsgröße

Kritische Größe bei der Berechnung der Lebendbevölkerung und der Siedlungsgröße ist die Belegungsdauer (t) des Friedhofes, die eine gute Datierbarkeit der Bestattungen voraussetzt (Herrmann et al. 1990). Die genaue archäologische Datierung und somit die genaue Belegungsdauer der Bestattungspätze stellte hier das größte Problem bei den paläodemographischen Berechnungen, besonders bei der Berechnung der Siedlungsgröße dar. Aufgrund der hohen Anzahl an beigabenlosen Gräbern, begründet durch die vermutlich christlich indizierte schwindende Beigabensitte im frühen Mittelalter war es nicht möglich genauere Aussagen über Datierung, Chronologie und Belegungsdauer zu treffen (Ledderose 2006). Um dennoch eine Berechnung der Lebendpopulation durchführen zu können, wurde anhand der ungefähren archäologischen Daten eine Belegungsdauer von ein bis zwei Generationen (20 bis maximal 40 Jahre) ausgegangen.

Lange Zeit galt ein merowingerzeitlicher Friedhof als Spiegelbild der Bevölkerung eines Dorfes (Donat & Ullrich 1971). Steuer (1988) postuliert jedoch, dass zunächst die gesamte Gemarkung inklusive Siedlung erforscht werden sollte bevor Berechnungen zur Bevölkerungsgröße gestattet werden, da Gräberfelder ohne zugehörige Siedlungen unter bevölkerungsstatistischen Überlegungen allein nicht auswertbar sind. Die Größe der Gräberfelder stehe zwar für verschiedene Gemeinschaften wie „Hofbesatzung“ oder „Dorfbewohnerschaft“, der direkte Bezug eines Gräberfeldes zu einer Siedlung wäre jedoch so ohne weiteres nicht nachvollziehbar. Da im Laufe des 7. und frühen 8. Jahrhunderts die Reihengräberfriedhöfe aufgegeben wurden und sich Separat-, Hof- und Kirchengrablegen bilden, ergibt sich die Schwierigkeit, aus der Größe und der Zahl der Bestattungsplätze die einstmalige Einwohnerzahl zu errechnen. Solange die assoziierten Siedlungen nicht vollständig ergraben wurden, wird es schwer möglich sein, einigermaßen verlässliche Zahlen über Bevölkerungsgrößen einer Siedlung zu bekommen (Steuer 1988).

Die Berechnung der Lebendbevölkerung und der Siedlungsgröße kann in jedem Fall nur eingeschränkt sinnvoll sein, da zu viele Ungenauigkeitsfaktoren den berechneten Wert beeinflussen können. Die Bestimmung des Sterbealters der einzelnen Individuen erfolgt nur ungefähr, demnach kann auch die daraus berechnete Lebenserwartung zum Zeitpunkt der Geburt (e^0_0) nur ein angenäherter Wert sein. Auch das für die Berechnung verwendete statische Bevölkerungsmodell bedingt eine gewisse Fehlbestimmung des Bevölkerungsumfanges, die nur annähernd durch den verwendeten Korrekturfaktor ausgeglichen werden kann. Auch eine auf etwa zehn Jahre genaue Datierung der Gräberfelder ist, auch wenn ausreichend Beigaben vorhanden sind eher selten möglich. Des Weiteren beruhen die Angaben zur Anzahl der Personen aus einem Gehöft lediglich auf Annahmen (Abel 1962; Jankuhn 1976). Die berechneten Werte können daher nur eine Annäherung an den tatsächlichen Bevölkerungsumfang sein und einen ungefähren Überblick über die untersuchte Population geben.

Siedlungen im frühen Mittelalter

In der Merowingerzeit ist, ausgehend von den besiedelten Kernlandschaften an der Donau, ab dem siebten Jahrhundert ein deutlich erkennbarer Landausbau und ein erhebliches Bevölkerungswachstum sichtbar (Jankuhn 1976; Menke 1988). Aus kleineren Höfegruppen des 6. Jahrhunderts sind im 7. Jahrhundert zum Teil große Dörfer entstanden (Jankuhn 1976). Im 7. Jahrhundert gab es zusätzlich zahlreiche Ortsneugründungen. Ortsnamen mit den Endungen -ing und -heim zeugen von einer Ortsgründung im frühen Mittelalter, ab dem 7. und 8. Jahrhundert endeten die Namen der neugegründeten Siedlungen auf -dorf, -hausen und -hofen (Diepolder 1988).

Als Modell ländlichen Lebens ist die römischen „*villa rustica*“ zu sehen. Das Produktionszentrum eines römischen Landherren, auf dem eine Vielzahl von Menschen verschiedenster sozialer Stellungen arbeitete und die alle zur „*familia*“ gehörten, der Gemeinschaft aller Personen des Haushaltes. Aus dem Wort „*villa*“ wurde in den romanischen Sprachen das Wort für „Dorf“ oder „kleine Siedlung“. Als „*familia*“ wurde im Mittelalter der soziale Verband um eine geistliche oder weltliche Herrschaft, wie Kloster oder Herrenhof genannt. Der germanische Herrenhof beherbergte wie die *villa rustica* Menschen in differenzierter Sozialstruktur: die Familie des Herren, seine kriegerischen Gefolgsleute, Handwerker, qualifizierte und unqualifizierte Knechte und Mägde (Brunner 1988). In etwa dieser Art dürften auch die frühmittelalterlichen Siedlungsgemeinschaften strukturiert gewesen sein. Aus archäologischen Siedlungsgrabungen können Häuser und Siedlungen teilweise rekonstruiert werden (Diepolder 1988; Geisler 1988). Eine Siedlung bestand aus einzelnen Hofstellen. Zu einem Gehöft gehörten in der Regel mindestens ein größerer Pfostenbau, einige Grubenhäuser und ein Brunnen. Die Pfostenbauten dienten als Wohnhäuser, Stall und Vorratslager (Abb. 5.28). Dabei handelte es sich ausschließlich um stroh- oder schilfgedeckte Holz und Leimbauten (Geisler 1988).

Da die Wirtschaft des frühen Mittelalters kleinräumig war, erzeugten die Menschen in ihrem engeren Lebensraum die benötigten Dinge und waren somit alle direkt oder indirekt von der Landwirtschaft abhängig. Dort wurden kaum Überschüsse erzeugt, so dass es in guten Jahren für alle reichte, schlechte Jahre aber Hunger bedeuteten (Brunner 1988).

Lebensbedingungen können jährlich wechseln, einen Einfluss auf die Ernährung, die Arbeitsbelastung haben und Anfälligkeit gegen Krankheiten nach sich ziehen. Aufgrund der Kleinräumigkeit können sich auch Ereignisse wie Ernteausfällen aufgrund von eventuell nur lokal vorkommender Naturkatastrophen wie Hagel, Überschwemmung oder vereiste Flüsse (Brunner 1988) auf einzelne Siedlungen auswirken, die sich auch in mehreren darauf folgenden Jahren bemerkbar machen können (Zoege v. Manteufel 1983). Daher ist es möglich, dass sich anthropologisch erhobene Daten wie Rekonstruktion der Ernährungsweise und Arbeitsbelastung von Individuen und Populationen aus Orten, die geographisch nicht weit voneinander entfernt sind deutlich voneinander unterscheiden (Zoege v. Manteufel 1983).

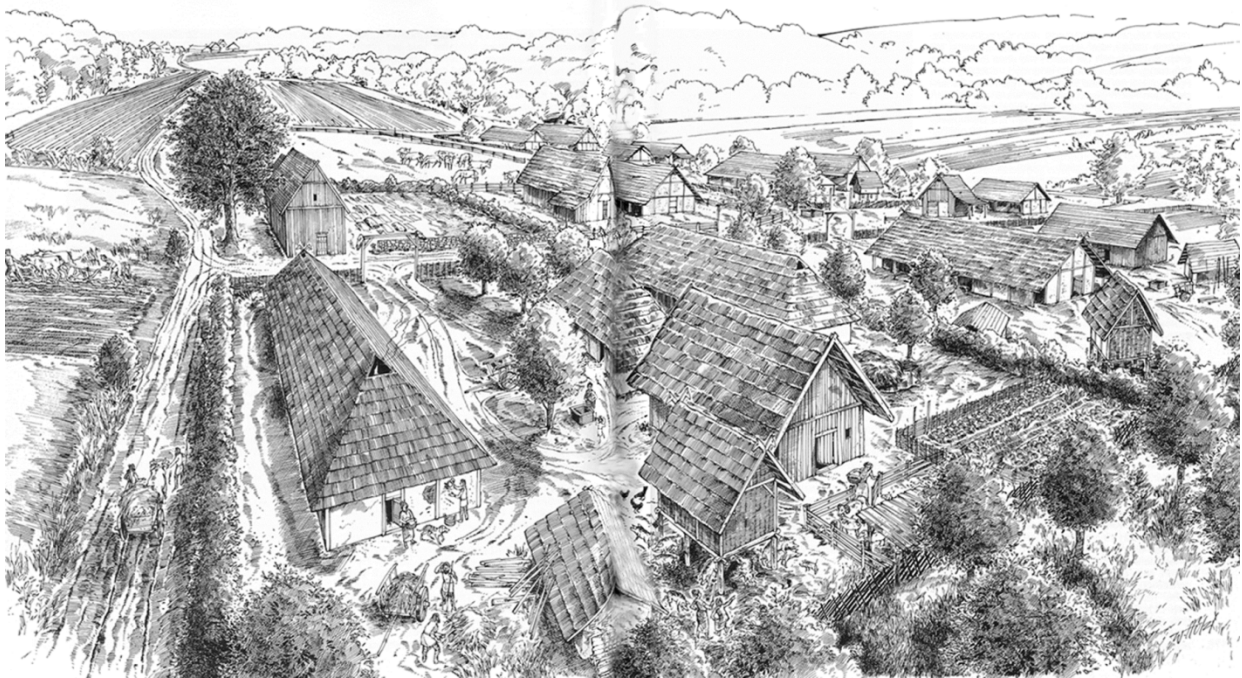


Abb. 5.28: Idealisierte Darstellung eines bajuwarischen Dorfes mit Herrenhof und bäuerlichen Hofstellen (Diepolder 1988).

Soziale Aspekte von Lebenserwartung und Geschlechterverteilung

Anhand demographischer Parameter wie Lebenserwartung, Sterberisiko in den einzelnen Altersklassen und vor allem anhand der Kindersterblichkeit können Rückschlüsse auf den Zustand der untersuchten Population gezogen werden.

Die berechnete Lebenserwartung zum Zeitpunkt der Geburt (e^0_0) liegt bei allen untersuchten Bestattungsplätzen zwischen 25 und 32 Jahren, wobei die Lebenserwartung der Individuen auf dem Reihengräberfeld Großmehring B1B2B4 etwa vier bis fünf Jahre niedriger war als die der Separatfriedhöfe. Nur Bruckmühl wies mit ca. 25 Jahren die niedrigste Lebenserwartung auf. Dieser „berechnete“ Wert könnte aber möglicherweise durch „fehlende“ ältere Individuen erklärt werden. Einerseits war dieser Bestattungsplatz nicht vollständig ergraben (siehe Kap. 4.3), andererseits könnten die älteren Personen noch traditionell auf einem Reihengräberfeld bestattet worden sein, während sich die Jungen bereits „separierten“.

Generell war die Lebenserwartung der hier untersuchten Populationen für das frühe Mittelalter relativ hoch (Langenscheidt 1985). In einer vergleichbaren Studie in der „Oberschicht“ und „Unterschicht“ auf einem Gräberfeld untersucht wurden liegt die mittlere Lebenserwartung der Gesamtpopulation ebenfalls bei etwa 30 Jahren, wobei die Lebenserwartung der postulierten „Oberschicht“ um etwa fünf Jahre höher war als die der „Unterschicht“ (Kokkotidis 1999). Dies deckt sich mit den hier erhobenen Daten, wonach die Lebenserwartung auf dem Reihengräberfeld Großmehring B1B2B4 ebenfalls um dieselbe Spanne niedriger ist als die auf dem separaten Teil Großmehring B3.

Geschlechterverteilung

Die Frauen haben hier generell eine etwas höhere Lebenserwartung als die Männer, auf dem Separatfriedhof Großmehring B3 ist sie annähernd gleich. Kelheim stellt auch hier wieder eine Ausnahme dar, da die dort berechnete Lebenserwartung der Männer um etwa fünf Jahre höher ist als die der Frauen (Strott 2006). Bei Kokkotidis (1999) lag, ähnlich wie in Kelheim, die allgemeine Lebenserwartung der Männer um etwa vier Jahre höher als die der Frauen. Für die niedrigere Lebenserwartung der Frauen werden häufig erhöhte Risiken während der fertilen Lebensphase aufgrund von Schwangerschaften, Geburten und Krankenpflege angeführt. Dies müsste zwar alle Bevölkerungsschichten gleich betreffen, aber aufgrund der möglicherweise schlechteren Lebensbedingungen besonders die Unterschicht (Kokkotidis 1999).

Auf den Separatgräbern Etting, Großmehring B3 und Kelheim herrschte ein tendenzieller Männerüberschuss, auf den Reihengräbern Großmehring B1B2B4 ein signifikanter Frauenüberschuss. Die Ausnahme stellt hier der Friedhof Bruckmühl, der im Gegensatz zu den anderen Separatfriedhöfen einen deutlichen Frauenüberschuss aufweist.

In der Studie von Kokkotidis (1999) war das Geschlechterverhältnis zwischen den verschiedenen gesellschaftlichen Schichten ebenfalls unausgeglichen. Hier zeigte aber die „Unterschicht“ einen Männerüberschuss (MI 113,9), während in den Gräbern der „Oberschicht“ mehr Frauen (MI 85,7) bestattet wurden (Kokkotidis 1999). Auch hier könnten kriegerische Auseinandersetzungen für das „Fehlen“ der Männer verantwortlich gemacht werden (siehe oben). Vor einer genaueren Interpretation sollte jedoch die genaue Verteilung der Geschlechter in den jeweiligen Altersklassen berücksichtigt werden.

Bei Betrachtung der einzelnen Altersklassen befindet sich bei allen Geschlechtern und auf allen hier untersuchten Bestattungsplätzen die meisten Individuen zwischen der mitteladulten und frühmaternen Altersklasse. Lediglich in Bruckmühl finden sich deutlich mehr junge Frauen. Die Sterbewahrscheinlichkeit (q_x) ist jedoch dort in der Altersklasse nicht erhöht (vgl. Abb. 5.26). Ebenfalls anders als bei Kokkotidis (1999), zeigte sich hier in keiner Altersklasse ein signifikanter Überschuss eines Geschlechtes. Auch ein Männerüberschuss ab dem 20. Lebensjahr, der einem „sekundären Frauendefizit“, bedingt durch ein höheres Sterblichkeitsrisiko der Frauen während der fertilen Phase entspricht (Wahl 2001) konnte in dieser Untersuchung nicht festgestellt werden.

Erhöhte Sterblichkeit (q_x) findet sich bei Männern in Etting um die dreißig und in GrmB1B2B4 in sA im Vergleich zu den anderen hier untersuchten Bestattungsplätzen, in den höheren Altersklassen nimmt sie bei allen Friedhöfen gleichermaßen zu. Bei Frauen tritt allgemein eine erhöhte Sterblichkeitswahrscheinlichkeit in der spätadulten Altersklasse, als in etwa Mitte dreißig auf. Ähnlich wurde auch bei Kokkotidis (1999) festgestellt, aber eine höhere Sterblichkeit explizit von Männern aus der Oberschicht im Alter zwischen 20 und 40, die auf eine kriegerische Lebensweise zurückzuführen wäre (Kokkotidis 1999), wäre zwar denkbar (vgl. Kap. 2.1.1 Historische Hintergründe), konnte hier nicht eindeutig nachgewiesen werden (vgl. Kap. 5.8.2 Hiebverletzungen), zumal auch hier die Frauen in den selben Altersklassen betroffen sind.

Die Lebenserwartung von Frauen aus allen Schichten ist in allen Altersklassen ähnlich und unterscheidet sich nicht signifikant (KW). Auch eine Umkehrung der Lebenserwartung ab dem 20. Lebensjahr zu einer höheren Lebenserwartung in der Unterschicht (Kokkotidis 1999) konnte hier weder bei Männern noch bei Frauen festgestellt werden.

In den höheren Altersklassen überwiegt auf allen untersuchten Bestattungsplätzen die Anzahl der Frauen leicht. Dies kann aufgrund ihrer höheren Vitalität der Fall sein, wobei die Unterschiede auch aufgrund der kleinen Individuenzahlen minimal sind (Wahl 2001). Ein höherer Anteil älterer Individuen bei den sozial höher gestellten Personen konnte nicht bestätigt werden (Kokkotidis 1999).

Kindersterblichkeit

Eine weitere Auffälligkeit ist die geringe Kindersterblichkeit auf den Separatfriedhöfen. Von einem Kleinkinderdefizit wird hier nicht ausgegangen (siehe oben). Eine geringe Kinderanzahl (vgl. Kap. 5.4.3, Maskulinitätsindex) ist einerseits abhängig von Anzahl der reproduktionsfähigen Frauen, andererseits von Lebensbedingungen. Da relativ wenige Frauen zwischen 15 und 25 bestattet wurden und demnach ihre reproduktive Phase überlebten, kann ein Frauendefizit als Ursache für die geringe Kinderanzahl auf den Separatfriedhöfen ausgeschlossen werden.

Auf dem Reihengräberfeld Großmehring B1B2B4 zeigt sich eine signifikant höhere Kleinkindersterblichkeit als auf den Separatfriedhöfen. Auch Kokkotidis (1999) konnte in den Gräbern der „Unterschicht“ eine höhere Säuglingssterblichkeit feststellen. Ebenso steigt dort auch die Lebenserwartung in den ersten fünf Jahren gegenüber der Lebenserwartung zum Zeitpunkt der Geburt (Kokkotidis 1999).

Die Sterbewahrscheinlichkeit (q_x) erreicht in allen Bevölkerungsschichten ihr Minimum im Kinder und Jugendalter zwischen 7 und 15 Jahren, was auch in den Vergleichspopulationen bestätigt werden konnte (Kokkotidis 1999), auf den hier untersuchten Friedhöfen, außer Bruckmühl, reicht das Minimum bis zur frühadulten Altersgruppe.

Zusammenfassung

Es hat sich gezeigt, dass signifikante demographische Unterschiede zwischen den Gräbern der unterschiedlichen Bevölkerungsschichten nur in der Kleinkindersterblichkeit und in der allgemeinen Lebenserwartung zum Zeitpunkt der Geburt (e_0^0) bestehen. Dies scheinen Indikatoren für Lebensbedingungen und möglicherweise auch von sozialem Stand zu sein, wenn sich dieser in der Art der Lebensbedingungen unterscheidet.

Hier fand jedoch eine Präselektion der Daten statt, also die Einteilung in „Ober-“ und „Unterschicht“. Es muss erneut darauf hingewiesen werden, dass die Zuweisung von „Ober-“, und „Unterschicht“ oft nicht eindeutig vorgenommen werden kann. Im Gegensatz zu reich ausgestatteten Gräbern in denen sich anhand der Beigaben der soziale Rang des Bestatteten archäologisch leichter festlegen lässt, ist der Schluss auf eine niedrige soziale Stellung aufgrund fehlender Beigabenausstattung nicht unbedingt zwingend. So scheinen die nach Christlein definierten Qualitätsgruppen (Christlein 1973) als Kriterien für eine demographische Untersuchung nur bedingt geeignet, da sie nicht nur unterschiedliche Abstufungen im materiellen Reichtum einer Population erfassen sondern auch eine Abhängigkeit vom Alter des Bestatteten besteht (Kokkotidis 1999). Auch ist die Beigabensituation im frühen Mittelalter unter anderem aufgrund der beginnenden Christianisierung nicht unbedingt mit den postulierten Qualitätsabstufungen vergleichbar (Ledderose 2006) (siehe auch Kap. 6, Archäologische und anthropologische Synthese).

Demographische Berechnungen können lediglich Hinweise auf die Lebensbedingungen und den möglichen sozialen Stand bestimmter Bevölkerungsgruppen liefern, es muss aber stets die Frage nach der Validität der Einteilung der Datengruppen gestellt werden, die vor einer Auswertung zwangsläufig vorgenommen werden muss.

5.5 Osteometrie

5.5.1 Körperhöhe

Die Schätzung der Körperhöhe erfolgt in der Regel anhand der Messung der langen Extremitätenknochen. Die zu Verfügung stehenden Formeln erlauben jedoch nur eine näherungsweise Angabe der Körperhöhe. Die größte Annäherung an den tatsächlichen Wert ergibt sich in der Regel über die Langknochen der unteren Extremitäten. Hier wurde die Körperhöhe anhand der Länge des Femur berechnet (Bach 1965; Breitinger 1937). Die Berechnungen beruhen darauf, dass die Länge in einem regelhaften Verhältnis zur Körperhöhe steht. Die Formeln erlauben jedoch nur eine angenäherte Angabe der Körperhöhe (Bach 1965; Breitinger 1937; Herrmann et al. 1990):

Frauen: $\pm 4,1$ cm (Bach 1965)

Männer: $\pm 4,8$ cm (Breitinger 1937)

Bei Individuen jenseits der 30 sollte eine eventuelle altersbedingte Körperhöhenabnahme durch einen Korrekturfaktor berücksichtigt werden. Der empirische Mittelwert beträgt ca. 1 mm pro Jahr (Herrmann et al. 1990; Hunger & Leopold 1995). Dies entspräche einem Zentimeter in einem Jahrzehnt. Da die berechnungsbedingten Abweichungen um die vier Zentimeter betragen und die wenigsten Individuen hier älter als 40 Jahre bestimmt werden konnten, wurde dies hier nicht berücksichtigt.

Die Körperhöhe korreliert hier gering negativ linear mit dem Erhaltungszustand ($r = -0,173^*$; SpRho). Je schlechter also das Skelett erhalten ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass der berechnete Wert der Körperhöhe kleiner ausfällt als bei gut erhaltenem Material. Durch fehlendes Material an den Condylen oder dem Caput des Femur kann die Längenmessung beeinträchtigt werden (vgl. Kap. 4.4 Methoden). Hierbei kann es sich nur um wenige Millimeter handeln, die sich in der Berechnung der Körperhöhe nur geringfügig auswirken (5 mm Femurlänge entsprechen nach Anwendung der Formeln Bach / Breitinger in etwa 1 cm Körperlänge). Daher muss der Erhaltungsgrad hier nicht berücksichtigt werden.

Körperhöhe (cm)	Erwachsene und Jugendliche								
	Ind. _{gem.}	Männer				Frauen			
Bestattungsplatz	G	MW _M	Ø Bajuwaren	G	M _{ges}	MW _F	Ø Bajuwaren	G	F _{ges}
		(cm)	(cm)			(cm)	(cm)		
Bruckmühl	7	176	+8	3	11	164	+9	4	20
Etting	28	170	+2	14	15	162	+7	14	15
Grm B3	29	172	+4	15	24	164	+11	14	22
Grm B1, B2, B4	38	172	+4	17	12	165	+10	21	16
Kelheim	29	170	+2	15	19	161	+7	14	19
Gesamtindividuen	131	171	+3	64	88	164	+9	67	105

Tab. 5.12: Individuen bei denen die Körperhöhe bestimmt werden konnte (G) und Mittelwert der Körperhöhenmessung (MW_M und MW_F). Die Abweichung von der für frühmittelalterliche „Bajuwaren“ bestimmten Durchschnittlichen Körperhöhe (Saller 1959) wird berechnet: Abweichung = Mittelwert_(Grablege) - Mittelwert_(Bajuwaren). Daten Kelheim: Strott 2006.

Ergebnisse

Bei insgesamt 131 Individuen konnte die Körperhöhe berechnet werden, davon bei 64 Männern und 67 Frauen. Die mittlere Körperhöhe der Männer liegt bei 171 cm, die der Frauen bei 164 cm (Abb. 5.29). Die für die Körperhöhe angegebenen durchschnittlichen Werte für „Bajuwaren“ betragen für Männer ca. 168 cm, für Frauen ca. 155 cm. Für Individuen aus dem „fränkischen Stammesgebiet“ wurden bei Männern 166 cm und bei Frauen 152 cm berechnet (Saller 1959). Demnach liegen die Mittelwerte der untersuchten Gräberfelder im Gesamten höher, die Männer waren mit durchschnittlich 3 cm etwas größer und die Frauen mit durchschnittlich 9 cm deutlich größer. Besonders die Frauen aus Großmehring zeigen mit bis zu 11 cm die größten durchschnittlichen Abweichungen (Tab. 5.12).

Sowohl zwischen den einzelnen Friedhöfen als auch zwischen den Friedhofsklassen bestehen weder bei Männern noch bei Frauen signifikante Unterschiede in der Körperhöhe (ANOVA). Es gibt keine Korrelation des jeweiligen Individualsterbealters mit der Körperhöhe (SpRho) und auch keinen signifikanten Unterschied zwischen den Körperhöhen in den verschiedenen Sterbealtersklassen, weder bei Männern, noch bei Frauen noch bei den Gesamtindividuen (ANOVA).

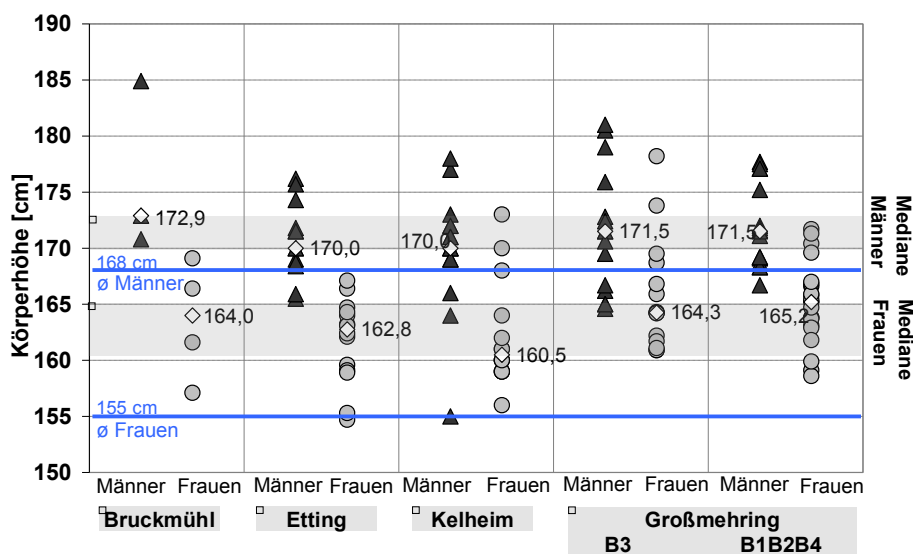


Abb. 5.29: Berechnete Körperhöhen der Individuen aus den untersuchten Gräberfeldern. Die Spannweiten der Mediane (Rauten mit Werteangabe) von Männern und Frauen sind jeweils grau hinterlegt. Aufgrund der örtlichen und zeitlichen Übereinstimmung wurden die Werte für frühmittelalterliche „Bajuwaren“ als Vergleichsdaten verwendet (graue Geraden). Die durchschnittliche Körperhöhe beträgt dabei für Männer 168 cm und Frauen 155 cm (Saller 1959) (Originaldaten Kelheim: Strott 2006).

Die hier untersuchten Individuen waren verhältnismäßig „groß“. Da diese Populationen, sowohl die Individuen der Separatgräber als auch die Reihengräber durchgehend gut bis sehr gut ernährt waren (vgl. Kap. 5.9 Isotopenanalyse), geringe physische Belastungen aufwiesen (vgl. Kap. Degenerative Veränderungen), also unter sehr guten Bedingungen lebten und die durchschnittlichen Körperhöhen an der für das frühe Mittelalter bestimmten Obergrenze liegen (Saller 1959; Steckel 2004; Steckel et al. 2002) ist davon auszugehen, dass die hier untersuchten Individuen offensichtlich die Möglichkeit hatten ihr genetisches Potential bezüglich der Körperhöhe voll auszuschöpfen (Steckel 1995). Auf gar keinen Fall lassen sich jedoch Herkunft oder Stammeszugehörigkeit einzelner Individuen oder eines Kollektivs anhand der Körperhöhe bestimmen. Die angegebenen Werte für „Bajuwaren“ wurden aufgrund ihrer lokalen und zeitlichen Vergleichbarkeit verwendet.

Zusammenhang von Ernährung und Körperhöhe

Die Berechnung der Körperhöhe ist sowohl für den Individualbefund als auch für Gesamtkollektiv von Interesse. Unter der Prämisse, dass die Körperhöhe sowohl genetisch, als auch umwelt-, bzw. ernährungsbedingt ist, wäre eine mögliche Gruppenbildungen innerhalb einer Population, also eine Korrelation der Befunde mit der Verteilung der Bestatteten auf dem Gräberfeld denkbar. Derartiges konnte jedoch nicht festgestellt werden

Häufiger Konsum tierischen Eiweißes kann zu einer Zunahme der Körperhöhe führen (Wurm 1982; Wurm 1986). Deren Verfügbarkeit ist jedoch meist abhängig von sozioökonomischen Faktoren (Nicolas & Steckel 1997). Es könnten daher erhebliche regionale und soziale Unterschiede in der Körperhöhe bestehen. Die Körperhöhe könnte somit ein weiterer Indikator für den sozialen Status sein.

Da der Stickstoffanteil im Kollagen den Anteil der Menge tierischen Proteins in der Nahrung repräsentiert (Ambrose 1993) wurde die Körperhöhe mit dem $\delta^{15}\text{N}$ -Wert verglichen. Der Körper des Menschen benötigt etwa 20 Jahre um „auszuwachsen“, mit sensitiven Perioden in der frühen Kindheit und der Pubertät (Steckel 1995). Daher wurden die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der jugendlichen, früh- und mitteladulten Individuen mit deren Körperhöhe verglichen. Bei der Berechnung der Körperhöhe müssen mögliche Abweichungen berücksichtigt werden ($\pm 4,1$ cm bei Frauen und $\pm 4,8$ cm bei Männern). Da die Körperhöhe anhand der Femurlänge berechnet wurde, wird diese als Vergleichswert verwendet.

Unter Berücksichtigung der Knochenumbaurate (Parfitt 1979) sollten die $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopien die Nahrung widerspiegeln, die in etwa während der Wachstumsphase des Körpers verzehrt wurde (Abb. 5.30). Es zeigt sich sowohl bei Männern als auch bei Frauen eine lineare Korrelation der $\delta^{15}\text{N}$ Werte mit der Femurlänge (Männer: $r=0,47$; Frauen: $r=0,56$; SpRho). Je höher $\delta^{15}\text{N}$ -Wert, also der Anteil an tierischem Protein in der Nahrung, desto größer scheint tendenziell auch die Körperhöhe zu sein.

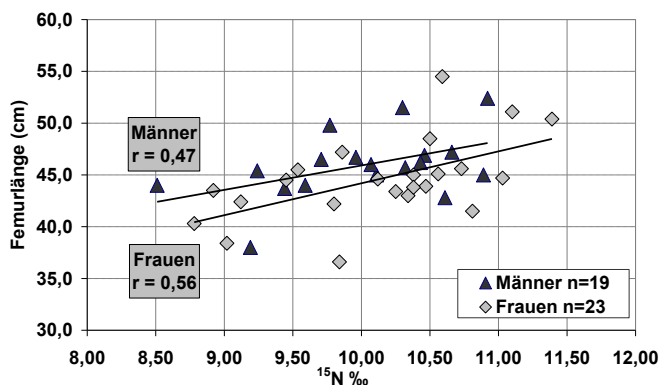


Abb. 5.30: Femurlänge juveniler, früh- und mitteladulten Individuen, Korrelation mit den individuellen $\delta^{15}\text{N}$ -Werten. Es zeigt sich ein Anstieg der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte bei größerer Femurlänge. Sowohl bei Männern als auch bei Frauen besteht eine lineare Korrelation zwischen der Körperhöhe und den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten: Männer: $r=0,47$, Frauen: $r=0,56$ (SpRho). (Originaldaten Kelheim: Strott 2006).

Diskussion

Zahlreiche Studien benutzen die Körperhöhe und Statur als Marker um Aussagen über Lebenserwartung und/oder Krankheitsschemata im Erwachsenenalter (Christensen et al. 2007; Riley 1994), über Kindersterblichkeit (Bozzoli et al. 2007) oder physischen Stress (Steckel 2005) zu treffen. Es wird eine Korrelation von Körperhöhe und Lebenserwartung postuliert, also je größer, desto höher die Lebenserwartung (Gage & Zansky 1995). So zeigen Untersuchungen an europäischen Skelettserien aus Früh- und Hochmittelalter sowie der Neuzeit (500-1900 n. Chr.), bei beiden Geschlechtern eine statistisch signifikante Korrelation zwischen Körperhöhe und Sterbealter. Demnach überragt die Länge der Langknochen und die daraus bestimmte Körperhöhe der älteren Altersgruppen diejenigen der jüngsten Altersgruppe beständig. Die Körperhöhe kann nicht ursächlich für die Langlebigkeit sein, hängt aber offensichtlich mit ihr zusammen (Kemkes-Grottenthaler 2005). Auf keinem der hier untersuchten Friedhöfe konnte ein Zusammenhang zwischen Sterblichkeit oder Sterbealter und Körperhöhe festgestellt werden. Beides hängt von Umweltfaktoren wie Ernährung, sozioökonomische Stressfaktoren und Krankheitsbelastung ab (Kemkes-Grottenthaler 2005). Sozioökonomische Faktoren welche die Sterblichkeit (e^0) reduzieren, bewirken gleichzeitig eine steigende durchschnittliche Körperhöhe (Schmidt et al. 1995). Soziale Unterschiede in der Bevölkerung könnten sich demnach auf die Körperhöhe auswirken (Komlos 2003). Aber auch zwischen den einzelnen Friedhofsklassen besteht hier kein signifikanter Unterschied (ANOVA, PostHoc). Entweder wirkten sich hier soziale Unterschiede nicht oder nur sehr gering auf die Körperhöhe aus, oder es bestanden keine gravierenden Unterschiede zwischen den Schichten.

Proteinreiche Nahrung

Einige Forschungsarbeiten haben gezeigt, dass sowohl die Qualität des Nahrungsproteins (Robbins et al. 2005) als auch die Menge (Focken 2001) signifikant die Anreicherung von $\delta^{15}\text{N}$ beeinflussen. Die durchschnittliche Körperhöhe einer Bevölkerung kann als Maß für den „biologischen Wohlstand“ verwendet werden. Wenn während der Wachstumsphase regelmäßig ausreichend kalorienreiche Nahrung vorhanden und eine medizinische Grundversorgung gewährleistet ist, dann können bis zum Erwachsenenalter hohe Körpergrößen erreicht werden (Hanesch et al. 2000; Komlos 2000; Kriwy & Komlos 2003; Webb et al. 2008). Bei der Analyse von Populationen sind biologische Wohlstandsindikatoren wie Gesundheit, hohe Lebenserwartung und Körpergröße nützliche Ergänzungen zu konventionellen Indikatoren wie sozioökonomische Faktoren und Umweltbedingungen (Hiermeier 2008; Steckel 1995; Steckel 2009), wobei eine bessere Ernährung nicht unbedingt Einfluss auf das Körperhöhenwachstum haben muss (Robb et al. 2001). Die Körperhöhe ist aber weitgehend als Maß für gute Lebensbedingungen akzeptiert (Steckel 2009).

Die Größe eines Individuums reflektiert die Interaktion von genetischen und umweltbedingten Einflüssen während der Wachstumsphase (Steckel 1995). Eine große Anzahl an sozioökonomischen Variablen wie die allgemeinen Lebensbedingungen (Silventoinen 2003) Ernährung, Krankheit (Alter 2004) und Arbeitsbelastung (Tadman 2000) können potentiell während der Wachstumsphase auf die Körperhöhe einwirken. Ebenso interagieren genetische Faktoren mit den vorherrschenden Umweltbedingungen (Silventoinen 2003). Die vererbte Komponente soll die endgültige Körperhöhe zu 75-90% beeinflussen (Hirschhorn et al. 2001)²⁸. Hingegen führen zahlreiche andere Studien Unterschiede in der durchschnittlichen Körperhöhe innerhalb von Populationen hauptsächlich auf Umweltfaktoren zurück. Auf die Körperhöhe wirken also im Rahmen der genetischen Variabilität modifizierende Faktoren ein, wie beispielsweise geographische Bedingungen (Tatarek 2006), Sonnenlicht (Carson 2009), allgemeiner Gesundheitszustand (Cranfield & Inwood 2007), Stillen (Haines & Kitner 2008) und Einkommen (Steckel 1995).

Ein sehr wichtiger Faktor wird jedoch dem sozialen Stand zugeschrieben. Menschen mit höherem Einkommen haben tendenziell eine größere Körperhöhe, wobei dieser Zusammenhang nicht linear ist (Steckel 1995). Eine durch Wohlstand ermöglichte angemessene Ernährung und eine bessere medizinische Versorgung erhöhen die Chance das genetisch determinierte Körperhöhenpotential zu erreichen, bzw. auszuschöpfen (Steckel 1999). Die Körpergröße kann eine Differenz von bis zu 4,5 cm bei Männern und 3,5 cm bei Frauen zwischen Ober- und Unterschicht aufweisen. Ernährungsstand und Versorgung der höheren Klassen war und ist deutlich besser (Helmert 1994; Kriwy & Komlos 2003; Pfitzner 1902). Alle Individuen lebten unter denselben Umweltbedingungen, daher müsste der Unterschied zwischen den Klassen mit der statusabhängigen Verfügbarkeit von Nahrung zusammenhängen, da Änderungen der äußeren Bedingungen die gesamte Bevölkerung betroffen hätten (Komlos 1990; Robb et al. 2001). Es sollte daher auch ein Zusammenhang zwischen physischer Statur und sozioökonomischem Status bestehen. Die Körperhöhe könnte daher ein Index für Gesundheit und Ernährung sein. Wohlhabende und sozial höher gestellte Individuen sollten demnach größer sein als jene, die Entbehrungen, Mangelernährung und Krankheiten erleiden.

Die Mechanismen die das menschliche Körperwachstum beeinflussen sind noch nicht komplett verstanden. Die Konsequenzen eines Nahrungsmangels in der frühen Kindheit sind jedoch weitgehend erforscht. Körperliches Wachstum bei Kindern hängt eng mit sozioökonomischen Bedingungen zusammen (Steckel 2009). Bei widrigen sozioökonomischen Bedingungen nimmt das kindliche Wachstum schnell ab oder wird ganz außer Kraft gesetzt. Wenn diese Bedingungen andauern, wird dadurch die endgültige Körperhöhe im Erwachsenenalter deutlich beeinträchtigt (Heckmann 2006). Auch stark anstrengende körperliche Arbeit kann das Wachstum von Kindern hemmen wenn die gleichzeitige Nahrungs- und Gesundheitsversorgung inadäquat ist (Ambadekar et al. 1999).

²⁸ Die betreffenden QTLs (Quantitative Trait Loci), Chromosomenabschnitte die quantitativ auf das phänotypische Merkmal der Körperhöhe einwirken, befinden sich auf Chromosom 7, eventuell ein zweiter Locus auf Chromosom 9 (Hirschhorn et al. 2001; Perola et al. 2001).

Daher könnte die Körperhöhe der Individuen dafür benutzt werden, um Zeitpunkt und Dauer von Notzeiten genauer zu bestimmen. Wenn die Körperhöhe der erwachsenen Individuen allgemein niedrig ist oder unterhalb des durchschnittlichen lokalen Trends liegt, ist von besonders harten äußeren Bedingungen auszugehen. Diese müssten von längerer Dauer gewesen und / oder in sensiblen Wachstumsphasen aufgetreten sein, also entweder in der frühen Kindheit oder im Stadium der Adoleszenz (Steckel 2009).

Die Körperhöhe kann aber auch ein Indikator für günstige Umweltbedingungen sein. So kann sich beispielsweise geographische Isolation positiv auf die Gesundheit und demnach auch auf die Körpergröße auswirken (Margo & Steckel 1982). Das Leben in Städten des Hochmittelalters beispielsweise wirkte sich negativ auf die Gesundheit der Bevölkerung aus, erkennbar durch hohe Mortalitätsraten und geringe Körperhöhe der Bewohner (Hohenberg & Lees 1985). Im frühen Mittelalter gab es zwar interregionalen Handel (Reichholf 2007), es herrschte aber doch weitgehende ökonomische Isolation, der Handel ging selten über lokale Interaktion hinaus (Margo & Steckel 1982). Die Bevölkerung auf den hier untersuchten Bestattungsplätzen war zwar vermutlich weitgehend ökonomisch autark, dies ist aber sicher nicht mit einer „geographischen Isolation“ gleichzusetzen.

Nahrungsangebot

Ernährungsgewohnheiten und Nahrungsangebot, vor allem die Proteinmenge, beeinflussen nachweislich das Wachstum. Der Nahrungsbedarf ist abhängig vom Kalorienverbrauch. Der Grund-Metabolismus des Körpers (Atmung, Wärmehaushalt, Blutzirkulation etc.) benötigt 1200-1400 Kalorien pro Tag, abhängig von der Körpergröße (WHO 1991). Proteine sind, neben Kohlenhydraten und Fetten, Energielieferanten des Körpers. Der durchschnittliche Tagesbedarf an hochwertigen Proteinen beträgt 0,63 g/kg, bei außergewöhnlichen Belastungen wesentlich mehr (WHO 1991). Wenn ausreichend Kohlenhydrate und Fette vorhanden sind, nutzt der Körper Proteine nicht als direkte Energiequelle. Sie dienen auch nicht als Energiespeicher, wie Kohlenhydrate und Fette. Erst wenn Fette und Kohlenhydrate in ungenügenden Mengen aufgenommen werden, wird Protein für den Energiebedarf herangezogen (*Gluconeogenese*). Der empfohlene Tagesbedarf an Proteinen für einen Erwachsenen sind 0,8 g/kg, wobei die Menge weder mit zunehmendem Alter noch mit Belastung variiert. Der Minimalbedarf beträgt 0,39 g/kg (Kuola-Jenik et al. 2005; WHO 1991). Die empfohlene Menge für Kinder bis 6 Monate, der Phase des stärksten Körperwachstums sind 2,2 g/kg (WHO 1991).

Etwa 38,4% der aus Fleisch verfügbaren Energie besteht aus Protein (WHO 1991). Außer Fleisch, Eiern und Milchprodukten können noch zahlreiche andere Nahrungsmittel den Proteinbedarf decken, z.B. Weizenmehl mit 13,2% Proteinanteil oder Hülsenfrüchte und verschiedene Gemüsesorten. Der tägliche Proteinbedarf kann demnach auch mit einer fleisch- bzw. milchproduktarmen Ernährung gedeckt werden (Nicolas & Steckel 1997). Menge und Qualität der Proteine sind hauptsächlich für die Körperhöhe verantwortlich (Nicolas & Steckel 1997). Qualitativ hochwertige Proteine definieren sich durch einen ausreichenden Anteil an essentiellen Aminosäuren. Acht der 20 Aminosäuren können nicht vom Körper selbst synthetisiert werden: Valin, Leucin, Isoleucin, Phenylalanin, Tryptophan, Threonin, Methionin und Lysin. Diese müssen mit der Nahrung zugeführt werden (Horn et al. 2002). Tierische Proteine, wie Fleisch, Fisch, Eier, Milch und Milchprodukte werden als hochwertig eingestuft, weil sie die benötigten Mengen an essentiellen Aminosäuren enthalten. Pflanzenproteine aus Hülsenfrüchten, Weizen, Mais, Gemüse oder Früchten hingegen werden qualitativ niedriger eingestuft, da vielen Pflanzenproteinen eine oder mehrere essentielle Aminosäuren fehlen. Hülsenfrüchten beispielsweise werden aufgrund ihres zu geringen Methionin-Anteils minderwertiger eingestuft, bei Weizen- und Maisprodukten ist der Lysin-Anteil gering (Millward 1994). Lysin ist jedoch absolut essentiell, da es (neben Threonin) die einzige Aminosäure ist, die vom Körper aufgrund der hierfür fehlenden Aminotransferase nicht aus zugeführten α -Ketosäuren gebildet werden kann. Lysin ist, neben Glycin und Prolin, Bestandteil der Polypeptidketten des Kollagens (Horn et al. 2002).

Eine ungenügende Versorgung mit Proteinen oder Nahrung mit geringer Proteinqualität führen zu gesundheitlichen Problemen wie einer Beeinträchtigung des Immunsystems, Anämien und Ödeme. Bei Kindern kann eine Proteinefehlernährung zu geringem Muskel- und

Gewebewachstum, fleckiger Haut, Haarausfall und Diarrhoen und schließlich zum Tod führen (*Kwashiorkor*) (Millward 1994; WHO/FHO 1991).

Der Körper kann zwar bei schlechten Bedingungen und Nahrungsmangel seinen Bedarf drosseln und den Mangel bei guter Nahrungsversorgung wieder teilweise oder ganz ausgleichen bzw. aufholen. Dies ist jedoch abhängig von der Stärke des vorhergehenden Mangels und den nachfolgenden Bedingungen (Steckel 2009). Eine „moderate“ aber ständige Mangelernährung scheint schädlicher für die Lebenserwartung eines Kindes zu sein als eine schwerwiegende aber vorübergehende (Lloyd 2002). Chronische Unterernährung hemmt das Körperwachstum bis zu 10-15 cm, in Extremsituationen möglicherweise mehr (Komlos 2007). Starke physische Anstrengung führt zu einer signifikanten Belastung des Netto Nahrungsbedarfs. Daher ist die Nahrung, bzw. das Nahrungsangebot immer in Relation zu Arbeitsbelastung und Krankheiten zu setzen (Steckel 2009).

Umweltbedingungen

In Mitteleuropa sind keine deutlichen Veränderungen in der durchschnittlichen Körperhöhe zwischen der Bronzezeit und dem Zwölften Jahrhundert erkennbar (Jaeger et al. 1998), danach fällt die Körperhöhe ab und steigt erst wieder zu Beginn des 20. Jahrhunderts (Steckel 2002). Die durchschnittliche Körperhöhe im frühen Mittelalter betrug für Männer ca. 173,4 cm in Nordeuropa. Diese Körperhöhe wurde erst im frühen 20. Jahrhundert wieder erreicht.

Als Ursache für diesen Wandel in der Körperhöhe vom frühen Mittelalter bis zur Neuzeit werden die vorherrschenden klimatischen Bedingungen gesehen (Steckel 2004; Steckel et al. 2002). Mittelalter herrschte ein moderates Klima („Mittelalterliches Klimaoptimum“ vom 6.-15. Jhd.), (Bradley et al. 2003). Nach einer Kälteperiode am Ende der Römerzeit begann im 8. Jahrhundert n. Chr. eine Klimaphase mit sehr warmen trockenen Sommern und kalten Wintern. In diesem eher kontinentalen Klima florierte der Ackerbau. Das Resultat waren ertragreiche Ernten bei gleichem oder geringerem Arbeitsaufwand. Durch Rodung der Wälder wurden die Anbauflächen vergrößert (Reichholf 2007). Diese Vergrößerung der Anbauflächen und Fortschritte in der Agrartechnik führten zu einer Verbesserung der Ernährungslage und dem daraus folgenden Bevölkerungsanstieg ab dem 7. Jahrhundert (Prinz 2003a). Mit der Erfindung einer neuen Pflugtechnik²⁹ (ab dem 6. Jahrhundert), des Kummets³⁰ und der Einführung der Dreifelderwirtschaft³¹ ab dem 8. Jahrhundert konnten die Erträge gesteigert werden (Borst 1983).

²⁹ Seit dem 6. Jahrhundert ist nördlich der Alpen der schwere **Räderpflug** bekannt, der, im Gegensatz zum bis dahin verwendeten Hackpflug, den Boden nicht nur aufreißt sondern auch wendet (Borst 1983).

³⁰ Der Räderpflug konzentriert die Zugleistung des Tieres mehr auf das Aufbrechen des Bodens statt auf das Ziehen des schweren Gerätes. Durch den **Kummet** wurde die Zugkraft im Gegensatz zum Joch auf Brustkorb, Schultern und Widerrist verlegt (Borst 1983).

³¹ Ab Mitte des 8. Jahrhunderts erfolgte der Übergang von Zweifelder- zu **Dreifelderwirtschaft** („Dreizelgenwirtschaft“). Zweifelderwirtschaft macht nur die Hälfte des nutzbaren Ackerlands fruchtbar, die andere Hälfte liegt brach. Bei der Dreifelderwirtschaft sind zwei Drittel fruchtbar, ein Drittel liegt brach. Dies ermöglicht einen Fruchtwechsel zwischen Getreide und Leguminosen. Im Herbst konnte Wintergetreide, Roggen und Weizen angebaut, im Frühjahr Sommergetreide, Hafer und Gerste angebaut werden, jeweils im Wechsel mit Hülsenfrüchten wie Bohnen, Linsen und Erbsen (Borst 1983).

5.5.2 Indices

Die Untersuchung von „Aktivitätsmustern“ war ein weiterer Aspekt der morphologischen Begutachtung. Häufig ausgeführte Bewegungsabläufe und extreme und/oder ständig wiederkehrende Belastungen hinterlassen Spuren am Skelett („wear-and-tear“). Diese Veränderungen können sich anhand degenerativer Veränderungen zeigen (vgl. Kapitel 5.7), aber auch im Knochen-Dickenwachstum. Daher wurden folgende Indices berechnet, die sich jeweils auf die Knochendicke beziehen. Für die graphische Darstellung der Indices wurden nur Messwerte derjenigen Individuen verwendet, bei denen rechter und linker Humerus, beziehungsweise Femur vermessen werden konnte. Die verwendeten Werte des Friedhofs Kelheim stammen aus der Dissertation Strott 2006 (Originaldaten).

Humerus Längen-Dicken Index

Bestattungsplatz	Erwachsene			Geschlechtsbestimmung					
				Männer			Frauen		
	H LD-I	%	Indiv.	H LD-I	%	Indiv.	H LD-I	%	Indiv.
Bruckmühl	0	0%	29	0	0%	9	0	0%	18
Enkering	0	0%	5	0	0%	2	0	0%	3
Etting	14	56%	25	7	54%	13	7	58	12
Großmehring ges.	37	37%	101	20	43%	46	17	31	55
Grm B1	5	50%	10	3	60%	5	2	40	5
Grm B2	5	19%	27	3	25%	12	2	13	15
Grm B3	32	76%	42	11	50%	22	10	50	20
Grm B4	10	45%	22	3	43%	7	3	20	15
Kelheim	11	30%	37	9	47%	19	3	17	18
Gesamtindividuen	63	40%	160	36	51%	70	27	31	88

Tab. 5.13: Humerus Längen-Dicken-Index. Gesamtindividuenanzahl, Anzahl der gemessenen und deren Prozentanteil. (Originaldaten Kelheim: Strott 2006).

Der Humerus Längen-Dicken-Index beschreibt das Verhältnis des Umfangs der Humerus Diaphyse zur größten Länge des Humerus. Je größer der Umfang im Verhältnis zur Länge des Humerus, desto höher die entsprechenden Werte des Humerus Längen-Dicken-Index. Von 40 % der untersuchten Individuen konnte der Humerus Längen-Dicken-Index berechnet werden, von jeweils 51 % der Männer und 31 % der Frauen (Tab. 5.13). Die Werte der rechten und linken Humerus LD-Indices sind normal verteilt (Abb. 5.31). Je höher die Werte des Humerus Längen-Dicken Index, desto stärker die vermutete physische Gesamtbelastung des Oberarms. Werte niedriger als die einfache Standardabweichung ($SW=1,7$) werden hier als gering belastet, Werte höher als die einfache Standardabweichung werden als stark belastet gewertet (Abb. 5.32a). Die Individuen des Bestattungsplatzes Kelheim zeigen die höchsten Werte, die aus Etting die niedrigsten. Die rechte Seite weist bei beiden Geschlechtern durchschnittlich höhere Werte auf (Abb. 5.32b). Bei den Indices des rechten Humerus besteht ein signifikanter Unterschied zwischen Männern und Frauen (ANOVA, $p=0,030$), die Männer zeigen im Vergleich zu den Frauen eine durchschnittlich stärkere Belastung der rechten Oberarme. Die einzelnen Bestattungsplätze unterscheiden sich nicht, mit Ausnahme von Kelheim, das sich sowohl rechts als auch links signifikant von Etting ($p=0,000$) unterscheidet. Zwischen Grm B3 und Etting (rechts: $p=0,07$, links: $p=0,051$), Grm B3 und Kelheim (rechts: $p=0,076$, links: $p=0,073$) besteht ein tendenzieller Unterschied, ebenso zwischen Kelheim und Grm B4 (rechts: $p=0,058$, links: $p=0,061$; alle ANOVA & PostHoc).

Die Individuen aus der Separatgrablege Kelheim hatten die höchsten gemessenen Indices (Keh 71, 74 und 79) und könnten im Vergleich zu Etting ihre Oberarme signifikant stärker belastet haben. Ausnahmen bilden jeweils Frauen aus den Gräbern 92 (GrmB3) und Etting

Femur Robustizitäts Index

Bestattungsplatz	Erwachsene			Geschlechtsbestimmung					
				Männer			Frauen		
	F-RI	%	Indiv.	F-RI	%	Indiv.	F-RI	%	Indiv.
Bruckmühl	0	0%	29	0	0%	9	0	0%	18
Enkerina	0	0%	5	0	0%	2	0	0%	3
Etting	19	76%	25	9	69%	13	10	83%	12
Großmehring ges.	43	43%	101	20	43%	46	23	42%	55
Grm B1	4	40%	10	2	40%	5	2	40%	5
Grm B2	10	37%	27	3	25%	12	7	47%	15
Grm B3	20	48%	42	11	50%	22	9	45%	20
Grm B4	9	41%	22	4	57%	7	5	33%	15
Kelheim	12	32%	37	5	26%	19	7	39%	18
Gesamtindividuen	74	46%	160	34	49%	70	40	45%	88

Tab. 5.14: Femur Robustizitäts-Index. Gesamtindividuenanzahl, Anzahl der gemessenen und deren Prozentanteil. (Originaldaten Kelheim: Strott 2006).

Der Femur Robustizitäts-Index beschreibt im Prinzip das Verhältnis der Ausmaße des sagittalen und transversalen Durchmessers der mittleren Femur Diaphyse zur ganzen Länge des Femur. Je größer die Durchmesser im Verhältnis zur Länge des Femur, desto höher die entsprechenden Werte des Femur Robustizitäts-Index, desto robuster der Femur.

Von 46% der untersuchten Individuen konnte der Femur Robustizitäts-Index berechnet werden, von jeweils 49% der Männer und 45% der Frauen (Tab. 5.14). Die gesamten Werte der rechten Seite sind nicht normal verteilt (Abb. 5.34a), wobei die Werte der Männer normal verteilt, die der Frauen nicht normal verteilt sind (KS-Test, ges $p=0,001$, M: $p=0,132$, W: $p=0,003$). Die Indices des linken Femur (Abb. 5.34b) sind normal verteilt (KS-Test, ges $p=0,048$, M&W: $p=0,200$). Im Durchschnitt sind diese Werte des rechten Femur niedriger als die des linken.

Je höher die Werte des Femur Robustizitäts-Index, desto stärker die vermutete physische Gesamtbelastung des Oberschenkels. Werte niedriger als die einfache Standardabweichung ($SW=0,8$) werden als gering belastet, Werte höher als die einfache Standardabweichung werden als stark belastet gewertet (Abb. 5.35). Die Werte der Mehrzahl der Individuen gruppieren sich um den Mittelwert 12,6 für den linken und 12,4 für den rechten Oberschenkelknochen.

Die Individuen mit den höchsten Robustizitäts-Indices waren ein frühmaturer Mann aus Kelheim (Keh 79), der gleichzeitig einen sehr hohen Humerus Längen-Dicken-Index aufwies und eine mittelmature, direkt auf dem Kreisgraben bestattete Frau aus der Separatgrablege Etting (Ett 5). Diese war das älteste Individuum der Grabgemeinschaft, das Skelett zeigte dem Alter angemessene degenerative Veränderung und war ansonsten ohne besondere Befunde (Abb. 5.35). Lediglich ein Wert liegt deutlich niedriger als die einfache Standardabweichung (GrmB3 52). Eine histologische Untersuchung der Femurkompakta des Mannes erbrachte keine besonderen Befunde (Gaugler 2006).

Die linken Femora zeigen bei beiden Geschlechtern durchschnittlich höhere Indices (Abb. 3.35b), es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen Männern und Frauen (MWhU-Test Rechts: $p=0,219$, Links: $p=0,223$). Zwischen den Friedhofsklassen besteht ein signifikanter Unterschied der Robustizitäts-Indices (KW-Test, R: $p=0,048$, L: $p=0,156$), zwischen den einzelnen Bestattungsplätzen sind keine signifikanten Unterschiede erkennbar (KW-Test, R: $p=0,900$, L: $p=0,69$). Der Robustizitäts Index des rechten Femur korreliert schwach negativ, nicht-linear mit der Körperhöhe ($r=-0,202^*$, bei $p=0,05$; $SpRho$), je kleiner also das Individuum, desto höher der Index, desto robuster. Da die Körperhöhe ebenso mit dem Geschlecht korreliert, Frauen durchschnittlich kleiner sind als Männer und die Extremitäten kürzer, erscheint das Verhältnis von Dicke zu Länge kompakter und die Index-Werte sind höher. Hier muss es sich demnach um eine Scheinkorrelation handeln. Eine erneute Berechnung mit Berücksichtigung des Störfaktors lässt keine Korrelation mehr erkennen (BravPears).

Eine Korrelation mit dem Humerus Längen-Dicken-Index ($r=0,594^{**}$, $p=0,01$; SpRho) kann, nach einem Test auf Scheinkorrelation (Brav-Pears) unter Ausschluss der vermuteten Störvariablen $\delta^{15}\text{N}$, die ebenfalls mit beiden Indices korreliert, nicht bestätigt werden.

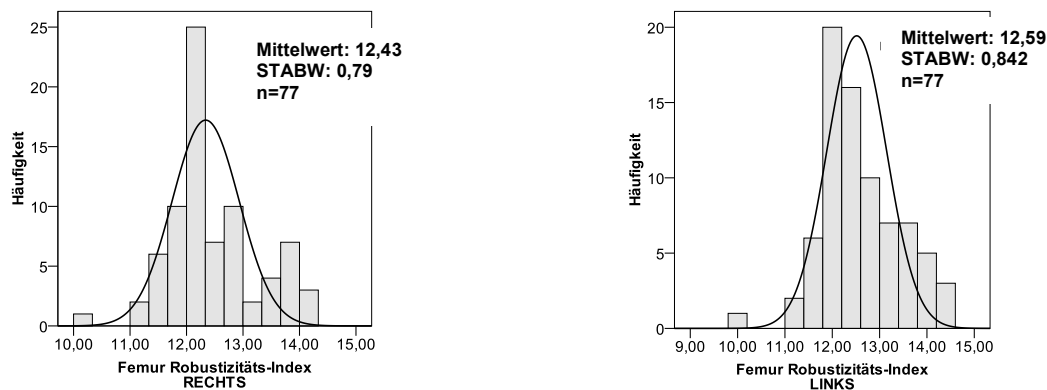


Abb. 5.34: Histogramm des Femur Robustizitäts-Index der Individuen aller untersuchter Gräberfelder. (Originaldaten Kelheim: Strott 2006). (A) Femur Robustizitätsindex rechts. Die gesamten Werte sind nicht normal verteilt, wobei die Werte der Männer alleine normal verteilt, die der Frauen nicht normal verteilt sind (KS-Test: ges.: $p=0,001$, M: $p=0,132$, W: $p=0,003$). Im Durchschnitt sind diese Werte niedriger als die der linken Femora. (B) Femur Robustizitäts-Index links. Die gesamten Werte sind nur annähernd normal verteilt, die Werte der Männer und Frauen alleine sind normal verteilt, (KS-Test: ges.: $p=0,048$, M und W: $p=0,200$). Die Werte der linken sind im Durchschnitt höher als die der rechten Femora.

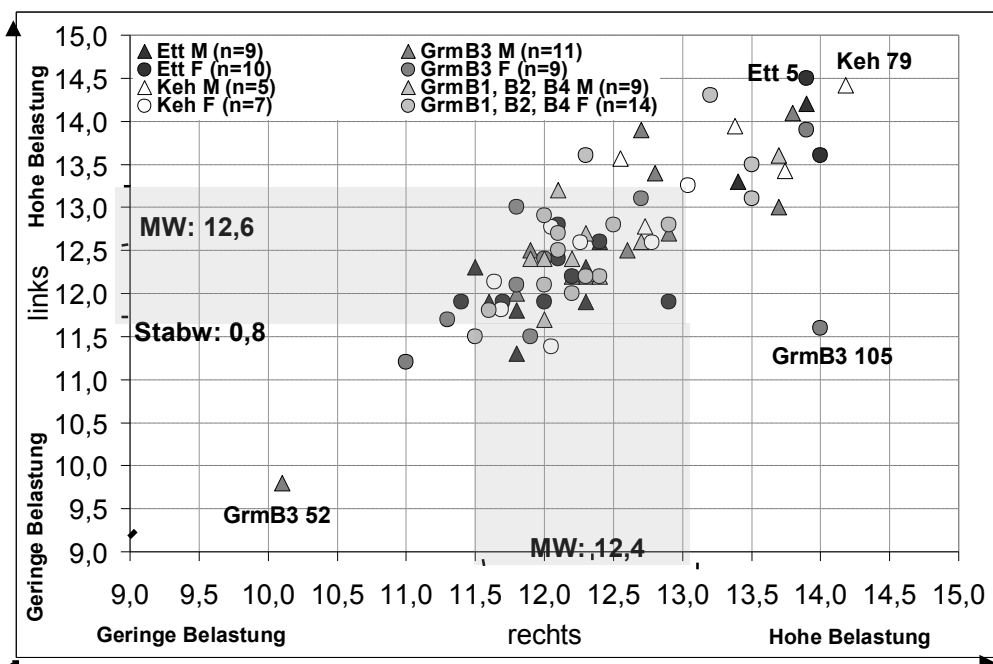


Abb. 5.35: Femur Robustizitäts-Index. (A) Belastungsgrad: Je höher die Werte des Femur Robustizitäts-Index, desto stärker die vermutete Gesamtbelastung des Femur. (B) Bilaterale Symmetrie. Ein deutliches Abweichen der Werte von der Geraden ($m=1$) lässt auf bilaterale Symmetrie („Füßigkeit“), bzw. auf eine einseitige Mehrbenutzung des jeweiligen Beines schließen. (Originaldaten Kelheim: Strott 2006).

Femur Index Platymericus

Bestattungsplatz	Erwachsene Individuen			Geschlechtsbestimmung					
				Männer			Frauen		
	F-IP	%	Indiv.	F-IP	%	Indiv.	F-IP	%	Indiv.
Bruckmühl	0	0%	29	0	0%	9	0	0%	18
Enkering	0	0%	5	0	0%	2	0	0%	3
Etting	20	80%	25	10	77%	13	10	83%	12
Großmehring ges.	57	56%	101	28	61%	46	29	53%	55
Grm B1	5	50%	10	3	60%	5	2	40%	5
Grm B2	13	48%	27	6	50%	12	7	47%	15
Grm B3	26	62%	42	15	68%	22	11	55%	20
Grm B4	13	59%	22	4	57%	7	9	60%	15
Kelheim	19	51%	37	9	47%	19	10	56%	18
Gesamtindividuen	96	60%	160	47	67%	70	49	56%	88

Tab. 5.14: Femur Index Platymericus. Werte der Gesamtindividuen, der gemessenen und deren Prozentanteil (Originaldaten Kelheim: Strott 2006).

Der Femur Index Platymericus beschreibt das Verhältnis des sagittalen zum transversalen oberen Durchmesser der Femurdiaphyse. Je kleiner der Wert des Index Platymericus, desto flacher ist der Oberschenkelknochen (hier verwendete Werte: hyperplatymer < 75,4; platymer = 75,6-85,4; eurymer = 85,6-100,4; stenomer > 100,5). Ein abgeflachter oberer Diaphysendurchmesser des Femur ist Folge eines stärkeren transversalen Dickenwachstums, welches durch stärkere Bewegung entsteht. Je niedriger also der Index Platymericus, desto mobiler vermutlich das Individuum. Studien an neolithischen Bevölkerungen belegen, dass die Femur Diaphysen früher Ackerbauern stenomer, aber gleichzeitig robuster waren als die der Jäger und Sammler, welche aufgrund ihrer Lebensweise mobiler waren als die Ackerbauern (Bridges 1995). Der Femur Index Platymericus konnte von 60 % der Gesamtindividuen bestimmt werden, davon bei 67 % der Männer und 56 % der Frauen (Tab. 5.14).

Die Indices von Männern und Frauen unterscheiden sich nicht signifikant (ANOVA, R: $p=0,481$, L: $p=0,098$). Bei den Indices der linken Femora bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bestattungsplätzen und den Friedhofsklassen, auch nicht zwischen den Friedhofsklassen der rechten Femora (ANOVA/PostHoc). Es bestehen aber signifikante Unterschiede zwischen Kelheim und Etting ($p=0,000$), GrmB3 ($p=0,005$) sowie GrmB4 ($p=0,022$), ebenso zwischen Etting und GrmB2 ($p=0,023$). Im Gegensatz zum Femur Robustizitäts Index (Abb. 5.35) zeigt sich beim Femur Index Platymericus im Gesamtkollektiv eine tendenzielle „Rechtsfüßigkeit“. Bei 75,5% der Gesamtindividuen ($n=102$) wurden platymere und eurymere Werte gemessen, bei etwa einem Fünftel hyperplatymere und bei 4% stenomere Werte, wobei die Indices der Frauen zu einem Viertel im hyperplatymeren Bereich liegen (Abb. 5.15). Nur 4% der Individuen zeigten stenomere Werte, diese wurden auf dem Reihengräberfeld Großmehring B2 oder in Kelheim bestattet. In Etting wurden bei fast der Hälfte der Individuen hyperplatymere Indices gemessen (Abb. 5.38). Zwischen Etting und GrmB1, B2, B4 ($p=0,040$) sowie Etting und Kelheim ($p=0,005$; beide ANOVA/PostHoc) besteht ein signifikanter Unterschied.

Der Mann aus GrmB2 117/III hat stenomere Werte mit ausgeprägter bilateraler Asymmetrie. Dies könnte mit der stark ausgeprägten arthrotischen Veränderung des rechten Hüftgelenks erklärt werden. Bei Grab 117 war die Fundsituation etwas unübersichtlich, die Skeletteile der vier Individuen konnten nicht immer eindeutig zugeordnet werden. Bei Grab 117/III handelt es sich vermutlich um eine Nachbestattung, eine eindeutige Zugehörigkeit zum Gesamtkollektiv ist nicht gesichert. Ebenso ist die Fundsituation bei Grab GrmB2 132 nicht eindeutig geklärt, da das Grab vor der Bergung durch Kinder zerstört wurde. Auch befand sich das Grab etwas westlicher, abseits, bei einer kleinen Grabgruppe. Die mittelmature Frau ist aber eindeutig zum Kollektiv zugehörig. Ihre stenomeren Werte, die eine eingeschränkte Mobilität implizieren sind mit dem fortgeschrittenen Alter und den starken degenerativen Veränderungen der Wirbelsäule, besonders im Lendenwirbelbereich zu erklären. Das Grab der zweiten Frau mit stenomeren Indices (GrmB2 16) befindet sich mitten im Kollektiv. Der frühadulten Frau fehlen die caudalen Wirbelgelenksfortsätze des

fünften Lendenwirbels, die mit den oberen Gelenkfortsätzen des Kreuzbeins eine gelenkige Verbindung eingehen. Dieses Handicap kann für die eingeschränkte Fortbewegung verantwortlich sein. Der niedrigste Femur Index Platymericus wurde bei einer mitteladulten Frau aus Etting (Ett 16) gemessen. Der Skelettbefund war, bis auf die geringe Körpergröße (ca. 155 cm) unauffällig, ebenso die Grabposition.

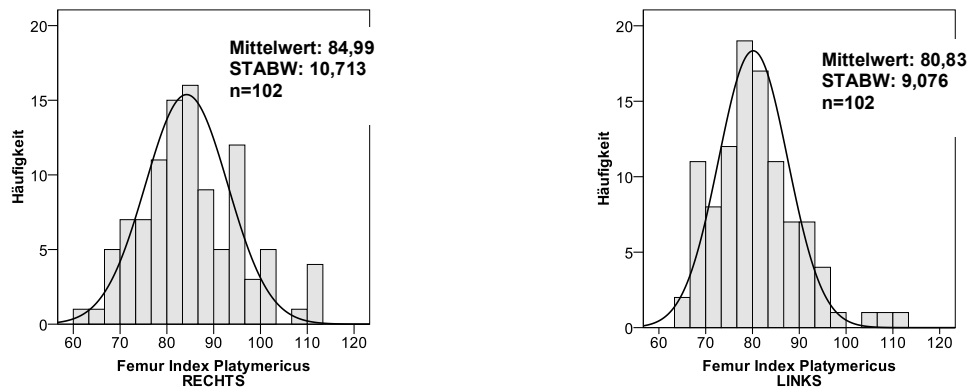


Abb. 5.36: Histogramm des Femur Index Platymericus der Individuen aller untersuchter Gräberfelder (Originaldaten Kelheim: Strott 2006). (A) Femur Index Platymericus rechts. Die Werte sind normal verteilt. Der Mittelwert der rechten Femora ist höher als der des linken, die Werte streuen stärker. (B) Femur Index Platymericus links. Die Werte sind normal verteilt. Der Mittelwert der linken Femora ist links niedriger als rechts.

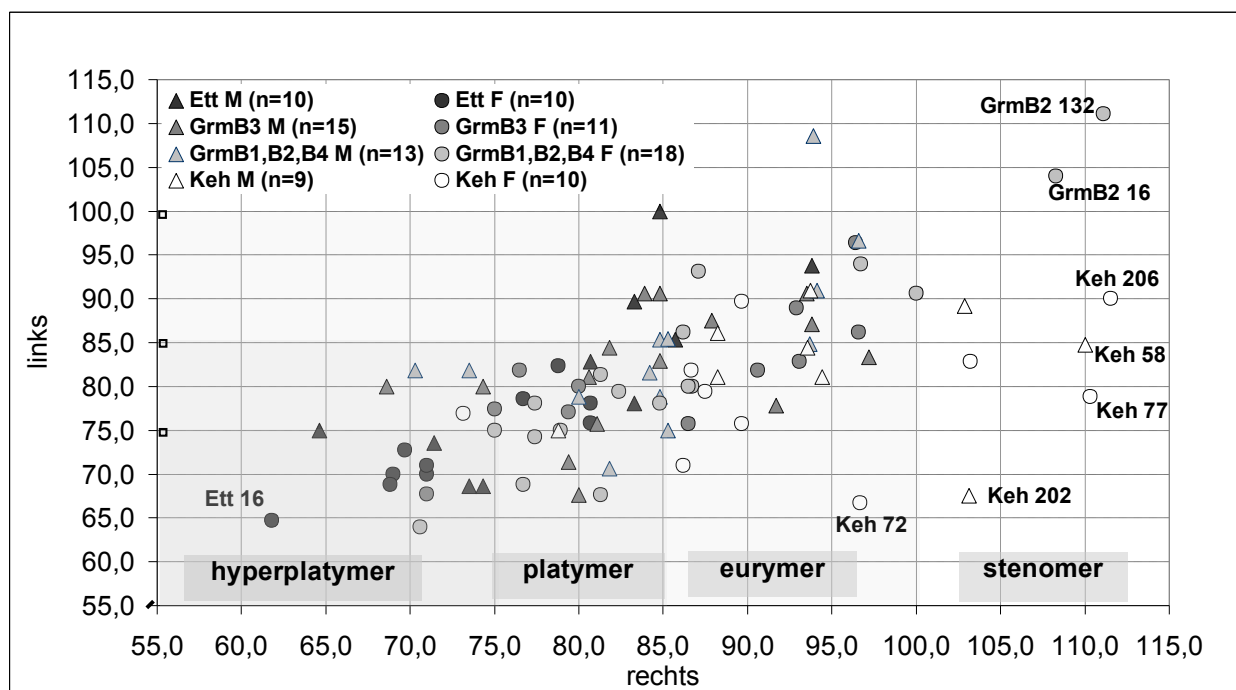


Abb. 5.37: Femur Index Platymericus. (Frauen = F, runde Symbole; Männer = M, dreieckige Symbole) (A) Darstellung der bilateralen Symmetrie. Ein deutliches Abweichen der Werte von der Gerade ($m=1$) lässt auf eine einseitige Belastung des jeweiligen Beines schließen. Es ist eine deutliche Tendenz zur „Rechtsfüßigkeit“ bezüglich des Femur Index Platymericus erkennbar. (B) Darstellung des Belastungsgrades. Der Grad der Belastung wird eingeteilt in hyperplatymere $< 75,4$; platymere $75,6-85,4$; eurymer $85,6-100,4$; stenomer $> 100,5$. (Originaldaten Kelheim: Strott 2006).

Auch die stenomeren Werte der Gräber aus Kelheim sind jeweils korreliert mit arthrotischen Veränderungen der Wirbelsäule (Keh 58), der Hüftgelenke (Keh 58, 77, KG6), der Kniegelenke (Keh 77, 58) und der Sprunggelenke (Keh 77, 58). Individuen mit einseitig hohen Indices sind auf der Gegenseite stark von arthrotischen Veränderungen am Hüftgelenk betroffen (Keh 72 und Keh KG2). Individuen die im stenomeren Bereich liegen sind alle, meist beidseitig, von arthrotischen Veränderungen des unteren Bewegungsapparates (Lendenwirbelsäule, Hüftgelenk, Kniegelenk und Sprunggelenk)

betroffen. Dies kann die eingeschränkte Bewegungsfreiheit, bzw. Mobilität erklären. Auffällig ist, dass bei den extrem einseitigen Werten die jeweils nicht durch arthrotische Veränderungen beeinträchtigte Seite höhere Indices aufweist und demnach stärker oder unphysiologischer belastet wurde. Generell korreliert ein stenomerer Index Platymericus jedoch nicht mit arthrotischen Veränderungen in den unteren Extremitäten. Es besteht aber eine Korrelation mit degenerativen Veränderungen im Bereich der Lendenwirbelsäule ($r=0,314^*$, $p=0,01$) und der Brustwirbelsäule ($r=0,286^*$, $p=0,01$). Dies spricht dafür, dass der Index Platymericus nicht die Stärke, sondern die Art der Belastung widerspiegelt (Bridges 1995). Der Index Platymericus des linken Femur korreliert hier mit der Körperhöhe ($r=0,326^*$, $p=0,01$; $SpRho$). Je größer das Individuum, desto höher der Index. Hier handelt es sich um eine Scheinkorrelation, da die Körperhöhe ebenso mit dem Geschlecht korreliert und Frauen durchschnittlich kleiner sind als Männer, kürzere Extremitäten und demnach niedrigere Index-Werte berechnet werden. Eine erneute Berechnung der Korrelation mit Berücksichtigung des Störfaktors lässt keine Korrelation mehr erkennen (BravPears). Zwischen dem Femur Robustizitäts Index und dem Femur Index Platymericus besteht ebenfalls kein statistisch signifikanter Zusammenhang.

Gesamt- Individuen (n=102)	Femur Index Platymericus gesamt (=Mittelwert FemPlaty rechts + FemPlaty links)			
	hyper- platyme	platymer	eurymer	stenomer
Gesamt	21	44	33	4
%	20,6%	43,1%	32,4%	3,9%
Männer (n=51)	8	21	21	1
%	15,7%	41,2%	41,2%	2,0%
Frauen (n=51)	13	23	12	3
%	25,5%	45,1%	23,5%	5,9%
Bestattungs- platz				
Etting (n=20)	10	7	4	-
%	47,6%	33,3%	19,0%	-
GrmB3 (n=26)	5	11	11	-
%	18,5%	40,7%	40,7%	-
GrmB2,B1,B4 (n=31)	4	17	8	3
%	12,5%	53,1%	25,0%	9,4%
Kelheim (n=19)	1	8	10	1
%	5,0%	40,0%	50,0%	5,0%

Tab. 5.15: Femur Index-Platymericus. Ergebnisse der Berechnung des Femur Index Platymericus. (Daten Kelheim Strott: 2006)

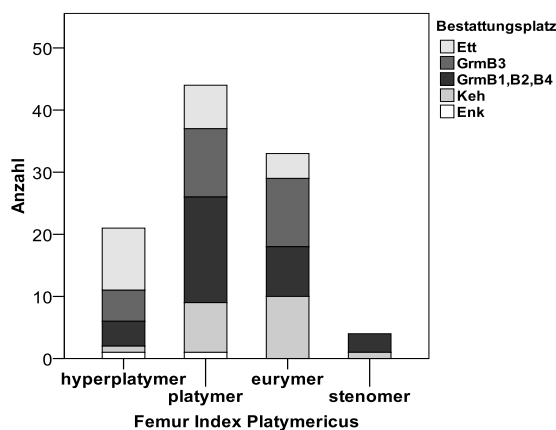


Abb. 5.38: Femur Index Platymericus gesamt. Femur Index-Platymericus ges = Mittelwert FemPlaty rechts + FemPlaty links). Verteilung der Kategorien auf den untersuchten Bestattungsplätzen. (Originaldaten Kelheim: Strott 2006)

Diskussion von Mobilität, Händigkeit und Aktivitätsmustern anhand von Indices

Anhand der hier berechneten Indices, die sich alle auf die Dicke der Extremitätenknochen beziehen, soll die Intensität der physischen Belastung abgeschätzt werden können. Belastung verstärkt das Dickenwachstum des Knochens (Bouvier 1985; Huiskes et al. 2000; Jones et al. 1977; Robbling & Stout 2000). Der dadurch entstandene größere Umfang generiert höhere Index-Werte.

Beim Knochenaufbau („modelling“) erfolgt gleichzeitig eine funktionelle Adaption des Knochens. Parameter wie die Kompaktdichte (kortikaler Durchmesser), sowie Biegung und Umfang verändern sich und der Knochen wird in seiner geometrischen Form an die vorherrschenden mechanischen Bedingungen angepasst (Frost 1985). Das Längenwachstum wird von den Wachstumszonen der Röhrenknochen (Metaphysen) gesteuert und ist mit dem Verschluss der Wachstumsfuge abgeschlossen. Das Dickenwachstum eines Langknochens erfolgt über periostale Apposition (Schultz 2001), beziehungsweise „laterale Drift“ (Bouvier 1981). Der Knochenaufbau erfolgt hauptsächlich während der Wachstumsphase, eine Anpassung an extrem veränderte Belastungen findet aber auch im Erwachsenenalter statt (Robbling & Stout 2000). Um den funktionellen Anforderungen gerecht zu werden, passt der Knochen seine Form an um ein Gleichgewicht zwischen den auf ihn wirkenden Kräften zu erreichen („*form follows function*“) („Wolffsches Gesetz“) (Bouvier 1985; Lanyon & Bourn 1979; Martin et al. 1998; Wolff 1870). Die so genannte „*flexure-drift-Theorie*“ (Bouvier 1985), als Erweiterung des Wolff'schen Gesetzes, besagt, dass Knochen beim Wachstum aktiv in die Richtung der konkaven Oberflächen driften, also dorthin wo Druck ausgeübt wird, um die Biegung möglichst zu reduzieren. Je dicker also der Knochen, desto stärker ist er unter Kompression. Während der Bewegung verursachen Knochenform und Muskelbewegung hochgradige Biegungs- und Drehkräfte im Knochen (Bouvier 1985). Die funktionelle Anpassung muskulo-skelettaler Gewebe kann zu starken morphologischen Veränderungen am Bewegungsapparat führen, bei intensiven sportlichen Aktivitäten beispielsweise erhöht sich die Knochendichte (Huiskes et al. 2000; Jones et al. 1977). Der Index *Platymericus* beispielsweise soll die „Mobilität“ eines Individuums angeben. Je stärker die Zugbelastung am Knochen durch die für das Gehen verantwortliche Muskulatur, die dorsal und ventral an der oberen Femurdiaphyse ansetzen (Rauber-Kopsch 1955), desto dichter wird vermutlich der Knochen an dieser Stelle. Dies kann für den flach erscheinenden Knochenquerschnitt verantwortlich sein. Also je stärker die Zugbelastung, desto platymerer der Querschnitt und je platymerer der Querschnitt, desto größer war vermutlich die „Mobilität“ des Individuums. Andererseits kann schon eine geringe Verringerung der Belastung eines Knochens für kortikale Ausdünnung sorgen (Bouvier 1985).

Eine seitendifferente Ausprägung des Robustizitätsgrades lässt auf „Händigkeit“ oder einseitige verstärkte Belastung des jeweiligen Armes, speziell des Oberarmes schließen, möglicherweise bedingt durch spezielle Bewegungsabläufe bei mechanischen Tätigkeiten. Körperliche Anstrengung kann das Knochenlängenwachstum begünstigen, eine Asymmetrie in der Humeruslänge könnte also durch bevorzugten Gebrauch eines Armes entstanden sein (Prives 1960). Jedoch besteht eine generelle, normale Asymmetrie des Skelettes (Arnold 1844), vor allem beim Humerus. Die rechte Seite der oberen Langknochen ist durchschnittlich signifikant länger (ca. 1-3%) und schwerer (2-4%) als die linke (Ruff 1981). Diese Asymmetrie ist bei Männern drei- bis viermal stärker als bei Frauen (Ruff 1981; Trinkaus et al. 1994) und größere Männer tendieren zu größerer Asymmetrie (Stirland 1993). Genetisch bedingt sind 90% der Bevölkerung rechtshändig (Stirland 1993), daher ist Rechtshändigkeit charakteristisch für alle archäologischen und modernen Populationen (Coren & Porac 1977; Ruff 2000), sie besteht in allen Altersgruppen, sogar bei 2-4 Jahre alten Kindern (Cavill & Bryden 2003). Im Verlauf der neolithischen Transition, mit Beginn des Ackerbaus ist eine Abnahme der vorher stark ausgeprägten Bilateralität zu erkennen. Die ansteigende Symmetrie korreliert jedoch nicht notwendigerweise mit einer Abnahme der Robustizität des dominanten Armes (Bridges 1995). Ebenso ist „Linksfüßigkeit“ („*left-leggedness*“), in Kombination mit Rechtshändigkeit ein weit verbreitetes Phänomen („*cross symmetry*“) (Schaeffer 1928). Wie auch beim Humerus Längen-Dicken-Index sollen höhere Werte auf eine verstärkte Belastung hinweisen, da Belastung das Dickenwachstum des

Knochens verstärkt (Bouvier 1985; Huiskes et al. 2000; Jones et al. 1977; Robbling & Stout 2000). Der menschliche Oberschenkel ist während der verschiedenen Bewegungsabläufe der zweibeinigen Fortbewegung einer Vielzahl an Kräften ausgesetzt. Bei einseitiger Belastung eines Beines können die an der Diaphysenmitte wirkenden Biegekräfte sehr hoch sein. Auf die posteromedialen und medialen Seiten wirkt Druck, die anterioren und anteriolateralen Seiten sind Spannungs Kräften ausgesetzt (Bromage 2003). In vielen untersuchten Populationen, wie auch hier, war das linke Femur generell robuster als der rechte. Demnach zeigen sich je nach Art der Belastung unterschiedlich Indices in unterschiedlicher Ausprägung. Das linke Femur erweist sich generell als robuster, demnach ist die linke Seite besser gerüstet axialen Kräften und mediolateralen Verbiegungen zu widerstehen. Die linke Seite wird offensichtlich mehr für die Gewichtsorientierung, die rechte Seite eher für motorische Aufgaben benutzt (Macho 1991).

In anderen Untersuchungen wurden in den verschiedenen Altersklassen Unterschiede in der Symmetrie des Humerus festgestellt. In beiden Geschlechtern nimmt dort der Umfang, also die Dicke) mit zunehmendem Alter stark ab (Trinkaus et al. 1994). Ein Abnehmen während des Alterns kann durch die Umverteilung des Knochenmaterials als partieller Ausgleich für den Rückgang der gesamten Skelettmasse und des Volumens erklärt werden. Wenn eine bilaterale Asymmetrie einen asymmetrischen Gebrauch der Extremitäten reflektiert, könnte deren Abnahme auch durch den ansteigenden symmetrischen Gebrauch der Extremitäten und eine Reduktion des Beschäftigungsgrades (körperliche Arbeit) mit zunehmendem Alter erklären werden (Stirland 1993). Eine Altersabhängigkeit der bilateralen Symmetrie konnte in dieser Untersuchung weder bei Humeri noch bei Femora festgestellt werden. Auch konnte hier keine Korrelation zwischen Femur Robustizitäts-Index und Femur Index-Platymericus festgestellt werden (SpRho), obwohl sich beide auf die Länge des Femur beziehen.

Generell stellt sich allerdings hier die Frage, wann und ab welcher Stärke sich diese „Belastungen“ im Knochendickenwachstum manifestiert und somit anhand der Indices messbar sind.

Da eine generelle Asymmetrie bezüglich der Länge der Extremitäten (besonders beim Humerus) besteht, genetisch determiniert und eventuell auch durch das Alter beeinflusst, ist es nicht angemessen allein auf diese Weise Aktivitätsmuster zu bestimmen (Stirland 1993). Das Knochenlängenwachstum wird zusätzlich durch körperliche Anstrengung begünstigt (Prives 1960). Demnach ist es auch nicht sinnvoll für die Darstellung bilateraler Asymmetrie Indices zu bilden, in denen sich der Umfang auf die Länge bezieht (Humerus Längen-Dicken Index) (Ruff 1981). Unterschiede in der Ausprägung der Indices weisen vermutlich eher auf die Art der Aktivität als auf den Stärkegrad hin (Bridges 1995).

5.6 Aktivitätsmuster und degenerative Veränderungen (DJD)

Hauptaspekt der morphologischen Untersuchung waren Spuren am Skelett, die durch häufig ausgeführte Bewegungsabläufe entstehen, also Veränderungen am Knochen, die als Folge extremer und/oder ständig wiederkehrender Belastung entstehen. Diese können sich einerseits im Knochen-Dickenwachstum manifestieren (vgl. Kap. 5.6.2 Indices), andererseits anhand degenerativer Veränderungen der Wirbelsäule oder der Gelenke (DJD, *degenerative joint disease*). Degenerative Veränderungen sind einerseits eine natürliche Alterserscheinung, können aber auch die Folge unphysiologischer oder übermäßiger körperlicher Belastung sein, die in ihrer Ausprägung durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst werden.

Untersucht wurden alle großen Gelenke der Extremitäten und deren assoziierte Muskelansatzstellen und die einzelnen Wirbelkörper und -gelenke der Wirbelsäule (vgl. Methoden Kap. 4.1.5).

5.6.1 Ausprägung der Muskelansatzstellen

Neben den degenerativen Veränderungen der Gelenke und der Wirbelsäule wurde auch die Ausprägung der Muskelansatzstellen untersucht, um einen eventuellen Zusammenhang zwischen degenerativen Veränderungen und Aktivitätsmustern festzustellen.

Lange wurde angenommen, dass Muskelansatzstellen Art und Ausmaß der Muskelaktivität widerspiegeln, wobei größere oder deutlicher ausgeprägte Ansatzstellen für eine größere Muskelmasse und demnach für verstärkten Muskelgebrauch stünden (Aiello 1994; Richmond & Strait 2000). Durch ungewöhnlich starke oder häufige Muskelaktivität würde die Blutzirkulation im periostalen Knochen angeregt und möglicherweise durch eine Hypertrophierung die Ansatzstellen der Fasern am Knochen gestärkt (Hawkey & Merbs 1995). Die Ausprägung von Muskelmarkern konnten jedoch nicht mit spezifischen Aktivitäten assoziiert werden (Robb 1998). Knochen reagiert jedoch nicht auf alle Stimuli gleich (Burr et al. 2002; Robbling & Stout 2000). Alter, Geschlecht, Hormonspiegel und genetische Prädisposition spielen ebenfalls eine Rolle (Stirland 1998; Wilczak 1998). Bei *in vivo* Versuchen konnte gezeigt werden, dass Aktivität und Muskelgröße in keinem direkten Zusammenhang mit der Morphologie der Muskelansätze stehen. Weder Art noch Intensität der Muskelaktivität spielen in ausgewachsenen Individuen eine Rolle bei der Ausprägung der Muskelansatzstellen, sie reflektieren also nicht das aktuelle Ausmaß der Beanspruchung (Zumwalt 2006).

Die Ausprägung der Muskelansatzstellen bei den hier untersuchten Individuen erschien bei Männern generell stärker als bei den Frauen. Dies ist vermutlich nicht auf stärker ausgeprägte Belastung oder Arbeitsteilung zurückzuführen (Belcastro 2001), sondern eher auf einen Geschlechtsdimorphismus. Bei keinem der Individuen mit degenerativen Veränderungen konnten stärker ausgeprägte, den betroffenen Gelenkflächen assoziierte Muskelansatzstellen festgestellt werden. Auch ein Unterschied zwischen den Friedhofsklassen, also eine Ausprägung nach sozialem Rang (Robb 1994) konnte nicht festgestellt werden.

5.6.2 Degenerative Veränderungen der Gelenke

Ergebnisse

Alle Erwachsenen und Jugendliche ab 15 Jahren wurden auf degenerative Veränderungen der großen Gelenke untersucht. An den großen Gelenken sind Verschleißerscheinungen am häufigsten und auch am deutlichsten zu beobachten. Sie bieten gute Vergleichsmöglichkeiten, da die großen Gelenke auch bei bodengelagertem Material in der Regel ausreichend gut erhalten sind (Tab. 5.16).

Bei sechzehn Individuen konnte kein einziges Gelenk untersucht werden, 44 Individuen wurden vollständig erfasst. Von insgesamt zwei Drittel der Gesamtindividuen war mehr als die Hälfte aller Gelenke vorhanden.

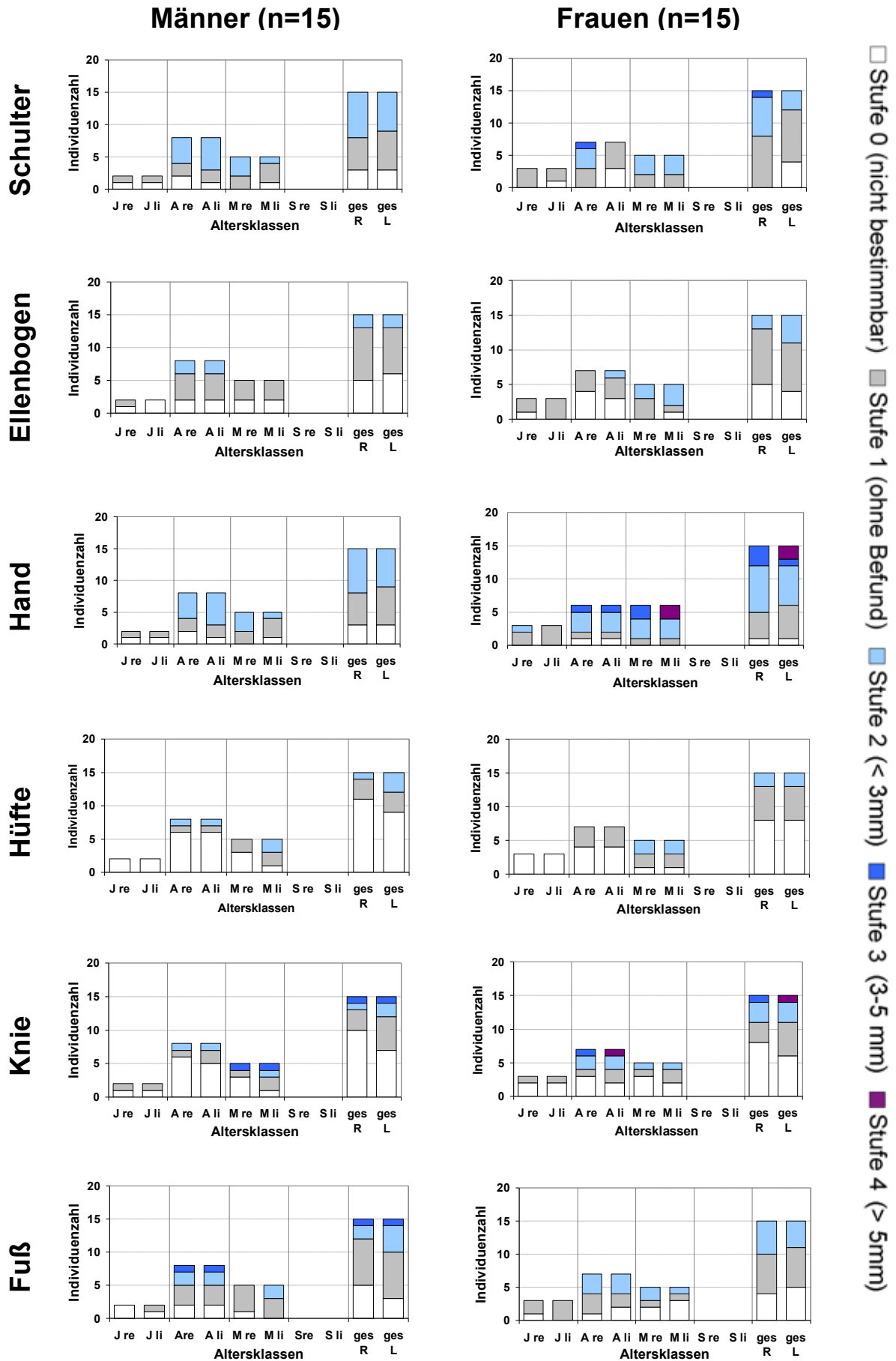
Arthrosen	Anzahl der untersuchten Individuen (Erwachsene und Jugendliche)										
	Ind.ges.	Männer					Frauen				
Bestattungsplatz	G	G _(M)	J	A9	M	S	G _(F)	J	A	M	S
Bruckmühl	31	11	2	9	-	-	20	2	15	3	-
Etting	30	15	2	7	5	1	15	2	7	6	-
Grm B3	44	24	2	10	12	-	20	2	12	4	2
Grm B1, B2, B4	60	21	-	11	9	1	39	5	20	13	1
Kelheim	36	19	1	7	10	1	17	-	12	4	1
Gesamtindividuen	201	90	7	44	36	3	111	11	66	30	4

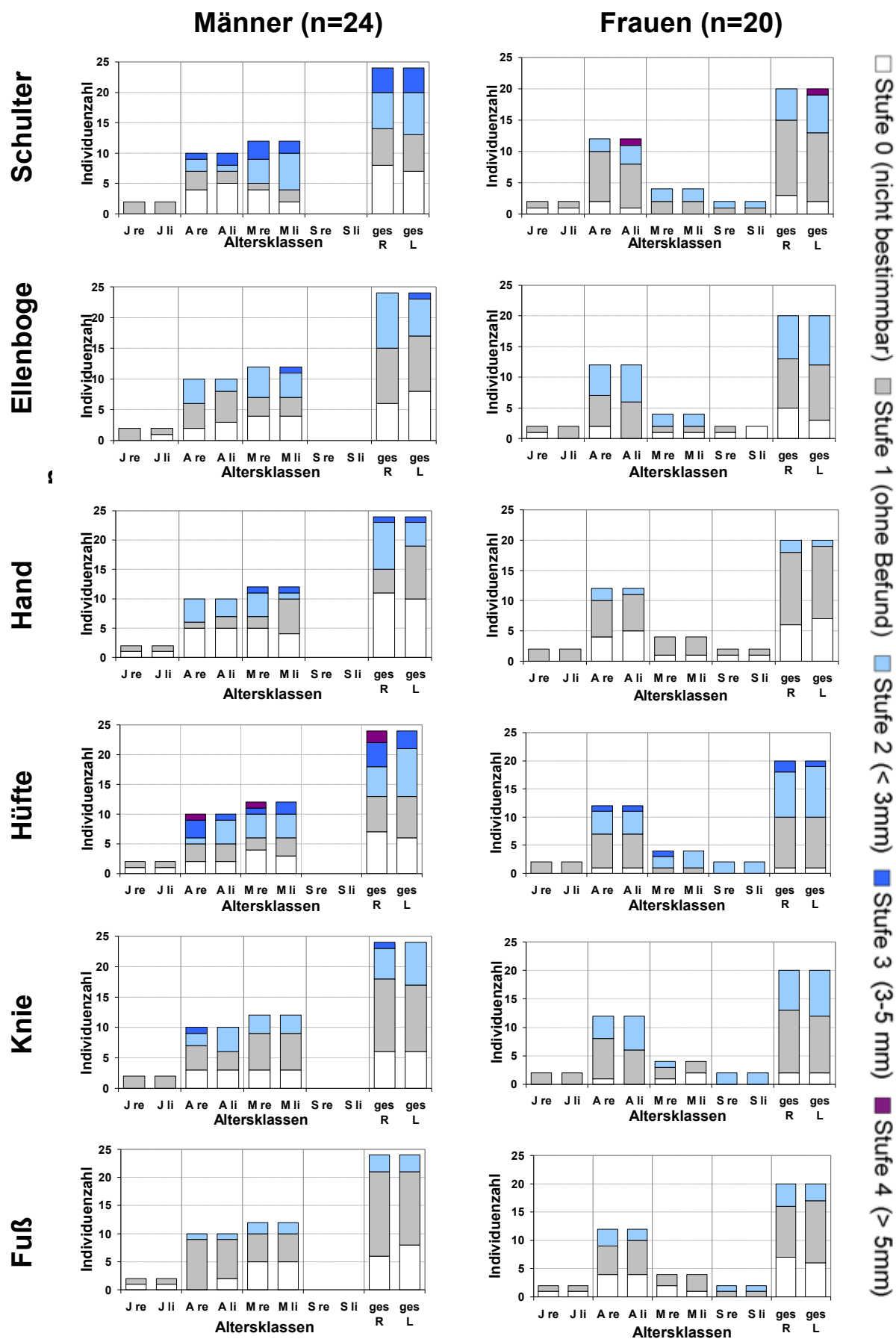
Tab. 5.16: Arthrosis deformans. Anzahl der untersuchten Individuen (Originaldaten Kelheim: Strott 2006).

Die Gesamtergebnisse zeigen vergleichsweise gering belastete Populationen, die degenerativen Veränderungen erscheinen, wenn vorhanden, weitgehend altersgemäß (z.B. Larsen 1992; Bridges 1992).

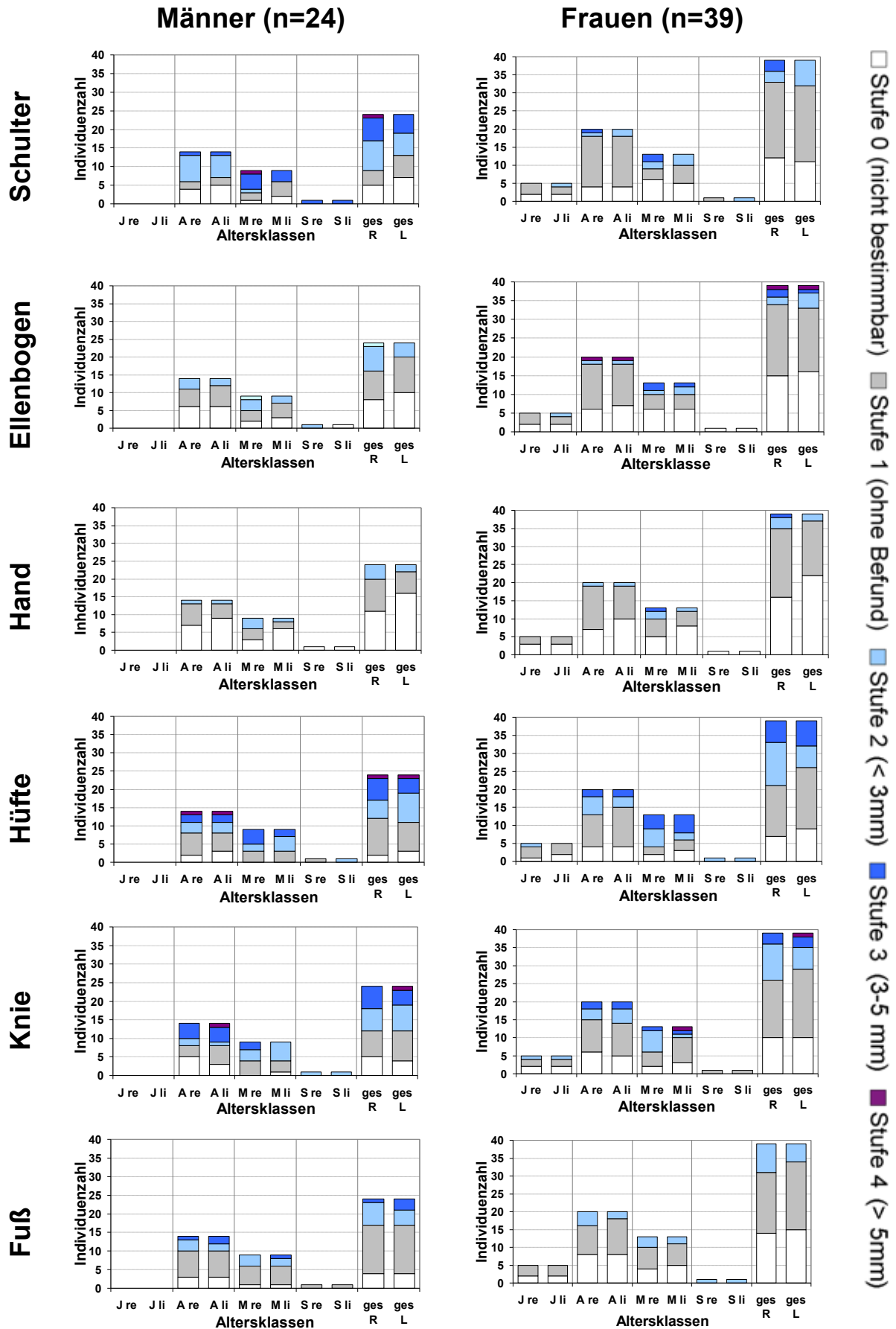
Die Belastungsspuren werden generell mit zunehmendem Alter (adult→matur→senil) erwartungsgemäß stärker, mit signifikanten Unterschieden an den Schultergelenken ($p=0,001$, KW) und an den Ellenbogengelenken ($p=0,005$, KW).

Die Unterschiede innerhalb der einzelnen Bestattungsplätze zwischen den Altersklassen adult und matur sind nur in den Schultergelenken in Großmehring ($p=0,032$, KW) und Kelheim ($p=0,005$, KW) signifikant. Im Vergleich der einzelnen Bestattungsplätze in den jeweiligen Altersklassen bestehen bei adulten Individuen signifikante Unterschiede in den Handgelenken zwischen Kelheim und Etting ($p=0,000$; KW) und jeweils in den Hüftgelenken ($p=0,008$; KW) und in den Fußgelenken ($p=0,000$; KW) zwischen Kelheim und allen anderen Bestattungsplätzen. Auch bei den maturen Individuen sind Hüft- und Schultergelenke der Kelheimer Population signifikant stärker belastet ($p=0,001$; KW).

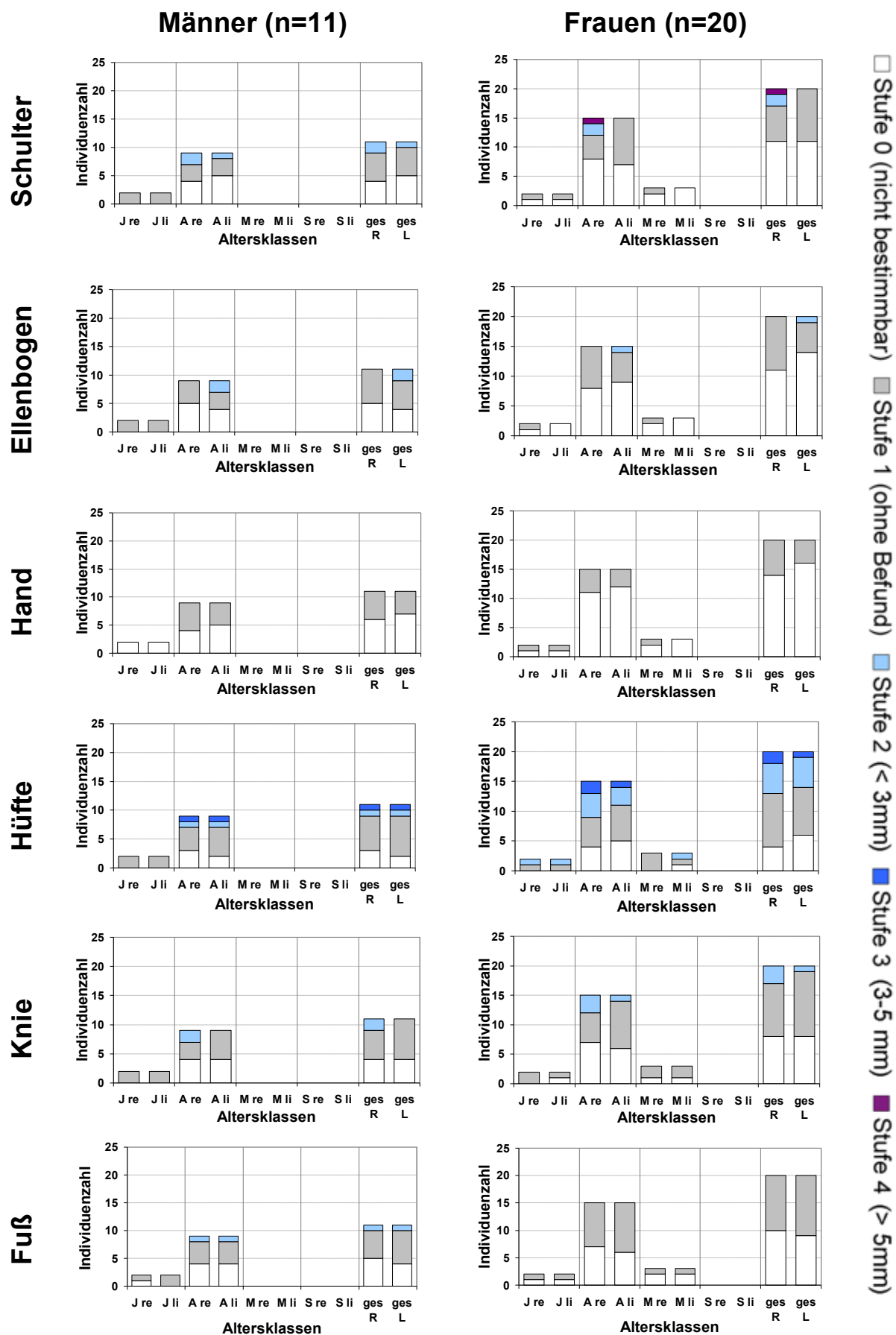




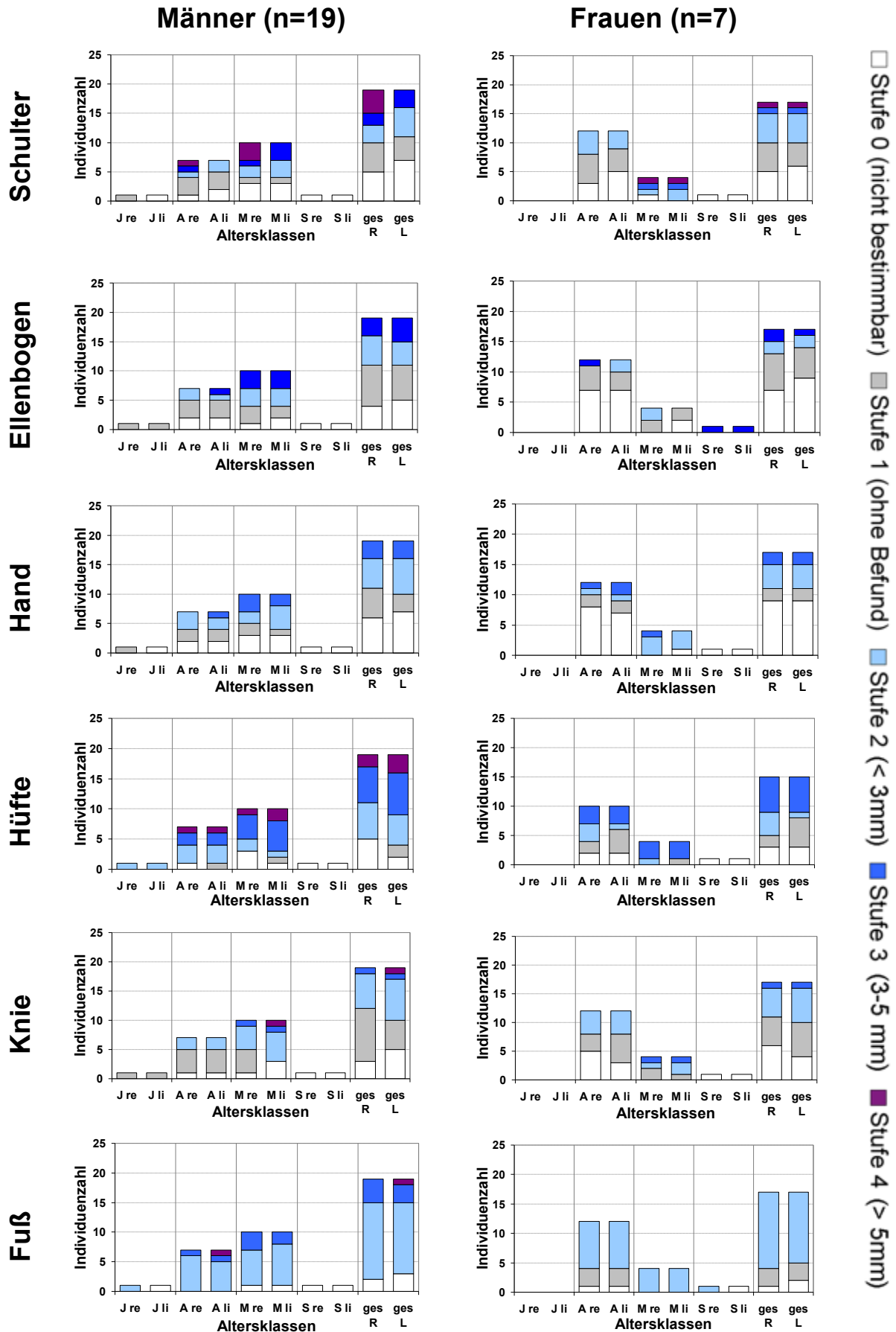
Großmehring B3 / Separatfriedhof



Großmehring B1B2B4 / Reihengräber



Bruckmühl / Separatfriedhof



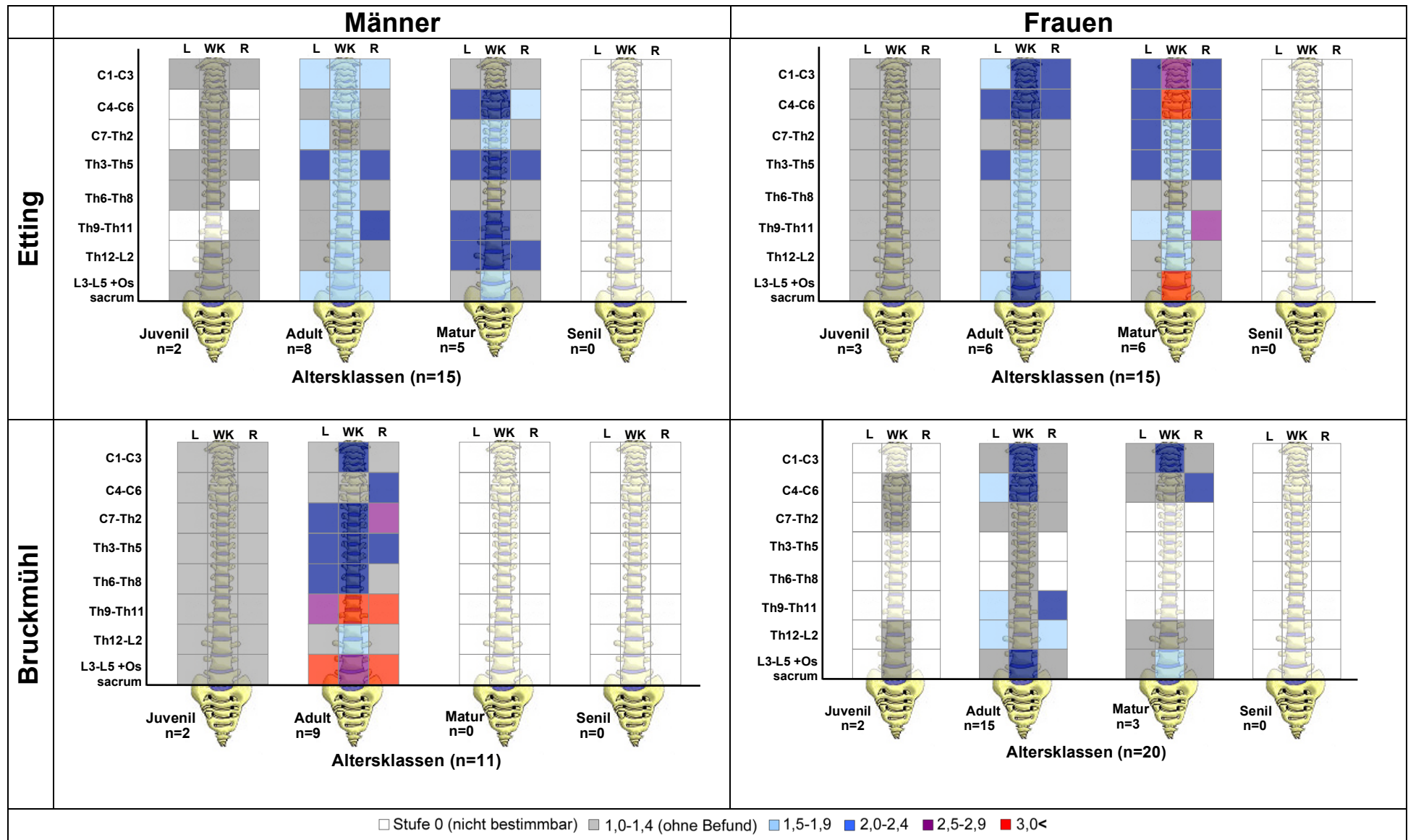
Zwischen Männern und Frauen bestehen generell keine signifikanten Unterschiede, lediglich an den Schultergelenken sind die Männer signifikant stärker belastet ($p=0,001$; KW). In dem separaten Teil Großmehring B3 und in Kelheim tendieren die Männer zu einer stärkeren Belastung der Gelenke, wobei die Unterschiede jeweils nicht signifikant sind (Abb. 5.39). Eine signifikante Mehrbelastung einer bestimmten Körperseite konnte auf keinem der Bestattungsplätze festgestellt werden.

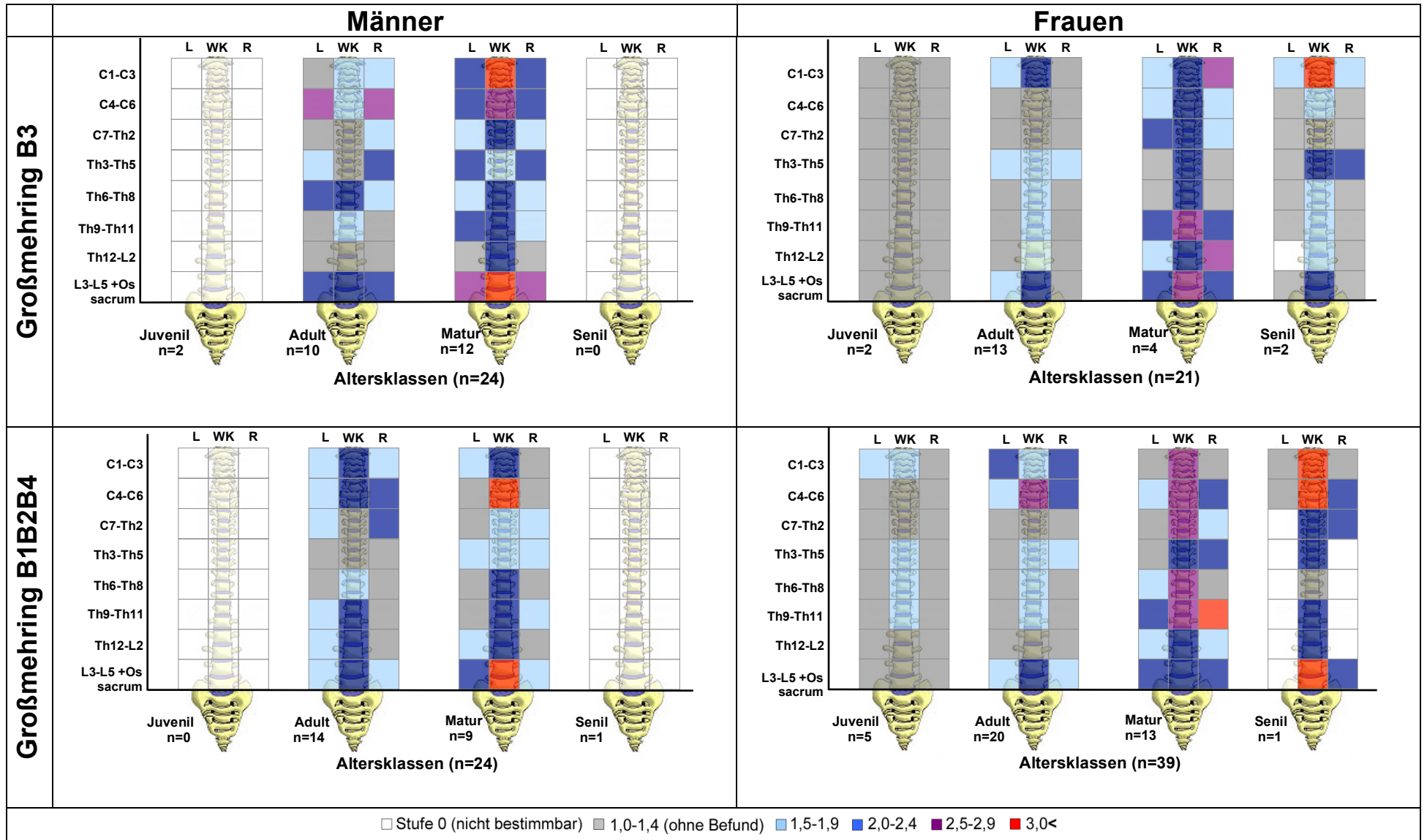
Der Fokus richtet sich vor allem auf die adulte und mature Altersklasse, da in diesen Altersgruppen eine für eine statistische Auswertung ausreichende Individuenzahl vorhanden war.

Es besteht kein Unterschied in der Belastung der Gelenke der Individuen zwischen dem Separatfriedhof Großmehring B3 und den assoziierten Reihengräbern Großmehring B1B2B4. Auch die Friedhöfe Bruckmühl und Etting unterscheiden sich nicht von diesen Reihengräbern. Die Individuen des Separatfriedhofs Kelheim haben signifikant höhere Werte als die der Reihengräber Großmehring B1B2B4 ($p=0,008$; KW).

Um die Gräberfelder anschaulich gegenüber zu stellen wurden die Mittelwerte der arthrotischen Veränderungen in den jeweiligen Altersklassen berechnet und farbcodiert bildlich dargestellt (Abb. 5.40). Hier verdeutlicht sich anschaulich einerseits die generelle Zunahme der degenerativen Veränderungen mit fortschreitendem Alter, andererseits die deutlich höhere Belastung der Gesamtindividuen des Separatfriedhofs Kelheim.

Abb. 5.41: Graphische Darstellung der Mittelwerte der degenerativen Veränderungen aller Individuen der jeweiligen Altersgruppe in den einzelnen Wirbelsäulenabschnitten.





Degenerative Veränderungen der Wirbelsäule

Ergebnisse

Die Wirbelsäule aller Erwachsenen und Jugendlichen ab 15 Jahren wurde auf degenerative Veränderungen der Wirbelgelenke und der Wirbelkörper untersucht. Da in den seltensten Fällen die Wirbelsäule inklusive der Wirbelgelenke vollständig vorhanden ist, wurde die Wirbelsäule in Abschnitte zu jeweils drei Wirbeln eingeteilt und das am stärksten betroffene Element wurde gewertet.

Da bei der Untersuchung der Wirbelsäule der Individuen aus Kelheim nur der Gesamteindruck festgehalten wurde (Strott 2006, Originaldaten), wird Kelheim hier nicht mit berücksichtigt. 37 Individuen der Bestattungsplätze Bruckmühl, Etting und Großmehring wurden vollständig erfasst, bei 32 Individuen konnte kein einziger Wirbel untersucht werden. Von insgesamt mehr als zwei Drittel der Gesamtindividuen war weniger als die Hälfte aller Wirbel vorhanden. In der graphischen Darstellung werden die Mittelwerte der Individuen der jeweiligen Altersklasse in den einzelnen Wirbelsäulenabschnitten dargestellt, bei der statistischen Auswertung wurden die Daten zu Hals- (C), Brust- (Th) und Lendenwirbelsäule (L) zusammengefasst.

Spondylarthrosen	Anzahl der untersuchten Individuen (Erwachsene und Jugendliche)										
	Ind.ges.	Männer					Frauen				
Bestattungsplatz	G	G _(M)	J	A	M	S	G _(F)	J	A	M	S
Bruckmühl	22	7	2	5	-	-	15	2	11	2	-
Etting	30	15	2	8	5	-	15	3	6	6	-
Grm B3	35	17	-	6	11	-	18	1	12	4	1
Grm B1, B2, B4	48	21	-	12	8	1	27	4	15	7	1
Kelheim	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gesamtindividuen	135	60	4	31	24	1	75	10	44	19	2

Tab. 5.17: Arthrosis deformans. Anzahl der untersuchten Individuen.

Die Gesamtergebnisse zeigen normal belastete Populationen (z.B. Nathan 1962, Jurmain, 1990, Bridges 1992, Lovell, 1994, Knüsel et al. 1997, Safaer Derevenski 2000, Hofmann et al. 2008). Die degenerativen Veränderungen werden mit zunehmendem Alter (adult→matur→senil) erwartungsgemäß stärker, in allen Wirbelsäulenabschnitten annähernd gleichmäßig und auf allen Bestattungsplätzen ähnlich (C: $p=0,099$; Th: $p=0,020$; L: $p=0,036$; KW) (Abb. 5.41).

Im Weiteren werden, aufgrund der Individuenzahl, bei der statistischen Auswertung nur die adulten und maturen Individuen berücksichtigt.

Bei der Belastung der Wirbelsäule zeigen sich signifikante Geschlechtsunterschiede. Die Frauen in Etting weisen im Vergleich zu den Männern eine höhere Belastung der Halswirbelsäule auf (C: $p=0,02$, KW). In Großmehring haben die Männer in Brust- und Lendenwirbelsäule stärkere degenerative Veränderungen (Th: $p=0,043$; L: $p=0,045$; KW).

In der graphischen Darstellung zeigen die adulten Männer auf dem Bestattungsplatz Bruckmühl im Brust und Lendenwirbelbereich sehr starke degenerative Veränderungen (Abb. 5.41). Es handelt sich hierbei um die Mittelwerte von nur 5 Individuen, von denen einer eine teilweise verwachsene Wirbelsäule als Folge einer Erkrankung aufweist (siehe unten, Individualbefunde, Brm Grab 2). Bei dessen Weglassung unterscheiden sich die Werte nicht mehr von den Werten der adulten Männer aus den anderen Bestattungsplätzen.

Zwischen den Friedhofsklassen innerhalb der Bestattungsplätze gibt es keine signifikanten Unterschiede ($p=0,181$; KW). Eine Ausnahme bildet der Separatfriedhof Großmehring B3. Dort sind die maturen Männer im Hals- und Lendenwirbelbereich signifikant stärker belastet als die der Reihengräberfelder (C: $p=0,046$; L: $p=0,074$; KW).

5.6.3 Diskussion der Aktivitätsmuster und degenerativen Veränderungen

Wirbelsäule:

Zahlreiche Untersuchungen beschäftigen sich mit degenerativen Veränderungen der Wirbelsäule (u. a. Nathan 1962, Jurmain, 1990, Bridges 1992, Lovell, 1994, Knüsel et al. 1997, Safaer Derevenski 2000, Harms 2007, Hofmann et al. 2008). In allen untersuchten Populationen, deren historische Spannweite von der Bronzezeit über das Mittelalter bis in die Neuzeit reicht ist die Verbreitung von degenerativen Veränderungen der Wirbel ähnlich. Allgemein zeigt sich die größte Prävalenz für Arthrosen in der Lendenwirbelsäule. Vom zweiten bis zum vierten Lendenwirbel erscheinen Osteophyten am stärksten ausgeprägt, dicht gefolgt von den Halswirbeln, besonders in der artikulären Region zwischen fünftem und sechstem Cervikalwirbel. Der untere Brustwirbelbereich ist tendenziell stärker belastet als der obere Bereich, stets am geringsten betroffen ist die Region zwischen siebtem Cervikalwirbel und drittem Thorakalwirbel. Dies lässt sich durch den geringen Bewegungsgrad dieser Wirbelregion erklären (Bridges 1992; Larsen 1997; Nathan 1962).

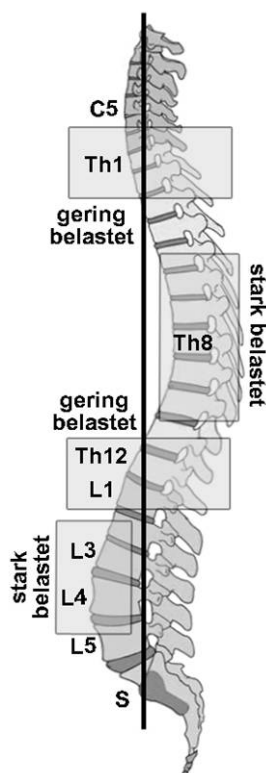


Abb. 5.42: Krümmung der Wirbelsäule in Relation zur Schwerkraftlinie. Osteophyten treten am häufigsten in den Bereichen der stärksten Krümmung auf. Die Bereiche im Kreuzungsbereich der Schwerkraftlinie sind am geringsten betroffen (Nathan 1962). (Abbildung nach Nathan 1962).

Die Wirbelsäule ist doppelt S-förmig gekrümmt, im Hals- und Lendenbereich nach vorne (*Lordose*), im Brust- und Kreuzbereich nach hinten (*Kyphose*) (Harms 2007; Waldeyer 2002). Die natürliche Wölbung der Wirbelsäule dämpft die Kraftübertragung entlang der Wirbelsäule. An den Stellen die entlang der Schwerkraftlinie (*center of gravity*) liegen ist die Arthrosehäufigkeit am geringsten, die höchste Belastung erscheint in der Umgebung der Stellen an denen die Wirbelsäule am meisten gekrümmt ist (Bridges 1994; Nathan 1962; Putz & Graichen 2006) (Abb. 5.42). Osteoarthritis entsteht vermutlich hauptsächlich aufgrund der Belastung durch den aufrechten Gang (Larsen 1997). Osteophyten entstehen an den Bereichen auf die der größte Druck wirkt (Nathan 1962), daher sind degenerative Veränderungen in der unteren Wirbelsäule aufgrund der Krümmung und der stärkeren Gewichtsbelastung häufiger und stärker ausgeprägt (Hofmann et al. 2008; Nathan 1962). Der Übergang von Hals- zu Brustwirbeln (C7/Th1) ist im Bezug auf Veränderungen der Wirbelkörper gering belastet. An dieser Stelle geht die konvexe Krümmung der Halswirbelsäule nach vorne in eine Wölbung nach hinten über (Harms 2007; Nathan 1962; Waldeyer 2002). Allerdings

wechselt hier die Funktion der Wirbelsäule von „Bewegung“ zu „Gewicht tragen“, sodass die Wirbelgelenke degenerative Veränderungen zeigen können (Knüsel et al. 1997). Da es sich bei der Wirbelsäule um ein komplexes biomechanisches System handelt, spiegeln sich knöcherne Veränderungen einzelner Wirbel in der gesamten Wirbelsäule wieder (Bridges 1994; Nathan 1962). Bestimmte Tätigkeiten können die Entwicklung von degenerativen Veränderungen begünstigen (Gracovetsky & Farfan 1986; Nathan 1962). Häufiges schweres Tragen oder Graben (vgl. Abb. 5.43 B und D) führen durch die starke Druckbeanspruchung zur einer Überbeanspruchung und Erschöpfung der Wirbelsäule (Gracovetsky & Farfan 1986; Lovell 1994; Tyrrell et al. 1985). Das Tragen von Körben beispielsweise (vgl. Abb. 5.43 D) kann die normale Krümmung und somit die biomechanischen Eigenschaften der Wirbelsäule während des Tragens verändern (Gracovetsky & Farfan 1986; Safaer Derevenski 2000). Hals- und Lendenwirbel werden aufgrund ihrer Position vor der Schwerkraftlinie beim Tragen von Lasten am meisten belastet (Jurmain 1990). Die Brustwirbel liegen hinter dieser Linie und sind daher weniger betroffen, obwohl hier die Ansatzstellen des Arms sind (Abb. 5.42). Die Wirbelgelenke werden durch das Tragen schwererer Dinge und einer veränderten Krümmung allerdings nicht beeinflusst, da diese vor allem bei der Bewegung der Wirbelsäule eine Rolle spielen (Bridges 1994).

Auch **Reiten** kann durch die mechanische Belastung des unteren Rückens und der Hüfte ursächlich für degenerative Veränderungen der Wirbel und des Hüftgelenks sein. Dies kann sich auch ausprägen durch eine Verlängerung des superioren Acetabulums, eine Vergrößerung der artikulierenden Gelenkfläche des Femurkopfes und eine hypertrophe Ausprägung der Muskelansatzstellen der Adduktoren und der Glutei (Larsen 1997). Bei den mit Reiterattributen bestatteten Männern (Etting Grab 3) weist nur einer (Grab 3A) eine stärker belastete Lendenwirbelsäule auf. Die Hüftgelenke waren leider in keinem der Fälle erhalten.

Hofmann et al. (2008) konnten bei mittelalterlichen Skeletten eine Prävalenz für *Spondylosis deformans* Individuen mit „geringer Körperhöhe“ feststellen, besonders bei Männern (Hofmann et al. 2008). In den hier untersuchten Populationen besteht keine Korrelation zwischen Körperhöhe und degenerativen Veränderungen der Wirbelsäule (BravPears). Auch Männer waren nicht signifikant stärker betroffen (KW).

Arthrosen der Wirbelsäule erscheinen häufig bilateral asymmetrisch. Während in der Hals- und unteren Brustwirbelregion die Ausprägung links dominanter ist, so erscheinen die Veränderungen im oberen und mittleren Thorakalwirbelabschnitt und im oberen Lendenwirbelbereich auf der rechten Seite dominanter (Bridges 1994; Sofaer Derevenski 2000). Die größere Prävalenz an der rechten Seite der oberen Brustwirbelregion wird auf die Anwesenheit der Aorta zurückgeführt, die in dieser Region an der linken Seite der Wirbelsäule nach unten verläuft und die Bildung von Osteophyten dort verhindert (Nathan 1962). Dies ist aber nicht ursächlich für die Entstehung der Veränderungen (Bridges 1994; Sofaer Derevenski 2000). In der oberen Wirbelsäule, besonders an den Brustwirbeln ist die Asymmetrie am stärksten. Eine Ursache hierfür könnte die Belastung auf die Wirbelsäule sein, die durch mit der Armbewegung assoziierte Muskeln ausgeübt wird. Einige dieser Muskeln (*M. trapezius*, *M. rhomboideus*) setzen zu einem großen Teil an der oberen Brustwirbelsäule an. Da die meisten Menschen Rechtshänder sind (Stirland 1993), dürfte die rechte Seite daher stärker belastet werden (Nathan 1962). Aufgrund der auftretenden Asymmetrie in Gruppen mit komplett unterschiedlicher Lebensweise ist es daher unwahrscheinlich, dass diese mit einer bestimmten Tätigkeit zusammenhängen (z. B. Speerwurf, Schwertkampf, Hacken etc.), sondern es ist das Ergebnis der verschiedenen Varianten an Tätigkeiten die den Gebrauch der rechten Hand erfordern (Bridges 1994). Die stärkere Ausprägung an der linken Seite in den anderen Regionen könnte eine Art Kompensation sein (Bridges 1994).

Ein Vergleich der Arthrosebelastung der Wirbelsäulenabschnitte C7-Th2 und Th2-Th5 mit den jeweiligen Werten der Humerus-Längen-Dicken Indices, die ein Indikator für Händigkeit sind (vgl. Kapitel 5.6.2 Indices), ergibt eine noch signifikante Korrelation zwischen dem Abschnitt Th2-Th5 rechts und dem Index rechts ($r=0,314^*$; 0,05; Pears). Je höher der Index, also je höher die physische Gesamtbelastung des Armes, desto stärker die Tendenz zu arthrotischen Veränderungen an der rechten Seite des oberen Brustwirbelabschnittes. Dies bestätigt auch hier die Theorie, dass die Entstehung der Asymmetrie durch die stärkere Belastung des rechten Armes entsteht.

Gelenke

Ein wichtiger Aspekt der morphologischen Untersuchung waren Aktivitätsmuster. Aktivitätsmuster sind alle Spuren am Skelett, die durch häufig ausgeführte Bewegungsabläufe entstehen, also Veränderungen am Knochen, als Folge extremer und/oder ständig wiederkehrender Belastung („*wear-and-tear*“). Diese manifestieren sich einerseits im Knochen-Dickenwachstum (vgl. Kap. 5.6.2 Indices), andererseits anhand degenerativer Veränderungen der Wirbelsäule oder der Gelenke. Degenerative Veränderungen sind einerseits natürliche Alterserscheinungen oder die Folge unphysiologischer oder übermäßiger körperlicher Belastung, die in ihrer Ausprägung durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst werden. Aber auch Tätigkeiten, die keine „schwere Arbeit“ sind, aber dennoch regelmäßig ausgeführt werden, können zu einem Verschleiß der Gelenke führen. Zum Beispiel kann häufiges Reiten Arthrose am Knie begünstigen (Molleson 2003) und auch die Hüftgelenke werden beansprucht. Auch durch Sitzen können

degenerativen Veränderungen entstehen, durch diese unphysiologische Belastung ist vor allem der Lendenwirbelbereich betroffen (Witt et al. 1987).

Es besteht hier eine signifikante positive Korrelation zwischen $\delta^{15}\text{N}$ -Werten und Arthrosestärke in allen untersuchten Gelenken (Schulter: $r=0,224^{**}$, Elle: $r=0,293^{**}$, Hüfte: $r=0,356^{**}$, Knie: $0,280^{**}$ $p=0,01$, Fuß: $0,205^*$ $p=0,05$; BravPears). Je höher also die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte, desto stärker die Ausprägung der Gelenksarthrose.

Ein hoher Anteil tierischen Proteins, besonders Fleisch, stellt ein Risiko für **Gicht** dar (Choi et al. 2004). Gicht könnte eine mögliche Ursache bei der Entstehung degenerativer Veränderungen sein. Als Folge von Entzündungsreaktionen werden dabei die Gelenke abgenutzt und zerstört (Gröbner & Walter-Sack 2002). Die Ausprägungen am Knochen sind charakteristisch, mit scharfen Kanten neben den Artikulationsflächen (Hacking et al. 1994) und Stanzdefekten in der Spongiosa (Gröbner & Walter-Sack 2002). Die Veränderungen treten in der Regel asymmetrisch auf (Hacking et al. 1994). Gicht geht häufig mit einer Nierenfunktionsstörung einher (Becker & Seegmiller 1974). Dabei müssten gleichzeitig auch Krisenringe im Zahnzement entstehen (Kagerer & Grupe 2001a). Bei Verdacht auf Gicht könnte eine Überprüfung der Zahndünnschnittbilder auf breite, helle Linien im Zahnzement die Hypothese unterstützen (siehe 5.3.4 Entstehung der Zahnzementringe). Gicht tritt bei Männern häufiger auf, in der Regel mit fortgeschrittenem Alter und bei Frauen meist erst nach der Menopause (Wortmann 2002). Jüngere Individuen können also ausgeschlossen werden. Die Zahnzementbilder von Individuen, auf die genannte Kriterien zutreffen (Brm 42, Ett 5, GrmB3 57, GrmB1 71, GrmB2 117/II), zeigten keine auffälligen Krisenringe im Zahnzement. Die Individualbefunde zeigen auch, dass die Individuen mit stärker ausgeprägter Arthrose nicht unbedingt höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aufweisen als arthrosefreie. Ein derartiger „Nachweis“ von Gicht ist so also nicht möglich.

Es stellt sich die Frage, warum hier einige jüngere Menschen teilweise stärker belastet sind als ältere. Belastungsspuren werden in der Regel mit zunehmendem Alter stärker, besonders an den Gelenken der oberen Extremitäten (Ortner 1968). Dies ist, unabhängig von der vorangegangenen physischen Belastung als normale Alterserscheinung anzusehen (Larsen 1997). Es gibt eine große Variationsbreite degenerativer Veränderungen und die Ausprägung ist stets in Relation zum Individualalter zu sehen. So können in einigen Populationen bereits Jugendliche und junge Erwachsene stark ausgeprägte Arthrosen aufweisen (Chapman 1972; Larsen 1997), in anderen Populationen können degenerative Veränderungen aber auch erst jenseits des dreißigsten Lebensjahres auftreten (Dekker et al. 1992). Eine hohe Variationsbreite muss deshalb stets mit den lokalen Umständen verglichen werden (Larsen 1997). Die Ausprägung der Veränderungen kann sowohl bei Männern als auch bei Frauen stark variieren (Bridges 1992), wobei Männer eine größere Prävalenz haben als Frauen. Dies kann meist auf unterschiedliche Arbeitsbelastungen zurückgeführt werden (Larsen 1997). Männer zeigen aber generell einen weiteren Variationsbereich in der Ausbreitung von Arthrosen, unabhängig von Wirtschaftsform oder gesellschaftlichen Zusammenhängen (Bridges 1992; Larsen 1997).

Die oberen Extremitäten und der Schultergürtel erscheinen am besten geeignet um aktivitätsbedingte Unterschiede einzuschätzen (Bridges 1994; Jurmain 1977; Ortner 1968). Da der Ellenbogen beim Tragen von schweren Dingen in der Regel nicht durch Zugbelastung beansprucht wird, muss eine andere mechanische Beanspruchung aus Druck und Bewegung der wichtigste Faktor für die Entstehung degenerativer Veränderungen sein (Ortner 1968). Historische Quellen belegen eine geschlechtsspezifische Arbeitsteilung seit dem achten Jahrhundert. Dort wird den Frauen vor allem die Tätigkeit „im Haus“ zugeordnet, dem Mann „Feld, Wald und Wildnis“, sowie „Stall und Scheune“ (Kuchenbuch 1986). Nach dem Pflügen mussten die Erdschollen mit der Hand zerteilt werden, Unkräuter gejätet und das Feld von Zeit zu Zeit umgegraben werden und auch der Stall musste gepflegt werden. Die zu diesem Zwecke verwendeten Werkzeuge (Forken, Sicheln, Jäthacken, Spaten etc.) wurden in zahlreichen mittelalterlichen Abbildungen dargestellt (Borst 1983). Durch alle diese Gerätschaften werden hauptsächlich Arm und Schulterbereich beansprucht (Abb. 5.43 A-E). Aber auch die Wirbelsäule wird durch das Tragen schwerer Lasten oder Graben, bzw. Pflügen stark beansprucht (Gracovetsky & Farfan 1986; Lovell 1994; Tyrrell et al. 1985). In

mittelalterlichen ländlichen Gemeinschaften waren hauptsächlich die Männer für das Tragen von schweren Dingen verantwortlich. Auch andere schwere Arbeit wie beispielsweise Pflügen waren Aufgabe der Männer (Sofaer Derevenski 2000).

Die hier untersuchten Männer tendieren zwar zu einer allgemein stärkeren Belastung der Gelenke, es bestehen aber keine signifikanten Unterschiede zwischen Männern und Frauen, außer an den Schultergelenken. Dies lässt sich mit einer sicherlich in gewissem Maße vorhandenen Arbeitsteilung zwischen den Geschlechtern erklären (Larsen 1997). Männer dürften aufgrund ihrer physischen Konstitution die anfallenden schweren Arbeiten erledigt haben. Vermutlich hauptsächlich solche, bei denen Arme und Schultern stark belastet werden. Obwohl eine Arbeitsteilung zwischen Männern und Frauen bestand, gab es eine große Bandbreite an Tätigkeiten die von beiden Geschlechtern ausgeübt wurden (Sofaer Derevenski 2000). Ebenso darf für die Zeit der Ernte nicht von einer Arbeitsteilung ausgegangen werden. Hier wurden auch Frauen zur Feldarbeit herangezogen (Kuchenbuch 1986).

Auch durch das Tragen von **Waffen** kann bei Männern der Schulter- und Armbereich verstärkt belastet werden (Larsen 1997). In dieser Untersuchung zeigten Männer, die mit Waffen bestattet wurden, jedoch kein höheres Arthrosevorkommen. Waffen als Beigaben sind vermutlich eher ein Hinweis auf sozialen Status als auf das Kriegshandwerk (vgl. 5.8.2 Hiebverletzungen).

In dieser Arbeit wurde die Hypothese untersucht, ob soziale Unterschiede und eine daraus folgende entsprechende Arbeitsbelastung mit Sicherheit eine große Rolle bei degenerativ-produktiven Veränderungen am Skelett spielen. Sozial niedriger gestellte Personen sollten eine stärkere Arbeitsbelastung gehabt haben, die auch am Skelett sichtbar ist, aber auch an Skeletten höher gestellter Personen sind teilweise die gleichen Abnutzungserscheinungen zu erkennen (Zoege v. Manteufel 1983). Allerdings können anhand der Häufigkeit von Verschleißerscheinungen an den Gelenken und der Wirbelsäule, keine direkten Rückschlüsse auf den sozialen Status eines Kollektivs gezogen werden. Ein Individuum ohne degenerative Veränderungen muss nicht unbedingt einer höher gestellten Schicht angehören oder Angehörige der niederen Schichten müssen auch nicht zwingend degenerierte Gelenke haben (Bergner 1995; Stloukal 1970; Stloukal & Vyhnánek 1975; Zoege v. Manteufel 1983). Es ist auch in verschiedenen Zeiträumen eine unterschiedliche Häufigkeit von Wirbelsäulenerkrankungen zu erkennen (Zoege v. Manteufel 1983), die vermutlich davon abhängen kann, wie gut es der Bevölkerung zu bestimmten Zeiten geht.

Es ist anzunehmen, dass in den relativ kleinen, dörflichen Gemeinschaften des frühen Mittelalters jedes Mitglied, auch die höher gestellten Personen, Arbeiten zu verrichten und ihren Beitrag zum Gemeinwohl zu leisten hatten, zum Beispiel während der Erntezeit. Aber auch täglich zu verrichtende Arbeiten wie Holzbeschaffung, Kochen oder Herstellung von Kleidung führten mit Sicherheit nicht nur Bedienstete aus. „Nichtstun“ konnte sich in diesen weitgehend autarken Gemeinschaften wohl so gut wie niemand leisten.

Abb. 5.431: Darstellung von Bäuerlichen Arbeiten im Mittelalter (A-E). Die Abbildungen stammen aus dem Früh- (E), Hoch- (A) und Spätmittelalter (B, C, D). Die verrichteten Arbeiten und deren Technik dürften sich aber im Verlauf des Mittelalters nicht wesentlich verändert haben.



(A) Darstellung von Saat- und Erntearbeiten. Aus einem *Speculum virginum*, mittelrheinisch, um 1190 n. Chr. Ursprüngliche Bedeutung der Darstellung ist die symbolische Wertung der Frau vor Stationen der Feldarbeit (aus Borst 1983).



(B) Lastentragende. Die Holzbündel wurden auf Kopf und Schultern transportiert. Szene aus dem „Buch der Weisheit der alten meister“ Druck von Leonhard Holl in Ulm, 1483 (aus Borst 1983).



(C) Arbeit von Frau und Mann nach altchristlich-mittelalterlichem Verständnis. Aus dem „Spiegel menschlicher Behaltis“, gedruckt von Anton Sorg, Augsburg 1476 (aus Borst 1983).



(D) Lastentragende mit Kiepe (links) und Korb (rechts). Die Lasten wurden an Stangen auf der Schulter oder in Körben auf dem Rücken getragen. Szene aus dem „Ulmer Aesop“ des Johannes Zainer, um 1476 (aus Borst 1983).

(E) Bauern bei der Feldarbeit. Stuttgarter Psalter (Saint-Germain-des-Prés, um 820 n. Chr.) (Quelle: www.uni-saarland.de/verwalt/presse/campus/2004/2/bilder/39-landarbeit.jpg, Stand 03.08.2010).

Zusammenfassung

Auf allen Bestattungsplätzen nehmen die degenerativen Veränderungen der Individuen mit höherem Alter zu. Die Individuen aus Kelheim sind in den adulten und maturen Altersklassen signifikant stärker belastet als die Separatfriedhöfe Bruckmühl, Etting, und Großmehring B3, aber vor allem sind sie stärker betroffen als das Reihengräberfeld Großmehring B1B2B4. Genetische und umweltbedingte Unterschiede können tatsächliche Unterschiede in der Ausprägung von arthrotischen Veränderungen generieren (van Saase et al. 1989). Da es Hinweise auf Eisengewinnung im Umfeld des Kelheimer Friedhofs gibt (Hoops 2003; Meier 2004), könnte die stärkere physische Belastung der dort Bestatteten durch Tätigkeiten in der Eisenverhüttung erklärt werden. Die fehlenden Beigaben könnten auch auf eine weniger wohlhabende Gesellschaft hinweisen. Dieser Aspekt ist jedoch nicht unbedingt zutreffend, da die Sitte, Verstorbene mit Beigaben zu bestatten generell mit dem Beginn des 8. Jahrhunderts verschwindet (Czermak et al. 2006b; Ledderose 2008).

Durch die Untersuchung der degenerativen Veränderungen sollten bestimmte Muster von spezialisierter, Status bedingter Arbeit direkt nachgewiesen werden können (Larsen 1997; Tainter 1980). Vergleichende Studien bei sozial abgestuften prähistorischen Populationen weisen darauf hin, dass Individuen höheren sozialen Standes weniger belastenden Aktivitäten ausgesetzt waren als Individuen niederen Standes (Larsen 1997; Tainter 1980). In dieser Untersuchung war im direkten Vergleich kein Unterschied in der Belastung der Gelenke zwischen dem Großmehringer Separatfriedhof und dem Reihengräberfeld erkennbar. Im Bereich der Wirbelsäule sind sogar die separat Bestatteten (Grm B3) stärker betroffen als die Individuen des Reihengräberfeldes (Grm B1B2B4). Auch im Vergleich mit den anderen Separatfriedhöfen sind die in Reihengräbern Bestatteten nicht stärker belastet. Die Individuen aus dem Separatfriedhof Kelheim zeigen sogar signifikant höhere Werte als die Reihengräber, besonders in der Hüfte und der Schulter. Unterschiede in der Stärke der Arthroseausprägung zwischen verschiedenen Populationen könnten mit der Subjektivität der Untersuchenden („*interobserver variation*“) begründet werden (van Saase et al. 1989). Die Kelheimer Population unterscheidet sich jedoch in den Ergebnissen der Isotopenanalyse ebenfalls deutlich von den anderen untersuchten Gräberfeldern (siehe 5.9 Isotopenanalyse). Die Kelheimer Population fügt sich auch generell nicht in das postulierte Schema der Separatgrablegen ein (Czermak et al. 2006b; Strott 2006).

Robb et al. (2001)³² konnten ebenfalls keine Übereinstimmung zwischen Bestattungsart und biologischem Status festgestellt. Individuen die qualitativ unterschiedlich bestattet wurden waren bezüglich ihrer am Skelett erkennbaren Gesundheit nicht zu unterscheiden. (Robb et al. 2001). Die gängigen paläopathologischen Anzeichen für physische Belastung waren auch dort gegensätzlich zur Bestattungsart. Die archäologischen Beweise (Beigaben, Grabeinbauten, Friedhofstruktur) können vermutlich auch nicht in dem angenommenen Maß den ökonomischen Status oder die Lebensweise reflektieren. Wobei sich in der Gesamtheit der Befunde herausgestellt hat, dass die Beigabenausstattung ein besserer Indikator für sozialen Stand ist als die Friedhofsstruktur.

Für Aussagen Populationen oder soziale Schichten betreffend hat sich die Untersuchung von degenerativen Veränderungen am Skelett nicht als Mittel der ersten Wahl herausgestellt. Vermutlich sind die am Skelett sichtbaren biologischen Indikatoren nicht dafür geeignet feinere Unterschiede in den Lebensbedingungen deutlich zu machen. Welche Skelettbefunde als „sozial signifikant“ gewertet werden können hängt von den lokalen spezifischen Arten physischer Belastung ab und deren sozialer Einteilung (Robb et al. 2001). Ein weiteres Problem bei der statistischen Aufarbeitung der Daten waren hier die geringen Individuenzahlen (<20) in den einzelnen Altersklassen. Bei der Interpretation der Daten mussten extreme Einzelbefunde vernachlässigt werden (vgl. Wirbelsäulenbefund Bruckmühl). Anhand der degenerativen und pathologischen Veränderungen am Skelett können jedoch Aussagen über Individualbefunde getroffen und Fallstudien durchgeführt werden (Wood et al. 1992).

³² Eisenzeitliche Bestattungen, Pontecagnano (Salerno, Italien).

Degenerative Veränderungen der Wirbelsäule sind ebenfalls kein ideales Mittel um die Auswirkung von normalen Aktivitätsmustern und Arbeitsbelastungen zu beschreiben. Untersuchungen des Verhältnisses von Biomechanik, funktionsbedingter Beanspruchung und degenerativen Veränderungen zeigten, dass die angenommene klare Verbindung zwischen degenerativen Veränderungen und Aktivitätsmustern weder biologisch noch medizinisch nachgewiesen werden konnte (Knüsel et al. 1997). Um einen höheren Schweregrad zu generieren müssten die einwirkenden Kräfte wahrscheinlich deutlich stärker sein als dies durch Bewegung oder häufige Beanspruchung möglich wäre (Lovell 1994). Zwischen physischer Aktivität und Arthrose besteht allerdings kein zwingender Zusammenhang. Schwere und/oder kontinuierliche Tätigkeiten müssen nicht zwangsläufig zu degenerativen Veränderungen führen. Ebenso ist es nicht möglich, spezifische Aktivitäten oder Tätigkeiten anhand des Skelettes nachzuweisen (Larsen 1997; Waldron 1994). Untersuchungen konnten keinen direkten Zusammenhang zwischen spezifischen Tätigkeiten und den daraus folgenden spezifischen degenerativen Veränderungen herstellen (Jurmain 1990).

Arthrosen kommen in allen Populationen vor und liefern ein Bild von kumulativen Effekten, verursacht durch mechanischem Stress und Alterserscheinungen die auf den Körper einwirken (Larsen 1997), aber auch durch Geschlecht, Hormonspiegel und genetische Prädisposition (Stirland 1998; Wilczak 1998). Es ist nicht möglich pauschale Aussagen über die Art der Arbeitsbelastung oder Lebensumstände zu machen (Kelly 1992; Larsen 1995).

5.7 Besondere pathologische Befunde

5.7.1 Morbus Bechterew (Bruckmühl Grab 27)

In Bruckmühl Grab 27 befand sich ein mit mehreren Beigaben und einem Schwert (Sax) ausgestatteter Mann zwischen 23-36 Jahren (Abb. 5.44 A), dessen Skelett einige pathologische Besonderheiten aufwies. An der *Facies articularis sternalis* jeweils beider Schlüsselbeine und an den artikulierenden Gelenkflächen des Brustbeines sind fortgeschrittene arthrothische Veränderung der Gelenkflächen erkennbar (Abb. 5.44 B). Zusätzlich war die Brustwirbelsäule partiell verwachsen (Th 2 / 3, Th 4-7, Th 9-12), und zwei Rippen der linken Körperhälfte waren an die Wirbelkörper (Th 7 und Th 9) angewachsen (Abb. 5.45 und 5.46). Des Weiteren fand sich im Thorakalraum eine ca. 11 cm lange knöcherne Platte (Abb. 5.47). Bei dieser Verknöcherung handelt es sich vermutlich um eine sogenannte „Panzer-Pleura“ (Herrmann et al. 1990). Im Verlauf einer chronischen Lungenerkrankung oder Brust- bzw. Rippenfellentzündung können sich Verknöcherungen im Bereich der Lunge bilden (Burckhardt 1935; Srinivas et al. 2007). Diese **Pleuralverkalkungen** (*Pleuritis calcinosa*, *calcified pleurisy* (Nobel & Veillon 1997) oder „Panzerpleura“) sind flächige Verknöcherungen des Brustfells. Diese werden als feste, knochenfarbene und bis zu 10 mm dicke, lang gestreckte, handtellergröße Platten mit unregelmäßigem Rand beschrieben (Herrmann et al. 1990).

Verkalkte Ablagerungen am Lungenfell (Pleuraplaques) können als Folge von Entzündungen entstehen. Bei **pulmonaler Fibrose** (*Interstitial Lung Disease*, ILD) kann es nach einer Lungenentzündung zur Zerstörung und Vernarbung des Lungengewebes kommen (Ebringer et al. 2006). Das zerstörte Gewebe wird zunächst durch Bindegewebe ersetzt, welches verdicken und verhärten (Pleuralschwarte, *pleural fibrosis*) und dann durch Ablagerung von Kalziumsalzen verkalken kann (*Calcinosis*) (Herbert 1986). Verkalkungen im Lungenbereich wurden gehäuft bei Patienten mit Pneumoconiose (Staublunge, „Caplan Syndrom“) beobachtet, meist Arbeiter im Steinkohlebergbau (Martel et al. 1968). **Tuberkulose** kann ebenso ursächlich für Verknöcherungen in der Lunge sein (Burckhardt 1935). Da bei Patienten mit Tuberkulose verstärkt die Bildung von Vitamin D₃ aktiviert wird, kann es zu einer Vitamin-D-Hypervitaminose mit Hypercalcämie kommen (Sharma 2000). Dies könnte zu den Verkalkungen führen. Laut Herrmann et al. (1990) erscheint ein verknöchertes Tuberkuloseherd als ein bis zu walnussgroßer Hohlkörper aus unregelmäßigen, netzartig verbundenen Trabekeln. Es gibt jedoch auch Beschreibungen von eher flachen Verknöcherungen, ähnlich der hier vorliegenden, deren Ursache eine tuberkulose-induzierte Lungenentzündung war (Burckhardt 1935).

Rheumatoide Erkrankungen wie Arthrosen oder Gicht können sich auch außerhalb der Gelenke manifestieren, beispielsweise in Erkrankungen des Brust- und Rippenfells, besonders Lungenentzündung (Srinivas et al. 2007). Dies wäre ein möglicher Zusammenhang zwischen der Verwachsung der Wirbelsäule und der Pleural-Verknöcherung. Weitere Ursachen für die vorliegende Verwachsung der Wirbel könnten sowohl Morbus Bechterew als auch eine **Hyperostose** (DISH) sein. Für letztere sprechen die Fusion der Thorakalwirbel und die Ankylose der Rippen an der linken Körperseite. Diese Krankheit manifestiert sich aber gewöhnlich erst nach dem 50. Lebensjahr und die Verwachsungen erscheinen „tropfenförmig“ (Roberts & Manchester 2005).

Morbus Bechterew kann bereits im jungen Erwachsenenalter auftreten und betrifft besonders die Brustwirbelsäule. Hier sind jedoch, wie in einigen Publikationen angegeben, (Ebringer et al. 2006; Rashid & Ebringer 2007; Roberts & Manchester 2005) weder die Lendenwirbelsäule noch andere Gelenke mit betroffen. Auch das Ilioskralgelenk als postulierter „Echtheitsstempel“ für Morbus Bechterew ist hier nicht mit beeinträchtigt (Resnick & Niwayama 1988; Roberts & Manchester 2005). Es konnte jedoch ein Zusammenhang zwischen den Krankheitsbildern Morbus Bechterew und Lungenentzündung festgestellt werden. Morbus Bechterew kann aufgrund einer Auto-Immun-Reaktion nach einer Infektion mit dem Bakterium *Klebsiella pneumoniae*, das Lungenentzündung verursachen kann, ausgelöst werden. Dabei gehen IgA-Antikörper die gegen das Bakterium gerichtet sind eine Kreuzreaktion mit Komponenten des **HLA-B27**-Moleküls (*human*

leukocyte antigen)³³ ein (Edmonds et al. 1983). Die Antikörper richten sich nicht nur gegen das Bakterium, sondern auch gegen körpereigene Strukturen. Die Anwesenheit des Zelloberflächenproteins HLA-B27 scheint in Zusammenhang mit Morbus Bechterew zu stehen, da bis zu 90 % der Bechterew Patienten positiv auf diese Protein getestet wurden (Ebringer 1983; Ogasawara et al. 1986; Rashid & Ebringer 2007; Singh et al. 1986). Im Rahmen einer Diplomarbeit (Seifert 2010) wurde ein Test auf eine mögliche Tuberkulose-Infektion durchgeführt (Konomi et al. 2002; Zink et al. 2003; Zink et al. 2005), *Mycobacterium tuberculosis* konnte nicht nachgewiesen werden. Dies unterstützt die Annahme, dass es sich hier möglicherweise um Morbus Bechterew handelt. Eine Analyse über das Vorhandensein von HLA-B27 und der dadurch möglichen Erkrankung mit Morbus Bechterew könnte zusätzlich Aufschluss bieten (Ebringer et al. 2006). Weitere Lungenerkrankungen könnten ebenso Ursache für die Pleuralverkalkung gewesen sein.



Abb. 5.44: A: Zeichnung des Individuums aus Grab 27 .. B: Brustbein und Schlüsselbeine (links, rechts). An den Gelenkflächen der Claviculae sind deutliche degenerative Veränderungen erkennbar (Stufe 2 rechts und Stufe 4-5 links). (Foto: Czermak)

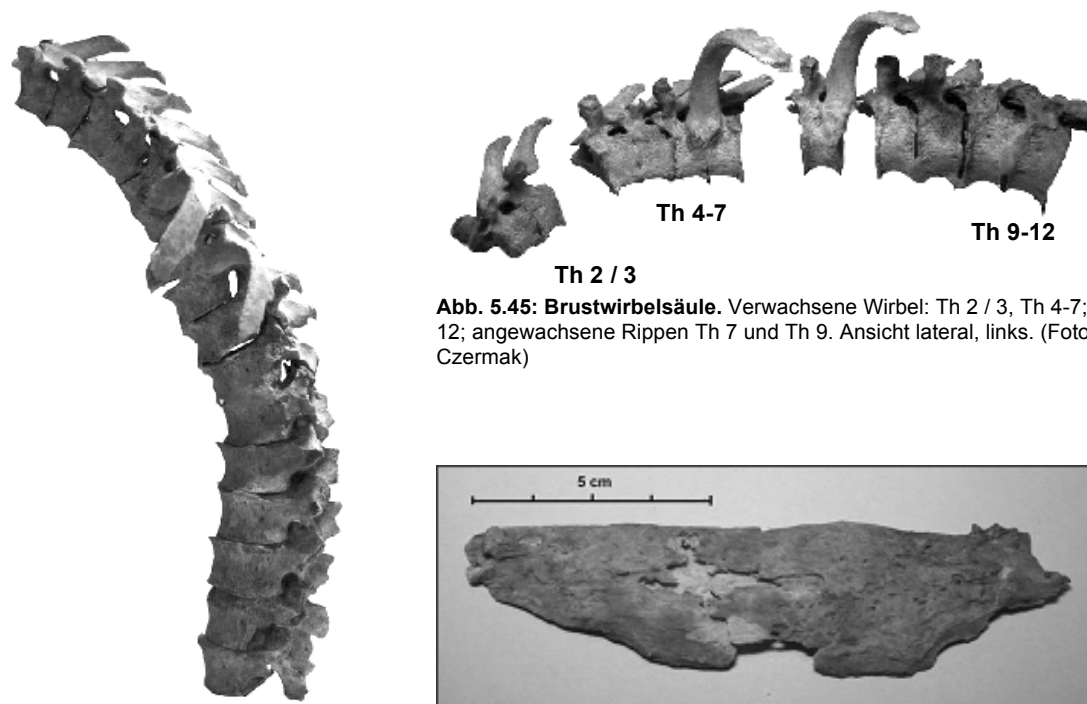


Abb. 5.45: Brustwirbelsäule. Verwachsene Wirbel: Th 2 / 3, Th 4-7; Th 9-12; angewachsene Rippen Th 7 und Th 9. Ansicht lateral, links. (Foto: Czermak)

Abb. 5.46: Brustwirbelsäule. Th 1-12, Bruckmühl Grab 27. Mann, 23-36 Jahre. Bestattung mit Beigaben (Schwert). Ansicht lateral, links. (Foto: Czermak)

Abb. 5.47: Pleuralverkalkungen („Panzer-Pleura“, pleuritis calcinosa). Ca. 11 cm lange, knöcherne Ablagerung im Thorakalraum. (Foto: Czermak)

³³ **HLA**, oder humaner Haupthistokompatibilitätskomplex (MHC), umfasst eine Gruppe von Genen auf dem kurzen Arm von Chromosom 6. Die Genprodukte (MHC-Proteinkomplexe) sind membrangebundene Proteine. Diese körpereigenen Antigene befinden sich auf der Oberfläche von fast allen Körperzellen und „kennzeichnen“ die Zellen als „körpereigen“ (Campbell 1997).

5.7.2 Hiebverletzungen

Bei sieben Männern konnten Hiebverletzungen am Schädel festgestellt werden (Tab. 5.18). An anderen Körperbereichen wurden weder bei diesen, noch bei anderen Individuen Spuren von scharfer Gewalt festgestellt. Die Männer mit Hiebverletzungen am Schädel waren zwischen 25 und 45 Jahren alt. Vier davon befanden sich auf den Separatfriedhöfen, aber lediglich einer wurde auch als „Krieger“ mit Waffen bestattet (Ett, Grab 3A). Bei vier der hier untersuchten Individuen befinden sich die Läsionen auf der rechten Seite des Schädels, bei einem auf der Stirn und bei drei Individuen links. Einer der Männer (Grm B1, Grab 71) wies auf der rechten Kopfseite verheilte Hiebspuren und auf der linken Seite zwei letale Schwerthiebe mit abgespaltenen Kalottenstücken auf (Abb. 5.52).

Bestattungsort			Grab	Alter	Art der Verletzung	Beigaben
Bruckmühl		W	19	sA	Verheilte Hiebspur <i>Os frontale</i> und <i>parietale</i> rechts;	X
Etting		Kgr	2	fM	Teilweise abgetrennte Orbita rechts, verheilt	
Etting		ZB	3A	fM	Letale Hiebspur <i>Os parietale</i> rechts	Waffen
Großmehring	B3	Kgr1	53	sA	Läsion des <i>Os frontale</i> über Glabella, Heilungsspuren	
Großmehring	B3	Kgr1	65	mA	Letaler Hieb <i>Os frontale</i> bis <i>Os parietale</i> links	Beraubt
Großmehring	B1		71	mA	Verheilte Hiebspuren <i>Os frontale</i> rechts und links; letale Hiebspuren <i>Os frontale</i> links	
Großmehring	B2		154	sA	Verheilte Hiebspur, <i>Os frontale</i> links	

				Ort und Auswirkung der Verletzung am Schädel						
				Links		Frontal		Rechts		
Bestattungsplatz		Grab	Alter	letal	verheilt	letal	verheilt	letal	verheilt	Beigaben
Bruckmühl	W	19	sA		X		X		X	
Etting	Kgr	2	fM						X	
Etting	ZB	3A	fM					X		Waffen
Großmehring B3	Kgr1	53	sA				X			
Großmehring B3	Kgr1	65	mA	X						Beraubt
Großmehring B1		71	mA	X	X				X	
Großmehring B2		154	sA		X					

Tab. 5.18: Liste der Individuen mit Hiebverletzungen (Individuen aus den höheren Friedhofsklassen grau hinterlegt). Hiebverletzungen wurden ausschließlich am Schädel und nur bei Männern ab Mitte zwanzig bis Mitte vierzig gefunden. Bis auf den Mann aus Etting, Zentralgrab 3A, wurde keines der Individuen mit Waffen bestattet.

Verheilte Läsionen

Bruckmühl Grab 19

In Grab 19 (westlicher Friedhofsteil) wurde ein Mann zwischen 32 und 35 Jahre ohne Beigaben bestattet. Auf der rechten Schädelseite fanden sich sowohl am *Os frontale* (Abb. 5.48 A) als auch am *Os parietale* (Abb. 5.48 B) bereits verheilte Läsionen. Die Verletzungen müssen einige Zeit vor dem Tod des Mannes entstanden sein (Lovell 1997) und sind nicht als Todesursache anzusehen.

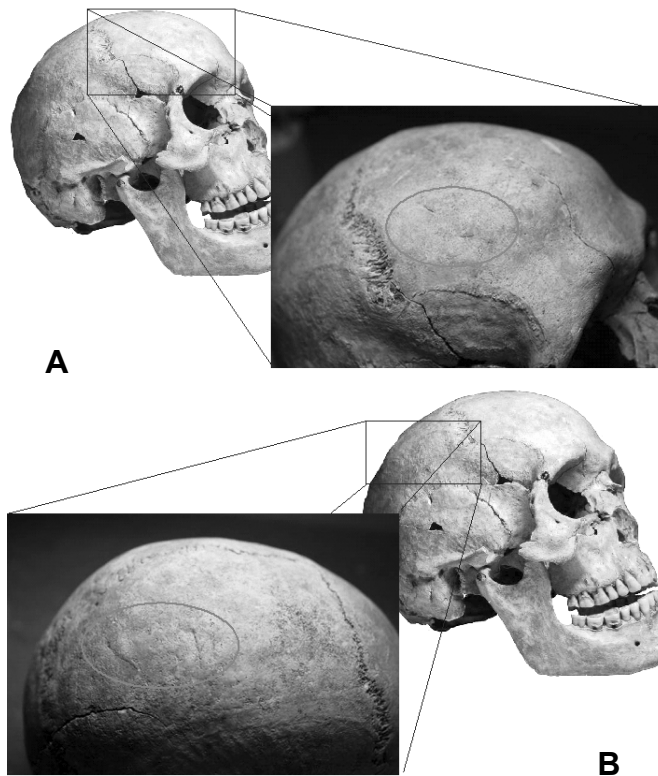
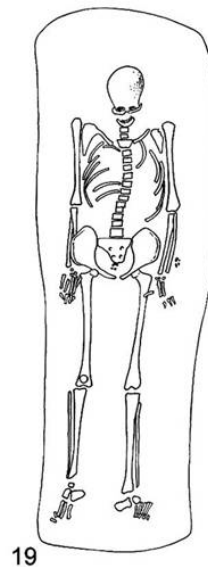


Abb. 5.48: Verheilte Läsionen (Hiebsspuren) am Schädel (jeweils mit Kreis markiert). (A) *Os frontale* rechts. (B) *Os parietale* rechts. (Fotos: Czermak). (C) Grabzeichnung (modifiziert nach Ledderose 2006)



C

Großmehring B2 Grab 154

Der Mann aus Grab 154 war etwa Mitte dreißig und es befinden sich bereits verheilte Hiebsspuren am *Os frontale* über der linken Augenhöhle (Abb. 5.49). Von dieser Bestattung ist keine Grabzeichnung vorhanden, es wurden weiter auch keine nennenswerten Beigaben dokumentiert und die übrigen anthropologischen Befunde sind unauffällig.



Abb. 5.49: Hiebsspuren am *Os frontale* links, über der Orbita (mit Kreis markiert) mit Spuren von Heilung. (Foto: Czermak)

Etting Grab 2

Dem frühmaturen Mann aus Etting Grab 2 wurde, vermutlich durch einen Hieb am *Os frontalis* oberhalb der rechten Orbita der laterale Teil der *Margo orbitalis*, sowie der frontale Teil, mit dem *Os frontale* in Verbindung stehende Teil des *Os temporale* und möglicherweise auch ein Stück des *Os zygomaticum* abgetrennt (Abb. 5.50).

Die betroffene Fläche ist jedoch wieder vollständig verknöchert. Die Person hat nach dieser Verletzung offensichtlich noch lange weitergelebt. Allerdings dürfte, da ein Teil der Augenhöhle und des Jochbeines fehlten, das Auge verloren gewesen sein. Wenn es nicht bereits aufgrund des Hiebes verletzt wurde, so dürfte es sich aufgrund der fehlenden Knochenelemente nicht mehr in der Orbita gehalten haben. Außerdem muss der Augenringmuskel (*M. orbicularis oculi*) verletzt, bzw. durchtrennt worden sein. Auch die *Pars palebralis*, die sich im Bereich des Augenlides befindet, wurde mindestens mitverletzt, was vermutlich zur Folge hatte, dass das Augenlid nicht mehr bewegt werden konnte.

Am betroffenen Teil des *Os temporale* befindet sich auch die *Fascia temporalis* und der *M. temporalis*. Der Schläfenmuskel ist mit dem *M. masseter* verbunden, der an der Außenfläche des Ramus mandibulum ansetzt. Diese beiden Muskeln ziehen zusammen mit dem *Pterigoideus medialis* den Unterkieferkörper an den Oberkiefer heran und bewirken so den Kieferschluß (Rauber-Kopsch 1955). Daher könnte die Kaufunktion eingeschränkt gewesen sein. Da der Unterkiefer fehlt, können darüber jedoch keine genaueren Aussagen getroffen werden.

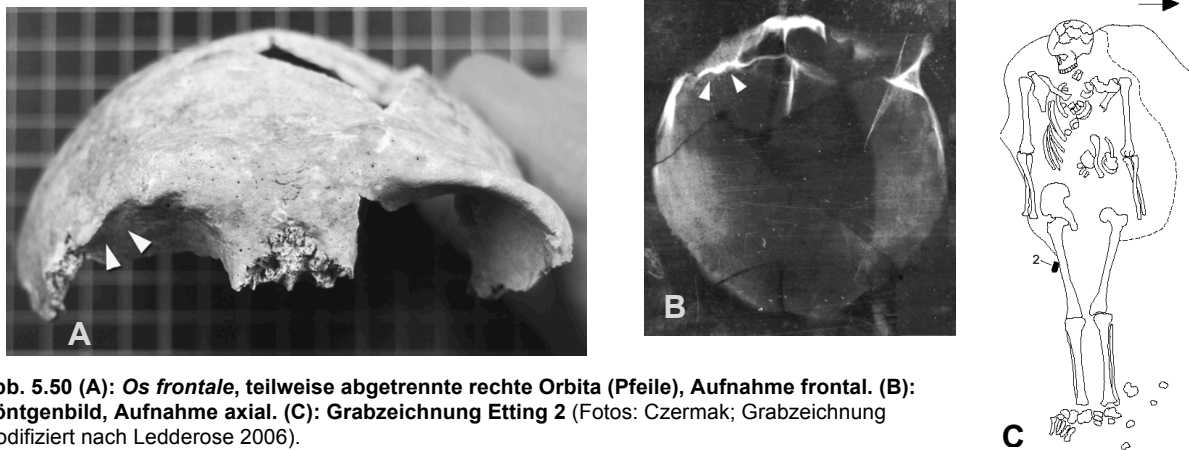


Abb. 5.50 (A): *Os frontale*, teilweise abgetrennte rechte Orbita (Pfeile), Aufnahme frontal. (B): Röntgenbild, Aufnahme axial. (C): Grabzeichnung Etting 2 (Fotos: Czermak; Grabzeichnung modifiziert nach Ledderose 2006).

Großmehring B3 Grab 53, Kreisgraben 1

Der spätadulte Mann (32-38 Jahre) zeigt eine etwa 4 cm lange Läsion am *Os frontale*, etwa im Bereich des Haaransatzes (Abb. 5.51). Der Schlag wurde mit einem scharfen Gegenstand ausgeführt. Der Gegner muss sich seitlich des Opfers befunden haben. Da die Waffe flach eingedrungen ist und die Verletzung relativ weit oben liegt, kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich der Gegner in einer erhöhten Position befand, bzw. das Opfer möglicherweise saß oder kniete.

Sowohl außen, als auch an der Innenseite der Kalotte sind ausgeprägte Knochenneubildungen, also Zeichen einer fortgeschrittenen Heilung, sichtbar. Deshalb ist davon auszugehen, dass dieses Individuum nach der Verletzung noch mindestens ein halbes Jahr überlebt hat (Lovell 1997).

Der Mann wurde innerhalb des Kreisgrabens der Separatgrablege Großmehring B3 bestattet. Er trug jedoch außer einem Messer keine Beigaben. Bei Betrachtung der Grabzeichnung fällt die Haltung des linken Unterarmes auf, deren Bedeutung aber nicht eindeutig geklärt werden kann (Ledderose 2006). Die übrigen anthropologischen Befunde waren unauffällig.

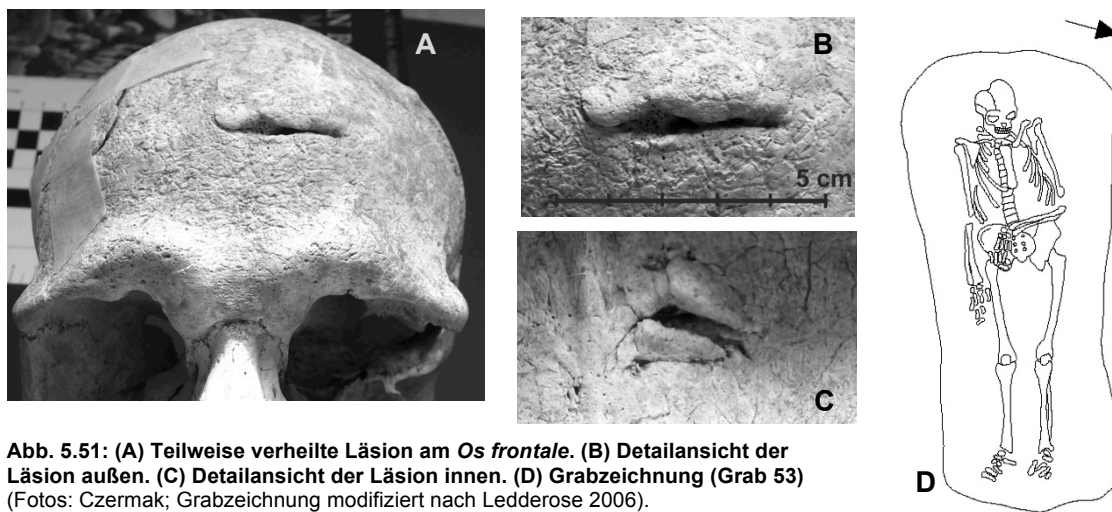


Abb. 5.51: (A) Teilweise verheilte Läsion am *Os frontale*. (B) Detailansicht der Läsion außen. (C) Detailansicht der Läsion innen. (D) Grabzeichnung (Grab 53) (Fotos: Czermak; Grabzeichnung modifiziert nach Ledderose 2006).

Letale Läsionen

Großmehring B1 Grab 71

Der 25-30 Jahre alte Mann aus dem chronologisch ältesten Teil des Bestattungsortes Großmehring weist multiple Läsionen des Schädels auf. Am *Os frontale* befinden sich sowohl rechts, als auch links, jeweils mehrere verheilte Läsionen, vermutlich Hiebsspuren (Abb. 5.52 A). Zusätzlich sind zwei scharfrandig begrenzte Knochendefekte an der *Sutura sagittalis* und am *Os parietale* erkennbar (Abb. 5.52 B und C). Es erfolgte eine Abspregung der betroffenen Teile der Schädeldecke, das betroffene Stück des *Os parietale* ist noch vorhanden (Abb. 5.52 C und D).

Der Schlag wurde bei der Verletzung des *Os parietale* von oben durchgeführt, der Hieb bei der Läsion im Bereich der *Sutura sagittalis* erfolgte seitlich von rechts. Die Verletzungen wurden mit einer größeren, scharfkantigen Waffe beigebracht, vermutlich einem Schwert (Spatha oder Sax). Über die Position des Opfers zum Zeitpunkt der Verletzung kann keine genaue Angabe gemacht werden. Es kann sich in aufrechter-, aber auch in einer niedrigeren Position (sitzend, kniend) dem Gegner gegenüber befunden haben. Möglicherweise wurde ihm die Verletzung am *Os parietale* zuerst in stehender Position zugefügt und, nachdem er „in die Knie“ ging, hieb der Gegner erneut seitlich auf ihn ein. Durch diese Hiebe wurden sowohl zahlreiche Blutgefäße der Diploe, als auch wichtige Strukturen des Gehirns beeinträchtigt. Bei jedem dieser Hiebe müssen lebenswichtige Strukturen verletzt worden sein und jede einzelne dieser Verletzungen wäre tödlich gewesen.

Es handelt sich um ein einzelnes Grab in exponierter Lage im östlichen Bereich von Grm B1, in direkter Nähe von GrmB2. Von dieser Bestattung ist keine Grabzeichnung vorhanden und es sind auch keine nennenswerten Beigaben dokumentiert. Weitere Aussagen über diesen Mann lassen sich daher nicht treffen.

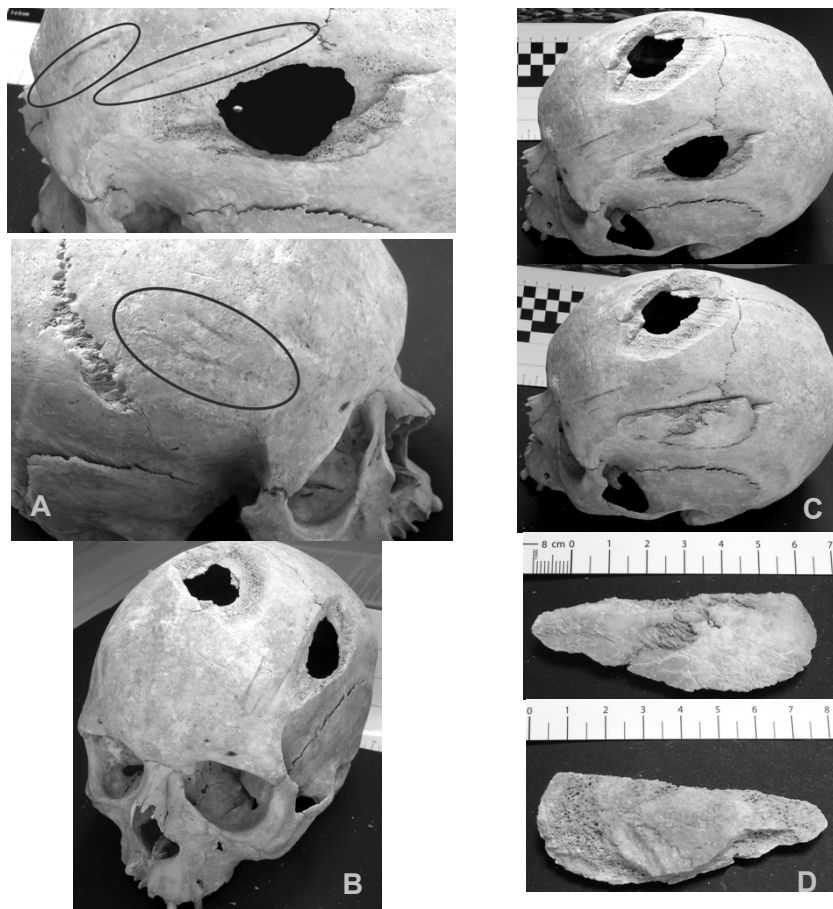


Abb. 5.52: Zwei scharfrandig begrenzte Knochendefekte an der *Sutura sagittalis* und am *Os parietale*, mit einer Absprengung der betroffenen Teile der Schädeldecke (am *Os parietale* noch vorhanden). Zusätzlich finden sich am *Os frontale* sowohl rechts als auch links Spuren älterer, verheilter Läsionen. **(A)** Verheilte Läsionen am linken (Bild oben) und rechten (Bild unten) *Os frontale* (mit Kreisen markiert). **(B)** Frontalansicht des Schädels. **(C)** Laterale Ansicht des Schädels (links). Scharfrandige Knochendefekte mit (unten) und ohne (oben) das vorhandene abgesprengte Knochenteil. **(D)** Ansicht des vom linken *Os parietale* abgesprengten Knochenteils: von außen (oben) und von innen (unten). (Fotos: Czermak)

Großmehring B3 Grab 65, Kreisgraben 1

Der etwa 25-30 Jahre alte Mann aus der Separatgrablege Großmehring zeigte einen vom linken Stirn- bis zum Scheitelbein durchgehenden, scharfrandig begrenzten Knochendefekt, der sich an den jeweiligen Enden am *Os frontale* und am posterioren *Os parietale* durch ein „Weiterbrechen“ des Knochens fortsetzt (Abb. 5.53).

Dieses Grab lag nicht mehr *in situ* und wurde vermutlich beraubt. Daher stellt sich in diesem Fall die Frage nach einer „*post mortem*“-Fraktur des Schädels. Die Beraubung kann durch einen bestehenden Raubschacht, durch den die Beigaben mit einem Haken „herausgeangelt“ wurden (Codreanu-Windauer 1993), und den daraus resultierenden Knochenverwurf (Abb. 5.53C) belegt werden (Ledderose 2006). Die Beraubung konzentriert sich aber auf die Oberkörper- und Beckenregion, da sich in diesem Bereich die relevanten Beigaben befinden (Schwerter, Gürtelgehänge etc.). Aufgrund des Zustandes der Bruchkanten am Schädel wird von einer „*perimortem*“-Fraktur ausgegangen.

Bei der Verletzung handelt es sich um Hiebsspuren mit einer scharfen Waffe. Die Waffe drang flach in das Gehirn ein. Aufgrund der Größe und Schwere der Verletzung wird von einem sofortigen Tod ausgegangen. Ort und Winkel der Hiebspur lassen vermuten, dass sich das Individuum zum Zeitpunkt der Verletzung in einer aufrechten Position befunden hat. Hier wäre eine tödliche Verletzung im Zweikampf durchaus denkbar. Der Mann wurde innerhalb des Kreisgrabens bestattet, was für seine gehobene Position spricht. Aufgrund der Beraubung kann aber leider keine Aussage darüber getroffen werden, ob er mit der Ausstattung eines „Kriegers“ bestattet wurde.

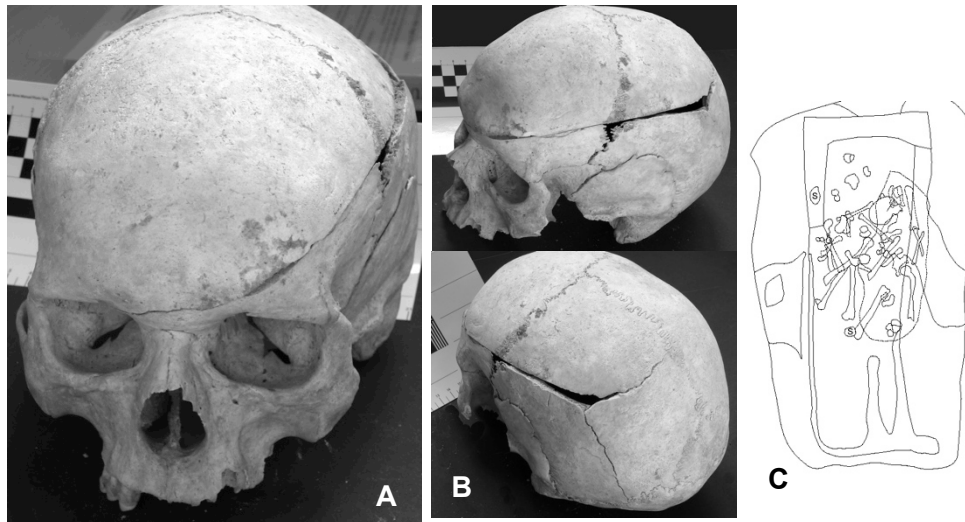


Abb. 5.53: Ein vom *Os frontale* bis zum *Os parietale* durchgehender, scharfrandig begrenzter Knochendefekt.

(A) Frontalansicht des Schädels. (B) Lateral- und Dorsalansicht der Läsion. (C) Grabzeichnung. Der Befund zeigt ein durch Grabraub gestörtes Grab. (Grabzeichnung modifiziert nach Ledderose 2006). (Fotos: Czermak)

Etting Grab 3A

Am rechten *Os parietale* des 20-25 jährigen Mannes wurde ein etwa 4 cm langes Stück der Schädeldecke durch einen Hieb mit einer scharfen Waffe, eventuell einem Schwert, abgesprengt (Abb. 5.55). Diese Verletzung dürfte unmittelbar zum Tod geführt haben. Der Schlag ging nicht sehr tief und drang daher vermutlich nicht in die Gehirnmasse ein. Es ist aber davon auszugehen, dass die sich in diesem Bereich befindenden Diploevenen verletzt wurden und der Mann aufgrund des starken Blutverlustes gestorben sein muss (Pieck 2008). Weitere Verletzungen am Schädel konnten aufgrund der starken Fragmentierung nicht festgestellt werden. Dieser Mann wurde im Zentralgrab des Kreisgrabens mit voller Waffenausrüstung (Schwert, Sporen etc.) bestattet (Abb. 5.54).

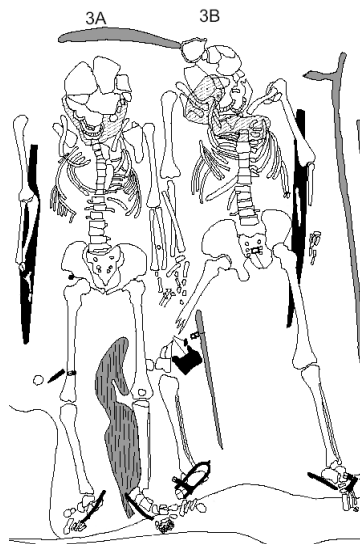


Abb. 5.54: Grabzeichnung Etting 3A (linke Bestattung). (Grabzeichnung modifiziert nach Ledderose 2006).



Abb. 5.55: Ett 3A, scharfkantige, etwa 4 cm lange Absprengung des Knochens am *Os parietale* rechts (Pfeile). Aufnahme von caudal.

(Foto: Czermak)

Diskussion der Hiebverletzungen

Verletzungen von Knochen durch Schwert und Axt sind zwar bekannt (Herrmann et al. 1990; Knowles 1983; Lovell 1997; Mitchell et al. 2006; Powers 2005; Weber & Czarnetzki 2001), treten aber viel seltener auf als vermutet. Verletzungen müssen nicht immer aufgrund von kriegerischen oder kriminellen Handlungen entstehen. Auch im Alltag bestehen genügend Risiken durch Stürze und Quetschungen (Herrmann et al. 1990). Knochenbrüche sind demnach wesentlich häufiger als Hiebverletzungen (Djuric et al. 2006; Knowles 1983). Bei Verletzungen mit stumpfer Gewalt kann nicht immer zwischen Unfall und Intention unterschieden werden (Powers 2005; Ramey Burns 1998).

Alle kranialen Verletzungen haben charakteristische Merkmale. Strahlenförmige oder konzentrische Frakturen sind indikativ für stumpfe Gewalt (Powers 2005; Ramey Burns 1998). Typische, durch scharfe Waffen verursachte Kerb-Frakturen zeigen einen geraden und glatten Verlauf und der Knochen bricht in einem bogenförmigen Kurs weiter, bis zu dem Punkt an dem der Frakturris durch stabilen Knochen gebremst wird. Häufig brechen auch Knochenstücke aus, möglicherweise aufgrund einer Drehbewegung der eindringenden Waffe (Weber & Czarnetzki 2001).

Es stellt sich auch die Frage nach einer prä- oder postmortalen Kontinuitätstrennung des Knochens (Lovell 1997; Sauer 1998). Bei postmortalen Frakturen des Knochens erscheinen die Bruchkanten eher rechtwinklig, die Bruchflächen weisen eine uneinheitliche Färbung auf und die Bruchfragmente sind klein.

Bei prämortalen Verletzungen sind die Bruchflächen der Fragmente einheitlich gefärbt und es können Reparaturvorgänge des Knochens oder Spuren von Entzündungen erkennbar sein. Entzündungen entstehen meist bei offenen Brüchen durch Infektion mit dem Bakterium *Staphylococcus aureus*. Durch eine Entzündung des Periosts (*Periostitis*) können Auflagerungen am Knochen entstehen. Als Folge einer Entzündung des gesamten Knochens inklusive Knochenmark (*Osteomyelitis*) können die Konturen im Bereich der Fraktur verdickt sein (Lovell 1997).

Abgerundete Kanten eines verletzten Schädelknochens werden als Hinweise auf eine beginnende Heilung gewertet. Wie lange vor dem Tod die Verletzungen entstanden sind ist jedoch meist schwierig zu bestimmen (Weber & Czarnetzki 2001). Vitale Reaktionen des Knochengewebes können bereits zwei Wochen nach einer Verletzung makroskopisch sichtbar sein. Bei Erwachsenen dauert eine vollständige Heilung solcher Verletzungen durchschnittlich 6-12 Monate. Das „Remodelling“ eines Knochens in seine ursprüngliche Form und Ausprägung kann sich über einen Zeitraum von bis zu 9 Jahren erstrecken, größere Wunden schließen sich möglicherweise nie mehr komplett (Lovell 1997; Weber & Czarnetzki 2001).

Ein Überleben solcher durch scharfe Waffen verursachten Schädeltraumata ist primär von der Tiefe des Hiebes und den vaskulären Verletzungen abhängig (Khalil et al. 1991; Kieck & Devilliers 1984). Es ist jedoch von einer hohen Mortalitätsrate (26%) auszugehen (du Trevou & van Dellen 1992; Kieck & Devilliers 1984). Im Fall einer Verletzung des großen venösen Blutleiters des Gehirns (*sinus durae matris*) steigt die Mortalität auf bis zu 41% (Meier et al. 1992). Bei 50% der letalen Verletzungen kreuzt die Fraktur den *Sinus sagittalis superior*, der Gehirnvene, die in etwa mittig unter dem Schädeldach verläuft (Weber & Czarnetzki 2001). Die Länge von letalen Hieben ist signifikant größer als die Länge von Hieben bei verheilten Wunden. Schädel mit letalen Wunden zeigen meist auch weitere Verletzungen, daher ist bei derartigen Verletzungen primär ein hoher Blutverlust die Todesursache. Auch bei den hier untersuchten Hiebverletzungen am Schädel konnte dies bestätigt werden.

Schädelverletzungen sind aber nicht zwingend mit Hirnverletzungen gleichzusetzen. Eine primäre Hirnschädigung kann durch Hirnblutungen und Gefäßverletzungen als Folge der auf das Hirn einwirkenden Gewalt im Augenblick des Traumas entstehen. Sekundäre Hirnschäden können dann im weiteren Verlauf durch eine posttraumatische Hirnschwellung mit einer Erhöhung des Hirndrucks und Blutungen im Schädelinneren auftreten. Dies führt in der Regel zu Bewusstseinsstörungen und Bewusstlosigkeit (Pieck 2008).

Läsionen der Schädelkapsel können sich wieder vollständig schließen. An der Schädelkalotte bleiben aber Vertiefungen zurück. Auch schwerere Verletzungen, bei denen

der spongiöse Knochenbereich zwischen der kompakten inneren und äußeren Knochenschicht der Schädelkalotte (*Diploe*) freigesetzt wird (z.B. bei Abschlügen oder Trepanationen) können unter Abdeckung der Diploe abheilen. Ein Verschluss der Öffnung erfolgt hier aber praktisch nicht. Die flächigen Knochenlamellen können jedoch vom Rand her die Öffnung verkleinern (Herrmann et al. 1990). Die Heilungschancen bei Schädelverletzungen waren für damalige Verhältnisse relativ gut. So konnten auf dem Gräberfeld Lauchheim³⁴ von den etwa 1300 Gräbern 8% der Männer prä- oder perimortale Traumata nachgewiesen werden. Mehr als die Hälfte der Betroffenen hat die Schädelverletzung überlebt. Dies spricht für eine gewisse Routine der merowingerzeitlichen Ärzte³⁵ (Wahl 2007).

Weber und Czarnetzki (2001) haben in Donaunähe, im Bereich der westlichen Grenzregion Bayerns, alamannische Reihengräber aus dem 6. - 8. Jahrhundert im Hinblick auf Schädelverletzungen untersucht. In diesen Populationen wurden zahlreiche neurokraniale Traumata beobachtet. Meist handelte es sich um Schwerthiebe (Weber & Czarnetzki 2001). Die hohe Frequenz an kranialen Verletzungen wird damit erklärt, dass zu dieser Zeit keine Helme im Kampf getragen wurden und die verwendeten Schilder hauptsächlich zum Schutz des Körpers gebraucht wurden (Weber & Czarnetzki 2001). Dies kann aber aufgrund der zahlreichen Grabfunde (z.B. Die Alamannen 2001) und vor allem der Tatsache dass sowohl vor, als auch nach dieser Zeit Helme im Kampf verwendet wurden (Bull 1991), bezweifelt werden.

Schädelknochen	Linke Seite			Rechte Seite		
	Weber & Czarnetzki		Czermak	Weber & Czarnetzki		Czermak
	(%)	(n)	(n)	(%)	(n)	(n)
<i>Os frontale</i>	24	8	4	16	5	2
<i>Os parietale</i>	33	11	1	20	7	2
<i>Os occipitale</i>	2	1	-	0	-	-
<i>Os temporale</i>	4	2	-	0	-	-
Summe	64	22	5	36	12	4

Tab. 5.19: Vergleich mit der Häufigkeit (%) und Lokalisation der Schädelverletzungen durch scharfe und stumpfe Gewalt in den von Weber & Czarnetzki untersuchten alamannischen Populationen. Am häufigsten finden sich Hiebe auf der linken Schädelseite, besonders im vorderen und seitlichen Bereich. Bei den hier untersuchten Individuen wurden alle erkennbaren Läsionen, verheilte und letale mit einberechnet. Die prozentualen Angaben aus der Veröffentlichung von Weber & Czarnetzki wurden aufgrund der besseren Vergleichbarkeit in die Individuenanzahl umgerechnet, mit einer Gesamtindividuenzahl von n=33 (Weber & Czarnetzki 2001).

In zwei Drittel aller Fälle befinden sich bei Weber & Czarnetzki die Schädelverletzungen auf der linken Seite, im seitlichen vorderen Bereich (Tab. 5.19). Auch bei Djuric et al. (2006) finden sich die meisten Frakturen auf der linken Schädelseite. Bei den hier untersuchten Individuen liegen von insgesamt neun nachgewiesenen Hiebverletzungen am Schädel fünf ebenfalls auf der linken Kopfseite. Da das Ergebnis hier aufgrund der geringen Individuenzahl nicht signifikant ist kann nur von einer Tendenz gesprochen werden.

Da etwa 90 % der Bevölkerung genetisch bedingt rechtshändig ist (Stirland 1993) und dies sowohl für moderne als auch für historische Populationen charakteristisch ist (Coren & Porac 1977; Ruff 2000), so sollte bei einem Zweikampf „Angesicht zu Angesicht“ die linke Körperhälfte des Gegners verstärkt betroffen sein (Djuric et al. 2006). Der Umkehrschluss, dass Verletzungen auf der rechten Kopfseite von „Linkshändern“ stammen müssen ist, auch aufgrund der Anzahl der Läsionen auf dieser Seite, nicht zulässig. Möglich wäre auch ein Angriff von hinten, wobei sich die Läsionen in diesem Fall aber eher im temporalen oder occipitalen Bereich des Schädels befinden dürften. Wahrscheinlich ist eher, dass im Verlauf eines Kampfes das Schwert nicht ausschließlich von einer Seite in Richtung Gegner geführt wurde und daher Verletzungen auf beiden Schädelseiten möglich sind. Das leichte

³⁴ Frühmittelalterliches Gräberfeld Lauchheim-Wasserfurche, Baden Württemberg; siehe: www.dfg-projekt-lauchheim.de

³⁵ Die Lex Alamannorum (7./8. Jahrhundert) macht detaillierte Angaben zu verschiedenen Verletzungsarten, Verletzungsschwere, Behandlungsmethoden und Buße des Täters. Bei der Höhe des Bußgeldes wurden die Größe und Anzahl der herausgeschlagenen Knochenstücke, sowie bleibende Entstellungen berücksichtigt (Wahl 2007, S. 92).

Überwiegen der Verletzungen auf der linken Schädelseite spricht aber dennoch für die erwähnte Händigkeit, zumal auf der „bevorzugten“ Seite die Schlagkraft höher ist.

In einigen Fällen, besonders bei multiplen Verletzungen, kann es möglich sein, eine genaue Chronologie der Verletzungen und die jeweiligen Positionen des Gegners (z.B. auf einem Pferd sitzend) und des Opfers (z.B. kniend) zu rekonstruieren (vgl. Wahl 2007, S. 94 und 136). So dürfte dem Mann aus Grm B1, Grab 71 seine zweite, eindeutig letale Verletzung in kniender Position zugefügt worden sein (Abb. 5.52). Alle übrigen, hier festgestellten Verletzungen, sprechen für Zweikämpfe von „Angesicht zu Angesicht“.

Die meisten Kopfverletzungen werden allgemein bei Individuen im Alter von 30-40 Jahren festgestellt (Kokkotidis 1999). Diese Spanne stimmt in etwa mit dem Alter der durch Schwerthiebe verletzten Individuen aus Bruckmühl, Etting und Großmehring überein. Die betroffenen Männer befanden sich alle im angenommenen waffenfähigen Alter zwischen 20 und 45 Jahren. In der Regel werden keine Jugendlichen und keine Männer über 50 Jahren mit nachweisbaren letalen Schwertverletzungen gefunden. Diese Altersklassen wurden also offensichtlich nicht zum „Kriegsdienst“ herangezogen (Kokkotidis 1999).

Sonderbestattung / Großmehring B4, Grabgruppe 73 / 74 / 75

Einige auffällige Befunde konnten bei einer gemeinsam mit zwei kleinen Kindern bestatteten Frau festgestellt werden. Auf dem Bestattungsplatz Großmehring B4 fand sich im nordwestlichen Bereich eine kleine, etwas abseits gelegene Grabgruppe mit drei Individuen (vgl. Abb. 3.7, Gräberfeldplan Großmehring). Es handelt sich um Bestattungen eines Neugeborenen (Grab 74), eines Kleinkindes (Grab 73) und einer etwa 40jährigen Frau (Grab 75) (Abb. 5.56). Diese Konstellation lässt auf die Bestattung einer Mutter mit ihren zwei kleinen Kindern schließen. Besonders auffällig ist die Bestattung der Frau in Seitenlage und in Nord-Südrichtung.

Um eine mögliche fremde Herkunft der 40jährigen Frau festzustellen, wurde eine Sr-Isotopenanalyse vorgenommen (Gaugler 2006). Anhand des $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wertes im Zahnschmelz konnte eine Zuwanderung aus weiter entfernten Gebieten ausgeschlossen werden (vgl. Kap. 5.10 Herkunftsrekonstruktion).

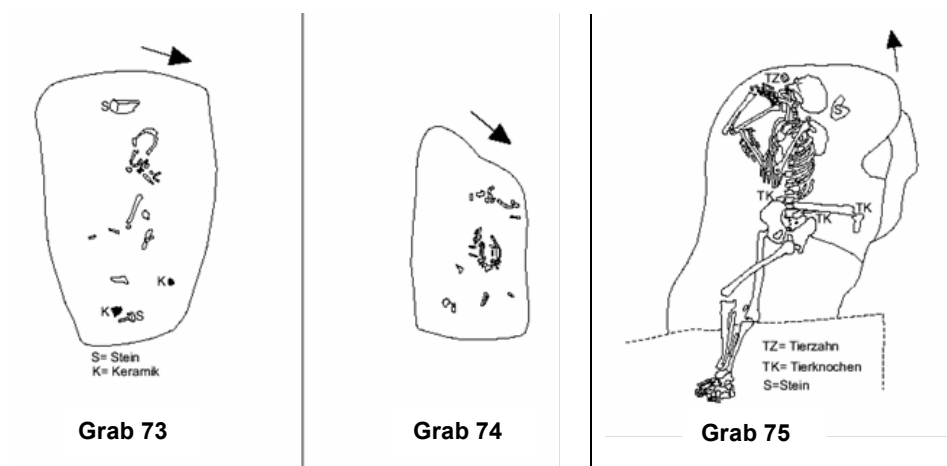


Abb. 5.56: Grabzeichnungen der Bestattungen 73, 74 und 75 (Großmehring B4). Die Kinder (73/74) lagen in Rückenlage W-O orientiert. Die Frauenbestattung (75) wurde in unüblicher Seitenlage in N-S Richtung bestattet, mit Blickrichtung nach Westen. Die Unterarme waren angewinkelt, der linke Oberschenkel lag über dem rechten. Vor dem Gesicht liegt ein Tierzahn. Der linke Humerus der Bestatteten war verkümmert, vermutlich in Folge einer Humerusnekrose. Weitere Tierknochen wurden in den Gräbern 73 (Vogel) und 75 (Pferd und Rind) gefunden. (Grabzeichnungen modifiziert nach Ledderose 2006).

Mutter / Kind-Bestattung

Da Neugeborene ähnliche Isotopenwerte aufweisen sollten wie deren Mutter (Fuller et al. 2006b; Herring et al. 1998), wurden die Werte der drei Individuen verglichen. Die Isotopenwerte der Frau (75: $\delta^{15}\text{N} = 10,48\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C} = -19,81\text{‰}$) und des Neugeborenen (74: $\delta^{15}\text{N} = 10,88\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C} = -19,76\text{‰}$) sind annähernd identisch. Dies lässt die Vermutung eines gleichzeitigen Todes, möglicherweise einer tödlich verlaufenden Geburt zu. Aber auch das

Kleinkind (73: $\delta^{15}\text{N} = 12,31\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C} = -20,00\text{‰}$) hat eine fast identische $\delta^{13}\text{C}$ -Signatur. Die deutlich erhöhten $\delta^{15}\text{N}$ -Werte belegen, dass dieses Kind gestillt wurde, möglicherweise von der angrenzend bestatteten Frau. Diese Übereinstimmung der Werte bestätigt gleichzeitig die Validität der Daten: ähnlicher Erhaltungsgrad des Kollagens bei gleichen Bodenbedingungen, ähnliche Umweltbedingung und Ernährung generieren ähnliche Isotopenwerte. Ob es sich bei dieser kleinen Bestattungsgruppe tatsächlich um eine Mutter mit ihren beiden Kindern handelt, könnte eine mtDNA-Analyse (Kurosaki 1993) bestätigen.

Nekrose des Humeruskopfes

Bei der morphologischen Untersuchung des Frauenskelettes zeigte sich eine Abnormität des linken Humerus' (Abb. 5.57). Es handelt sich hier vermutlich um eine Nekrose des Oberarmkopfes. Knochenauflagerungen als Reaktion auf eine Entzündung sind nicht erkennbar. Eine aseptische Nekrose des Humeruskopfes (*Morbus Hass*) ist ein seltenes Erkrankungsbild, deren Ursache meist eine Fraktur des proximalen Humerus ist (Gerber et al. 1998). Der Tod der Knochenzellen als Folge einer Minderdurchblutung des Humeruskopfes führt zum Absterben großer Knochenbezirke und zum Einbruch der Knochenstruktur. Es entsteht eine unregelmäßigen Kontur des Humeruskopfes, die Folge ist eine schmerzhafte Bewegungseinschränkung (Rössler et al. 2005; Schneider et al. 2008). Symptome treten als bewegungsabhängige Beschwerden auf, besonders bei Rotationen (Berchtold 2008) und bei deutlicher Destruktion des Humeruskopfes besteht eine erhebliche Bewegungseinschränkung (Peters 2004).

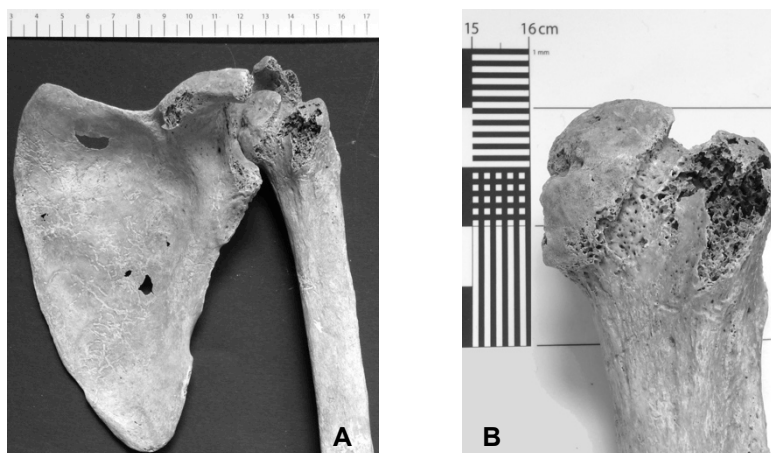


Abb. 5.57: Humerusnekrose.
(A) Humeruskopf im Vergleich mit der *Scapula*. (B) Kopf des linken Humerus. Der *caput humeris* des linken Oberarmes ist deutlich kleiner und verkümmert. Die Oberfläche erscheint porös.
(Fotos: Czermak)

Impressionsfraktur am Os laterale posterior links

Auf dem linken Scheitelbein der Frau befindet sich eine Einsenkung der Schädeldecke, mit einem Durchmesser von etwa 6 cm. Der Rand der Verletzung ist komplett geschlossen (Abb 5.58). Da hier keine Auflagerungen am Knochen sichtbar sind, erfolgte die Heilung vermutlich ohne entzündliche Prozesse (Lovell 1997).

Impressionsfrakturen kommen in archäologischen Skelettfunden relativ häufig vor. Sie werden von direkten, mit geringer Geschwindigkeit ausgeführten Schlägen mit einem stumpfen Gegenstand verursacht (Djuric et al. 2006; Lovell 1997). Bei kleinflächiger Gewalteinwirkung treten umschriebene Frakturzonen auf, oft mit terrassenartig eingebrochenen Randzonen (Berryman & Jones Haun 1996; Herrmann et al. 1990) (Abb. 5.58). Moderne forensische Arbeiten haben gezeigt, dass bei stumpfen Gewalteinwirkung die inneren Wunden meist größer sind als die äußeren (Powers 2005).

Auch wenn diese Läsion nicht zum Tod führte und komplett verheilte, so sind neurologische Konsequenzen wahrscheinlich. Nach derartigen Verletzungen kann es auch längere Zeit nach Verheilen der Schädelfraktur zu epileptischen Anfällen kommen (Jennet et al. 1974; Miller & Jennet 1968).

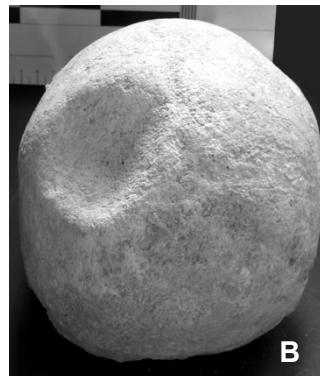


Abb. 5.58:
Impressionsfraktur am
linken posterioren Os
laterale, Durchmesser: ca.
6 cm. (A) Ansicht von lateral.
(B) Ansicht von posterior.
 Derartige Verletzungen
 entstehen durch stumpfe
 Gewalteinwirkung (z.B.
 Hammer oder Stock). Die
 Fraktur ist komplett und ohne
 Entzündungs-erscheinungen
 verheilt, die Schädeldecke
 wieder durchgehend
 geschlossen.
 (Fotos: Czermak)

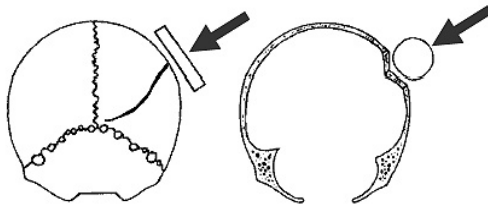


Abb. 5.59: Frakturschema der Schädelkalotte bei
Einwirken stumpfer Gewalt. (A) Einfache lineare
 Fraktur bei breiteren, flachen Gegenständen. **(B)**
 Impressionsfraktur bei schmalen, stumpfen
 Gegenständen. (Abbildung modifiziert nach Lovell 1997)

Diskussion

Bei dieser etwas abseits gelegenen Grabgruppe könnte es sich um eine so genannte „Hofgrablege“ handeln (Steuer 2004). Um 700 n. Chr. Finden sich im Bereich mancher Gehöfte kleine Bestattungsplätze, die aber Ausnahmefälle darstellen. Dort wurden über einen kurzen Zeitraum Familienmitglieder beigesetzt, die, möglicherweise um sich abzugrenzen, nicht mehr auf dem üblichen Reihengräberfeld bestattet wurden (Steuer 2004; Stork 2001).

Das Erscheinungsbild des Grabes weist aber auch auf eine mögliche „Sonderbestattung“ hin. Als Sonderbestattete gelten Individuen, die auf eine vom Üblichen abweichende Art der Erde übergeben wurden (Pauli 1978). Auffallende Körperlagen, wie eine Niederlegung auf dem Bauch oder die für diese Zeitstellung unüblichen Hockergräber, teilweise sogar mit Fesselungen und Abwehrsymbolen, weisen auf eine „Furcht vor der Wiederkehr des Toten“ hin und sind auch im völkerkundlichen Bereich über alle Zeitstufen vielfach belegt. Zu den „gefährlichen Toten“ zählten auch Wöchnerinnen oder im Kindbett verstorbene Frauen, Neugeborene und Menschen mit Missbildungen oder Krankheiten (Stülzebach 1998). Berichte über „herumgeisternde“ Tote finden sich allerdings kaum vor dem 9. Jahrhundert (Brather 2009). Die Frau wurde auf der rechten Seite liegend bestattet, mit Tierknochen im Hüftbereich, einem Tierzahn vor dem Gesicht und einem Stein am Hinterkopf. Auch das Kleinkind hatte Beigaben in Form von Steinen in Kopf- und Fußbereich, sowie Keramikreste am Fußende des Grabes (Abb. 5.56).

Möglicherweise waren die Verletzungen und die daraus folgende offensichtliche Behinderung dieser Frau der Grund dieser „Sonderbestattung“, zumal nach ihrer Schädelverletzung auch epileptische Anfälle wahrscheinlich waren (Jennet et al. 1974; Miller & Jennet 1968).

5.8 C/N-Isotopenanalyse zur Rekonstruktion der Ernährungsweise

Insgesamt konnten von 60% der insgesamt 299 Individuen verwendbare Isotopenwerte gemessen werden (siehe Tab. 5.20). Die Werte von jeweils etwa drei Viertel der Gesamtpopulation der Separatfriedhöfe waren verwendbar. Die auswertbaren Daten der Bestattungsplätze Großmehring B1 und B2 lagen nur bei einem Drittel, bei GrmB4 bei etwa der Hälfte. Daher wurden diese Daten in der Auswertung zusammengefasst („GrmB1B2B4“). Aufgrund der geringen Datenmenge (bei 2 von 10 Individuen konnte das Verhältnis der C/N-Isotope gemessen werden) erfolgte keine Auswertung des Separatfriedhofs Enkering.

Bei den Messwerten der Individuen aus Kelheim konnte hier aufgrund fehlender Angaben des C/N-Verhältnisses und der N%- und C%-Werte keine Qualitätskontrolle durchgeführt werden (Strott 2006). Daher flossen anhand der statistischen Bewertung als „Ausreißer“ definierte Werte (SPSS, Boxplot) nicht in die Auswertung mit ein.

Die Daten der verschiedenen Bestattungsplätze wurden ausgewertet und nach Alter, Geschlecht und Friedhofsklasse der bestatteten Individuen, sowohl *inter-* als auch *intra-sepulcræ* verglichen. Bei der statistischen Auswertung der Bestattungsplätze, der Friedhofsklassen und der Geschlechterverteilung wurden ausschließlich die Werte erwachsener Individuen verwendet. Da in den jeweils definierten Gruppen (z.B. Altersklasse, Friedhofsklasse etc.) die Individuenzahlen häufig zu gering oder die Daten nicht parametrisch waren, musste in den meisten Fällen ein Vergleich der zentralen Tendenzen verwendet werden. Da hier den Variablen nur Ränge zugeordnet werden können, also keine PostHoc-Tests möglich sind, wurde bei signifikanten Unterschieden zur zusätzlichen Überprüfung und um die genauen Unterschiede festzustellen auf einen Mittelwertvergleich (ANOVA/PostHoc) ausgewichen (Allgemein zur statistischen Auswertung siehe Methoden 4.6 und Anhang).

Individuenanzahl	Brm	Ett	GrmB3	GrmB1	GrmB2	GrmB4	GrmB1B2B4	Enk	Keh	gesamt
Bestattungen ges	45	39	56	19	45	36	100	10	49	299
vorhanden	39	36	56	17	44	33	94	7	47	279
Isotopenanalyse C/N:										
Kollagenextraktion	38	36	51	12	30	25	67	2	33	200
Qualitätskontrolle	33	31	42	7	16	19	42	1	.	181
%	73,3	79,5	75,0	36,8	35,6	52,8	42,0	10,0	(65,3)	60,5
Alter										
I1 / I2 (0-12)	4	4	8	1	3	5	9	-	5	30
J (13-20)	3	2	3	-	2	-	2	-	2	12
A (20-38)	19	13	17	3	6	5	14	1	15	78
M / S (>39)	2	10	14	1	3	8	12	-	8	46
Geschlecht										
Männer (juvenil+)	9	12	17	2	6	3	11	-	9	58
Frauen (juvenil+)	12	13	16	2	5	10	17	1	16	74

Tab. 5.20: Anzahl der Individuen, aus deren Knochen Kollagen extrahiert werden konnte und deren gemessene Isotopenwerte den Qualitätsstandards entsprechen. In den Spalten „Alter“ und „Geschlecht“ werden die Individuen angeführt, deren Isotopenwerte der Qualitätskontrolle entsprechen und deren Alter, bzw. Geschlecht bestimmt werden konnte (Originaldaten Kelheim: Strott 2006).

5.8.1 Qualitätskontrolle des Kollagens

Der Erhaltungsgrad des gemessenen Kollagens wurde anhand des prozentualen Anteils von Kohlenstoff und Stickstoff und des molaren C/N-Verhältnisses abgeschätzt (vgl. Methoden 4.5.1, nach Ambrose 1993; van Klinken 1999; Harbeck & Grupe 2009). Ein großer Teil der hier gemessenen C/N-Werte lag höher als von De Niro (1985) die angegebene Wertespanne von 2,9-3,6 für gut erhaltenes Kollagen. Die Daten wurden nach Harbeck & Grupe (2009) bis zu einem molaren C/N-Verhältnis von 4,1 verwendet. Auch die Durchschnittswerte lagen bei allen gemessenen Bestattungsplätzen generell etwas höher (Tab. 5.21). Die Ergebnisse befanden sich sowohl für C%, als auch für N% dieser Proben innerhalb der von Harbeck & Grupe (2009) angegebenen Wertespanne (Originaldaten siehe Anhang).

	Brm	Ett	GrmB3	GrmB1B2B4
Mittelwert C/N	3,21	3,78	3,68	3,63
Stabw	1,42	1,30	1,07	1,76

Tab. 5.21: Mittelwert und Standardabweichung des molaren C/N-Verhältnisses der gemessenen Kollagenproben.

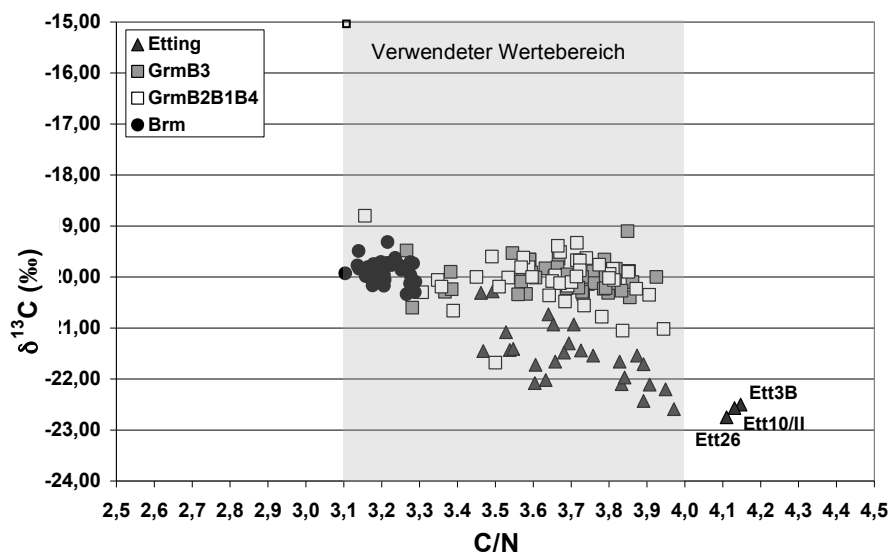


Abb. 5.60: Vergleich der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte mit dem molaren C/N-Verhältnis. Der hier verwendete C/N-Wertebereich für den Erhaltungsgrad bzw. Qualitätsstandard des Kollagens liegt bei 3,1-4,1 (siehe Methoden 4.5.1). Wertebereich nach Harbeck & Grupe (2009). Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Ettinger Population liegen deutlich niedriger als die der anderen Populationen, die C/N-Werte unterscheiden sich aber nicht von denen der Großmehninger Bevölkerung.

Im Rahmen der Diplomarbeit (Czermak 2003) wurde das aus dem Knochenmaterial der Individuen der Separatgrablege Etting extrahierte Kollagen zusätzlich einer Aminosäureanalyse (ASA) unterzogen, um Erhaltungsgrad und Qualität des Kollagens zu überprüfen (Originaldaten siehe Anhang). Durch diagenetische Veränderungen kann sich die Aminosäurezusammensetzung des Kollagens ändern (Dobberstein et al. 2009; Harbeck & Grupe 2009). Der Vergleich der Mittelwerte des Ettinger Kollektivs mit den Werten des rezenten Kollagens zeigt, dass das vorliegende Kollagen nicht signifikant diagenetisch verändert war (Czermak 2003, Diagramm siehe Anhang). Der Erhaltungszustand des Knochenmatrixkollagens der meisten Individuen der Ettinger Bevölkerung lässt daher eine Verwendung der C/N-Isotopendaten zu. Keine der Einzelproben erfüllt weniger als fünf der Qualitätskriterien (Vergleichswerte, Qualitätskontrolle und Einzelergebnisse der Aminosäureanalyse: siehe Anhang). Sowohl aufgrund der C%- und N%-Werte, als auch aufgrund des molaren C/N-Verhältnisses bei den in die Auswertung aufgenommenen Daten können Kontaminationen weitgehend ausgeschlossen werden. Auch die Ergebnisse der Aminosäureanalyse zeigen zwar kein besonders gut erhaltenes Kollagen bei den Proben aus Etting (Czermak 2003, Harbeck & Grupe 2009), die Ergebnisse sind aber durchaus verwendbar.

5.8.2 Allgemeine Auswertung

Zunächst erfolgte die allgemeine Auswertung der erhobenen Rohdaten um mögliche Zusammenhänge oder Unterschiede festzustellen und darauf genauer einzugehen.

Zwischen $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{15}\text{N}$ -Werten besteht generell eine signifikant positive Korrelation ($r = 0,25^{**}$, $p = 0,001$; SpRho), je höher $\delta^{15}\text{N}$, desto positiver erscheint auch $\delta^{13}\text{C}$. Die einzelnen Bestattungsplätze separat betrachtet ergaben in Großmehring (GrmB3: $r = 0,517^{**}$, GrmB1B2B4: $r = 0,481^{**}$) und Etting ($r = 0,376^{*}$) ebenfalls Korrelationen von $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{15}\text{N}$ -Werten, in Bruckmühl und Kelheim korrelieren die Werte nicht (SpRho).

Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der erwachsenen Individuen aller untersuchten Friedhöfe haben einen Durchschnittswert von 9,9 ‰ ($\delta^{15}\text{N}$ Wertespanne von $\approx 8,5$ bis 11,5 ‰). Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zeigen hingegen ein relativ weites Wertespektrum ($\delta^{13}\text{C} \approx -19,5$ bis $-22,75$ ‰) (Abb. 5.61), wobei die Daten der Bestattungsplätze Bruckmühl, Großmehring und Kelheim in ähnlichen Wertebereichen liegen ($\delta^{13}\text{C} \approx -19,5$ bis $-21,00$ ‰). Die Ergebnisse der Individuen aus Etting sind dagegen deutlich negativer und streuen stärker ($\delta^{13}\text{C} \approx -20,3$ bis $-22,75$ ‰).

Die Isotopenwerte der untersuchten Populationen befinden sich im Übergangsbereich zwischen den Werten herbivorer und karnivorer Lebewesen (Abb. 5.62). Dies entspricht der üblichen omnivoren Ernährung des Menschen.

Alle hier gemessenen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte liegen innerhalb der im süddeutschen Raum bisher gemessenen Isotopensignatur (Bocherens et al. 1997a; Bösl et al. 2006; Dürrwächter et al. 2006; Hakenbeck et al. 2010; Lösch 2009; Strott 2006). Lediglich die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Individuen aus Etting zeigen deutlich niedrigere Werte. Der unmittelbare Vergleich der hier gemessenen Werte mit den $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Werten von Bestattungsplätzen in geographischer Nähe (Altenerding und Straubing) (Hakenbeck et al. 2010) zeigt, dass sich die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte alle ungefähr in der gleichen Wertespanne (ca. 8-11,5 ‰) befinden (Abb. 5.63). Die Spanne der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte liegt bei einem Hauptteil der Individuen zwischen ca. -20,6 und -18,6. Die $\delta^{13}\text{C}$ -Isotopen des größten Teils der Bevölkerung Etting und einiger Individuen aus Altenerding liegen jedoch außerhalb dieser Spanne. Einige Individuen aus Altenerding weisen deutlich höhere $\delta^{13}\text{C}$ -Werte auf, was auf den Verzehr von C4-Pflanzen schließen lässt (Hakenbeck 2010). Die Werte annähernd der gesamten Ettinger Population sind jedoch deutlich negativer. Der Verzehr von Seefisch kann für weniger negative $\delta^{13}\text{C}$ -Werte ursächlich sein (z.B. Richards & Hedges 1999; Doppler 2010). Dies kann jedoch aufgrund der geographischen Lage weitgehend ausgeschlossen werden. Die vergleichsweise niedrigen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Ettinger Population werden im Folgenden genauer ausgewertet (siehe unten, $\delta^{13}\text{C}$ -Werte).

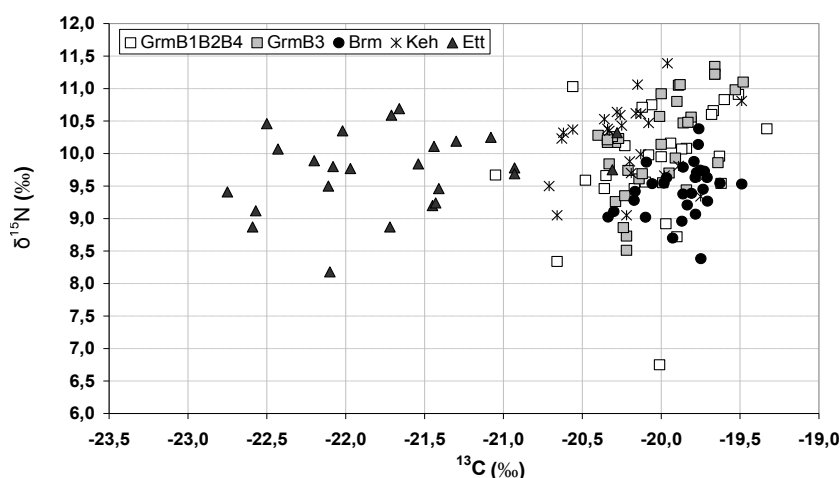


Abb. 5.61: Graphische Darstellung der $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der erwachsenen Individuen aus den untersuchten, bzw. ausgewerteten Gräberfeldern. (Originaldaten Kelheim: Strott 2006)

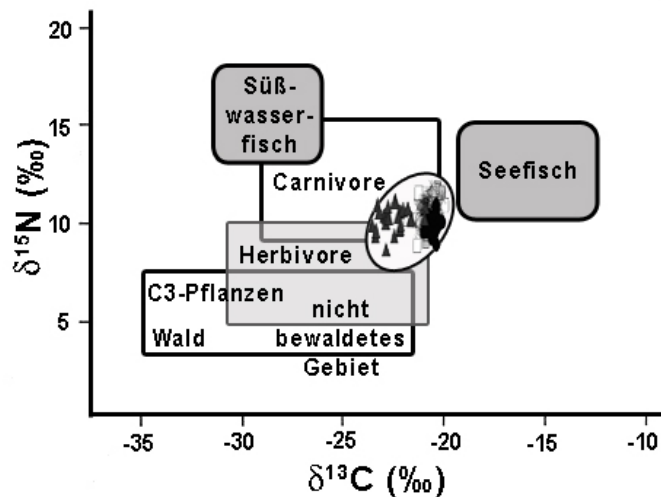


Abb. 5.62: Schematische Zusammenfassung der $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Hauptnahrungsquellen in Europa und der gewonnenen Daten aus der Isotopenanalyse (nach Ambrose 1993; Bocherens et al. 1997). Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der untersuchten Populationen entsprechen weitgehend einer omnivoren Ernährung. (Abbildung modifiziert nach Bocherens 1997, Originaldaten Kelheim: Strott 2006).

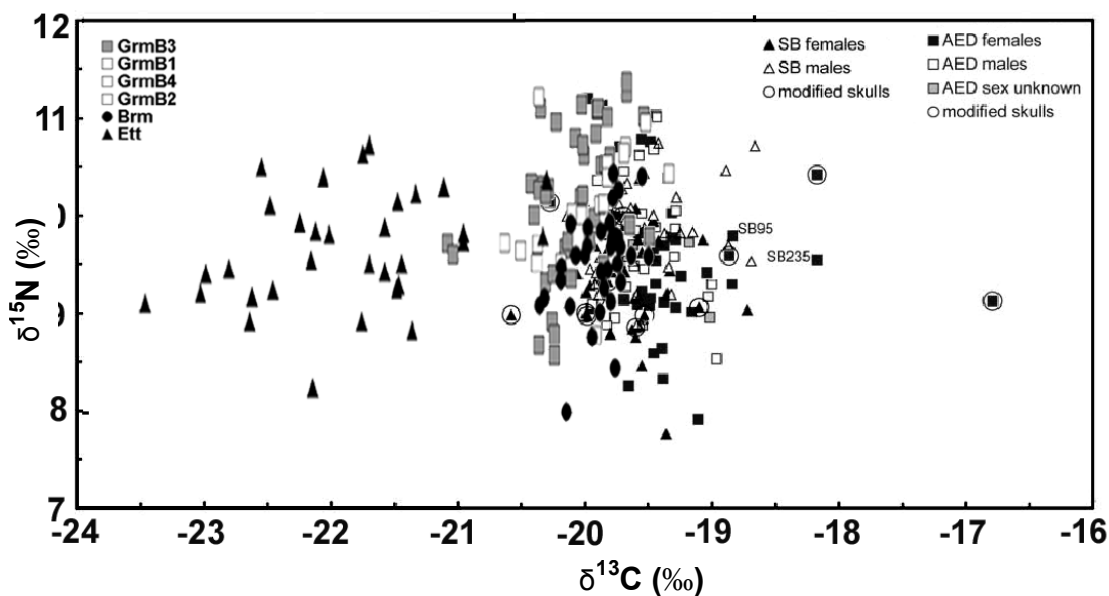


Abb. 5.63: Vergleich der gemessenen Werte aus Bruckmühl, Etting und Großmehring mit Daten aus frühmittelalterlichen Gräberfeldern in geographischer Nähe (Altenerding und Straubing). (Originaldaten Hakenbeck 2010, Abbildung modifiziert nach Hakenbeck 2010).

Tierknochen

Auf den Bestattungsplätzen wurden die Überreste von insgesamt vierzehn Tieren geborgen (Tab. 5.22). Bei einzelnen Bestattungen der Reihengräber des Friedhofs Großmehring wurden Knochen von 10 Tieren gefunden, darunter 3 Rinder, 2 Pferde, 2 Schafe / Ziegen³⁶ und 2 Schweine. Auf dem Friedhof Etting konnte ein Rinderknochen nachgewiesen werden. Im separaten Teil des Friedhofs Großmehring (B3) befanden sich bei Grab 51 in einem Tongefäß die Überreste einer Katze³⁷ und auf dem Friedhof Großmehring wurde in unmittelbarer Nähe von Grab 11 ein Hund in einem eigenen Grab (35) bestattet. In Bruckmühl wurden keine Tierknochen gefunden (Rohdaten siehe Anhang).

³⁶ Da Schaf- und Ziegenknochen nicht eindeutig unterschieden werden konnten, werden sie hier zusammenfassend unter "Schaf / Ziege" ausgewertet (Boessneck et al. 1964)

³⁷ Die Überreste des Tongefäßes und der Katze befanden sich bei Skeletteilen aus Grab 51 und wurden beim Waschen der Skelette entdeckt. Auf dem Übersichtsplan wird den Bestattungen 51 und 60 eine gemeinsame Grabgrube zugewiesen, wobei Grab 51 über Grab 60 lag (Ledderose 2006). Eine genaue Einzelzeichnung des Grabes 51 stand nicht zur Verfügung, daher konnte die Katze keinem der Gräber eindeutig zugewiesen werden.

Die Isotopenwerte von Tieren und Menschen aus Großmehring (Abb. 5.64) zeigen normale Werteverteilungen eines Nahrungsnetzes mit Herbivoren, Omnivoren und Karnivoren. Es besteht eine direkte lineare Korrelation von $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ -Werten ($r=0,751^{**}$; Sp-Rho). Je höher die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte, desto positiver die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte. Bei $\delta^{13}\text{C}$ kommt es zu einer leichten Anreicherung im Knochenkollagen zwischen den Trophiestufen (Bocherens & Drucker 2003; Dürrwächter et al. 2006). Die mögliche Anreicherung zwischen den Trophiestufen wird mit Werten zwischen 0-2 ‰ für $\delta^{13}\text{C}$ und 3-5 ‰ für $\delta^{15}\text{N}$ angegeben, wobei unter Experimentalbedingungen je nach Futterzusammensetzung eine Anreicherung zwischen Nahrung und Kollagen von 3,7-6,0 ‰ für $\delta^{13}\text{C}$ und von 1,7-6,9 ‰ für $\delta^{15}\text{N}$ erfolgen kann (Bocherens & Drucker 2003). In einem rein terrestrischen System kann daher eine leicht positive Korrelation zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ -Werten erwartet werden, wenn die zwei Hauptproteinquellen (mit eindeutigen Isotopien) Pflanzen und Herbivoren sind (Schulting et al. 2008). Kombiniert mit dem bekannten Trophiestufeneffekt bei $\delta^{15}\text{N}$ zwischen Pflanzen und Herbivoren kann dies zu einer signifikant positiven Korrelation führen (Schulting et al. 2008).

Es besteht hier eine lineare Korrelation der untersuchten Tierarten bei den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten ($r=0,688^{**}$; Sp-Rho) gemäß ihrer (angenommenen) Stellung in der Nahrungskette, also je karnivorer, desto positiver. Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Rinder weichen jedoch von diesem Schema ab. Sie haben um bis zu 1 ‰ höhere Werte als andere herbivore Tiere (Abb. 5.67).

Bei den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten zeigt sich eine deutlich lineare Korrelation der untersuchten Tierarten ($r=0,862^{**}$; Sp-Rho), gemäß ihrer Nahrung (Abb. 5.66). Je karnivorer die Ernährung, desto höher die Werte. Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Schweine liegen zwischen den Werten der Menschen und denen der reinen Pflanzenfresser Rind und Pferd, mit einem Abstand von jeweils etwa 2 ‰. Dies entspricht in etwa einer halben Trophiestufe. Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der strikt herbivoren Tiere liegen mit durchschnittlich 6 ‰ im normalen Bereich der für Herbivore möglichen Anreicherung zwischen der Nahrung und Kollagen (5-7 ‰) (Bocherens & Drucker 2003). Die Katze hat, einen aufgrund ihrer rein karnivoren Ernährung erwartungsgemäßen, sehr hohen $\delta^{15}\text{N}$ -Wert (10,51 ‰). Im Vergleich dazu liegen die Werte der Menschen auch auf einem relativ hohen $\delta^{15}\text{N}$ Niveau (Abb. 5.64 und 5.66). Dies bestätigt die Vermutung, dass die Nahrung der Menschen zu einem sehr großen Anteil aus tierischem Protein bestand.

Eine Rekonstruktion der Ernährung anhand der stabilen Isotope kann nur erfolgen, wenn grundlegende Informationen über das zeitgenössische Nahrungsnetz vorhanden sind (Grupe & Turban-Just 1998). Um also Aussagen über die spezifische Ernährung der Menschen treffen zu können müssen ihre Isotopendaten mit den Werten von Tieren verglichen werden. Idealerweise werden hierfür die Daten von Tieren aus zugehörigen Siedlungen oder von Speisebeigaben³⁸ aus den Gräbern verwendet. Anhand von Modellen (sogenannte „mixing-models“) ist es bei ausreichendem direktem Vergleichsmaterial möglich, die Wahrscheinlichkeit, mit der eine potentielle Nahrungsquelle konsumiert wurde zu berechnen (z.B. Phillips & Koch 2002; Phillips et al. 2005; Doppler et al. 2010). Da Anzahl und Auswahl der Tiere auf den untersuchten Gräberfeldern sehr gering oder nicht vorhanden waren und keine zugehörigen Siedlungen ergraben wurden, bzw. das Material zum Zeitpunkt der Auswertung noch nicht zur Verfügung stand (Etting), wurden keine statistischen Berechnungen bezüglich potentieller Nahrungsanteile durchgeführt.

Rinder

Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Rinder liegen in Großmehring bei ca. -21 ‰ (Abb. 5.67), wobei sie vergleichsweise weniger negativ sind (siehe Abb. 5.68). Die Werte der anderen Herbivoren (Pferd, Schaf / Ziege) sind niedriger, etwa bei ca. -22 ‰. Unter Berücksichtigung des Baldachineffektes (Ambrose 1987; France 1996) könnten die Rinder, deren Werte negativer sind im Wald geweidet worden sein (Ehleringer et al. 1986; Mulkey 1986; Winner et al. 2004), während die Rinder mit höheren Werten möglicherweise in einem unbewaldeten Gebiet weideten oder im Stall gehalten wurden. Nach der Völkerwanderungszeit wurden

³⁸ Die im Heidentum tief verwurzelte Sitte der Speisemitgabe für das Jenseits ist hier nur bei den Großmehringener Gräbern eindeutig nachweisbar. Im bayerischen Donaauraum und südlich davon sind in Gefäßen aufbewahrte Trank- und Speisebeigaben in der gesamten Merowingerzeit selten. Auf Gräberfeldern in den angrenzenden Regionen kommen diese aber durchaus in größerer Anzahl vor (Ledderose 2006).

Waldflächen zum Zwecke der Besiedelung intensiv gerodet und die Randgebiete der Wälder als Waldweide genutzt. Zwar wurden die Felder während der Brachezeit vom Vieh beweidet („Brachweide“) um nach der Ernte das Unkraut zu bekämpfen (Rösener 1985), aber neben Schweinen (Eichelmast), Schafen und Ziegen wurde auch Großvieh wie Rinder zum Weiden in den Wald getrieben (Borst 1983; Küster 1988; Rösener 1985).

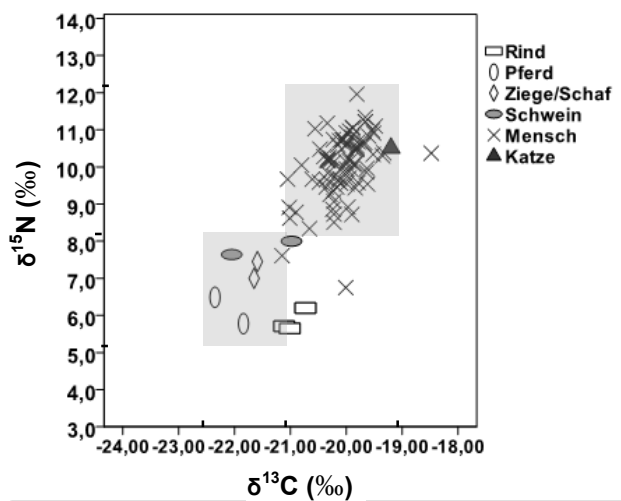


Abb. 5.64: $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ -Isotopenwerte der Menschen und Tiere aus Großmehring. Die Isotopenwerte der Tiere und Menschen aus Großmehring zeigen normale Wertevertellungen eines Nahrungsnetzes mit Herbivoren, Omnivoren und Karnivoren. Es besteht eine direkte lineare Korrelation von $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ -Werten ($r=0,751^{**}$; Sp-Rho). Je höher die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte, desto positiver die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte. Bei $\delta^{13}\text{C}$ entsteht eine leichte Verschiebung zwischen den Trophiestufen mit einer Anreicherung von ca. 1,0 - 1,05 ‰. Der Trophiestufeneffekt der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte liegt bei etwa 2-3 ‰. Die Werte der Menschen liegen bei $\delta^{15}\text{N}$ zwischen 8 ‰ und 12 ‰, bei $\delta^{13}\text{C}$ zwischen -21 ‰ und -19 ‰. Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Pferde und Rinder sind ähnlich, entsprechend den Werten von Herbivoren, die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte unterscheiden sich um ca. 1 ‰.

Anzahl	Brm	Ett	Grm
Mensch	31	30	86
Rind	-	1	6
Pferd	-	-	2
Schaf / Ziege	-	-	2
Schwein	-	-	2
Katze	-	-	1
Hund	-	1	-
uhn	-	-	-
Hirsch/Reh	-	-	-

Tab. 5.22: Anzahl und Auswahl der von Tieren verwendeten Isotopendaten (Rohdaten siehe Anhang).

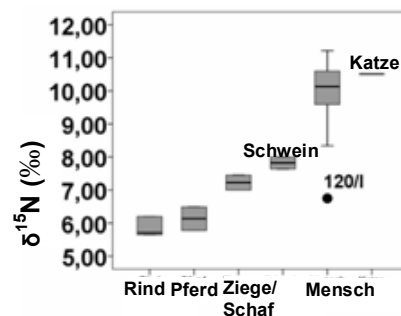


Abb. 5.66: $\delta^{15}\text{N}$ Isotopenwerte der Menschen und Tiere aus Großmehring (Boxplot). Die Werte steigen gemäß der Trophiestufe der Individuen an. Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Menschen liegen deutlich über denen herbivorer Tiere. (Rind: n=3, Pferd: n=2, Schaf / Ziege: n=2, Schwein: n=2, Menschen: n=84).

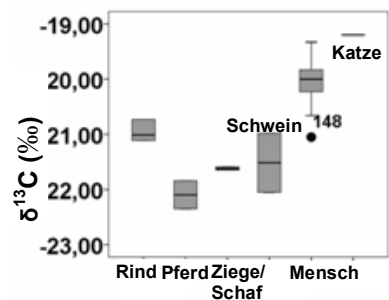


Abb. 5.67: $\delta^{13}\text{C}$ -Isotopenwerte der Menschen und Tiere aus Großmehring (Boxplot). Die Werte zeigen die pro Trophiestufe erwartete Anreicherung von ca. 1 ‰. Im Verhältnis zu den anderen Herbivoren wie Pferden oder Schafen / Ziegen, sind die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Rinder jedoch deutlich erhöht (ca. 1 ‰). (Rind: n=3, Pferd: n=2, Schaf / Ziege: n=2, Schwein: n=2, Menschen: n=84).

Hund & Katze

Der $\delta^{15}\text{N}$ -Wert des Hundes liegt niedriger als der Wert der Katze (Abb. 5.64). Hunde sind in der Regel Allesfresser, während die Katze rein karnivor ist. Diese Werte fügen sich in das Gesamtbild mit den Menschen ein. Die Hunde liegen etwas unterhalb den Werten der Menschen, könnten sich also von deren Tischabfall ernährt haben (Schulting 2002). Der $\delta^{15}\text{N}$ -Wert des Hundes auf dem Gräberfeld Etting gleicht den Werten der Menschen (Abb. 5.68, Etting). Dieser Hund wurde inmitten der Menschen bestattet, er befand sich sogar in einem eigenen Grab (vgl. Abb. 3.5, Gräberfeldplan Etting). Er war etwa 18 Monate alt und mit einer Widerristhöhe von ca. 57 cm (Manhart 2002) noch nicht vollständig ausgewachsen (Harcourt 1974). Die Grabgrube des Hundes grenzt an das Grab eines ca. 15 Jahre alten Mädchens (Grab 11). Eine zeitgleiche Bestattung konnte nicht nachgewiesen werden, die N-

Isotopenwerte des Hundes (9,41 ‰) sind aber mit denen des Mädchens (9,69 ‰) annähernd identisch, was wiederum ein Hinweis auf besondere „Nähe“ sein könnte.

Der Hund gilt als ältestes Haustier des Menschen, domestiziert etwa 13 000 v. Chr. (Benecke 1994). Bereits in vorgeschichtlicher Zeit gab es eine große Variabilität innerhalb der Unterart „Haushunde“. Antike Autoren wie Homer oder Vergil unterschieden Jagd-, Wach- und Hirtenhunde, beschrieben deren Verhalten, ihre Treue und Intelligenz³⁹. Im frühen Mittelalter wurden Hunde für verschiedene Aufgaben gezüchtet. Die *Lex baiuvariorum* geht auf verschiedene Hunderassen wie Schäferhund (*canis pastoralis*), Hofhund (*houauuart*), Spürhund (*spurihunt*), Jagdhund (...*quod suuarzuuuld persequitur*) etc. ein. Die Hunde wurden aber nicht nach ihrem Erscheinungsbild sondern nach ihrer Aufgabe unterschieden (von den Driesch & Boessneck 1988). Da dieser Hund erst 18 Monate alt war, das heißt noch nicht erwachsen, hatte er vermutlich noch keine „Aufgabe“ wie Jagd- oder Wachhund. Zweifelsohne hatte dieser Hund aber eine besondere „Bedeutung“ da er als „Gefährte“ mitten unter den Menschen bestattet wurde.

Der $\delta^{15}\text{N}$ -Wert der Katze befindet sich im oberen Bereich der Werte der Menschen (Abb. 5.66). Da sich Katzen rein karnivor ernähren, kann dieser Wert einerseits Validität und Zuverlässigkeit der übrigen gemessenen Werte belegen, andererseits zeigt es auch, dass sich die hier untersuchten Menschen zu einem sehr großen Teil von tierischen Proteinen (Fleisch, Eier, Milch und Milchprodukte) ernährt haben mussten. Die Überreste der Katze befanden sich in einem Tongefäß und wurden bei den Gräbern zweier etwa 60 jährigen Frauen (GrmB3 51 und 60) gefunden. Wildkatzen leben seit der Latènezeit in Mitteleuropa. Die Hauskatze gelangte vermutlich mit den Römern nach Mitteleuropa und gehört spätestens seit der Mitte des ersten Jahrtausends n. Chr. zum festen Bestandteil der mitteleuropäischen Haustierfauna (Benecke 1994). In der nordischen Mythologie waren Wildkatzen mit der germanischen Göttin Freya, der Göttin der Fruchtbarkeit, der Liebe und des Glücks assoziiert, was auch ursächlich für deren negative Belegung im christlichen Glauben und ihre feste Verankerung im Aberglauben ist (Meier 2008). In der *Lex Baiuvariorum* werden Katzen als Haustiere dokumentiert (von den Driesch & Boessneck 1988). Es werden zwar einige Katzenfunde beschrieben (Smith 1998), ein vergleichbarer Befund konnte aber leider nicht gefunden werden. Die Fundsituation hier lässt jedoch eine besondere Bedeutung dieser in einem Tongefäß aufbewahrten Überreste einer Katze vermuten.

Jungtiere

Bei Betrachtung der gemessenen $\delta^{15}\text{N}$ -Werte einzelner herbivorer Tiere innerhalb einer Tierart zeigt sich, dass die Werte einiger Tiere im Vergleich zu den anderen 1-2 ‰ höher liegen (Abb. 5.68). Besonders auffällig sind die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte zweier Rinder und Schweine des Gräberfeldes Kelheim, die annähernd eine Trophiestufe über denen der übrigen Rinder des Gräberfeldes liegen. Es könnte sich bei diesen Tieren um Jungtiere handeln (Hedges & Reynard 2007). Leider fehlt eine Altersbestimmung der Tierknochen sowie die C%- und N%-Werte der Rinder und Schweine aus Kelheim als Qualitätskontrolle der Proben.

Vergleich der Isotopenwerte in Raum und Zeit

Um eventuelle Unterschiede oder Veränderungen zwischen den Isotopenwerten von Menschen und Tieren in Raum und Zeit festzustellen, wurden die Daten der hier untersuchten Bestattungsplätze mit denen von Bestattungsplätzen, bzw. Siedlungsfunden aus anderen geologischen und klimatischen Gebieten (Volders, Tirol, 6.-7. Jhd. n. Chr., McGlynn 2007; Berinsfield, Südengland, ca. 5.-7. Jhd n. Chr., Privat et al. 2002) und einer anderen Zeitstellung (Pestenacker, spätneolithische Siedlung, Bösl 2006)

Es zeigt sich, dass sich die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Menschen weitgehend innerhalb der gleichen Wertespanne von etwa 8-12 ‰ befinden. Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte liegen (bis auf Etting, genauere Diskussion siehe unten) ebenfalls innerhalb eines ähnlichen Wertebereichs von ca. -21 bis -19 ‰. Die Unterschiede innerhalb einer Population erscheinen jeweils gering (Abb. 5.68).

³⁹ Homer: Odyssee, Buch XVII, 291-327; Vergil: *Buccolica* (*Hirtengedichte*), ec loge 3,67.

Weder geologische noch klimatische Bedingungen, noch verschiedene Zeitstellungen scheinen signifikante Unterschiede sowohl bei den $\delta^{15}\text{N}$ - als auch bei den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten zu generieren.

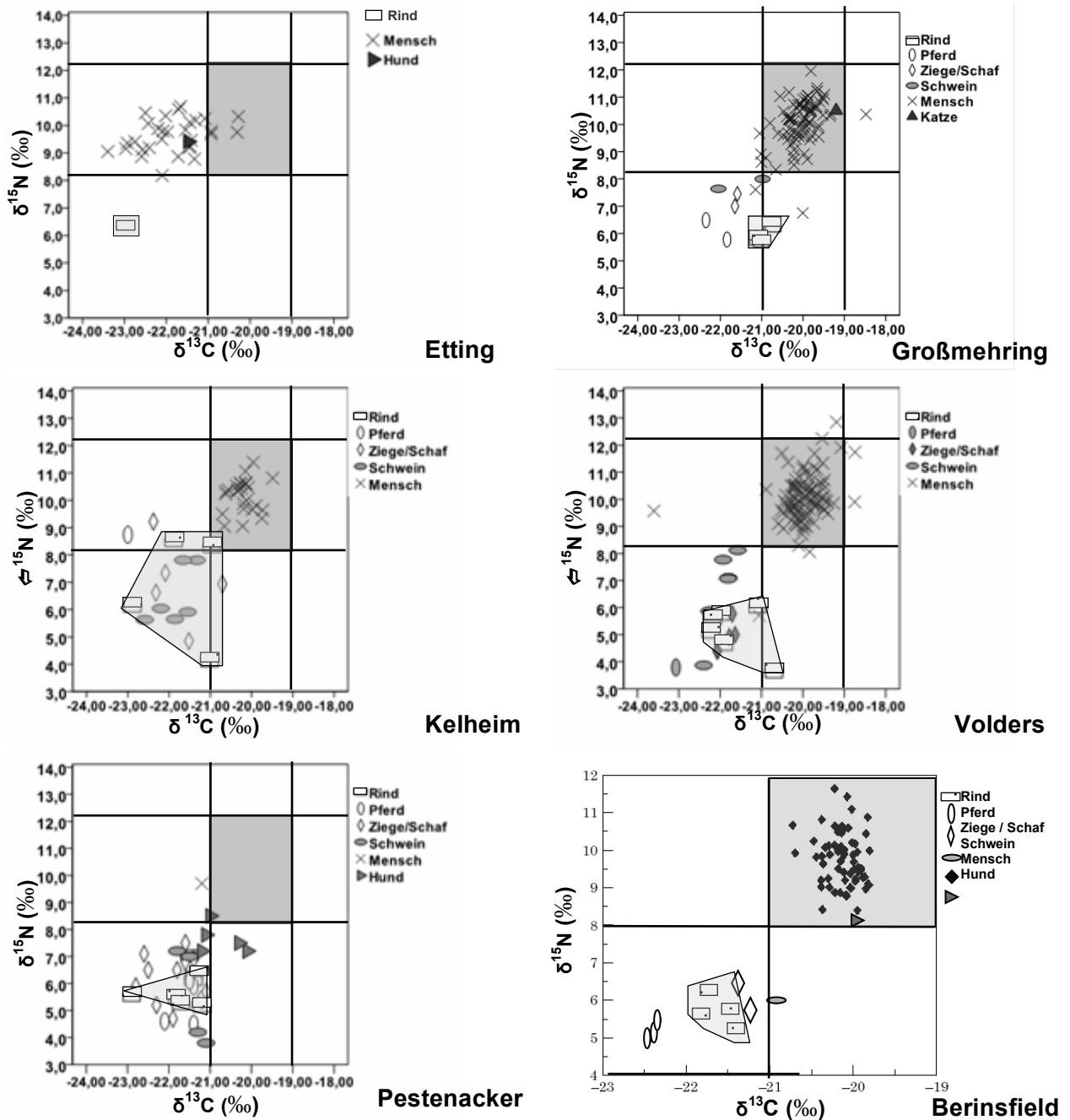


Abb. 5.68: Einzelübersicht der $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ -Isotopenwerte der Menschen und Tiere auf den untersuchten Bestattungsplätzen und Vergleichsplätzen. Die Isotopenwerte der Tiere und Menschen zeigen auf allen Bestattungsplätzen ähnliche normale Werteverteilungen eines Nahrungsnetzes mit Herbivoren, Omnivoren und Karnivoren. Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Rinder auf allen hier dargestellten Gräberfeldern liegen entweder bei -21 ‰ oder -23 ‰. Die Werte der anderen Herbivoren (Pferd, Schaf / Ziege) liegen hier eher im Bereich zwischen ca. -23 ‰ und -22 ‰ (grau hinterlegte Rechtecke: Wertebereich der Menschen, graue Polygone: Wertebereich der Rinder). (Originaldaten Kelheim: Strott 2006, Volders: McGlynn 2007, Pestenacker: Bösl 2006, Berinsfield: Privat et al. 2002).

Nutztierhaltung und Ernährung im Mittelalter

Haustiere waren in der Regel Nutztiere. Sie wurden als Arbeitstiere eingesetzt (Pferde, Rinder), lieferten Nahrung (Milch, Eier, Fleisch) und Rohstoffe (Wolle, Federn, Leder, Horn). Die Tiere wurden in der Regel in Ställen („Wohnställe“) oder Gehegen gehalten und gefüttert oder geweidet (Benecke 1994). Als Haustiere werden in der *Lex Baiuvariorum* Pferd, Rind, Schwein, Schaf, Ziege, Huhn, Gans und Ente genannt, aber auch Hund, Katze und Biene. Diese Haustiere waren aber im Vergleich zu den heutigen Haustierrassen klein, da nach der Römerzeit kein züchterisches Interesse mehr bestand (Kokabi 2001; von den Driesch & Boessneck 1988).

Pferde wurden als Arbeits- und Reittiere verwendet, für den Verzehr von Pferdefleisch gibt es nur vage Hinweise (von den Driesch & Boessneck 1988). **Ziegen** wurden als Milchlieferanten gehalten, **Schafe** hauptsächlich zur Wollgewinnung (Schubert 2006). Die Rolle der kleinen Wiederkäuer als Fleischlieferanten wird jedoch als drittrangig eingestuft. Die Geflügelhaltung, vor allem die Hühnerhaltung, die bereits von den Römern in Bayern intensiviert wurde (von den Driesch & Boessneck 1988) nimmt ab dem frühen Mittelalter zu. **Hühner** wurden vorwiegend als Eier-, weniger als Fleischlieferant gehalten (Benecke 1994). Im Mittelalter war das einfach zu haltende **Schwein** bevorzugter Fleischlieferant. So nahm die Schweinehaltung in weiten Teilen Mitteleuropas ab dem Frühmittelalter an Umfang deutlich zu. Schweine sind relativ einfach zu halten und zeichnen sich durch einen schnellen Umsatz der aufgenommenen Nahrung in Fett und Fleisch aus. Mit der zunehmenden Schweinehaltung beginnt auch ein allgemeines Bevölkerungswachstum ab der 2. Hälfte des 7. Jahrhunderts (Benecke 1994). Ein weiteres wichtiges Wirtschaftstier war das **Rind** (von den Driesch & Boessneck 1988). Rindfleisch wurde aber ab dem frühen Mittelalter im Vergleich zu Schweinefleisch deutlich weniger gegessen. Im Vergleich zum Schwein war ihre Aufzucht arbeitsintensiver und für die Haltung waren entsprechend große Weiden notwendig. Außerdem waren Ochsen und Kühe als Zugtiere und Milcherzeuger wichtiger denn als Fleischlieferanten.

Auch **Süßwasserfische** standen im Mittelalter auf dem Speiseplan. Zahlreiche Hinweise auf Auseinandersetzungen über Fischereirechte an Wasserläufen belegen dies (Schubert 2006). Die wichtigsten Fische waren karpfenartigen Fische (*Cyprinidae*), Hecht (*Esox lucius*) und Zander (*Sander lucioperca*). Um 1040 werden im "Ruodlieb"⁴⁰ bis zu 19 verschiedene Teichfische aufgezählt. Von Flussfischen wurden besonders Aal (*Anguilla anguilla*), Barsch (*Perca fluviatilis*) und Forelle (*Salmo trutta*) geschätzt. Eine umfangreiche Teichwirtschaft wurde zwar bereits während der Römerzeit praktiziert, kam jedoch in der Zeit der Völkerwanderung weitgehend zum Erliegen und wurde erst im Hochmittelalter wieder intensiv genutzt (Fagan 2007). Demnach ist im Frühmittelalter nicht von einer Teichfischhaltung auszugehen.

Honig war neben der natürlichen Fruchtsüße von Obst das wichtigste mittelalterliche Süßungsmittel. Die Bienenzucht lieferte neben Honig auch Bienenwachs als wichtiges Beiprodukt. Bereits seit der Steinzeit werden **Bienen** vom Menschen wegen ihrer Produkte, aber auch als Blütenbestäuber vieler Nutzpflanzen genutzt (Benecke 1994). In der *Lex salica* werden bereits um 500 n. Chr. gesetzliche Regelungen für die Imkerei genannt und eine Urkunde des Herzogs Odilo von Bayern belegt um 700 n. Chr. erstmals schriftlich die Waldbienenzucht („*Zeidlerei*“) (Crane 2000).

Ackerbau war ein wichtiger Teil der Existenzgrundlage. Die Nahrung wurde in der Regel von den einzelnen Höfen selbst erzeugt, wobei Vielfalt einer Risikominderung bei Missernten diene. Auf den Feldern wurden vor allem Dinkel, aber auch Gerste, Hafer, Einkorn, Weizen und Roggen angebaut (Rösch 2001). Die römische Gartenkultur blieb auch im Mittelalter erhalten. In den Gärten wurde Gemüse wie Kraut, Zwiebeln und Lauch angebaut, aber auch Hülsenfrüchte wie Bohnen, Erbsen und Linsen gezogen, ebenso zahlreiche Küchenkräuter. In Obstgärten wurden Pflaumen, Äpfel, Birnen, Zwetschgen und Quitten geerntet. Auch Hanf, Hopfen und Weintrauben gehörten zu den gängigen Kulturpflanzen. Zum Würzen der Speisen wurden zahlreiche Gartenkräuter gepflanzt (Behre 1985; Brunner 1988; Küster 1988; Rösch 2001; van Winter 1985). Ein Problem stellten Lagerung und Konservierung der

⁴⁰ *Ruodlieb* ist ein bruchstückhaft überliefertes lateinisches Versepos das etwa Mitte des 11. Jahrhunderts vermutlich von einem Tegernseer Mönch verfasst wurde.

Lebensmittel dar. Nur wenige Nahrungsmittel wie Getreide, Kohl, Rüben und einige Apfelsorten konnten gelagert werden. Demnach gab die Natur den Rhythmus, in dem es Fleisch, Obst und Gemüse gab, vor. Schlachtzeit war üblicherweise im Herbst, da es meist nicht möglich war den gesamten Viehbestand über den Winter zu bringen. Das Fleisch wurde getrocknet, eingesalzen oder geräuchert. Auch die Käserei, eine Form der Haltbarmachung von Milch, war den Bajuwaren noch aus Römerzeiten bekannt (Behre 1985; Brunner 1988; Küster 1988; Rösch 2001).

Zusammenfassend ist davon auszugehen, dass die Ernährung im frühen Mittelalter aus einer Mischdiät aus pflanzlicher und tierischer Kost bestand. Es wurden neben Getreide, Feldfrüchten und Obst auch teilweise größere Anteile an Eiern, Milch, bzw. Milchprodukten und auch Fleisch verzehrt (Wahl 2001). Je kürzer allerdings die Nahrungskette, desto effizienter, da die Energie, die jeder Ebene zur Verfügung steht exponentiell abnimmt und pro Trophiestufe etwa 90 % Energieverlust entstehen (Campbell 1997). Am günstigsten wäre demnach der Verzehr von Feldfrüchten, da hier sowohl der geringste Energie- als auch Kostenaufwand bei der Nahrungsmittelproduktion entsteht. Den Energieverlust und die höheren Kosten einer fleischreichen Nahrung muss man sich leisten können. Daher ist anzunehmen, dass sich häufigen Fleischkonsum nur wohlhabende Menschen leisten konnten.

5.8.3 $\delta^{13}\text{C}$ -Werte

Um die Unterschiede in den $\delta^{13}\text{C}$ -Isotopien auf den einzelnen Gräberfeldern zu verdeutlichen, werden diese separat dargestellt. Die Bestattungsplätze Großmehring B3 (Median $\delta^{13}\text{C}$: -20,00 ‰), Großmehring B1B2B4 (Median $\delta^{13}\text{C}$: -19,99 ‰) und Kelheim (Median $\delta^{13}\text{C}$: -20,20 ‰) weisen ähnliche Isotopensignaturen auf. Auch zwischen den Großmehringer Bestattungsplätzen und Bruckmühl (Median $\delta^{13}\text{C}$: -19,81 ‰) bestehen keine Unterschiede, jedoch unterscheiden sich Bruckmühl und Kelheim signifikant ($p=0,035$; ANOVA/PostHoc). Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Ettinger Population (Median $\delta^{13}\text{C}$: -21,71 ‰) sind signifikant niedriger als alle anderen untersuchten Gräberfelder (ANOVA/PostHoc) (Abb. 5.69).

Während die Individuen der übrigen ausgewerteten Friedhöfe $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von -21 ‰ bis -19,5 ‰ zeigen, reicht die Wertespanne der Ettinger Population von -23 ‰ bis -21 ‰, mit Werten von -23 ‰ bis -21,5 ‰ bei adulten Individuen. Lediglich die ^{13}C -Isotopien einiger Individuen aus GroßmehringB2 kommen mit bis zu -21 ‰ in den Bereich der Ettinger Werte. Die Friedhöfe Etting und Großmehring liegen etwa 5 km voneinander entfernt und befinden sich auf derselben Seite der Donau. Es dürften also gleiche Umweltbedingungen herrschen. Es bestehen weder zwischen Männern und Frauen noch zwischen den einzelnen Altersklassen signifikante Unterschiede bei einem Vergleich der einzelnen Bestattungsplätze. Zwischen den einzelnen Friedhofsklassen bestehen ebenfalls keine Unterschiede, weder innerhalb der untersuchten Gräberfelder noch im Vergleich mit den Friedhofsklassen der anderen Gräberfelder (ANOVA/PostHoc) (Abb. 5.70). Der Status der Individuen und mögliche Unterschiede in der Ernährung der Individuen, gemäß ihrem sozialen Rang, beeinflussen demnach die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte nicht.

(ANOVA/PostHoc; KW-Test). Auch innerhalb der Bestattungsplätze bestehen keine Unterschiede zwischen den Geschlechtern und den Altersklassen (ANOVA/PostHoc). Nur auf dem Friedhof Etting unterscheiden sich die adulten Individuen (Median -21,97 ‰) signifikant von den maturen (Median -21,54 ‰) ($p=0,046$; ANOVA/PostHoc) (Abb. 5.71).

Auch in anderen Studien konnte keine Korrelation zwischen $\delta^{13}\text{C}$ -Werten und Alter (Lovell et al. 1986; Privat et al. 2002; White & Schwarcz 1989) oder Geschlecht (Katzenberg et al. 1993; Lovell et al. 1986; Privat et al. 2002; White & Schwarcz 1989) nachgewiesen werden. Alle Individuen einer Population bei deren Nahrungspflanzen es sich hauptsächlich um C_3 -Pflanzen handelt, sollten daher alters- und geschlechtsunabhängig ähnliche Isotopenwerte haben (Lovell et al. 1986; White & Schwarcz 1989).

Besonders deutlich erscheinen die unterschiedlichen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aus Etting. Auffallend ist auch, dass die Werte bei den im Alter zwischen 20 und 40 Jahren verstorbenen Individuen besonders niedrig sind (Abb. 5.71).

Der Vergleich der $\delta^{13}\text{C}$ -Ergebnisse der untersuchten Friedhöfe mit den Daten weiterer frühmittelalterlicher Gräberfelder aus geographischer Nähe (Abb. 5.63) (Hakenbeck et al. 2010) zeigt, dass die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte eines Großteils der Altenerdinger, Kletthamer und Straubinger Individuen in die gleiche Wertespanne von ca. -21 ‰ bis -19 ‰ der Bruckmühler und Großmehringer Population fallen, wobei sie eher im positiveren Bereich liegen.

Möglicherweise hielten sich die Ettinger Individuen, zumindest zeitweise und besonders die Erwachsenen, in einem Gebiet auf, in dem besonders negative $\delta^{13}\text{C}$ -Isotopien entstehen. Da in anderen geologischen klimatischen Regionen wie z.B. Südengland (Privat 2002) (Abb. 5.68) oder Tirol (McGlynn 2007) (Abb. 5.72)⁴¹ keine stark von den „lokalen“ Isotopien abweichenden $\delta^{13}\text{C}$ -Werte gemessen wurden sind vermutlich andere Ursachen dafür verantwortlich. Eventuell war die Nahrungszusammensetzung dieser Population deutlich anders als die Ernährung der übrigen hier untersuchten Bevölkerungsgruppen, obwohl sich diese (teilweise) in unmittelbarer geographischer Nähe befanden.

⁴¹ Lediglich der Mann aus Grab 112 ($\delta^{13}\text{C}$: -23,60 ‰) hat einen noch negativeren Wert als die Individuen aus Etting. Als mögliche Gründe für die starke Negativität wird häufiger Verzehr von Fisch oder, aufgrund des C/N-Verhältnisses (5,1), eine Kontamination angegeben, wobei dieser Wert nur knapp über der angesetzten Qualitätskontrolle liegt (McGlynn 2007).

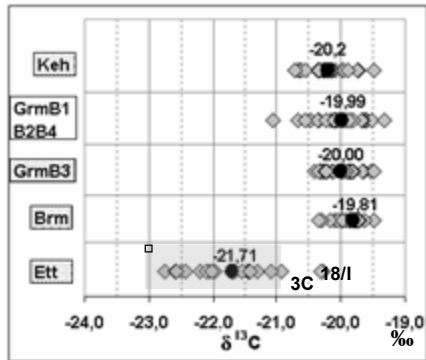


Abb. 5.69: $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der erwachsenen Individuen aus den untersuchten Bestattungsplätzen. Die Gräberfelder Großmehring und Kelheim weisen ähnliche Isotopensignaturen auf, es bestehen keine Unterschiede. Auch zwischen Großmehring und Bruckmühl bestehen keine Unterschiede, jedoch unterscheiden sich Bruckmühl und Kelheim signifikant ($p=0,035$; ANOVA/PostHoc). Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Ettinger Population sind deutlich niedriger, sie unterscheiden sich signifikant von allen anderen untersuchten Gräberfeldern ($p=0,000$; ANOVA/PostHoc).

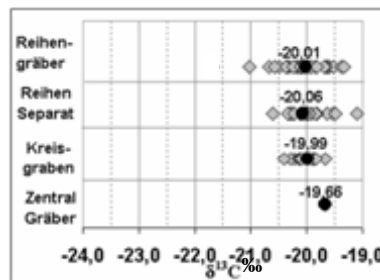
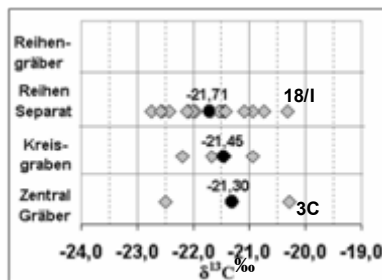
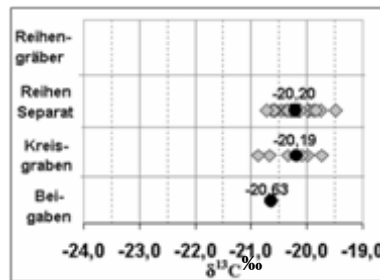
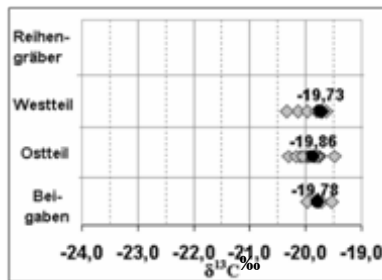


Abb. 5.70: Vergleich der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Friedhofsklassen der untersuchten Gräberfelder. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Friedhofsklassen, weder innerhalb der Gräberfelder, noch im Vergleich mit den Friedhofsklassen anderer Gräberfelder (ANOVA/PostHoc). In Etting sind die Werte deutlich niedriger und streuen stärker.

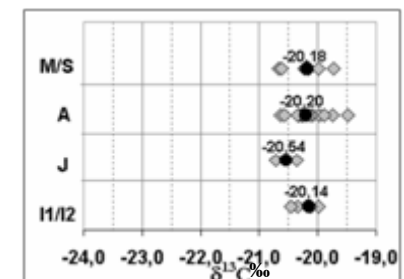
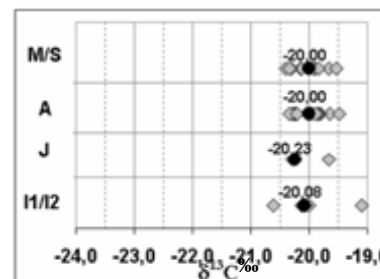
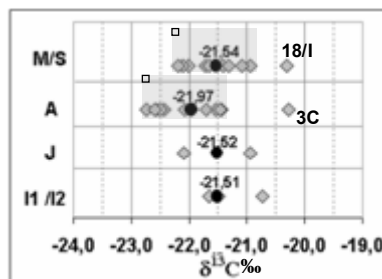
Etting

Großmehring B3



Bruckmühl

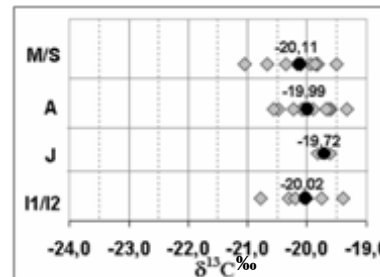
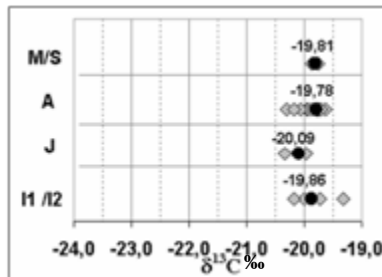
Kelheim



Etting

Großmehring B3

Kelheim



Bruckmühl

Großmehring B1B2B4

Abb. 5.71: Vergleich der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in den verschiedenen Altersklassen der untersuchten Gräberfelder. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Altersklassen, weder innerhalb der Gräberfelder, noch im Vergleich mit den Friedhofsklassen anderer Gräberfelder (ANOVA/PostHoc). Auf dem Friedhof Etting unterscheiden sich die adulten signifikant von den murenen Individuen ($p=0,046$; ANOVA/PostHoc).

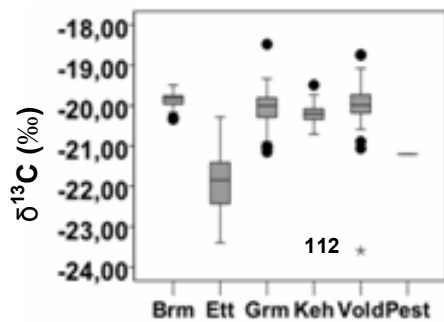


Abb. 5.72: Boxplot der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Menschen im Vergleich mit Gräberfeldern aus unterschiedlichem Raum (Volders) und anderer Zeitstellung (Pestenacker). (Brm: n=31, Ett: n=30, Grm: n=86, Keh: n=25, Vold: n=99, Pest: n=1) (Originaldaten Kelheim / Unterirgling: Strott 2006, Volders: McGlynn 2007, Pestenacker: Bösl 2006).

Selbst bei Vergleichsmaterial aus deutlich anderer Zeitstellung und einem deutlich anderen geologischen Gebiet zeigt sich kein Unterschied zwischen diesen und Bruckmühl oder Großmehring. Lediglich Etting zeigt deutlich niedrigere Werte.

Diskussion $\delta^{13}\text{C}$

Es stellt sich die Frage nach dem Entstehen der deutlichen Unterschiede in den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten zwischen dem Friedhof Etting und den anderen untersuchten Bestattungsplätzen einerseits, der deutlichen Streuung der Werte innerhalb der Population und den signifikant unterschiedlichen Werten der adulten Individuen andererseits.

$\delta^{13}\text{C}$ -Herkunft, -Umsatz und Einflussfaktoren

Mögliche Einflussfaktoren für den $\delta^{13}\text{C}$ -Wert sind (1) Wasserstress, der zu einer erhöhten Diskriminierung von ^{13}C und demnach zu negativeren $\delta^{13}\text{C}$ -Werten führt (Ehleringer et al. 1986). (2) Höhe und Partialdruck beeinflussen die CO_2 -Werte in der Luft. Es besteht ein höhenabhängiges Ansteigen der Effektivität der CO_2 -Aufnahme auf dem Enzymlevel. Je höher die Pflanze wächst, desto niedriger sind die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte (Körner & Diemer 1987; Körner et al. 1991). Aufgrund der geografischen und klimatischen Bedingungen können diese Punkte ausgeschlossen werden.

Lokale Gegebenheiten, abhängig von Faktoren wie Klima- und Bodenbedingungen (Sage & Percy 1987; van Klinken et al. 2002) sowie die Intensität der Landwirtschaft (Sage & Percy 1987) können die $\delta^{15}\text{C}$ -Werte beeinflussen (Sage & Percy 1987; Heaton 1987; Kornexel et al. 1997). Bei nährstoffreichem, gedüngtem Boden sind die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte niedriger (Sage & Percy 1987). Der hier vorliegende Lössboden ist zwar sehr fruchtbar, aber für eine so starke Erniedrigung der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte wie in Etting wäre eine intensive Düngung nötig, die im frühen Mittelalter nicht üblich war (Pearson 1992).

Die Art der Ernährung, bzw. der Nahrungsmittel ist hier wohl hauptsächlich für den $\delta^{13}\text{C}$ -Wert in verantwortlich. Eine Untersuchung unter Laborbedingungen gab zwar zunächst keine genauen Hinweise darauf, dass Unterschiede in den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten von der Art der Nahrung abhängen (De Niro & Epstein 1978); ist die Abweichung innerhalb einer Population jedoch größer als $\pm 0,3$ ‰, müssten diese aber zwangsläufig durch Unterschiede in der Nahrung entstehen (Lovell et al. 1986). Generell wird ein Fraktionierungsfaktor von etwa +5 ‰ von den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten der Pflanzennahrung zum $\delta^{13}\text{C}$ im Kollagen beobachtet (Ambrose 1993). Bei einem Durchschnittswert von -21,8 ‰ für terrestrische Herbivore, sollte der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert der Vegetation, die von diesen Herbivoren konsumiert wurde bei etwa -26,8 ‰ liegen, charakteristisch für ein von C_3 -Pflanzen dominiertes Ökosystem. Vermutlich aufgrund von Unterschieden in der metabolischen Umsatzrate und des daraus folgenden geringeren Fraktionierungsfaktors liegen die Werte umso niedriger, je kleiner das Tier ist (DeNiro & Epstein 1978).

Nach einer These von Jay et al. (2008) könnte auch Getreidekonsum die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte beeinflussen. Anhand der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte können weder auf die Nahrung, das Nahrungsprotein noch den Energiegehalt der Nahrung genaue Rückschlüsse gezogen werden (Kellner & Schoeninger 2007). Auch der genaue Ursprung des Karbonats im Kollagen ist noch nicht vollkommen verstanden (Kellner & Schoeninger 2007). Aufgrund früher experimenteller Arbeiten wurde vermutet, dass der Kohlenstoff im Kollagen, wie auch der Stickstoff, hauptsächlich aus dem Proteinanteil der Nahrung kommt (Ambrose & Norr 1993). Neuere Studien vermuten (Jay et al 2008), dass der Kohlenstoff auch aus den allgemeinen

Kohlenstoff-Speichern im Körper (Howland et al. 2003) und somit auch aus pflanzlichen Kohlenstoffquellen kommen könnte.

In experimentellen Versuchen konnte gezeigt werden, dass die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte nicht essentieller Aminosäuren (Alanin und Glutamat) aus dem Kollagen mit den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten der Gesamtnahrung korrelieren, während es bei essentiellen Aminosäuren (Leucin und Phenylalanin) eine geringe Isotopenfraktionierung zwischen dem Proteinanteil der Nahrung und Kollagen gibt (Howland et al. 2003). In nicht essentiellen Aminosäuren (Alanin, Glyzin, Prolin, Glutamat) erscheint $\delta^{13}\text{C}$ stärker angereichert als in den essentiellen Aminosäuren (Leucin und Phenylalanin) (Corr 2009). In kontrollierten Fütterungsexperimenten unterschieden sich die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte nicht-essentieller Aminosäuren im Kollagen der Versuchstiere (Schweine) um bis zu 10 ‰. Dies reflektiert Unterschiede in ihrer Assimilation, ihres Transportes und der Biosynthese (Howland et al. 2003). Es wird angenommen, dass nicht essentielle Aminosäuren aus dem generellen „Karbon-Pool“ des Körpers hergestellt werden, wenn diese nicht genügend im Nahrungsprotein verfügbar sind. Nicht essentielle können im Körper synthetisiert werden. Deren Synthese ist spezifisch reguliert. So hemmt proteinreiche Nahrung die Biosynthese von Aminosäuren im Körper (Corr et al. 2005). Enzyme, die entscheidende Schritte der Synthese kontrollieren, werden durch hohe intrazelluläre Konzentrationen der jeweiligen Aminosäure inhibiert. Oder die Produktamino-säure kann die Synthese der für die Herstellung der jeweiligen Aminosäure notwendigen Enzyme inhibieren (Umbarger 1978). Bei proteinreicher Nahrung wird demnach die durch die Nahrung zugeführte Aminosäure bevorzugt.

Proteinarme Ernährung führt demnach zu einer vermehrten Eigensynthese nicht essentieller Aminosäuren. Wenn bei der „Eigenproduktion“ von essentiellen Aminosäuren eine Anreicherung von ^{13}C ähnlich einem Trophiestufeneffekt erfolgt, wären die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte bei niedrigerem Proteingehalt der Nahrung weniger negativ.

Kollagen besteht zu zwei Dritteln aus den nicht essentiellen Aminosäuren Glyzin (35%), Alanin (11%) und Prolin (21%) (Nelson & Cox 2001). Da Glyzin der Haupt-Aminosäurebestandteil des Kollagens ist, müssten die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte des Glycins den Gesamtwert des Kollagens beeinflussen (McCullagh et al. 2006). Es konnte gezeigt werden, dass die einzelnen Aminosäuren im Knochenkollagen bei unterschiedlicher Nahrung verschiedene $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aufweisen. Der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert wird demnach auch von der individuellen Nahrung, besonders von deren Aminosäurezusammensetzung beeinflusst (McCullagh et al. 2006). Eiweißreiche Nahrungsmittel mit hohem Glyzin-Anteil wie Fleisch, Fisch, Leguminosen, Ei, Milchprodukte, (Ebermann & Elmadfa 2008) könnten demnach auch auf die $\delta^{13}\text{C}$ -Signatur Einfluss nehmen.

Bei einer eiweißreichen Ernährung mit hohem Glycin-Anteil müsste der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert der Nahrung etwa dem des Kollagens entsprechen. Eine eiweiß-, insbesondere glycin-arme Nahrung müsste zur vermehrten „Eigensynthese“ von Glyzin führen und könnte als Folge einer Fraktionierung von ^{13}C für eine Erhöhung der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte im Kollagen verantwortlich sein.

Der Proteingehalt der Pflanzennahrung kann ebenfalls einen Einfluss auf die ^{13}C -Isotopie haben, aber ohne den bei tierischen Proteinen assoziierten Effekt in den ^{15}N -Werten. Bei Erbsen und Bohnen liegt der Proteinanteil etwa bei 23%, in Weizen etwa bei 11%, (Franke 1997). In modernem Getreide beispielsweise ist der Proteingehalt höher als in Milch. Modernes Vollkornweizenmehl hat etwa einen Proteinanteil von 12% (wobei Glycin 4% des Gesamtproteinanteils stellt). Der Gesamtproteinanteil von Milch liegt bei 3%⁴².

Es konnte nachgewiesen werden, dass $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von Milchproben abhängig vom Futter der Rinder waren. Milch von Kühen deren Futter hauptsächlich aus Gras und Heu bestand hatte $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen -27 ‰ und -28 ‰, von Kühen mit Getreidefutter zwischen -26 ‰ und -28 ‰ (Kornexel et al. 1997). Das Füttern von Getreide wirkt sich also erhöhend auf die

⁴² United States Department Of Agriculture, Agricultural Research Service: <http://www.ars.usda.gov/>. National Nutrient Database for Standard Reference Release 24: (Stand 03/2012): Wheat flour, wholegrain: <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/6380?fg=&man=&lfacet=&count=&max=&sort=&qlookup=&offset=&format=Full&new=> Milk, whole, 3.25% milkfat, without added vitamin A and vitamin D: <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/184?fg=Dairy+and+Egg+Products&man=&lfacet=&count=&max=25&sort=&qlookup=milk&offset=50&format=Full&new=>.

$\delta^{13}\text{C}$ -Werte in der Milch aus. Ein hoher Getreideanteil der Nahrung wäre demnach für höhere $\delta^{13}\text{C}$ -Werte verantwortlich, und nicht wie bei Jay et al (2008) vermutet für niedrigere Werte.

Dennoch sollte die Frage geklärt werden, welchen Einfluss genau eine Ernährung, die überwiegend auf Getreide basiert auf die Isotopenzusammensetzung hat. Dabei muss sowohl der Proteinanteil, als auch die Gesamtnahrung berücksichtigt werden (Howland et al. 2003). Verschiedene Getreidearten können auch unterschiedliche $\delta^{13}\text{C}$ -Werte haben. Untersuchungen an rezentem Getreide haben gezeigt, dass $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von Einkorn und Emmer im Vergleich zu Spelt (Dinkel) stets niedriger sind (Heaton 2009).

Im Mittelalter spielte Getreide eine große Rolle in der Ernährung. Vom achten bis ins elfte Jahrhundert stieg der Anteil von Getreide an der Ernährung der europäischen Bevölkerung von einem knappen Drittel auf etwa drei Viertel (Borst 1979). Während der Zeit des Römischen Reiches wurde Weizen auch nördlich der Alpen häufig angebaut. Nach dem Abzug der Römer sank der Weizenanbau stark und spielte während des Mittelalters im nördlichen Europa eine Nebenrolle. Auf den Feldern wurden vor allem Roggen als Hauptbrotfrucht (Körber-Grohne 1995) und Dinkel, aber auch Gerste, Hafer und Einkorn, sowie Emmer als Wintergetreide angebaut (Rösch 2001; Schubert 2006). Das Getreide wurde üblicherweise als Getreidebrei, Grütze oder Brot verzehrt, wobei die mit Wasser zubereiteten Getreidebreie unabhängig von der sozialen Schicht das am weitesten verbreitete Gericht des Mittelalters darstellten. Ihre Bedeutung zeigt sich daran, dass die Bezeichnung „*muos*“ nicht nur für die breiartige Speise, sondern auch allgemein für „Essen“, „Mahlzeit“ oder „Speise“ verwendet wurde. Das früh- und hochmittelalterliche Brot war überwiegend ein Fladenbrot, das dem heutigen Knäckebrötchen ähnelte, Sauerteigbrot setzte sich erst im 13. Jahrhundert durch (Schubert 2006).

Ein weiterer möglicher Faktor für niedrige $\delta^{13}\text{C}$ -Werte wäre der so genannte „Baldachineffekt“ („*canopy-effect*“). Das dichte Blätterdach der Wälder schirmt die Pflanzen am Boden von atmosphärischem CO_2 ab. Dadurch steht den Bodenpflanzen hauptsächlich ^{13}C -ärmeres, biogen erzeugtes CO_2 zur Verfügung, die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Pflanzen werden negativer (Ambrose 1987). In borealen Nadelwäldern konnte ein Baldachineffekt von bis zu 2‰ festgestellt werden (France 1996). Da die Waldpflanzen sehr niedrige $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aufweisen, wirkt sich dieser Effekt auch auf die Werte der Tiere aus, die Waldpflanzen verzehren (Ehleringer et al. 1986; Mulkey 1986; Winner et al. 2004). Im Wald lebende herbivore Tiere haben entsprechend niedrige ^{13}C -Isotopen. Ein verstärkter Konsum von Wildfleisch der möglicherweise adeligen Personen in Etting wäre also denkbar. Die Jagd als Versorgungszweig mit tierischem Eiweiß hatte im frühen Mittelalter eine eher untergeordnete Bedeutung (von den Driesch & Boessneck 1988). Ab dem 8. Jahrhundert begann sich jedoch ein Jagdrecht zu entwickeln, das die Jagd zunehmend einschränkte und als ein Privileg des Adels definierte (Dasler 2008; Rösener 1985; Rösener 1997). Ein Anteil von Wildfleisch in der Nahrung der Ettinger Individuen wäre zwar möglich, kann aber weder anhand der C/N-Isotopenwerte noch durch archäologische Funde eindeutig belegt werden.

Im Frühmittelalter ist zwar der größte Teil Mitteleuropas bewaldet, aber durch Rodung der „finsternen Wälder Germaniens“ (Tacitus) wurde neues Kulturland gewonnen. Der Waldbestand ist daher seit dem 7. Jahrhundert rückläufig. Der Waldbestand schrumpfte aber auch durch intensive Waldweide, es wird ein Rückgang des Baumbestandes um ein Drittel für manche Gebiete angenommen (Reichholf 2007). Genauere Angaben über den Waldbestand zu der Zeit um 700 n. Chr. in den hier untersuchten Gegenden fehlen jedoch. Es ist bislang auch nicht bekannt, inwieweit sich das regionale Mikroklima auf die Isotopenwerte auswirken kann.

Auch ein vermehrter Verzehr von Süßwasserfisch könnte für die negativen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Ettinger Population verantwortlich sein. So wurden bei Teich- und Flussfischen in einer vergleichbaren Gegend $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen -22,5‰ bis -27‰ gemessen (Pestenacker, Bösl et al. 2006)⁴³. Bei einer Anreicherung von 1,0-1,5‰ pro Trophiestufe im Knochenkollagen (Dürrwächter et al. 2006), könnte ein häufiger Verzehr von Fisch eine

⁴³ Bei diesen Vergleichsdaten handelt es sich um neolithische Funde (Bösl et al. 2006). Der Unterschied des anthropogenen Eintrags zwischen Neolithikum und Frühmittelalter bezüglich der Isotopenwerte von Flussfischen dürfte aber nicht relevant sein.

mögliche Erklärung für die deutlich negativeren $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Ettinger Population (ca. -20 ‰ bis -23,5 ‰) sein.

Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte sollten aber bei häufigem Fischverzehr höher sein. Da die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Süßwasserfische aus Pestenacker zwischen 8-9 ‰ liegen (Bösl et al. 2006), sollten bei einem angenommenen Trophiestufeneffekt von 2-3 ‰ die Werte der Menschen bei hohem Fischanteil der Nahrung mindestens 10-11 ‰ betragen. Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Ettinger Population betragen 8-11 ‰ (Abb. 5.68) und liegen demnach etwas zu niedrig um die negativen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte durch häufigen Fischkonsum zu erklären. Laut Literatur spiegeln Menschen mit $\delta^{13}\text{C}$ -Werten ähnlich denen terrestrischer C_3 -Pflanzen, aber mit $\delta^{15}\text{N}$ -Werten höher als 12 ‰ einen Verzehr von Süßwasserfisch wieder (Bonsall et al. 1997). Ähnliches konnte von Doppler et al. (2010) festgestellt werden. Dies könnte aber von Gewässer zu Gewässer schwanken, abhängig von der Länge der Nahrungskette.

Sollte auf allen Bestattungsplätzen gelegentlich Fisch verzehrt worden sein, hat er keinen größeren Teil der Nahrung eingenommen. Neuere Studien haben ebenfalls gezeigt, dass der Fischanteil der Nahrung etwa 20% ausmachen müsste um den $\delta^{15}\text{N}$ -Wert um 0,7 ‰ zu erhöhen (Hedges & Reynard 2007). Alle hier untersuchten Gräberfelder, bis auf Etting, liegen an einem Fließgewässer oder in deren unmittelbarer Nähe (Großmehring: Donau, Bruckmühl: Mangfall), ebenso die Vergleichsfriedhöfe (Kelheim: Donau, Volders: Inn). Bei unmittelbarer Gewässernähe wäre ein zusätzlicher Fischverzehr nahe liegend. Aufgrund der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte kann das jedoch für die hier untersuchten Gräberfelder ausgeschlossen werden. Nur die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte eines Großteils der Individuen aus Etting implizieren Fischkonsum. Dieser Bestattungsplatz hat jedoch von allen hier untersuchten Friedhöfen die größte Distanz zu einem befischbaren Gewässer. Eine Entfernung von ca. 3,5 km zur Donau stellt zwar keine große Distanz für das Transportieren von Frischfisch dar, aber bei den anderen, direkt an einem Gewässer liegenden Bestattungsplätzen sollte Fischverzehr nahe liegender sein. Teichfischhaltung war im frühen Mittelalter zwar bekannt, aber noch nicht weit verbreitet (Fagan 2007) und kann aber hier weder nachgewiesen noch ausgeschlossen werden.

Ein eindeutiger Nachweis von Fischverzehr wäre anhand von Schwefel-Isotopen möglich (Nehlich et al. 2010; Nehlich & Richards 2009). Da Süßwasserfische erhöhte $\delta^{34}\text{S}$ -Werte aufweisen, abhängig von den Werten des jeweiligen Gewässers, kann bei Individuen mit hohem $\delta^{34}\text{S}$ -Wert und gleichzeitig erhöhtem $\delta^{15}\text{N}$ -Wert von einem hohen Anteil an Süßwasserfisch in der Nahrung ausgegangen werden (Nehlich et al. 2010).

Die Unterschiede in den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten zwischen Individuen innerhalb einer Population könnten nicht nur durch Unterschiede in der Nahrung und in der Isotopenzusammensetzung der Aminosäuren der Nahrung (Howland et al. 2003) sondern auch durch individuelle physiologische Varianten in der Isotopenfraktionierung während der Kollagenproduktion entstehen (Lovell et al. 1986). Warinner & Tuross (2010) konnten in Fütterungsexperimenten nachweisen, dass beispielsweise die Wachstumsrate Auswirkungen auf das Isotopenverhältnis haben kann (Warinner & Tuross 2010). Zur genaueren Klärung der Stoffwechselvorgänge ist noch Bedarf an Grundlagenforschung. Untersuchungen an Individuen mit verändertem Stoffwechsel (z.B. bei Adipositas oder Anorexia) bieten Möglichkeiten zur Aufklärung individueller Isotopenfraktionierung (Mekota et al. 2006; Mekota et al. 2009; Neuberger in prep.). Kontrollierte Fütterungsexperimente können einen wichtigen Beitrag dazu leisten (z.B. Ambrose 2000, Howland 2003, Warinner 2010, Zazzo 2008).

Zusammenhang von $\delta^{13}\text{C}$ -Werten und Kollagen Einwaage

Anhand der Daten der Aminosäureanalysen konnten bei den meisten Individuen diagenetische Veränderungen des untersuchten Kollagens als mögliche Ursache für die Abweichung ausgeschlossen werden (Czermak 2003; Harbeck & Grupe 2009). Um der Frage nach den abweichenden $\delta^{13}\text{C}$ -Werten der Individuen des Ettinger Friedhofs nachzugehen, wurde nach weiteren möglichen Einflussfaktoren der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte gesucht.

Bei Betrachtung der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte und der für die Messung verwendeten Kollagenmenge zeigt sich eine positive Korrelation ($r=0,313^{**}$ Pears und $r=0,350^{**}$; Sp-Rho). Je höher die Einwaage des Kollagens, desto positiver der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert (Abb. 5.73). Eine Korrelation von Kollagen Einwaage und $\delta^{15}\text{N}$ -Wert besteht allerdings nicht. Das Verhältnis der Isotope in einer Probe sollte aber immer gleich bleiben, unabhängig von der Menge an Kollagen die für die Messung verwendet wurde.

Werden die Ergebnisse innerhalb der einzelnen Bestattungsplätze statistisch ausgewertet, so korrelieren nur auf dem Friedhof Etting die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte mit der Kollageneinwaage für die Messung ($r=0,507^{**}$; Pears und $0,455^{**}$ Sp-Rho), alle anderen Bestattungsplätze zeigen keine signifikante Korrelation.

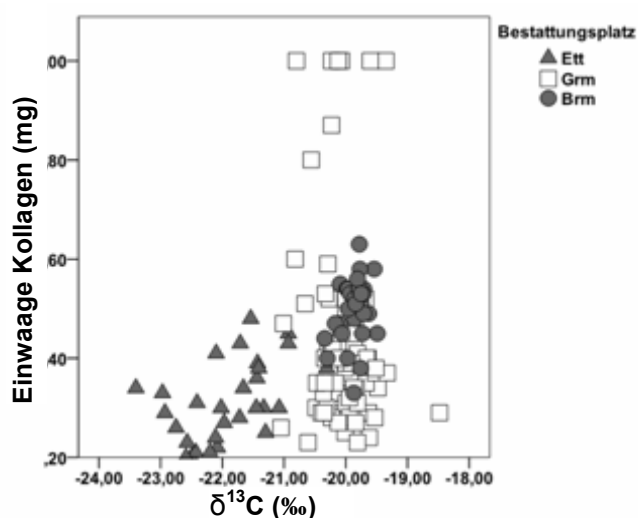


Abb. 5.73: $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der untersuchten Gräberfelder in Abhängigkeit zur verwendeten Kollagenmenge für die Messung im Massenspektrometer. Die Menge des für die Messung verwendeten Kollagens korreliert mit dem $\delta^{13}\text{C}$ -Wert ($r=0,313^{**}$ Pears und $r=0,350^{**}$; Sp-Rho). Je höher die Einwaage, desto positiver der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert.

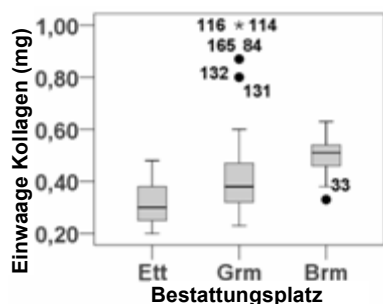


Abb. 5.74: Einwaage Kollagen für die Messung bei den untersuchten Bestattungsplätzen. Bei den Proben aus dem Friedhof Etting wurden die Proben mit der geringsten Menge Kollagen bestückt. Der Unterschied in der Menge der Einwaage unterscheidet sich aber nur zwischen Etting und Bruckmühl signifikant ($p=0,00$ ANOVA, Post Hoc).

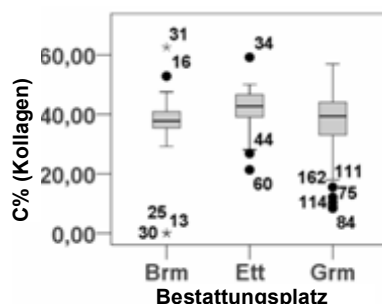


Abb. 5.75: Anteil des Kohlenstoffs (C%) der Kollagenproben. Es besteht eine Korrelation von Einwaage und C%-Wert ($r=-0,417^{**}$; Pears und $r=-0,265^{**}$; SpRho). Je höher die Einwaage, desto geringer der C%-Wert. Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bestattungsplätzen (ANOVA/PostHoc)

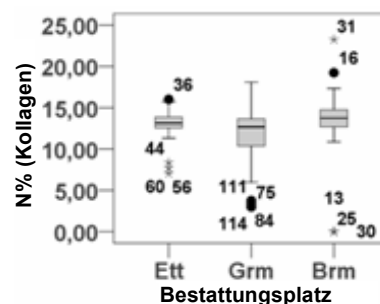


Abb. 5.76: Anteil des Stickstoffs (N%) der Kollagenproben aus den untersuchten Bestattungsplätzen. Zwischen Kollageneinwaage und N%-Wert besteht keine Korrelation, zwischen den Bestattungsplätzen keine signifikanten Unterschiede (ANOVA/PostHoc).

Bei den Proben aus dem Friedhof Etting wurden die Probenkapseln von allen hier untersuchten Gräberfeldern mit der geringsten Menge Kollagen bestückt (Abb. 5.74). Die Messung der Proben aus Etting erfolgte bereits im Jahr 2002 (Czermak 2003). Zu diesem Zeitpunkt lag die Vorgabe für die Kollageneinwaage bei 20-40µg. Bei der Messung der Proben des Gräberfeldes Großmehring B3 und einem Teil von Großmehring B1B2B4 (Messung 2004) lag die Vorgabe zwischen 30 und 50µg. Die Proben beider Gräberfelder wurden im GeoBiocenter (München) gemessen. Der restliche Teil von Großmehring B1B2B4 und der Friedhof Bruckmühl wurden im GeoZentrum Nordbayern (Erlangen) gemessen. Dort lag die Vorgabe der Einwaage bei 40-60µg.

Es zeigt sich ebenfalls eine Korrelation von Einwaage und C%-Wert ($r=-0,417^{**}$; Pears und $r=-0,265^{**}$; Sp-Rho). Je höher die Einwaage desto geringer der C%-Wert. Auch hier besteht bei N%-Werten keine Korrelation. Zwischen den einzelnen Bestattungsplätzen ist weder im C% (Abb. 5.75) noch im N%-Wert (Abb. 5.76) ein signifikanter Unterschied vorhanden (ANOVA/PostHoc).

In der Literatur werden durchaus Diskrepanzen bei Messungen von $\delta^{13}\text{C}$ -Werten angegeben. So wurde dieselbe Probe von zwei Laboratorien bearbeitet, mit unterschiedlichen Ergebnissen. Als mögliche Ursache wird die unterschiedliche Vorbehandlung der Knochen angegeben oder dass unterschiedliche Teile des Knochens gemessen wurden (Schulting et al. 2008). Die Austauschrate kann innerhalb eines Knochens variieren. Ein Individuum mit wechselnden Isotopen in seiner Nahrung kann demnach verschiedene Isotopenverhältnisse der Nahrung in verschiedenen Teilen eines Knochens aufweisen, abhängig von der Umbaurate des Knochens (Herrscher & Bocherens 2000; Schulting et al. 2008).

Die Proben von Etting und ein Teil von Großmehring wurden in demselben Labor extrahiert und beide im GeoBiocenter gemessen, der andere Teil von Großmehring und die Proben aus Bruckmühl wurden sowohl in einem anderen Labor extrahiert als auch durch ein anderes Labor gemessen (GeoZentrum Nordbayern). Die Methoden waren aber jeweils identisch, Unterschiede bestehen lediglich in der Menge der Kollageneinwaage für die Messung. Die Tatsache, dass Großmehring und Bruckmühl sich nicht unterscheiden schließt die unterschiedlichen Extraktions- und Messlabore als Verursacher der Diskrepanzen weitgehend aus.

Ob die Menge der Kollageneinwaage für die Messung der Proben ausschlaggebend war für die deutlich unterschiedlichen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Ettinger Population konnte hier nicht eindeutig geklärt werden, erscheint aber durchaus plausibel.

Möglicherweise muss eine bestimmte Menge an Probenmaterial vorhanden sein, damit valide Aussagen über die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte getroffen werden können. Eine genauere Untersuchung, ob und wie die Einwaage an Kollagen für die Messung die C% und somit auch die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte beeinflusst könnte diese Frage klären.

Im Rahmen der Doktorarbeit konnte die Messung der Ettinger Proben nicht wiederholt werden. Da die Einwaage aber offensichtlich die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte nicht beeinflusst, wird im Weiteren von deren Validität ausgegangen.

5.8.4 $\delta^{15}\text{N}$ -Werte

Vergleich der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte verschiedener Gräberfelder und „Rindereichung“

Ein Vergleich der Isotopenwerte der untersuchten und der Vergleichsbestattungsplätze zeigt, dass sich alle Ergebnisse im Rahmen der für Menschen angenommenen Wertespanne befinden (z.B. Ambrose 1993; Bocherens et al. 1997) (Abb. 5.62).

Die Gesamtwerte der Bestattungsplätze Bruckmühl und Etting sind ähnlich, ebenso die der Friedhöfe Großmehring und Kelheim (Abb. 5.77a). Signifikant unterscheiden sich Bruckmühl von Großmehring ($p = 0,003$) und Kelheim ($p = 0,001$), sowie Etting von Kelheim ($p = 0,01$) und etwas geringer von Großmehring ($p = 0,053$) (ANOVA/PostHoc) (Abb. 5.77b).

Es hat sich auch gezeigt, dass die Unterschiede in Raum und Zeit nicht gravierend sind (siehe oben, Abb. 5.68). Die hier untersuchte These bezieht sich nicht auf eindeutige Unterschiede bezüglich „herbivorer“ und „karnivorer“ Ernährung. Es sollen nicht „Trophiestufen“, sondern geringe Abweichungen innerhalb der natürlichen Ernährung unterschieden werden. Diese Abweichungen innerhalb einer Population sind ausschlaggebend für Interpretationen der Daten bezüglich des sozialen Status' (These: je proteinreicher die Ernährung, desto höher der Status; siehe Einleitung).

Da die ^{15}N -Isotopie durch Klima und Boden beeinflusst wird (Evans & Ehleringer 1994; Heaton 1987; Kornexel et al. 1997), stellt sich bei einem Vergleich der Isotopenwerte von Populationen aus unterschiedlichen geographischen Gebieten oder Zeitstellungen, besonders aber mit Hinblick auf sozialen Stand oder Umweltbedingungen, die Frage nach der Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Deshalb wurde versucht, anhand der Werte von Rinderknochenfunden (als „standorttreue Herbivoren“) auf den jeweiligen Friedhöfen die Werte der Menschen zu „kalibrieren“, um so Bestattungsplätze aus unterschiedlicher geographischer Lage vergleichbar zu machen (siehe unten „Rindereichung“) (Czermak et al. 2006b).

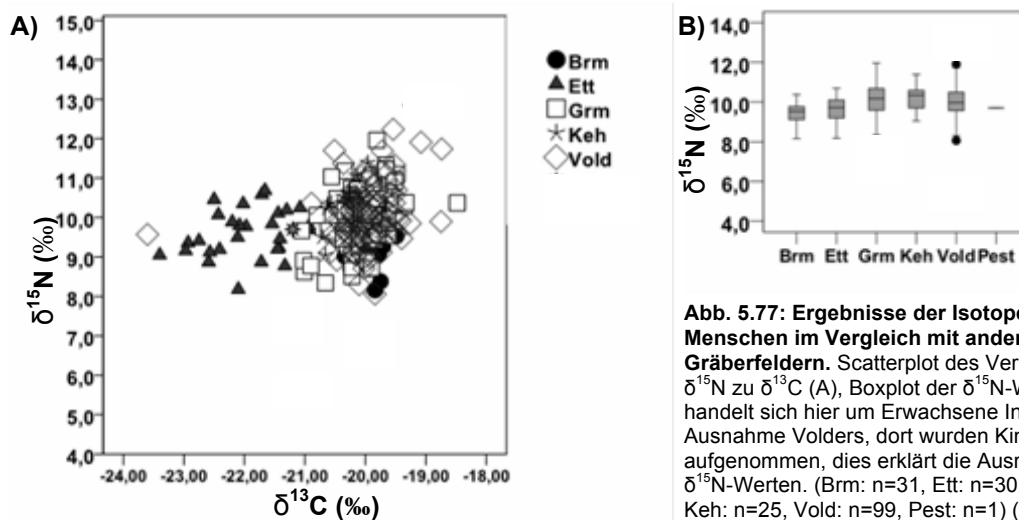


Abb. 5.77: Ergebnisse der Isotopenanalyse der Menschen im Vergleich mit anderen Gräberfeldern. Scatterplot des Verhältnisses von $\delta^{15}\text{N}$ zu $\delta^{13}\text{C}$ (A), Boxplot der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte (B). Es handelt sich hier um Erwachsene Individuen, Ausnahme Volders, dort wurden Kinder mit aufgenommen, dies erklärt die Ausreißer in den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten. (Brm: $n=31$, Ett: $n=30$, Grm: $n=86$, Keh: $n=25$, Vold: $n=99$, Pest: $n=1$) (Originaldaten Kelheim: Strott 2006, Volders: McGlynn 2007).

Methode Rindereichung

Obwohl Smith et al. (1976) postulierten, dass die geographischen Einflüsse auf den $\delta^{15}\text{N}$ -Wert gering sind (Smith et al. 1976), konnten Heaton (1987) und Kornexel et al. (1997) zeigen, dass Bodenbedingungen, Art und Intensität der Landwirtschaft die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Pflanzen signifikant beeinflussen. Der $\delta^{15}\text{N}$ -Wert des Pflanzenmaterials wird hauptsächlich von der Menge und der Isotopenzusammensetzung des in der Erde verfügbaren Stickstoffs (Nitrat und Ammonium) beeinflusst (Evans & Ehleringer 1994). Die Anreicherung von $\delta^{15}\text{N}$ kann dabei etwa 3,5-5,0 ‰ im Vergleich zum Futter betragen (Kornexel et al. 1997; Steele & Daniel 1978). Dies kann zu einer Verschiebung der Basisdaten des entsprechenden

Nahrungsnetzes führen. Die Validität von Vergleichen der absoluten $\delta^{15}\text{N}$ -Werte von Menschen auf unterschiedlichen Gräberfeldern aus unterschiedlichen Gegenden muss daher in Frage gestellt werden.

Auf frühmittelalterlichen Gräberfeldern werden häufig Grabbeigaben in Form von Tierknochen, meist Schwein, Rind, Schaf oder Ziege, gefunden. Diese Tiere, vorausgesetzt sie stammen aus derselben Zeit und demselben Kontext, sollten unter den gleichen Umweltbedingungen gelebt haben wie die Menschen. Wenn also die absoluten $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Pflanzen und der folgenden Trophiestufen von den lokalen Umweltbedingungen abhängen, so könnten die Werte der Rinder, als strikt herbivore Tiere, als Trophiestufen-Referenz benutzt werden. Unter der Annahme einer direkten Nahrungskette von den weidenden Rindern bis zu den Fleisch und Milch (und Feldfrüchte) konsumierenden Menschen, wurden die Stickstoffisotopen-Werte der Rinderknochenfunde als Referenz für die Werte der Menschen benutzt um Daten von Friedhöfen aus verschiedenen lokalen Bedingungen zu vergleichen. Dafür wurde der Median der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der auf dem jeweiligen Friedhof gefundenen Rinderknochen auf das Level Null gesetzt und die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Menschen dazu in Relation gebracht (Czermak et al. 2006b).

$$\delta^{15}\text{N}_{\text{„Rindereichung“}} = \delta^{15}\text{N}_{\text{Mensch}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{Median Rind}}$$

Ergebnisse Rindereichung

Bei einem Vergleich der absoluten $\delta^{15}\text{N}$ -Werte (Abb. 5.78a) beträgt die Wertespanne bei allen Friedhöfen in etwa 2,5 – 3,0 ‰, wobei die Spanne der Kelheimer Population etwa 1 ‰ über der von Etting und ca. 0,5 ‰ über Großmehring beginnt ($\delta^{15}\text{N}$ Etting: 9 – 10,5 ‰; $\delta^{15}\text{N}$ Großmehring: 8,5 – 11,5 ‰; $\delta^{15}\text{N}$ Kelheim: 9 – 11,5 ‰). Die Mediane der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Rinder betrugen für Großmehring 5,71 ‰ (n=6) und Kelheim 7,16 ‰ (n=4). In Etting lag der Wert bei 6,10 ‰ (n=1), in Bruckmühl waren keine Tierknochen vorhanden.

Dies impliziert, dass sich die Kelheimer Individuen proteinreicher ernährten als die Großmehringer und Ettinger Population. Dies steht jedoch im umgekehrten Verhältnis zur Beigabenausstattung der Individuen auf den Friedhöfen. Während einige Individuen in Etting und Großmehring hochklassig ausgestattet waren (Ledderose 2006), so wurden in Kelheim (Meier 2004; Strott 2006) so gut wie keine Beigaben nachgewiesen. Dies widerspräche zum einen der These, dass die Nahrung höhergestellter Personen aufgrund der höheren Kosten der Nahrungsmittel und der Wertschätzung der betreffenden Personen deutlich reicher an tierischem Protein (Fleisch, Milch, Eier) war als die der sozial niederrangigen und / oder ärmeren Bevölkerung. Zum anderen muss die Frage gestellt werden, ob Beigabenreichtum immer ein soziales Privileg ist (siehe 5.9.5 und Kapitel 6).

Nach Einsetzen der Mediane der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Rinder als „Nullwert“ und dem Standardisieren der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Menschen verschieben sich die $\delta^{15}\text{N}$ -Wertebereiche der Friedhöfe (Abb. 5.78b). Die Spanne der Großmehringer und Ettinger Populationen beginnt nun bei 2,5 ‰, während Kelheim nun um mehr als 0,5 ‰ unter diesen Wertespannen liegt.

Die Wertespannen, die sich zuvor alle annähernd auf derselben Trophiestufe befinden (Abb. 5.78a), haben sich nach der „Rinder-Kalibrierung“ deutlich verschoben (Abb. 5.78b). Die Nahrung der Populationen Etting und vor allem Großmehring erscheint nun deutlicher mit tierischem Protein angereichert gewesen zu sein, während der Anteil an pflanzlicher Nahrung bei den Kelheimer Individuen höher war (Czermak et al. 2006b).

Diskussion Rindereichung

Da Bodenbedingungen die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Pflanzen beeinflussen können (Heaton 1987; Kornexel et al. 1997; van Klinken et al. 2002), stellt sich die Frage nach der Vergleichbarkeit von Populationen aus unterschiedlichen Habitaten. Die hier angewandte „Rinder-Kalibrierung“ ist ein Ansatz, Daten aus unterschiedlichen Gräberfeldern zu vergleichen. Selbstverständlich darf hier aufgrund der sehr geringen Anzahl an vorhandenen und verwendbaren Daten aus Rinderknochen eine Interpretation nur unter Vorbehalten erfolgen. Außerdem muss darauf geachtet werden, dass es sich um erwachsene Tiere handelt, da die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte bei Kälbern und Jungtieren bis zu einer Trophiestufe höher liegen können als die Werte der erwachsenen Rinder (Sealy 2001). Auch scheinen Rinder eine deutliche

Variabilität in der $\delta^{15}\text{N}$ -Wertespanne zu haben. Diese Variabilität ist vermutlich bei Wiederkäuern größer als bei anderen Tieren (Steinour et al. 1982). Möglicherweise sollte daher bei einer „Kalibrierung“ der Absolutwerte auf andere strikt herbivore Tiere (z.B. Pferde) ausgewichen werden. Jeder $\delta^{15}\text{N}$ -Wert muss in jedem Fall mit dem assoziierten $\delta^{13}\text{C}$ -Wert verglichen werden um eine dominierende Nahrung aus aquatischen Systemen (Fisch) auszuschließen, da die Nahrungskette in aquatischen Systemen länger und die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte demnach höher sind als bei rein terrestrischer Nahrung (Bösl et al. 2006). Hier kann ein größerer Anteil an Fisch in der Nahrung bei allen Graberfeldern aufgrund der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte ausgeschlossen werden. Auch die Daten des Separatfriedhofs Etting weisen nicht eindeutig auf erhöhten Fischkonsum hin.

Bei Vergleichen von Populationen aus unterschiedlichen Ökosystemen, Zeitstufen oder lokalen Bedingungen kann eine „Kalibrierung“ der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Menschen mit den Werten aus Knochen von strikt herbivoren Tieren des gleichen Friedhofs hilfreich sein (Czermak et al. 2006b), besonders wenn keine Daten von assoziierten Pflanzen verfügbar sind (Dürrwächter et al. 2006; Richards 2002). Da hier für eine „Kalibrierung“ die Anzahl der verwendbaren Rinderknochen zu gering war und außerdem die Daten im Bezug auf den $\delta^{15}\text{N}$ -Wert stark schwanken (siehe oben, Tierknochen), wurden in den weiteren Auswertungen die Rohdaten verwendet.

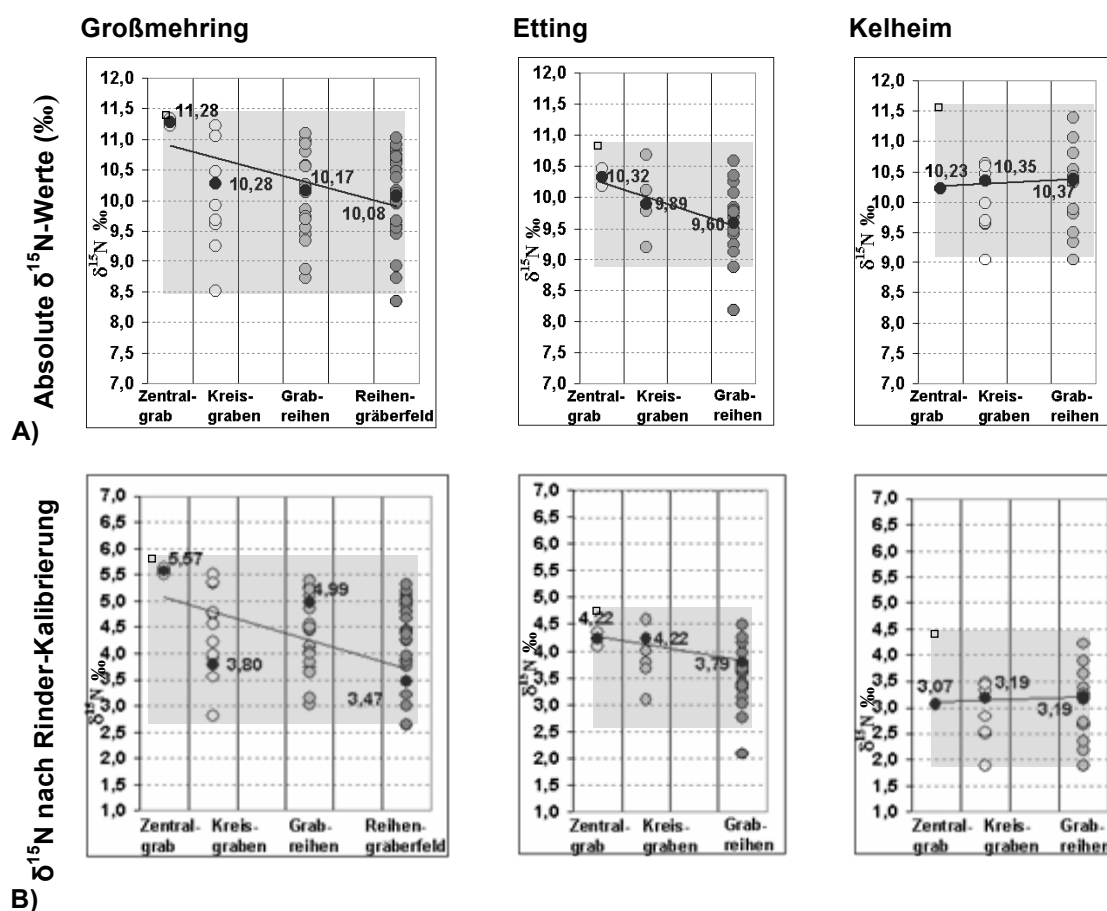


Abb. 5.78: Vergleich der absoluten $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Menschen (A) und der gleichen Werte, standardisiert auf den auf „Null“ gesetzten Median der Rinder-Werte (Werteangabe im Diagramm: jeweiliger Median der Friedhofs-kategorie) (B). (A): Die Wertespanne aller Friedhöfe beträgt etwa 2,5 – 3,0 ‰, wobei die Spanne der Kelheimer Population etwa 1 ‰ über der von Etting und ca. 0,5 ‰ über Großmehring beginnt ($\delta^{15}\text{N}$ Etting: 9 – 10,5 ‰; $\delta^{15}\text{N}$ Großmehring: 8,5 – 11,5 ‰; $\delta^{15}\text{N}$ Kelheim: 9 – 11,5 ‰). (B): Nach Einsetzen der Mediane der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Rinder als „Nullwert“ und dem Standardisieren der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Menschen verschieben sich die $\delta^{15}\text{N}$ Wertebereiche der Friedhöfe. Die Spanne der Großmehring und Ettinger Populationen beginnt nun bei 2,5 ‰, während Kelheim nun um mehr als 0,5 ‰ unter diesen Wertespannen liegt (Czermak et al. 2006b).

Mediane Rinder: Etting $\delta^{15}\text{N}$ = 6,10 ‰ (n=1); Großmehring $\delta^{15}\text{N}$ = 5,71 ‰ (n=6); Kelheim $\delta^{15}\text{N}$ = 7,16 ‰ (n=4); Bruckmühl (n=0) (Originaldaten Kelheim: Strott 2006).

Altersklassen

Kinder / Jugendliche

Bei Kindern und Jugendlichen (I1, I2, J) besteht zwischen dem Sterbealter und den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten eine direkte lineare Korrelation (Sp-Rho: $r = -0,400^*$; Pears: $r = -0,440^*$) (Abb. 5.79) sowie eine schwach negative Korrelation mit den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten (unter Annahme von nicht normalverteilten Daten: Sp-Rho: $r = -0,397^*$; unter Annahme von normalverteilten Daten besteht keine Korrelation: Pears) (Abb. 5.80). Die einzelnen Bestattungsplätze unterscheiden sich nicht signifikant in Verteilung und Veränderung der Werte zu den jeweiligen Altersstadien (ANOVA, Post Hoc).

Bei neonaten Individuen liegen die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte im Bereich der Erwachsenen (vgl. Abb. 5.61), ab dem Alter von etwa einem halben Jahr steigen diese um etwa eine Trophiestufe (4-5 ‰) an, zwischen vier und sechs Jahren gleichen sich die Isotopien der Kinder wieder auf die Werteebene der Erwachsenen an (Abb. 5.79). Zwei neugeborene Kinder haben im Vergleich zu den Erwachsenen besonders niedrige $\delta^{15}\text{N}$ -Werte (GrmB2 Grab 19: $\delta^{15}\text{N} = 9,23$ ‰; $\delta^{13}\text{C} = -21,68$ ‰ und GrmB4 Grab 90: $\delta^{15}\text{N} = 8,90$ ‰; $\delta^{13}\text{C} = -19,99$ ‰), wobei Grab 19 gleichzeitig sehr negative $\delta^{13}\text{C}$ -Werte hat. Bei beiden liegen die C‰- und N‰-Werte zwar an der Toleranzgrenze, die δ -Werte fügen sich aber in den Gesamtbefund des Friedhofteils ein.

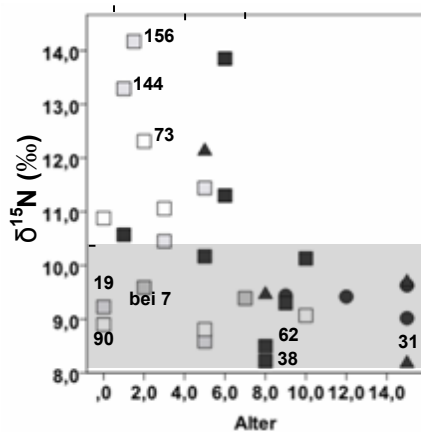


Abb. 5.79: $\delta^{15}\text{N}$ -Werte und Sterbealter bei Kindern und Jugendlichen (I1, I2, J). Es besteht eine direkte lineare Korrelation zwischen dem Sterbealter und den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten (Sp-Rho: $r = -0,400^*$; Pears: $r = -0,440^*$). Bei neonaten Individuen liegen die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte im Bereich der Erwachsenen (grau hinterlegt) (vgl. Abb. 5.61), ab dem Alter von etwa einem halben Jahr steigen sie um etwa eine Trophiestufe (4-5 ‰) an, zwischen vier und acht Jahren sind die Werte am niedrigsten und gleichen sich dann den Werten der Erwachsenen an. Zwischen den Bestattungsplätzen besteht kein signifikanter Unterschied (ANOVA, Post Hoc).

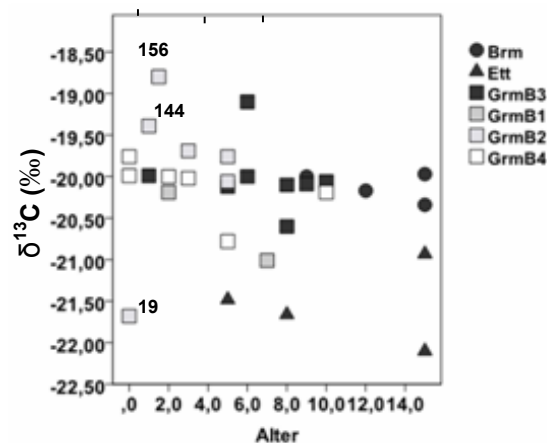


Abb. 5.80: $\delta^{13}\text{C}$ -Werte und Sterbealter bei Kindern und Jugendlichen (I1, I2, J). Bei Kindern und Jugendlichen besteht eine schwach negative, annähernd lineare Korrelation zwischen dem Sterbealter und den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten (unter Annahme von nicht normalverteilten Daten: Sp-Rho: $r = -0,397^*$. Unter Annahme von normalverteilten Daten besteht diese Korrelation nicht: Pears). Zwischen den Bestattungsplätzen besteht kein signifikanter Unterschied (ANOVA, Post Hoc). Die Werte der Individuen aus Etting liegen generell niedriger (vgl. Abb. 5.69).

Diskussion Isotope Kinder / Jugendliche

In zahlreichen Studien wurde die Ernährung von subadulten Individuen mit besonderem Augenmerk auf Stillpraktiken und Entwöhnungszeitpunkt untersucht. In den meisten Untersuchungen konnte bei gestillten Kindern ein Ansteigen der $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopien auf etwa eine Trophiestufe über den Werten der Erwachsenen und nach dem Abstillen ein langsames Abfallen bis zu einem Angleichen der Werte an die der Erwachsenen belegt werden. Ebenso ist ein geringer Abfall der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte erkennbar (Clayton et al. 2006; Dittmann & Grupe 2000; Fogel et al. 1997; Fuller et al. 2006a; Fuller et al. 2006b; Herring et al. 1998; Herrscher et al. 2001; Jay et al. 2008; Jenkins et al. 2001; Katzenberg 1996; Mays et al. 2002; Schurr 1997; Schurr 1998).

Zunächst ist der $\delta^{15}\text{N}$ -Wert eines Fötus oder eines Neugeborenen dem seiner Mutter ähnlich (Mays et al. 2002). Deshalb wurden die Werte möglicher Bezugsgräber mit weiblichen

Individuen bei allen Neugeborenen-Bestattungen (GrmB2: 19; GrmB3: 107; GrmB4: 74, 90, 151) verglichen. Bei den Gräbern 90, 107 und 151 handelt es sich um Einzelbestattungen ohne Bezugsgräber, die an das Grab 19 angrenzende weibliche Bestattung (Grab 16) weist keine ähnlichen Isotopenwerte auf ($\delta^{15}\text{N} = 8,92\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C} = -19,97\text{‰}$) und ist auch aufgrund ihrer Lage nicht unbedingt in Bezug zu setzen. Auf dem Bestattungsplatz GrmB4 bilden die Gräber 73, 74 und 75 eine kleine, etwas abgelegene Grabgruppe. Es handelt sich um Bestattungen eines Neugeborenen (74: $\delta^{15}\text{N} = 10,88\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C} = -19,76\text{‰}$), eines Kleinkindes (73: $\delta^{15}\text{N} = 12,31\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C} = -20,00\text{‰}$) und einer etwa 40jährigen Frau (Grab 75: $\delta^{15}\text{N} = 10,48\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C} = -19,81\text{‰}$). Die Isotopenwerte der Frau und des Neugeborenen sind annähernd identisch. Auch das Kleinkind hat eine fast identische $\delta^{13}\text{C}$ -Signatur. Seine deutlich erhöhten $\delta^{15}\text{N}$ -Werte belegen, dass dieses Kind gestillt wurde, möglicherweise von der neben ihm bestatteten Frau (vgl. Kapitel 5.8.3 Sonderbestattung).

Eine Anreicherung der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte um mindestens 1 ‰ im Verlauf der Stillphase konnte in mehreren Untersuchungen belegt werden (Katzenberg 1996; Wright & Schwarcz 1999). Bei Untersuchungen an Fingernägeln gestillter Kinder wurde eine Anreicherung von $\delta^{13}\text{C} = 1\text{‰}$ und $\delta^{15}\text{N} = 2\text{--}3\text{‰}$ verglichen mit den Werten der Mutter gemessen. Im Knochen kann, im Vergleich zu Keratin, $\delta^{13}\text{C}$ um bis zu 1,5 ‰, $\delta^{15}\text{N}$ um bis zu 2 ‰ angereichert sein (O'Connell & Hedges 1999; O'Connell & Hedges 2001). Ein Vergleich von Zähnen, die während der Stillzeit gebildet und nicht mehr umgebaut werden, mit Rippen, deren Isotopensignatur durch den Knochenumbau die Werte der nach dem Stillen aufgenommenen festen Nahrung widerspiegelt (Parfitt 1979), zeigte nach dem Abstillen einen Werteabfall von 1,2 ‰ $\delta^{13}\text{C}$ und 3,2 ‰ $\delta^{15}\text{N}$ zwischen Zähnen und Rippen (Fuller et al. 2003). Eine Anreicherung der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte um mindestens 1 ‰ im Verlauf der Stillphase konnte in mehreren Untersuchungen belegt werden (Katzenberg 1996; Wright & Schwarcz 1999). Während es Abstillens gleichen sich die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aber schneller denen der Mutter an als die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte. (Fuller et al. 2006a).

Andere Studien zeigen, dass die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte bei gestillten Kindern denen der Erwachsenen, bzw. der Mutter ähneln, die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte bis zu einer Trophiestufe über den Werten der Erwachsenen, bzw. der Mutter liegen (Katzenberg 1996; Mays et al. 2002). Dies trifft hier für alle Individuen des relevanten Alters zu (GrmB2 156: $\delta^{15}\text{N} = 14,17\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C} = -18,8\text{‰}$; 144: $\delta^{15}\text{N} = 13,29\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C} = -19,39\text{‰}$; GrmB4 73: $\delta^{15}\text{N} = 12,31\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C} = -20,00\text{‰}$), mit Ausnahme eines zweijährigen Kindes, bestattet bei Grab 7. Das Kind (GrmB1 $\delta^{15}\text{N} = 9,59\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C} = -20,19\text{‰}$) zeigt ähnliche Werte wie die etwa achtzehnjährige Frau, die gemeinsam mit dem Kleinkind bestattet wurde (Grab 7: $\delta^{15}\text{N} = 8,72\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C} = -19,90\text{‰}$). Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Frau sind im Vergleich zur Gesamtpopulation niedrig, der um etwa 1 ‰ erhöhte $\delta^{15}\text{N}$ -Wert des Kindes könnte ein Anzeichen für ein kurzfristiges Stillen bzw. ein sehr frühes Entwöhnen sein. Hier weist einiges auf eine Mutter-Kind-Verbindung hin. Der gemeinsame relativ frühe Tod und die niedrigen $\delta^{15}\text{N}$ -Werte könnten auf eine ernährungsbedingte schwache Konstitution und möglicherweise auf eine daraus folgende, tödlich verlaufende Infektion beider Individuen hinweisen.

Zwischen heranwachsenden und erwachsenen Individuen bestehen im Normalfall keine Unterschiede wenn beide dasselbe essen (Waters-Rist & Katzenberg 2010).

Zahlreiche Untersuchungen, weitgehend unabhängig von Ort, Population und Zeitstellung weisen jedoch Kinder im Wachstum zwischen etwa 5 und 15 Jahren niedrigere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte als Erwachsene auf (Clayton et al. 2006; Dittmann & Grupe 2000; Fogel et al. 1997; Fuller et al. 2003; Katzenberg 1996; Katzenberg & Lovell 1999; Katzenberg et al. 1993; McGlynn 2007; Privat et al. 2002). Die Werte der Kinder gleichen sich aber auf allen untersuchten Friedhöfen nach der Entwöhnung langsam denen der Erwachsenen an. Hier könnte die Nahrung der Kinder, die sie nach der Entwöhnung und während der Kindheit erhielten, in Relation zur Ernährung der Erwachsenen einen vergleichsweise niedrigeren $\delta^{15}\text{N}$ -Anteil gehabt haben.

Gemäß der Stickstoff-Isotopien der Kleinkinder und unter Berücksichtigung der Knochenumbaurate bei Kindern (Parfitt 1979), dürfte bei den hier untersuchten Kleinkindern ab spätestens einem Jahr mit dem Füttern von fester Nahrung begonnen worden sein. Die Werte der hier untersuchten Kinder erreichen aber erst ab einem Alter von etwa 9 Jahren das Erwachseneniveau.

Heute wird in der Regel ab etwa einem halben Jahr begonnen Kinder mit fester Nahrung zu füttern und in der Regel auch abgestillt⁴⁴. In traditionellen Gesellschaften ist es verbreitet im Alter zwischen 2 und 4 Jahren abzustillen (Dettwyler 1995). Das Proteinlevel ist bei Milch tierischen Ursprungs zwar höher (Jay et al. 2008), Muttermilch ist aber nachweislich die optimale Ernährung für Säuglinge und schränkt das Risiko von Infektionen, insbesondere Magen-Darm-Infekten ein (Feachem & Koblinsky 1984; Molbak et al. 1994). Es ist bei den hier untersuchten Kindern davon auszugehen, dass ab dem Alter von etwa einem halben Jahr Muttermilch nicht mehr die alleinige Nahrung der Kinder war und zunehmend weniger wurde.

Besonders auffällige $\delta^{15}\text{N}$ -Werte können Mangel- oder Fehlernährung, Krankheiten oder eine unausgeglichene Stickstoffbilanz vor dem Tod widerspiegeln. Dies ist schlägt sich besonders in den Werten von Kindern nieder, da deren Knochenumbaurate relativ hoch ist, besonders wenn die Umstände länger andauern (Katzenberg & Lovell 1999). Die etwa achtjährigen Kinder aus den Gräbern 38 und 62 (GrmB3) und ein Fünfzehnjähriger aus Etting (Grab 31) zeigen vergleichsweise niedrige $\delta^{15}\text{N}$ -Werte. Die $\delta^{13}\text{C}$ Ergebnisse liegen jedoch im normalen Bereich der übrigen Individuen auf den jeweiligen Friedhöfen (GrmB3, Grab 38: $\delta^{15}\text{N}$ = 8,22 ‰; $\delta^{13}\text{C}$ = -20,60 ‰; Grab 62: $\delta^{15}\text{N}$ = 8,50 ‰; $\delta^{13}\text{C}$ = -20,1 ‰ und Ett, Grab 31 $\delta^{15}\text{N}$ = 8,18 ‰; $\delta^{13}\text{C}$ = -22,10 ‰). Für die niedrigen $\delta^{15}\text{N}$ -Werte und den relativ frühen Tod der Kinder könnten eine länger dauernde Erkrankung und eine daraus folgende geringere Nahrungsaufnahme ursächlich sein.

Erwachsene

Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der erwachsenen Individuen in den verschiedenen Altersklassen unterscheiden sich nicht signifikant, weder zwischen den Bestattungsplätzen noch innerhalb der Friedhöfe (ANOVA/PostHoc; KW). Die Mediane der Werte in Etting und Großmehring sind nahezu identisch. In Bruckmühl haben die muren Individuen signifikant niedrigere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte ($p=0,017$; ANOVA/PostHoc; KW). In Kelheim besteht eine Tendenz zu erhöhten Werten in der adulten Altersklasse (Abb. 5.81). Zwischen Männern und Frauen bestehen hier keine signifikanten Unterschiede in den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten, auch nicht innerhalb der einzelnen Altersklassen (KW; ANOVA/PostHoc). Auch in einer vergleichbaren Arbeit gab es keine Unterschiede in der Ernährung zwischen Männern und Frauen und es konnten keine signifikanten Unterschiede in den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten der Frauen in Zusammenhang mit dem Alter festgestellt werden. Bei den Männern zeigte sich dort jedoch ein Unterschied zwischen den Altersklassen, bei Männer in der adulten Altersklasse wurden signifikant höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte gemessen (Privat et al. 2002).

Aufgrund fehlender Abweichungen in den Isotopenwerten kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass Unterschiede in der Ernährung von Männern und Frauen bestanden haben. Denn anhand der Isotopenwerte kann keine genaue Aussage darüber getroffen werden, aus welcher Quelle das tierische Protein kommt (z. B. Schoeninger & DeNiro 1983), also ob ein Individuum Protein durch Fleisch oder tierische Sekundärprodukte erhalten hat. Ebenso kann durch die Isotopenanalyse die Qualität der Nahrung nicht bestimmt werden (Privat et al. 2002).

⁴⁴

Friedhofsklassen

Unter Verwendung der Absolutdaten (vgl. Kap 5.94, Rindereichung) gibt es generell keine signifikanten Unterschiede zwischen gleichen Friedhofsklassen im Gräberfeldvergleich (KW; ANOVA/PostHoc). Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der gleichwertigen Friedhofsklassen sind demnach relativ ähnlich, wobei die Daten aus Bruckmühl tendenziell niedriger und die aus Kelheim tendenziell höher sind. Auch innerhalb der einzelnen Friedhofsklassen bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Individuen (KW oder ANOVA) (Abb. 5.82).

Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Individuen der einzelnen Friedhofsklassen innerhalb eines Bestattungsplatzes unterscheiden sich bei keinem der untersuchten Friedhöfe signifikant (KW; ANOVA/PostHoc), aber es konnten Korrelationen zwischen den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten und dem Friedhofsteil in dem die Individuen bestattet wurden, bzw. mit der Qualität der Beigabenausstattung, festgestellt werden. In Etting zeigt sich dabei ein abfallender Gradient der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte zwischen den Zentralgräbern (jeweils links), über deren assoziierte Gräber (mittig) zu dem Hauptteil der Gräber (rechts), im Fall von Großmehring abfallend bis zum Reihengräberfeld (ganz rechts). Während in Großmehring eine Tendenz besteht ($r = -0,148$; Sp-Rho), korrelieren in Etting $\delta^{15}\text{N}$ -Wert und Friedhofsklasse signifikant ($r = -0,460^*$, $p = 0,05$; Sp-Rho). In Bruckmühl und Kelheim besteht keine signifikante Korrelation zwischen den festgelegten Friedhofsklassen und den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten. Im Gegensatz zu Etting und Großmehring bestehen hier sogar schwach gegenläufige Tendenzen. Die Mediane der Werte aus den verschiedenen Friedhofsklassen sind jedoch sehr ähnlich. Die Gesellschaft in Kelheim und Bruckmühl erscheint anhand dieser Einteilung der Friedhofsklassen, zumindest im Bezug auf die Ernährungsgewohnheiten, sozial homogener.

Verteilung der Beigaben und der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte auf den Gräberfeldern

Um einen genaueren Eindruck über die Verteilung der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte auf den Friedhöfen zu erhalten, wurden die Werte der erwachsenen Individuen farblich dargestellt und an ihrer Grabposition eingetragen. Im direkten Vergleich dazu wurden die Gräber mit nennenswerten Beigaben ebenfalls auf den jeweiligen Gräberfeldplänen markiert.

Auf dem Friedhof Bruckmühl waren sechs Gräber im östlichen Teil des Friedhofs mit sehr hochwertigen Beigaben ausgestattet (Suhr & Fehr 2007). Hier wird deutlich, dass die Individuen mit den hochwertigsten Beigaben (Abb. 5.83 A) zwar im oberen Wertebereich liegen, aber die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der im östlichen Teil bestatteten Personen ebenfalls über 9 ‰ liegen (Abb. 5.83 B). Des Weiteren wird deutlich, dass von einer relativ großen Anzahl der Individuen (26,7%, davon Grab 43 mit Beigaben) auf beiden Teilen des Friedhofs keine Messwerte vorliegen.

In Etting wurde ein Großteil der Individuen mit Beigaben bestattet, acht davon mit sehr hochwertigen. Die reichste Ausstattung enthielten die Zentralbestattungen innerhalb des Kreisgrabens (Ledderose 2006) (Abb. 5.84 A). Die Verteilung der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte auf dem Gräberfeld zeigt, dass die Individuen, die im Bereich des Kreisgrabens bestattet wurden die höchsten $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aufweisen ($>9,6$ ‰). Unter den höchsten gemessenen Werten lagen die der Zentralbestattungen ($>10,1$ ‰). Individuen die zwar mit besonders hochwertigen Beigaben, aber außerhalb des Kreisgrabens bestattet wurden haben niedrigere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte, ebenso wie die anderen außerhalb bestatteten Personen ($<9,6$ ‰). Lediglich bei zwei Gräbern konnten ähnlich hohe Werte wie im Bereich des Kreisgrabens gemessen werden (Grab 22 und 30) (Abb. 5.84 B). Bei der Gesamtauswertung muss jedoch berücksichtigt werden, dass von 20,5% der Erwachsenen keine Messergebnisse vorliegen.

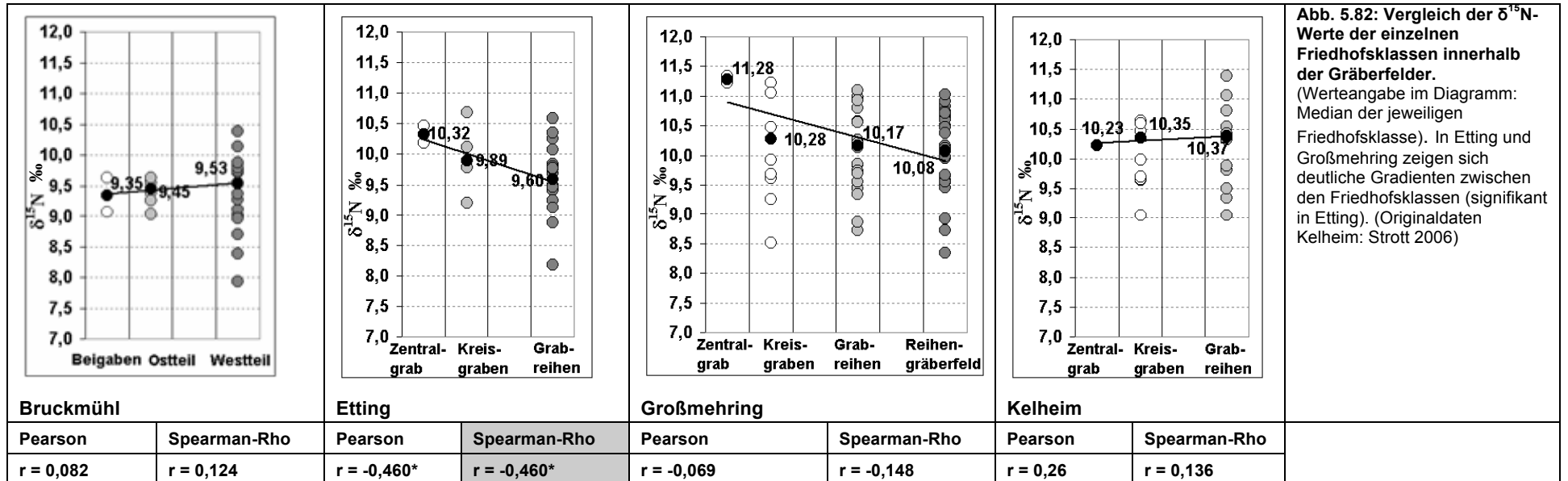
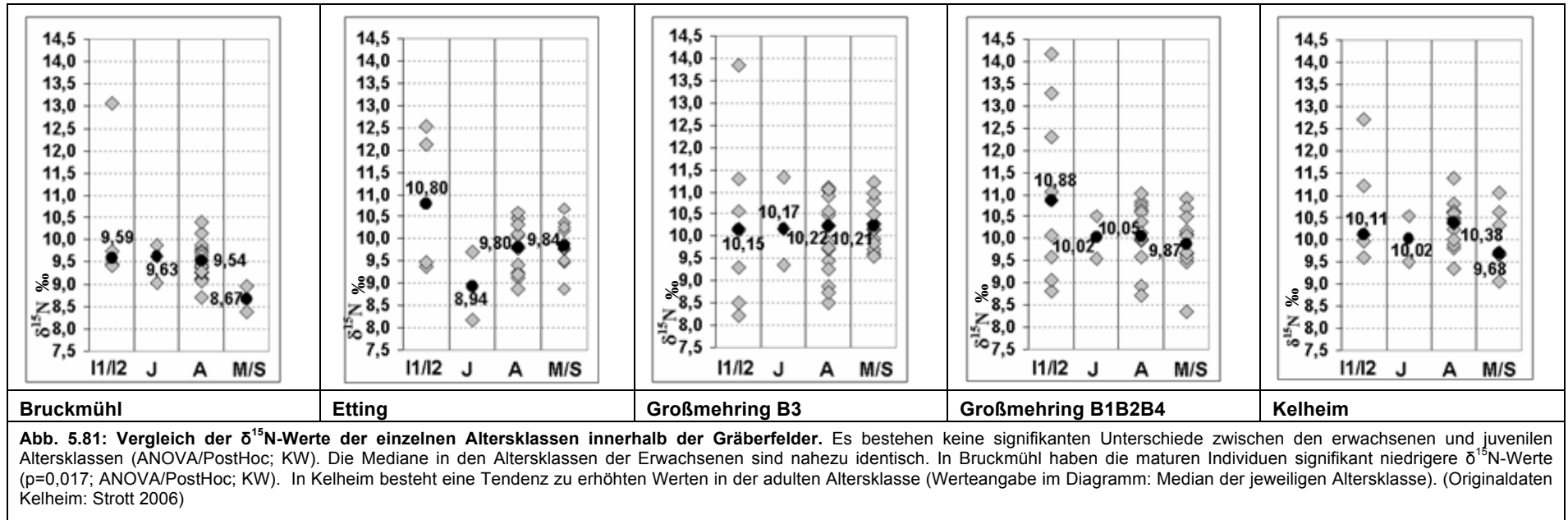
In Etting sind zwei Individualbefunde mit erhöhten $\delta^{15}\text{N}$ -Werten zu betrachten. Der Mann aus Grab 22 liegt zwar außerhalb des Kreisgrabens, weist aber $\delta^{15}\text{N}$ -Werte >10 ‰ auf. Er wurde zwar mit Beigaben bestattet, diese waren aber von mittlerer Qualitätsstufe. Weitere besondere Befunde bei diesem Individuum waren ein stark beanspruchter linker Oberarm (vgl. 5.6.2, Indices), was sich auf eine möglicherweise verletzungsbedingte Veränderung des rechten Armes zurückzuführen ist (deutliche Verdickung der mit dem Schultergelenk assoziierenden Gelenksfläche der Clavicula und Veränderungen der Radiusdiaphyse, vermutlich ein verheilter Bruch über dem rechten Handgelenk). Des Weiteren gab es hier Differenzen bei den verschiedenen Altersbestimmungsmethoden (vgl. 5.3.4

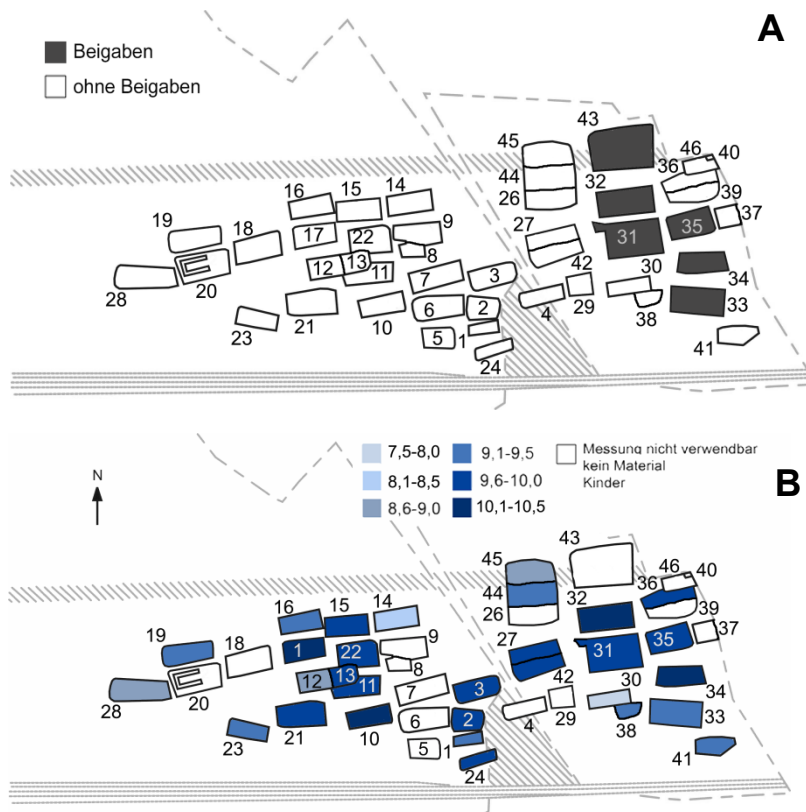
Altersbestimmung). Aufgrund der nahezu vollständig verwachsenen Schädelnähte und weiterer Skelettmerkmale wurde das Individuum morphologisch in die senile Altersklasse eingeteilt, die Ergebnisse der TCA schwankten zwischen mitteladult und frühmatur. Diese zusätzlichen Befunde können zwar nicht direkt mit den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten in Verbindung gebracht werden, aber die erhöhte Anzahl von „Sonderbefunden“ könnte ein Hinweis auf eine „besondere Behandlung“ dieses Mannes sein. Die spätadulte Frau aus Grab 30 hingegen wies keine weiteren Besonderheiten auf.

Die Beigaben führenden Gräber des Separatfriedhofs Großmehring B3 konzentrieren sich einerseits um den nördlichen Kreisgraben, bilden aber auch Gruppen innerhalb der Reihenbestattungen. Die reichste Ausstattung enthielten die Zentralbestattungen innerhalb der Kreisgräben (Ledderose 2006) (Abb. 5.85 A). Hier zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Friedhofsbereichen. Wie in Etting zeigen auch hier die Zentralbestattungen die höchsten gemessenen Werte ($>11,1\text{‰}$) innerhalb des Kollektivs. Relativ hohe $\delta^{15}\text{N}$ -Werte ($>10\text{‰}$) konzentrieren sich im Bereich des nördlichen Kreisgrabens.

Gräber mit Beigaben haben hier auch tendenziell höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte, Gräber ohne Beigaben niedrigere ($<10\text{‰}$) (Abb. 5.85 B). Dies ist jedoch nicht statistisch signifikant (MWhU-Test). Hier erbrachten 25% der Gesamtpopulation keine Messergebnisse, davon acht Gräber mit Beigaben.

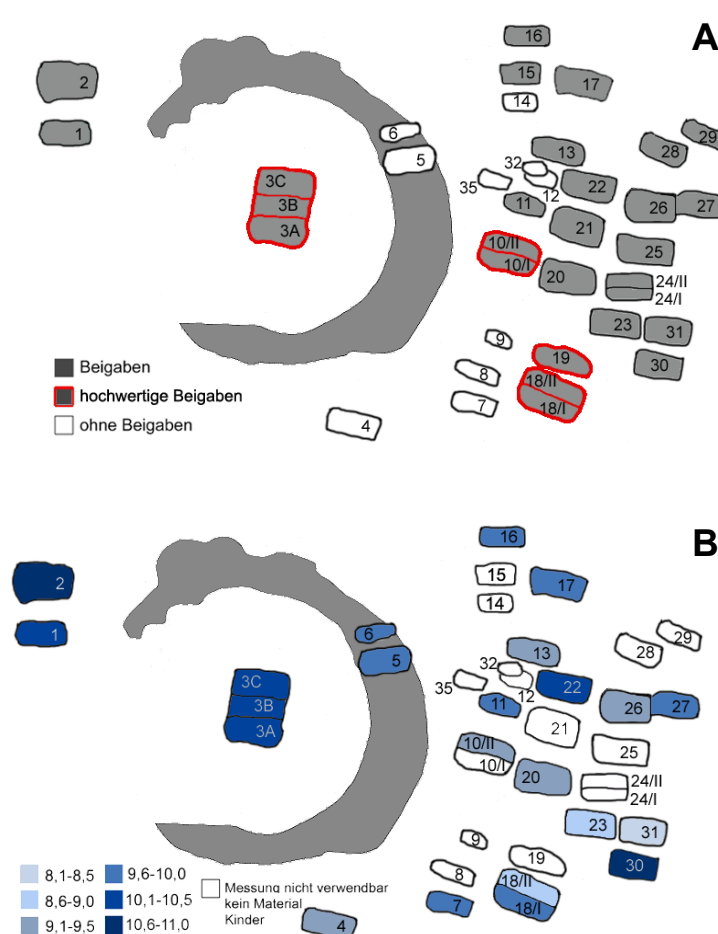
Auf dem Bestattungsplatz Kelheim konnte kein Verteilungsmuster der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte festgestellt werden. Die Individuen im Bereich des Kreisgrabens zeigen $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopien im mittleren Wertebereich zwischen 9,5 und 10,5 ‰ (Abb. 5.86 B). Auch der Wert der mit Beigaben bestatteten Frau (Grab 85) liegt in diesem Wertebereich (Abb. 5.86 A). Die Individuen mit den höchsten gemessenen $\delta^{15}\text{N}$ -Werten liegen alle außerhalb des Kreisgrabens und bilden südlich davon eine kleine Gruppe. Die anderen verstreuen sich über den Reihengräber Bereich des Bestattungsplatzes. Hier lagen von ca. 35% der Gesamtpopulation keine verwendbaren Messergebnisse vor.





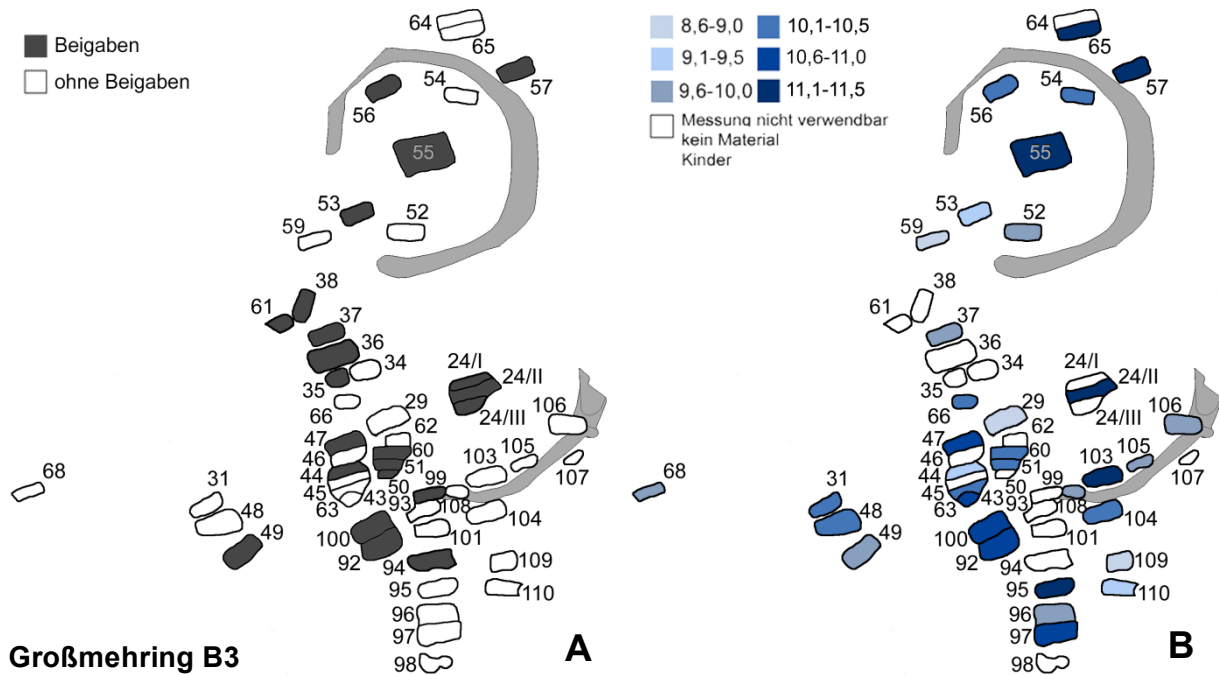
Bruckmühl

Abb. 5.83: Gräberfeld Bruckmühl; Vergleich der Beigaben führenden Gräber und der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte. (A) Gräber ohne Beigaben (hell), Beigaben führende Gräber (dunkel). Sechs Gräber im östlichen Teil des Friedhofs waren mit sehr hochwertigen Beigaben ausgestattet (Suhr & Fehr 2007). (B) Verteilung der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte auf dem Gräberfeld (Erwachsene). Die $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopen liegen bei allen Individuen relativ hoch. Die mit Beigaben Bestatteten liegen zwar alle im oberen Wertebereich, aber einige andere Individuen auf beiden Friedhofsteilen haben ähnlich hohe Werte ($>9\text{‰}$, dunkelblau markiert). Von einer relativ großen Anzahl der Individuen (26,7%) auf beiden Friedhofsteilen liegen keine Messergebnisse vor. Besonders das Beigaben führende Grab 43 konnte nicht ausgewertet werden. Die vier Kinderbestattungen wurden nicht berücksichtigt (weiß markiert). (Gräberfeldplan modifiziert nach Suhr & Fehr 2007)



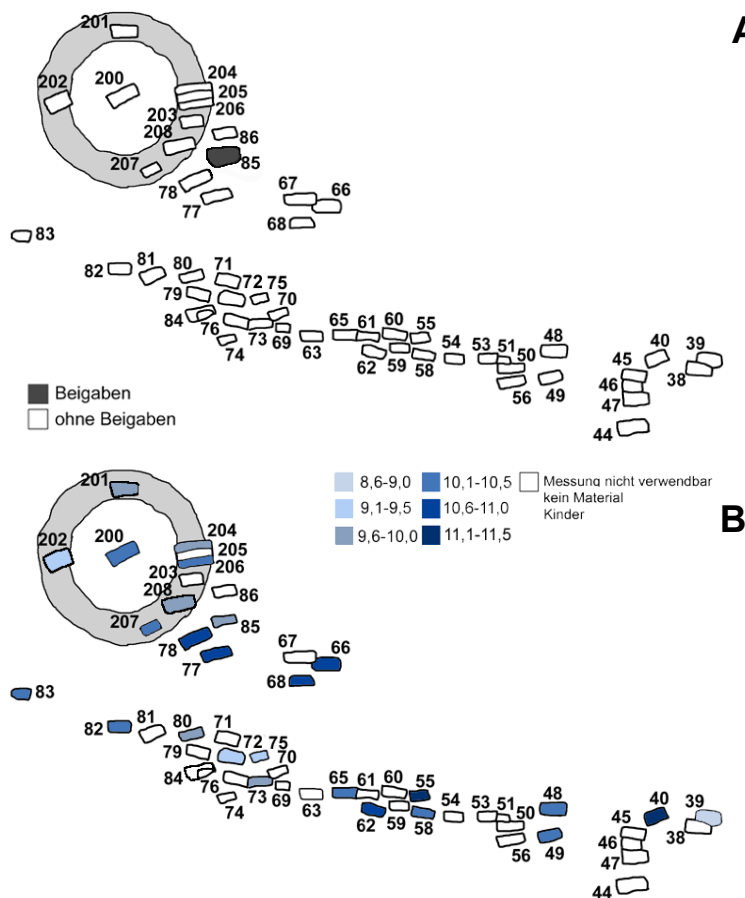
Etting

Abb. 5.84: Gräberfeld Etting; Vergleich der Beigaben führenden Gräber und der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte. (A) Gräber ohne Beigaben (hell), Beigaben führende Gräber (dunkel), besonders hochwertige Beigaben (rot umrandet). Ein Großteil der Individuen wurde hier mit Beigaben bestattet, acht davon mit sehr hochwertigen. Die reichste Ausstattung enthielten die Zentralbestattungen innerhalb des Kreisgrabens (Ledderose 2006). (B) Verteilung der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte auf dem Gräberfeld. Hier zeigt sich, dass die Individuen, die im Bereich des Kreisgrabens bestattet wurden auch die höchsten $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aufweisen ($>9,6\text{‰}$, dunkelblau markiert). Unter den höchsten gemessenen Werten lagen die der Zentralbestattungen. Individuen die zwar mit besonders hochwertigen Beigaben, aber außerhalb des Kreisgrabens bestattet wurden haben niedrigere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte, ebenso wie die anderen außerhalb bestatteten Personen ($<9,6\text{‰}$, hellblau markiert). Lediglich bei zwei Gräbern konnten ähnlich hohe Werte wie im Bereich des Kreisgrabens gemessen werden (Grab 22 und 30). Von 20,5% der Gesamtpopulation liegen keine Messergebnisse vor, davon drei der Beigaben führenden Gräber, vier Kinder wurden nicht berücksichtigt (weiß markiert). (Gräberfeldplan modifiziert nach Ledderose 2006),



Großmehring B3

Abb. 5.85: Gräberfeld Großmehring B3; Vergleich der Beigaben führenden Gräber und der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte. (A) Gräber ohne Beigaben (hell), Beigaben führende Gräber (dunkel). Die Beigaben führenden Gräber konzentrieren sich um den nördlichen Kreisgraben einerseits, bilden aber auch Gruppen innerhalb der Reihenbestattungen. Die reichste Ausstattung enthielten die Zentralbestattungen innerhalb der Kreisgräben (Ledderose 2006). (B) Verteilung der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte auf dem Gräberfeld. Hier zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Friedhofsbereichen. Auch hier zeigen die Zentralbestattungen die höchsten Werte ($>11,1 \text{ ‰}$) innerhalb des Kollektivs und relativ hohe $\delta^{15}\text{N}$ -Werte ($>10 \text{ ‰}$) konzentrieren sich im Bereich des nördlichen Kreisgrabens. Gräber mit Beigaben haben hier auch tendenziell höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte, Gräber ohne Beigaben niedrigere ($<10 \text{ ‰}$) (nicht signifikant, MWhU-Test). 25% der Gesamtpopulation erbrachten keine Messergebnisse, davon acht Gräber mit Beigaben. Acht Gräber mit Kindern wurden bei der Darstellung nicht mit berücksichtigt (Gräberfeldplan modifiziert nach Ledderose 2006).



A Kelheim

Abb. 5.86: Gräberfeld Kelheim, Vergleich der Beigaben führenden Gräber und der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte. (A) Gräber ohne Beigaben (hell), Beigaben führende Gräber (dunkel). Hier ist nur ein Grab mit Beigaben dokumentiert (Grab 85), alle anderen Bestattungen waren beigabenlos (Czermak et al. 2006b). (B) Verteilung der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte auf dem Gräberfeld. Hier kann kein Verteilungsmuster in den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten festgestellt werden. Die Individuen im Bereich des Kreisgrabens zeigen $\delta^{15}\text{N}$ -Werte zwischen 9,5 und 10,5 ‰. Auch die Isotopie der mit Beigaben bestatteten Frau (Grab 85) liegt im mittleren Wertebereich. Die Individuen mit den höchsten gemessenen Werten liegen alle außerhalb des Kreisgrabens und bilden südlich davon eine kleine Gruppe. Die anderen verstreuen sich über den Reihengräber Bereich des Bestattungsplatzes.

Etwa 35% der Gesamtpopulation erbrachte keine Messergebnisse und die Werte von fünf Kindern wurden nicht mit dargestellt.

(Gräberfeldplan modifiziert nach Meier 2005, Originaldaten Kelheim: Strott 2006).

Diskussion der $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopien und der Einteilung der Friedhofsklassen

Hauptaspekt der Arbeit war die Untersuchung sozialer Abstufungen innerhalb der Bestattungsplätze. Es stellt sich hier die Frage, ob Isotopenanalysen generell bei Fragestellungen nach der sozialen Strukturierung einer Population sinnvoll sind. Aufgrund der hohen Anzahl fehlender Messergebnisse bei allen Friedhofsteilen auf jedem der hier bearbeiteten Gräberfelder ist eine statistische Auswertung im Bezug auf Verteilung und Unterschiede der $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopien nicht möglich. Daher können lediglich Tendenzen angegeben werden. Es zeigt sich jedoch eine gewisse Regelmäßigkeit in der Verteilung der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte. So haben die Zentralbestattungen in den Kreisgräbern (Etting und Großmehring B3) die höchsten $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopien. Ebenfalls besteht dort die Tendenz, dass Individuen mit hochwertigen Beigaben auch höhere Werte haben und dass sich die Friedhofsteile, zumindest in der Art und Weise wie sie hier festgelegt wurden, erkennbar voneinander unterscheiden. Dieses Schema ist bei Kelheim nicht umsetzbar, obwohl es sich hier um die gleiche Friedhofsstruktur handelt. Allerdings fehlen bei Kelheim eindeutige Beigaben, die besonders bei Etting, aber auch bei Großmehring bei der Einteilung der Friedhofsbereiche mit berücksichtigt wurden. Ebenso zeigten die Ergebnisse von Bruckmühl keine eindeutige Verteilungsstruktur.

Die Ergebnisse der Isotopenanalyse unterstützen die These der sozialen Abstufung zwischen den Friedhofsklassen nur teilweise. Dabei scheinen „hochwertige Beigaben“ bessere Indikatoren zu sein als die Friedhofsstruktur allein. Einzig der Friedhof Etting erfüllt die genannten Kriterien sowohl bezüglich der Beigaben als auch bezüglich der Friedhofsstruktur (Ledderose 2006). Hier zeigt sich auch eine signifikante Korrelation zwischen Friedhofsklasse und $\delta^{15}\text{N}$ -Werten. Hingegen gab es auf dem Bestattungsplatz Kelheim, auf dem keine nennenswerten Beigaben gefunden wurden keine Unterschiede zwischen den eingeteilten Friedhofsklassen (Czermak et al. 2006b; Meier 2004; Strott 2006). Ein Vergleich mit den Ergebnissen der morphologischen Begutachtung der degenerativen Veränderungen (5.7.2, Degenerative Veränderungen) zeigt ebenfalls, dass die Kelheimer Population im Vergleich mit den hier untersuchten Gräberfeldern deutlich stärker belastet war (siehe auch Czermak et al. 2006b).

Es wird angenommen, dass es sich bei den auf Separatgrablegen Bestatteten um Personen handelt, deren sozialer Stand einer Vorstufe des hochmittelalterlichen „Adels“ entspricht (siehe 2.1.1 Historische Hintergründe). Bruckmühl und Kelheim befinden sich nicht, wie Etting und Großmehring, im damaligen Grenzgebiet zum fränkischen Reich (Kaiser 1990; Ledderose 2006), sondern eher zentral im Herzogtum Bayern. In Etting und Großmehring könnten daher aufgrund der Grenznähe und dem Herrschaftsanspruch der Franken auf diesem Gebiet ein deutlicheres Gefälle zwischen höherem und niedrigerem Stand entstanden sein. Dafür würde auch die Beigabensituation in Kelheim sprechen. Besonders in Bruckmühl stellte sich das Problem der korrekten Einteilung der Friedhofsklassen. Die Grenzlinie zwischen Ost- und Westteil orientiert sich zwar an Friedhofsstruktur und Beigabensituation, wurde aber weitgehend beliebig gezogen. Ebenso ist die Vollständigkeit der Individuen des Bestattungsplatzes nicht gewährleistet, da sich das Gräberfeld durchaus weiter in Richtung Osten erstrecken könnte (Suhr & Fehr 2007). Dies wäre eine mögliche Erklärung für die Gegenläufigkeit der Werte. Andererseits haben die mit Beigaben bestatteten Individuen hier auch nicht die höchsten auf dem Friedhof gemessenen $\delta^{15}\text{N}$ -Werte.

Die Isotopensignatur eines einzelnen Individuums kann relativ gut ausgewertet und interpretiert werden. Es stellt sich jedoch die Frage, ob es überhaupt sinnvoll ist, die Isotopen-Daten einer Population als „Kollektivdaten“ auszuwerten, da die Unterschiede zwischen den zu vergleichenden Gruppen sehr gering sind.

Bestattungen mit Waffen

In Anlehnung an die Untersuchung von Privat et al. (2000) wurden hier Bestattungen mit Waffen genauer ausgewertet.

In dieser Untersuchung wurde gezeigt, dass bestimmte Individuen, die sich aufgrund ihrer Behandlung nach dem Tod von den anderen unterscheiden, sich auch in ihrer Ernährung

von diesen unterscheiden. In der Population bestanden offensichtlich altersbedingte soziale Unterschiede. Männer über 30 Jahren (spätadult) wurden ohne Waffen bestattet und auch die Ernährung unterschied sich von der Ernährung der Männer zwischen 20 und 30 Jahren (früh- und mitteladult). Hier ist anzumerken, dass, entgegengesetzt der Hypothese der vorliegenden Arbeit, bei Privat et al. (2000) die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der als „reich“ definierten Individuen niedriger sind als die Werte der „armen“. Männer, die mit Waffen bestattet wurden, hatten einen um 0,4 ‰ (signifikant) niedrigeren $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwert als mit Waffen bestattete Männern (Privat et al. 2002). Das Phänomen der höheren Werte in niedrigeren Klassen wird mit einem ausreichend vorhandenen Nahrungsangebot erklärt. An $\delta^{15}\text{N}$ reiche Nahrung wie Süßwasserfisch war dort durch die unmittelbare Flussnähe leicht, schnell und kostengünstig zugänglich, im Gegensatz zur Aufzucht von Rindern, Schafen und Ziegen. Auch könnten Schweine, gefüttert mit Tier- und Pflanzenabfällen mit einem Bruchteil an Aufwand und Kosten aufgezogen werden als andere Haustiere (Privat et al. 2002). Die höheren Isotopenwerte der „Armen“ seien also durch den vermehrten Konsum von „lower status food“ wie Schwein oder Fisch entstanden.

Bestattungsplatz		Klasse	Grab	Alter	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
Bruckmühl		3	17	mA	-19,76	10,38
		2	27		19,36	9,54
		1	34	mA	-19,54	10,35
		1	36	J	-19,97	9,63
		2	45	J	-0,34	9,02
Etting		1	A	fM	-20,30	10,19
		1	3B	mA	-22,50	10,46
		3	19	J	-22,41	9,19
Großmehring	B3	3	36	sA	-20,80	10,05
	B4	4	4	s	-20,08	9,98
	B4	4	40	fM	-20,12	10,71
	B4	4	128	sA	X	X
	B4	4	149	mM	X	X
Enkering		1	1	sA	-19,95	10,33
		2	5	A+	X	X
		2	6	sM	X	X
		2	7	-	X	X

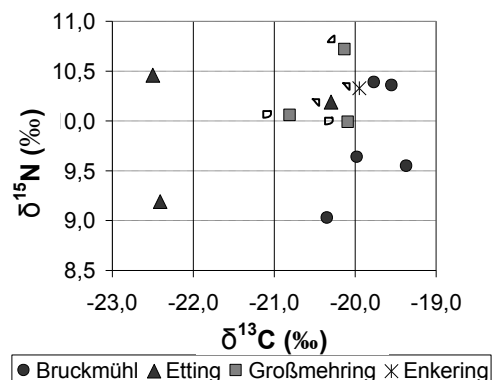


Abb. 5.87: $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der mit Waffen bestatteten Männer aus den untersuchten Grablegen. (Männer über 30 Jahre markiert). Hier zeigt sich zwar eine Tendenz, dass erstens mit Waffen bestattete Männer und davon vor allem Männer über 30 höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte haben. Aufgrund der geringen Datenmenge kann eine Signifikanz jedoch nicht geprüft werden.

Tab. 5.23: Gräber mit Waffenausstattung (Sax) (Ledderose 2006, Suhr & Fehr 2007), Friedhofsklasse und Alter der Individuen. **Die in den grau markierten Gräbern bestatteten Individuen haben ein Sterbealter über 30 Jahren.**

Ein Vergleich der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Männer auf den hier untersuchten Bestattungsplätzen in Relation zum Alter zeigte, dass bei Etting und Großmehring keine signifikanten Unterschiede zwischen den Altersklassen „Adult“ und „Matur“ bestehen. In Bruckmühl haben die maturen Individuen signifikant niedrigere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte ($p=0,017$; ANOVA/PostHoc; KW). In Kelheim besteht eine Tendenz zu erhöhten Werten in der adulten Altersklasse (vgl. Abb. 5.81).

Auf den untersuchten Bestattungsplätzen sind aus 17 Gräbern Schwerter überliefert. Fünf davon in Bruckmühl, drei in Etting, fünf in Großmehring, davon einer auf der Separatgrabanlage GrmB3 und vier in Enkering (Ledderose 2006; Suhr & Fehr 2007). Neun der mit Waffen bestatteten Männer waren über 30 Jahre alt, davon alle aus Großmehring und Enkering und einer aus Etting. In Bruckmühl war jedoch keiner der „Waffenträger“ über dreißig Jahre alt (Tab. 5.23).

Von den 17 mit Waffen bestatteten Männern, davon sieben unter 30 Jahren, konnten bei 12 die C/N-Isotopen gemessen werden. Es zeigt sich die Tendenz, dass mit Waffen bestattete Männer und davon vor allem Männer über 30 höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte haben (Abb. 5.87). Aufgrund der geringen Datenmenge kann eine statistische Signifikanz jedoch nicht geprüft werden. Die Isotopenwerte der mit Waffen bestatteten Männer unterscheiden sich jedoch

nicht von Männern ohne Waffen (MWhU-Test). Dass Männer die älter als 30 Jahre waren nicht mit Waffen bestattet wurden (Privat et al. 2002) konnte hier nicht festgestellt werden. In Großmehring war sogar keiner der Waffenträger unter dreißig. Lediglich Bruckmühl passt in dieses Schema, dort war keiner der mit Waffen bestatteten Männer über dreißig Jahre alt.

Der von Privat et al. (2002) untersuchte englische Friedhof (Beddingfield) wurde zwar zeitlich ähnlich eingestuft wie die hier untersuchten Bestattungsplätze, befindet sich aber in einem anderen Kulturkreis. Dies könnte eine mögliche Erklärung für die Art der Beigabenauswahl bei Männern unter dreißig sein. Möglicherweise sind Waffen als Grabbeigabe aber generell nicht unbedingt oder nicht nur Ausdruck sozialen Standes, bzw. Status. So wurde der Großteil der mit Waffen als Beigaben bestatteten Männer in Großmehring nicht auf dem Separatfriedhof GrmB3 sondern auf dem Bestattungsplatz GrmB4 gefunden. Möglicherweise handelt es sich hier aber um ältere Gräber, die in der Zeit vor dem Verschwinden der Beigabensitte angelegt wurden (Ledderose 2006). Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist eine genaue Chronologie der Gräber unerlässlich, diese war hier jedoch nur eingeschränkt möglich (siehe Ledderose 2006).

Es ist hier nicht eindeutig zu klären, ob Unterschiede in der Ernährung in Relation zu Waffen als Beigaben stehen und ob eine derartige Bestattung Hand in Hand geht mit „Reichtum“. Die Art der Ernährung steht mit Sicherheit in einem Zusammenhang mit dem sozialen Stand oder dem gesellschaftlichen Status eines Individuums (siehe oben). Dies kann aber nicht unbedingt mit Grabbeigaben, insbesondere Waffen, in Zusammenhang gebracht werden. Vor allem da noch nicht eindeutig geklärt ist, ob Waffenbeigaben primär als „Werkzeug“ oder als „Statussymbol“ gesehen wurden (siehe Ledderose 2006). Hier hat sich beispielsweise gezeigt, dass nur eines der Individuen, die Hiebverletzungen oder Kampfspuren aufwiesen, mit Waffen bestattet wurde (vgl. 5.8.2 Hiebverletzungen).

Die Frage, ob ein junger Mann im waffenfähigen Alter aufgrund seines Lebens auf dem „Schlachtfeld“ schlechter ernährt war oder ob er besonders in Krisenzeiten besser ernährt sein musste, ob ältere, mit Waffen bestattete, sozial eventuell höherrangige Männer aufgrund ihres Standes besser ernährt waren und das Schwert als reines Statussymbol im Grabe mit sich führten, kann anhand dieser Untersuchungen nicht geklärt werden und Lösungsansätze können nur spekulativ bleiben.

5.8.5 Zusammenfassende Diskussion der Methode

Einflüsse auf die $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopensignaturen

Zahlreiche Faktoren können die $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopensignaturen beeinflussen. Die Ursache für die deutlich unterschiedlichen und im Vergleich zu den Werten der anderen hier untersuchten Friedhöfe $\delta^{13}\text{C}$ -Isotopen der Ettinger Population konnte hier leider nicht eindeutig geklärt werden (siehe 5.9.3 $\delta^{13}\text{C}$ -Werte).

Auch die $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopie kann von zahlreichen Faktoren beeinflusst werden. Unterschiede in den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten bei Menschen scheinen hauptsächlich durch unterschiedlichen Proteinkonsum, kombiniert mit bisher noch nicht grundlegend erforschten Unterschieden in den Stickstoffwerten bei Pflanzen bedingt zu sein (van Klinken et al. 2002). Inwieweit sich beispielsweise das Düngen mit Mist, der ja angereicherte $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aufweist, auf die Werte auswirkt ist noch nicht ausreichend geklärt (Bogaard 2007). Auch speziesspezifische Fraktionierungen spielen eine Rolle. So ist beispielsweise noch nicht bekannt, inwieweit sich $\delta^{15}\text{N}$ von Getreide während der Fütterung anreichert (Hedges & Reynard 2007). Milch von Kühen deren Futter das hauptsächlich aus Gras und Heu bestand wies $\delta^{15}\text{N}$ -Werte zwischen 0,0 ‰ und 3,0 ‰ auf, bei Getreidefutter lagen die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte zwischen 2,5-6,0 ‰ (Kornexel et al. 1997). Der individuelle Stoffwechsel kann sich ebenfalls auf die Isotopenwerte auswirken (z.B. Warinner 2010, Codron 2011). Wachstum des Körpers an sich, oder eine positive Stickstoff Bilanz, verändern die N-Isotopen nicht signifikant (Waters-Rist & Katzenberg 2010). Aber die Geschwindigkeit des Knochenbaus und das Ausmaß, in dem die Aminosäuren im Körper während des Wachstums wieder verwendet werden, können sowohl $\delta^{15}\text{N}$ - (MacAvoy et al. 2005; Parfitt 1979) also auch $\delta^{13}\text{C}$ -Werte (Warinner 2010) erheblich beeinflussen. Stickstoff-Homöostase und Proteinstress, z.B. bei Schwangerschaft, starker körperlicher Beanspruchung, Krankheit oder Gewichtsverlust, können ein Absinken der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte um 0,3-1,1 ‰ bewirken (Fuller et al. 2004). Bei Hunger können sich die Werte jedoch erhöhen (Mekota et al. 2006; Mekota et al. 2009; Neuberger in prep.).

Generell reichert sich das ^{15}N -Isotop im Verlauf der Nahrungskette schrittweise an (Minagawa & Wada 1984). So zeigt sich ein Trophiestufeneffekt in den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten von 2-3 ‰ zwischen Veganern, die sich ausschließlich von pflanzlicher Nahrung ernähren und keinerlei tierisches Protein zu sich nehmen und Menschen, deren Ernährung „omnivor“ ist (Macko et al. 1999). Aber auch ein Ansteigen der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte um ca. 2 ‰ ist erkennbar (Macko et al. 1999)⁴⁵. Der genaue Wert der Anreicherung pro Trophiestufe bei Menschen ist nicht bekannt. Generell wird angenommen, dass die Anreicherung bei Säugetieren allgemein ähnlich ist. Die angegebenen Werte liegen zwischen 3-5 ‰ pro Trophiestufe (Bocherens & Drucker 2003; De Niro & Epstein 1981; Howland et al. 2003; Jenkins et al. 2001; Post 2002; Robbins et al. 2005; Sponheimer et al. 2003a; Vanderklift & Ponsard 2002). Der geringe Unterschied der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte zwischen Vegetariern, die zwar kein Fleisch essen, aber durchaus tierische Proteine in Form von Milchprodukten und Eiern zu sich nehmen und omnivoren Personen zeigt, dass die Art der tierischen Proteinquelle kaum Unterschiede in den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten verursachen (Macko et al. 1999).

Die genauen Vorgänge der Anreicherung von ^{15}N im Menschen sind noch nicht bekannt. Es ist bislang nicht geklärt, ob und wie die Anreicherung von ^{15}N mit der Art der Nahrung zusammenhängt (Hedges & Reynard 2007). Obwohl es gegenteilige Ansätze gibt (Robbins et al. 2005), scheint proteinreiche Nahrung zu einer Anreicherung von ^{15}N zu führen (Pearson et al. 2003; Sponheimer et al. 2003a; Sponheimer et al. 2003b). Einige physiologische Effekte sind bekannt, die sich auf die ^{15}N -Werte auswirken können, wie beispielsweise Wachstum oder Hunger (Fuller et al. 2004; Mekota et al. 2006). Auch die inter-individuelle Anreicherung von ^{15}N kann ebenfalls schwanken. Es konnte gezeigt werden, dass die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in unterschiedlichen Fleischstücken eines Rindes um bis zu 1,5 ‰ schwanken können (Boner 2005).

Ein genauer Schwellenwert, an dem die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte als Unterschiede in der Ernährung und nicht mehr als physiologische oder genetische Variationen gewertet werden müssen konnte bislang noch nicht bestimmt werden (Hedges & Reynard 2007).

⁴⁵ Die Mediane der Werte für Veganer liegen bei $\delta^{13}\text{C}$: -20,9 ‰; $\delta^{15}\text{N}$: 6,9 ‰ für Vegetarier bei $\delta^{13}\text{C}$: -21,0 ‰; $\delta^{15}\text{N}$: 8,7 ‰ und für Omnivore bei $\delta^{13}\text{C}$: -20,2 ‰; $\delta^{15}\text{N}$: 8,8 ‰ (Macko et al. 1999).

Rekonstruktion der Ernährung

Vereinfacht zusammengefasst, ist von drei Hauptproteinquellen in der Ernährung auszugehen: (1) Pflanzen (2) Säugetiere (Milch und Fleisch) und Vögel (Fleisch und Eier) sowie (3) Fisch. Um valide Aussagen über die Ernährungsweise und die „Trophiestufe“ anhand der Isotopenzusammensetzung eines Individuums treffen zu können, sollten diese möglichen Proteinquellen und deren „pitfalls“ bei der Auswertung der Daten berücksichtigt werden (siehe Hedges & Reynard 2007):

(1) Bei historischen Fundplätzen sind pflanzliche Überreste selten vorhanden und die Validität der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte von Pflanzenfragmenten aus archäologischem Fundgut ist fraglich (Fogel & Tuross 1999). Da aber in der Regel angenommen wird, dass die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte lokaler Herbivoren die Werte der lokalen Vegetation und somit die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Pflanzennahrung (bzw. deren Proteine) des Menschen widerspiegeln, kann ein „bio-sampling“ (Hedges & Reynard 2007) der Werte mit Hilfe der Daten von Herbivoren das Problem der fehlenden Pflanzen-Daten lösen (siehe auch 5.9.4 Rindereichung und Czermak et al. 2006b).

(2) Anhand des gemessenen $\delta^{15}\text{N}$ -Wertes kann nicht zwischen Nahrungsmitteln tierischen Ursprungs unterschieden werden, also ob die ursprüngliche Proteinquelle Fleisch oder Milch, bzw. Milchprodukte waren (Macko et al. 1999, O'Connell & Hedges, Hedges & Reynard 2007). Daher werden sie in der Regel zusammengefasst. Im Vergleich mit den Isotopendaten aus Tierknochen kann die Position des Menschen im Nahrungsnetz bestimmt werden (Hedges & Reynard 2007). Bei den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten herbivorer Tiere kann es jedoch große Schwankungen geben. Sowohl die $\delta^{15}\text{N}$ - als auch die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen verschiedenen Spezies, besonders zwischen Rind und Schaf und zwischen verschiedenen Gräberfeldern können sich deutlich ($<1,5\text{‰}$) unterscheiden (Hedges et al. 2004). In diesen Fällen könnte es sich um die Knochen von Jungtieren handeln (Hedges & Reynard 2007), was aber anhand einer genauen paläoanatomischen Bestimmung der Tierknochen ausgeschlossen werden kann (vgl. 5.9.2 Tierknochen).

(3) Der Anteil von Süßwasserfisch in der Nahrung ist anhand der C- und N-Isotopen nicht immer eindeutig zu bestimmen. Fisch hat im Vergleich zu terrestrischen Tieren erhöhte $\delta^{15}\text{N}$ -Werte (Richards & Hedges 1999; Schoeninger & DeNiro 1984). Ein größerer Anteil an Süßwasserfisch in der Nahrung zeigt sich in erhöhten $\delta^{15}\text{N}$ -Werten bei gleichzeitig erniedrigten $\delta^{13}\text{C}$ -Werten (z.B. Cook et al. 2001; Doppler et al. 2010). Erniedrigten $\delta^{13}\text{C}$ -Werte können aber auch andere Ursachen haben (z.B. Doppler et al. 2010, siehe auch Anhang 1.5.2 Rekonstruktion der allgemeinen Nahrungsquellen und 5.9.3 $\delta^{13}\text{C}$ -Werte). Anhand von Schwefel-Isotopen könnte ein möglicher Anteil von Süßwasserfisch in der Nahrung eindeutiger nachgewiesen werden (Nehlich et al. 2010; Nehlich & Richards 2009). Zusammenfassend und stark vereinfacht gesagt, müssten Menschen, die sich ausschließlich von Pflanzenproteinen ernähren ähnliche $\delta^{15}\text{N}$ -Werte haben wie lokale herbivore Tiere. Menschen, die sich ausschließlich vom Fleisch herbivorer Tiere ernähren müssten $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der lokalen Herbivoren plus einer Anreicherung von 3-5 ‰ haben wenn ein Fischkonsum eindeutig ausgeschlossen werden kann (Hedges & Reynard 2007; Richards 2006).

Die genauen Einflussfaktoren und Anteile tierischer oder pflanzlicher Nahrung anhand der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte zu bestimmen ist nicht möglich, da individuelle physiologische Unterschiede sowie die Qualität und Zusammensetzung der Nahrung eine Rolle spielen (Hedges & Reynard 2007). Eine Mischernährung mit pflanzlichen und tierischen Proteinen verläuft nicht einfach linear, die Anreicherung ist auch von der „Qualität“ der Nahrung abhängig. Daher können Unterschiede zwischen pflanzlichem und tierischem Protein bestehen. Dies konnte bislang für verschiedene Säugetiere (Robbins et al. 2005), aber noch nicht für den Menschen nachgewiesen werden (Hedges & Reynard 2007).

Eine genauere Rekonstruktion der Ernährungsweise ist allein anhand der C/N-Isotopen-Methode nicht möglich. Deshalb sollte sie, wenn die genaue Art der Ernährung im Vordergrund der Auswertung liegt, nach Möglichkeit zusätzlich beispielsweise mit einer C/O-Isotopenanalyse aus dem Karbonat kombiniert werden (Doppler et al. 2010). Anhand von „mixing models“ können Anteile der Ernährung rekonstruiert werden. Mit Hilfe dieser Modelle wird die Wahrscheinlichkeit berechnet, mit der eine potentielle Nahrung konsumiert wurde (z.B. Phillips et al. 2005; Fry 2008; Doppler et al. 2010; Mays 2012). Dafür werden in der

Regel lineare oder modifizierte Massenbalance Modelle und „*Bayesian Models*“ verwendet, deren Anwendung und die Interpretation der Ergebnisse aber auch kontrovers diskutiert (z.B. Caut et al. 2008a, 2008b, 2009, 2010; Perga et al. 2010, Auerwald et al. 2010, Casey et al. 2011). Für eine Verwendung dieser Modelle sind direkte Vergleichsdaten z. B. Pflanzenreste, Tierknochen aus Grabbeigaben oder Siedlungsabfällen, also die Isotopenwerte der potentiellen Nahrung notwendig. Im Falle der vorliegenden Arbeit waren die vorhandenen Vergleichsdaten für eine valide Interpretation nicht ausreichend, bzw. nicht vorhanden (siehe 5.9.2, Tierknochen).

Unerlässlich ist auch weiterhin Grundlagenforschung zur Klärung noch nicht beantworteter Fragen zum Metabolismus und der Fraktionierung der Stablen Isotope. Mit kontrollierten Fütterungsexperimenten (z.B. Ambrose 2000; Warinner 2010, Zazzo 2010) könnten beispielsweise mögliche Effekte die durch Veränderungen in der Ernährung entstehen überprüft werden. In einigen Studien konnten bereits mit neuen Methoden Änderungen in der Isotopenzusammensetzung zeitlich genauer rekonstruiert werden. Die Laser-Ablation an Zahnschmelz oder Dentin ermöglicht eine punktgenauere Beprobung. Ortswechsel oder Änderungen in der Ernährungsweise können damit genauer detektiert werden (z.B. Richards et al. 2008; Sponheimer et al. 2009; Moran et al. 2011). So könnte die Ernährung von Kindern und Individuen bis zum jungen Erwachsenenalter möglicherweise zeitlich genauer rekonstruiert werden.

Primäres Ziel der Arbeit war es, Unterschiede in der Ernährungsweise zwischen den einzelnen Individuen und Gruppen zu detektieren, um daraus eventuelle soziale Unterschiede ableiten zu können. Da derartige Unterschiede wohl relativ gering sind, ist es sehr fraglich, ob diese anhand einer Analyse von Knochenproben festgestellt werden können, deren Werte die gesamte Ernährung der letzten Jahre widerspiegelt.

Nahrung und Gesellschaft

Es ist bekannt, dass in einer Gesellschaft Nahrungsmuster bestehen, die Indikatoren für sozialen Status sind (z.B. Steckel 1999). In einer Gesellschaft, in der eine privilegierte Elite regelmäßigen Zugang zu Fisch, Fleisch und tierischen Sekundärprodukten hat, sollten bei Individuen aus dieser Schicht auch höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte erwartet werden als in den niedrigeren sozialen Klassen (Richards et al. 1998). Daher werden in den verschiedenen sozialen Schichten gewöhnlich unterschiedliche Isotopen-Werte erwartet, mit einem deutlichen Unterschied zwischen den Gruppen. Bei Richards et al. (1998)⁴⁶ konnten Gesellschaftsschichten anhand der Isotopenwerte „nachgewiesen“ werden. Die Auswahl an Nahrungsmitteln, besonders bei Fleisch und Milchprodukten, schien für wohlhabende Personen größer gewesen zu sein. Die Unterschiede zwischen den sozialen Schichten waren aber, wie auch bei den hier untersuchten Separatfriedhöfen relativ gering.

Ein regelmäßiger Konsum von tierischen Proteinen (Fleisch und / oder Sekundärprodukte) war anhand der Isotopenanalysen bei allen hier untersuchten Individuen feststellbar. Daher war dies offensichtlich kein „exklusives“ Privileg von Individuen oder Gruppen, sondern normal für die gesamte Gesellschaft bzw. die Population. In einer vergleichbaren Studie aus Dänemark wurden die „Gesellschaftsschichten“ ebenfalls anhand der Beigaben eingeteilt. Es zeigte sich zwar ein signifikanter Unterschied, mit geringfügig höheren $\delta^{15}\text{N}$ -Werten der Individuen aus den reicher ausgestatteten Gräbern, aber deutliche Unterschiede in der Ernährung zwischen den verschiedenen sozialen Schichten einer Bevölkerung bestanden ebenfalls keine. Auch hier basierte ein größerer Teil der Nahrung auf tierischen Proteinen, unabhängig von sozialem Stand, Alter, Geschlecht oder geographischer Herkunft (Jørkov et al. 2010). Obwohl ein unterschiedlicher Zugriff auf Nahrungsmittel einen signifikanten Unterschied zwischen der Ernährung der privilegierten Klasse und der restlichen Bevölkerung verursachen kann (besonders in Zeiten von Missernten und ökonomischem Stress), so wird dennoch angenommen, dass die Unterschiede in der Nahrung primär eher in der „Qualität“ und / oder der „Wertigkeit“ als in der Verfügbarkeit ihre Ursache haben. Die Auswertung der Daten in Zusammenhang mit den Grabbeigaben zeigt, dass die Angehörigen der verschiedenen sozialen Gruppen unterschiedliche

⁴⁶ Bestattungsplatz: Poundbury Camp Cemetery Site, Dorchester, England; 48 Individuen. Bei den Gräbern aus spätrömischer Zeit korrelierten Art und Wertigkeit der Bestattung mit den Isotopenwerten (Richards et al. 1998).

Ernährungsgewohnheiten hatten (Privat et al. 2002). In einer weiteren Studie (7. Jhd. n. Chr., Berinsfield, Südengland) von Privat et al. (2002) wurde der Status eines Individuums ebenfalls anhand von Beigaben festgelegt⁴⁷. Es bestand ein signifikanter Unterschied zwischen den Kategorien, wobei die Individuen aus der niedrigeren sozialen Schicht die höchsten $\delta^{15}\text{N}$ -Werte zeigten. Dies wird dort mit einem erhöhten Fischanteil in der Nahrung und / oder einem Mehrverzehr von Fleisch omnivorer Tiere (möglicherweise Schwein) erklärt. Die Individuen aus höheren sozialen Schichten müssten sich demnach von Nahrung mit geringeren $\delta^{15}\text{N}$ -Werten, vermutlich hauptsächlich von Fleisch herbivorer Tiere und / oder Milchprodukten ernährt haben (Privat et al. 2002). Ähnliches ist auch für die heutige Zeit belegt. Moderne Studien zur Ernährung zeigen, dass Menschen aus unteren sozialen Schichten, einen deutlich höheren Fleischkonsum haben. Dies hängt ebenfalls mit der Verfügbarkeit und den Kosten der jeweiligen Nahrungsmittel zusammen (Darmon & Drewnowski 2008). Die Ernährung der Menschen aus heutiger Zeit ist selbstverständlich nicht mit dem Ernährungsverhalten im frühen Mittelalter vergleichbar. Im frühen Mittelalter waren einige Nahrungsmittel wie beispielsweise Fleisch von besonders „wertvollen“ Tiere sicherlich für Leute höheren Standes bestimmt und standen exklusiv nur für diesen zur Verfügung (Privat et al. 2002). So war beispielsweise Wildfleisch ausschließlich dem Adel vorbehalten („Hochwild“⁴⁸), wie das im 8. Jahrhundert entwickelte Jagdrecht belegt (Dasler 2008; Rösener 1985; Rösener 1997). Aber auch Haltung und Pflege der Tiere spielte eine Rolle. So benötigt das Halten von Rindern, Schafen oder Ziegen mehr Zeit und Ressourcen als das Halten von Schweinen (Privat et al. 2002). Wenn zudem die Vermehrungsrate der Tiere mit berücksichtigt wird, so dürften Schafe und Schweine den größten Anteil an tierischem Protein in der Nahrung stellen. Sie vermehren sich häufiger als Rinder und sind deshalb ökonomisch gesehen profitabler. So kann ein jährlicher Wurf Schafe aus bis zu drei Lämmern bestehen, bei Schweinen dreimal im Jahr aus bis zu 15 Ferkeln. Rinder hingegen gebären in der Regel nur ein Kalb pro Wurf und Jahr. Es ist daher unwahrscheinlich, dass Fleisch von Kälbern und Jungrindern (unter einem Jahr) von Menschen aus niedrigen sozialen Schichten verzehrt wurde (Jørkov et al. 2010).

Anhand der gemessenen N-Isotopenwerte eines Individuums kann nicht unterschieden werden, aus welcher Quelle das tierische Protein kommt, also ob das Protein aus Fleisch oder tierischen Sekundärprodukten stammt (z. B. Schoeninger & DeNiro 1983; Hedges & Reynards 2007). Auch die Qualität der Nahrung oder der „Stellenwert“ des Nahrungsmittels kann nicht durch die Isotopenanalyse bestimmt werden (Privat et al. 2002). Die Originalquellen des tierischen Proteins in der Nahrung der Individuen auf den hier untersuchten Bestattungsplätzen müssen ähnlich gewesen sein. Die Art des Nahrungsmittels ist aber anhand der Isotopenanalysen nicht erfassbar (Privat et al. 2002). Ob nun die Verteilung bestimmter ausgewählter Fleischstücke, die auch unterschiedliche Isotopenwerte haben können (Boner 2005, siehe S. 72) und / oder deren Zubereitung einer entsprechenden sozialen Hierarchie folgte, kann anhand dieser Methode nicht festgestellt werden (Jørkov et al. 2010).

Aussagemöglichkeiten über soziale Strukturen

In zahlreichen Studien werden Unterschiede in der Ernährung zwischen Männern und Frauen (z.B. Larsen 1997; White & Schwarcz 1989; Jørkov 2010), zwischen den verschiedenen Altersklassen (z.B. Clayton et al. 2006; Mays et al. 2002) und verschiedenen sozialen Ständen dokumentiert (z.B. Larsen 1997; Privat et al. 2002; Jørkov 2010). Anhand der Isotopenanalysen kann jedoch nicht bestimmt werden aus welcher Quelle das tierische Protein (Fleisch oder Sekundärprodukte) stammt (z. B. Schoeninger & DeNiro 1983, Privat et al. 2002, Jørkov et al. 2010). Definitive Aussagen über die Ernährungsweise können allein durch C/N-Isotopenanalysen aus Knochenkollagen nicht getroffen werden. Auch können bestenfalls die Proteinquellen erfasst werden, nicht jedoch „Qualität“ oder „Wertigkeit“ der Nahrungsmittel (Privat et al. 2002).

⁴⁷ Die Mittelwerte der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der eingeteilten Sozialstufen lagen bei „arm“ (n=7): 10,2 ‰, „mittel“ (n=27): 9,6 ‰ und „reich“ (n=13): 9,5 ‰.

⁴⁸ Der Begriff Hochwild bezeichnete Wild, dessen Jagd besonders geschätzt wurde und die deshalb dem hohen Adel („Hohe Jagd“) vorbehalten war. Das Niederwild durfte hingegen auch von anderen Personengruppen bejagt werden („Niedere Jagd“) (Rösener 1997). Zum Hochwild gehören u.a. Rot-, Dam-, Schwarz-, Stein-, Gams- und Auerwild S. 175 (Hiller 2003).

Aufgrund der hohen Anzahl der fehlenden Messergebnisse bei den einzelnen Friedhofsteilen auf jedem der hier bearbeiteten Gräberfelder ist eine statistische Auswertung im Bezug auf Verteilung und Unterschiede der $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopien zwischen den einzelnen Friedhofsklassen nicht sinnvoll. Die Ergebnisse sind daher als Tendenzen zu werten. Es stellt sich auch die Frage, ob Unterschiede überhaupt „signifikant“ sein können, da sich die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Menschen, selbst wenn sie sich fleischlos ernähren (vgl. Macko et al. 1999), doch alle innerhalb der gleichen Wertespanne befinden (vgl. Abb. 5.62). Innerhalb einer Population bestehen nur geringe Unterschiede in den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten, da die Ernährung normale aus einer Mischdiät besteht. Demnach kann hier nicht zwischen „Trophiestufen“ unterschieden werden (3-5 ‰), sondern die Unterschiede sind wesentlich kleiner (0,5-1 ‰). Möglicherweise wären nur in Krisenzeiten signifikante Unterschiede zwischen den sozialen Schichten feststellbar. Allerdings könnte eine umfassende, langanhaltende Krise auch die Oberschicht beeinträchtigen.

Ein Problem bei der Datenauswertung stellte hier die Einteilung der Friedhofsklassen dar. Eine Abstufung innerhalb der Separatfriedhöfe ist teilweise erkennbar. Individuen die mit reichen Beigaben bestattet wurden zeigen auch tendenziell höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte. Die angenommene Zweiteilung der Separatfriedhöfe konnte auch teilweise bestätigt werden. Allerdings scheinen hier „hochwertige Beigaben“ ein stärkerer Indikator für soziale Abstufung zu sein als die Friedhofsstruktur (siehe Kelheim). Im Vergleich der Separatfriedhöfe mit den Reihengräbern zeigten die auf den Separatfriedhöfen Bestatteten deutlich höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte, sie ernährten sich also deutlich proteinreicher und ihre Lebenserwartung war höher. Die Auswahl an Nahrungsmittel, besonders bei Fleisch und Milchprodukten war für wohlhabende Personen mit Sicherheit größer (Jørvik et al. 2010). Schriftquellen belegen, dass im Mittelalter Sitz- und Tischanordnung nach einer strengen Hierarchie geordnet waren. Am oberen Ende eines breiten Tisches saß der Hausherr, an besonderen Tischen seine Familie und prominente Gäste. Die übrigen Personen saßen auf einfachen Bänken weiter entfernt. Es war auch festgelegt, dass der Rangniedere dem Ranghöheren die Speisen anzureichen und ihm die besten Stücke vorzulegen hatte (Henisch 1976; Lauriaux 1999). Frauen waren im frühen Mittelalter von Banketten und Festessen ausgeschlossen und aßen unter sich in den Frauengemächern (Schubert 2006). Auch war es üblich, dass Kinder bis zu ihrem siebten Lebensjahr nicht an den gemeinsamen Mahlzeiten und Feierlichkeiten teilnahmen (Schultz 1965). Es ist aber anzunehmen, zumal diese Quellen von „Festen“ und „Banketten“ sprechen, dass die alltäglichen Mahlzeiten von den Haushalten gemeinsam eingenommen wurden und die gereichten Speisen ähnlich waren. So nahmen in bäuerlichen Gemeinschaften die Mitglieder der Familie an einem Tisch Platz und teilten sich meist Teller und Besteck oder aßen aus einem Topf. Wobei auch hier am Kopf des Tisches das Familienoberhaupt saß (Riebesehl 1999). Ebenso galten „gehobene Tischsitten“ als Zeichen von höherem Stand. Der Mann aus dem Grab Etting Grab 3B wurde mit einem Trinkhorn bestattet. Während der Merowingerzeit stellt die Beigabe von Trinkhörnern mit Metallbeschlägen eine selten nachgewiesene, überwiegend auf Gräber gesellschaftlich herausragender Personen begrenzte Erscheinung dar. Die relativ häufige Kombination mit reichhaltigen Gefäß- und Geschirrsätzen in der älteren Merowingerzeit lassen vermuten, dass die so Bestatteten zu Lebzeiten Anteil an den Ess- und Trinksitten einer privilegierten Bevölkerungsschicht hatten. Die Beigabe eines einzelnen Trinkhorns belegt zwar nicht zwingend eine ähnliche Bedeutung, aber vor dem Hintergrund der Beigabenreduzierung im späten 7. und frühen 8. Jahrhundert kam diesem zweifellos eine exklusive Bedeutung zu (Ledderose 2006).

Weitgehend signifikante Aussagen über eine soziale Abstufung in einer Population anhand einer mit tierischen Proteinen angereicherten Ernährung können zum jetzigen Zeitpunkt nicht getroffen werden. Die angenommenen „höheren“ $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der sozial höheren Schichten können auch nicht als allgemeingültig gesehen werden, da sie stets von einer „Minderheit“ der Gesamtpopulation stammen (Hedges & Reynard 2007). Auch aufgrund der häufig geringen statistischen Auswertbarkeit der Daten können Aussagen für ganze Populationen nur begrenzt getroffen werden (siehe Kap. 6: Archäologische und Anthropologische Synthese). Eine Umsetzbarkeit der Hypothese, dass hohe $\delta^{15}\text{N}$ -Werte, also proteinreiche Ernährung, mit höherem sozialen Stand gleichzusetzen sind, auf beigabenlose Bestattungen späterer Zeit wäre zum jetzigen Zeitpunkt rein spekulativ.

5.9 Sr- und O-Isotopenanalyse zur Herkunftsrekonstruktion

Bei einigen der Bestatteten aus den hier untersuchten Gräberfeldern gibt es von archäologischer Seite Hinweise auf eine mögliche Zuwanderung. Um dies zu prüfen und um mögliche Hinweise auf die geographische Herkunft zu erhalten, wurden im Rahmen einer Diplomarbeit Strontium- und Sauerstoff-Isotopenanalysen durchgeführt (Gaugler 2006; Strott et al. 2008). Die Individuen wurden aufgrund ihrer nicht „lokalen“ Beigaben oder ihrer Grabposition bzw. Grabkonstruktion ausgewählt (Ledderose 2006). Die Bearbeitung, Extraktion und Messung der Proben wurde nach den gängigen Methoden durchgeführt (Lee-Thorp & van der Merwe 1991; Price et al. 2002; Schweissing & Grupe 2000; White et al. 1998). Anhand des Verhältnisses stabiler Strontiumisotope ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) im biologischen Apatit des Zahnschmelzes wurde versucht, mögliche Residenzwechsel zwischen zwei geologisch definierten Regionen nach der Kindheit festzustellen. Mit Hilfe des Verhältnisses stabiler Sauerstoffisotope ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) aus der mineralischen Phase des Knochens sollten mögliche „spät zugewanderte“ Individuen, also Personen, die innerhalb der letzten 5-10 Jahre ihres Lebens ihren Aufenthaltsort wechselten, identifiziert werden (biologische Grundlagen der Methodik siehe Anhang 1.6 und Bentley 2006). Es wurden insgesamt 31 Individuen ausgewählt, davon 11 aus Etting, 5 aus Enkering und 15 aus Großmehring. Die Sr-Isotopensignatur konnte bei 27 Individuen bestimmt werden, davon alle ausgewählten Individuen aus Etting, 4 aus Enkering und 12 aus Großmehring (Bearbeitung: Gaugler 2006).

5.9.1 Bisherige Darstellung und Auswertung der Ergebnisse (Gaugler 2006 und Strott 2008)

Sauerstoff

Bei Gaugler (2006) und Strott et al. (2008) wurden die Ergebnisse der Messung aus dem Knochenkarbonat ($\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{18}\text{O}$) mit den anhand des OIPC (*Online Isotopes in Precipitation Calculator*) berechneten Werten für die Gegend der Fundorte (Enkering: -8,72 ‰, Etting: -8,47 ‰, Großmehring: -8,45 ‰) mit einem Mittelwert von ca. -8,6 ‰ \pm 1 („lokal“) dargestellt. Anhand der zweifachen Standardabweichung ($2\sigma = 3\text{‰}$) wurden „Ausreißer“ bestimmt und die Grenzlinie zu den lokalen Werten gezogen. Individuen mit Werten $\leq -10,6$ werden als „zugewandert“ bezeichnet (Abb. 5.88). Demnach befinden sich die Werte der meisten Individuen im „lokalen Bereich“ (-7,6 ‰ bis -9,6 ‰) oder im „Übergangsbereich“ (-9,5 ‰ bis -10,5 ‰). Fünf der in Großmehring B3 bestatteten Individuen zeigen jedoch negativere Werte im Vergleich zu der als „lokal“ angesetzten $\delta^{18}\text{O}$ -Signatur. Davon liegen die Isotopenwerte von drei Männern (Grm 24/I, 52 und 55) und einer Frau (Grm 106) in der Nähe des gesetzten Grenzbereiches von -10,5 ‰ für „zugewandert“. Diese Sauerstoffisotopen-Werte zwischen -11 und -12 ‰ sind typisch für das Alpenvorland, aber auch Gebiete westlich dieser Region (Tütken et al. 2004). Nur ein Mann (Grm 56) wies einen deutlich negativeren Wert auf (-15,5 ‰) und könnte demnach als „nicht lokal“ bezeichnet werden.

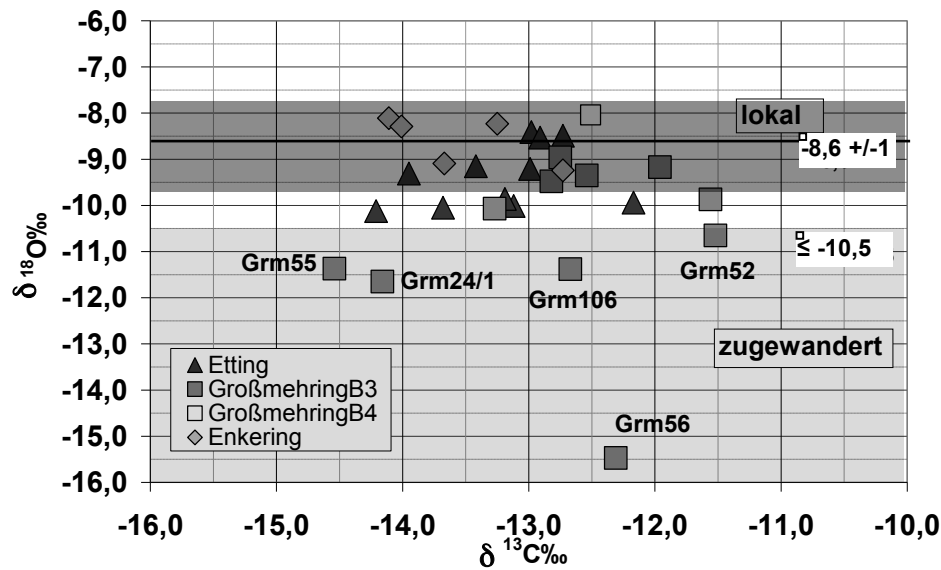


Abb. 5.88: Vergleich der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der ausgewählten Individuen. Werte für die Gegend der Fundorte nach OIPC: ca. $-8,6\text{‰} \pm 1$ („lokal“, dunkelgrau hinterlegt). Anhand der zweifachen Standardabweichung der gemessenen $\delta^{18}\text{O}$ -Werte ($2\sigma = 3\text{‰}$) wurde eine „Grenzlinie“ zu den lokalen Werten gezogen. Individuen mit Messwerten $\leq -10,5$ (hellgrau) werden als „zugewandert“ bezeichnet (Originaldaten: Gaugler 2006).

Gräberfeld	Besonderheiten	Grab	Alter	Geschl.	Zahnschmelz ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr Sr		Knochenkarbonat δ ¹³ C δ ¹⁸ O		
Etting	mit Kreisgraben assoziiert	1	mA	M	0,70872	101	-12,99	-9,21	
	mit Kreisgraben assoziiert	2	fM	M	0,7102	87	-13,12	-10,01	
	ZG Kreisgraben	3A	fM	M	0,70876	84	-12,17	-9,94	
	ZG Kreisgraben	3B	mA	M	0,70874	79	-12,9	-8,41	
	ZG Kreisgraben	3C	mA	M	0,71049	69	-14,21	-10,12	
	mit Grab 10/II assoziiert	10/I	J	F	0,70905	57	-13,42	-9,15	
	„fremde“ Beigaben	10/II	sA	F	0,70887	102	-13,19	-9,86	
	mit Grab 19 assoziiert	18/I	fM	M	0,71361	67	-12,91	-8,53	
	mit Grab 19 assoziiert	18/II	fM	M	0,70957	124	-13,95	-9,31	
	„fremde“ Beigaben	19	J	M	0,70899	97	-13,68	-10,05	
„besondere“ Beigaben	27	mA	M	0,70892	99	-12,73	-8,49		
Enkering	ZG Kreisgraben	1	fA	M	0,70952	59	-12,73	-9,24	
		2	fM	M	0,70897	104	-14,11	-8,11	
		3	mA	F	0,70980	154	-13,25	-8,23	
		5	A	M	X	X	-14,01	-8,29	
	Kreisgraben	6	sM	F	0,70905	65	-13,67	-9,09	
Großmehring	B3 ZG Kreisgraben	24/I	fA	M	X	X	-14,16	-11,65	
	B3 ZG Kreisgraben	24/II	J	M	0,70925	73	-13,27	-10,07	
	B3 Kreisgraben	52	fM	M	0,70877	86	-11,52	-10,65	
	B3 Kreisgraben	53	sA	M	0,70943	109	-11,96	-9,17	
	B3 ZG Kreisgraben	55	fM	M	0,70901	78	-14,54	-11,37	
	B3 Kreisgraben	54	mA	F	X	X	-12,51	-8,04	
	B3 Kreisgraben	56	fM	M	X	X	-12,31	-15,47	
	B3 Kreisgraben	57	fM	F	0,70885	86	-12,82	-9,48	
	B3 Kreisgraben	59	mA	M	0,70916	73	-12,54	-9,35	
	B3 Kreisgraben	65	mA	M	0,71200	104	X	X	
	B3 Kreisgraben	103	sA	F	0,70876	77	-12,75	-8,96	
	B3 Kreisgraben	105	fM	F	0,70895	90	-11,56	-9,87	
	B3 Kreisgraben	106	fM	F	0,70900	67	-12,67	-11,38	
	B4	Sonderbestattung	75	fM	F	0,70905	72	X	X
	B4	„fremde“ Beigaben	131	fM	F	0,70901	88	X	X
	Mittelwert					0,70943	87	-13,06	-9,70
Median					0,70901	86	-12,99	-9,33	
Stabw (σ)					0,00109	21,7	0,79	1,50	
2σ					0,00218				
MW -2σ					0,70724				
MW +2σ					0,71161				

Tab. 5.24: Strontium-, Sauerstoff- und Kohlenstoff-Isotopendaten der ausgewählten Individuen. Potentiell zugewanderte Personen (dunkelgrau), Personen mit Werten in Übergangsbereichen (hellgrau). (Daten übernommen aus Strott et al. 2008; Originaldaten: Gaugler 2006).

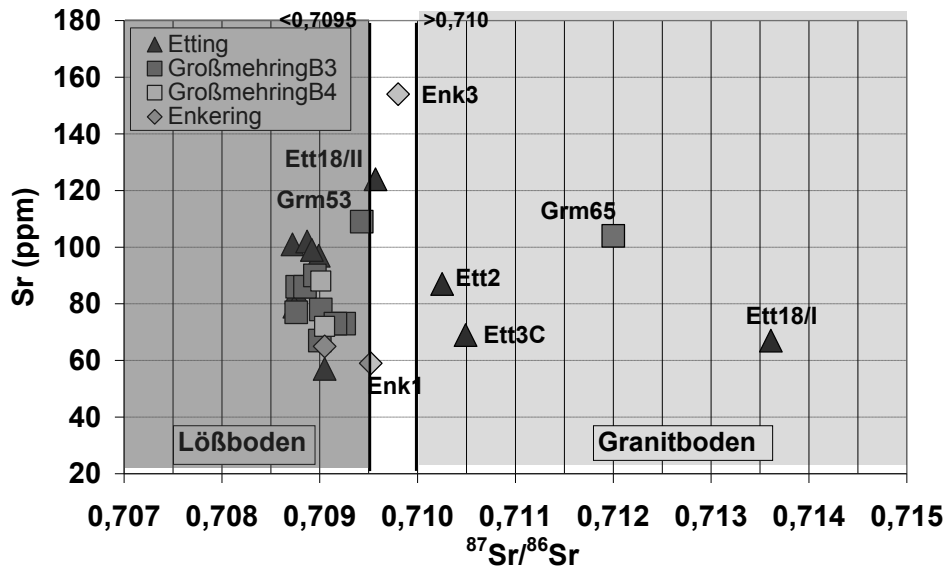


Abb. 5.89: Vergleich der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte der ausgewählten Individuen. Die für dieses Gebiet typischen Werte für Lößböden ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} < 0,7095$ dunkelgrau hinterlegt) und für Granit- und Gneis-Böden ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} > 0,710$, hellgrau).

(Originaldaten Gaugler 2006)

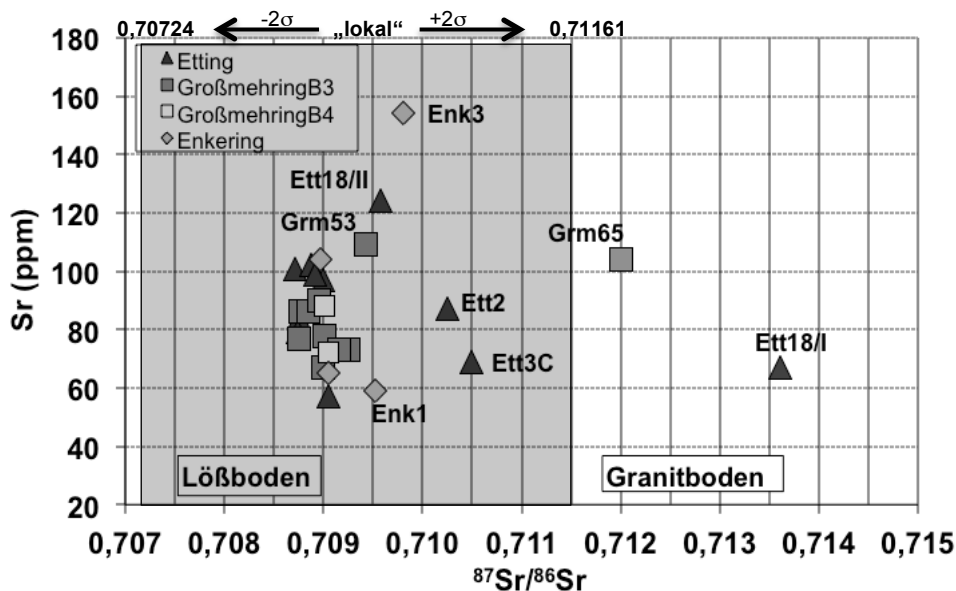


Abb. 5.90: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Grenzwerte für „lokale“ Isotopien. Berechnung der Werte anhand der zweifachen Standardabweichung des Mittelwertes der Werte, die sich in dem Wertebereich für Lößboden befinden (nach Grupe et al. 1997). Der hier berechnete Wertebereich für „lokal“ liegt zwischen 0,70724 und 0,71161 (siehe Strott et al. 2008).

(Originaldaten Gaugler 2006)

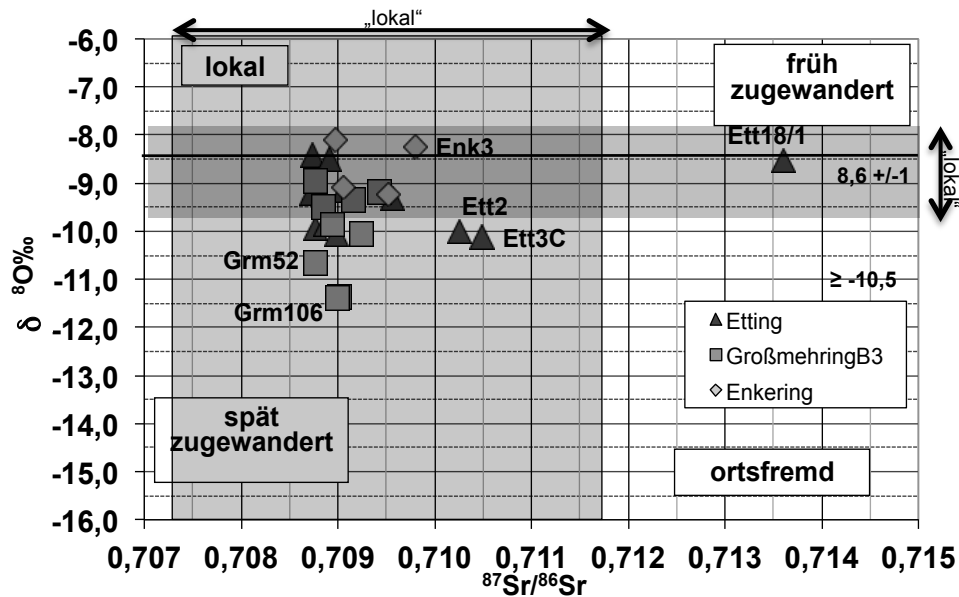


Abb. 5.91: Vergleich der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte. Die horizontale Markierung entspricht den festgesetzten Grenzwerten für $\delta^{18}\text{O}$ (vgl. Abb. 5.89), die vertikale Markierung gibt den „lokalen“ Wertebereich für $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ an (vgl. Abb. 5.88). Durch die Kombination der Sr- und O-Daten wurde versucht, Einheimische („lokal“), in der Kindheit („früh zugewandert“) oder im Erwachsenenalter zugewanderte („spät zugewandert“) sowie gänzlich „ortsfremde“ Personen zu detektieren (Originaldaten: Gaugler 2006).

Strontium

Das Verhältnis der Sauerstoff-Isotope konnte bei insgesamt 28 der ausgewählten Individuen gemessen werden, davon alle aus Etting und Enkering, sowie bei 12 aus Großmehring (Tab. 5.24). Die Ergebnisse der Strontium-Messungen am Zahnschmelz wurden zunächst nach Grupe et al. (1997) mit Werten aus Bodenproben verglichen (Abb. 5.89; Grenzwerte für Lössboden: $< 0,795$ und Granit- bzw. Gneisboden: $> 0,710$; Vorgehensweise siehe auch Vohberger 2011). Der Großteil der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte der untersuchten Individuen liegt demnach im für dieses Gebiet angegebenen Wertebereich für Lössboden ($< 0,7095$). Einige Individuen befinden sich in einem Übergangsbereich (Enk 1 und 3, Ett 18/II und Grm 53), zwei im Grenzbereich „Granitboden“ (Ett 2 und 3C). Lediglich zwei Individuen (Ett 18/I und Grm 65) haben hier eindeutig „nicht lokale“ Sr-Isotopien (Abb. 5.88; siehe Gaugler 2006).

Im südostdeutschen Raum können aufgrund der Bodenbeschaffenheit der Donaueggen die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte zwischen 0,708 und 0,710 schwanken (Bentley & Knipper 2005). Auch die hier gemessenen Werte streuen von 0,7087 bis 0,7136. In der ersten Auswertung der Daten (Gaugler 2006; Strott et al. 2008) wurde die von Grupe et al. (1997) eingeführte Grenzwertberechnung übernommen. Die in dieser Publikation untersuchten Individuen stammen aus Gräberfeldern in geographischer Nähe (Manching und Weichering). Der Grenzwert wurde bestimmt, indem die zweifache Standardabweichung (2σ) des Mittelwertes derjenigen Werte berechnet wurden, die niedriger waren als die Wertespanne der zwischen den typischen Gesteins-Isotopien für Löss- und Granitboden liegenden „Grauzone“ und deshalb aufgrund der für Lössboden typischen Isotopenzusammensetzung von Grupe et al. (1997) als „lokal“ eingestuft wurden. Alle Individuen, deren Werte innerhalb dieser Wertespanne, galten als „lokal“. Der berechnete Grenzwert lag in der Untersuchung von Grupe et al. (1997) bei $< 0,7103$. Die hier gemessenen Daten ergaben einen „lokalen“ Wert von $< 0,71161$ (Abb. 5.90). Nach dieser Vorgehensweise zur Festlegung der lokalen Grenzwerte, sind die Individuen aus Grab Ett 18/I und Grm 65 als „ortsfremd“ zu betrachten (siehe Gaugler 2006 und Strott et al. 2008).

Kombinierte Darstellung der Sr- und O-Daten

Durch die kombinierte Darstellung der $\delta^{18}\text{O}$ - und der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte wurde hier versucht, „standorttreue“ („lokale“), in der Kindheit („früh zugewandert“) oder im Erwachsenenalter zugewanderte („spät zugewandert“) und gänzlich ortsfremde Personen („ortsfremd“) zu identifizieren (Abb. 5.91). Die horizontalen Markierungen entsprechen den bei Gaugler (2006) und Strott (2008) festgesetzten Grenzwerten für $\delta^{18}\text{O}$ (siehe Abb. 5.88), die vertikalen den Grenzwerten für $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (siehe Abb. 5.90). Der Großteil der untersuchten Individuen weist ähnliche Isotopenwerte auf, die bereits als „lokal“ definiert wurden. Drei Individuen befinden sich in den Grenzbereichen zwischen „lokal“ und „früh zugewandert“ (Enk 3, Ett 2 und Ett 3C). An der Grenze des festgelegten Wertebereiches der „spät zugewanderten“ Personen liegen Grm 52 und Grm 106. Nur ein Mann (Ett 18/I) kann eindeutig als „früh zugewandert“ betrachtet werden. Als „ortsfremd“ konnte kein Individuum bestimmt werden. Bei zwei Individuen, deren Isotopien einmal bei $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Grm 65) und einmal bei $\delta^{18}\text{O}$ (Grm 56) deutlich von der als lokal festgelegten Signatur abwichen, konnte der jeweils analoge $\delta^{18}\text{O}$ -Wert bzw. das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis nicht bestimmt werden. Daher kann über diese Individuen keine Aussage getroffen werden.

5.9.2 Diskussion und Neuinterpretation der Ergebnisse

Sauerstoff ($\delta^{18}\text{O}$)

Die im Zahnschmelz gemessenen $\delta^{18}\text{O}$ -Werte müssen zunächst anhand umgerechnet werden um mit den Daten aus Wasser/Grundwasser verglichen werden zu können (Methodische Anmerkungen siehe Pollard 2011a).

Die ortstypischen Werte der Fundorte liegen laut OIPC bei ca. $-8,6\text{‰} \pm 1$ (Abb. 5.89 und 5.90, dunkelgrau hinterlegt). Auch hier gilt, dass $\delta^{18}\text{O}$ -Werte die stark von den möglichen lokalen Werten abweichen ein Indiz für zugewanderte Personen sein können. Die kleinräumige geographische Bestimmbarkeit mit dieser Methode bleibt aber fraglich.

Die anhand der durchschnittlichen jährlichen $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Niederschlag (SMOW) ermittelten Isotopen zeigen für die untersuchte Gegend eine Wertespanne von $-10,6$ bis $-8,7\text{‰}$ (SMOW, vgl. auch Anhang Abb. 1.32). Bei einem Vergleich mit der $\delta^{18}\text{O}$ -Kartierung anhand der Niederschläge muss berücksichtigt werden, dass die Werte im Mittelalter aufgrund der Klimasensitivität im Vergleich zur Gegenwart um ca. 1‰ negativer waren (Bentley & Knipper 2005). Wird dies berücksichtigt, liegt der hier anhand der gemessenen Individualdaten berechnete Mittelwert von $-8,6\text{‰}$ umgerechnet bei ca. $-9,6\text{‰}$. Dieser Wert fällt genau in den für das Gebiet der Bestattungsplätze angegebenen Wertebereich (siehe Anhang Abb. 1.32). Der Übergangsbereich von $-9,5\text{‰}$ bis $-10,5\text{‰}$ läge demnach umgerechnet bei $-10,5\text{‰}$ bis $-11,5\text{‰}$ und entspräche den Werten des etwas südlicher gelegenen Gebietes. Die Werte der Individuen, die sich im hier festgelegten „Grenzbereich“ zwischen etwa $-10,5\text{‰}$ bis $-11,5\text{‰}$ befinden, entsprächen in der Umrechnung in etwa den für die bayerische Voralpen- und Alpenregion angegebenen Werten von $-11,5\text{‰}$ bis $-12,5\text{‰}$ (siehe Einleitung Abb. 3.12).

Ähnliches gilt für die Umrechnung des Wertes aus Grab 56, der dann bei $-16,5\text{‰}$ läge. Derart negative $\delta^{18}\text{O}$ -Werte werden gewöhnlich großen Höhen zugewiesen. Der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert wird mit steigender Höhe negativer (Garzionesa et al. 2000). Bowen & Wilkinson (2002) erstellten eine Formel zur Berechnung des zu erwartenden $\delta^{18}\text{O}$ -Wertes als Funktion von Höhe und Breitengrad:

$$\delta^{18}\text{O} = -0,0051 \times (|B|)^2 + 0,1805 \times (|B|) - 0,002 \times (h) - 5,247$$

$\delta^{18}\text{O}$ (‰); h = Höhe (m) über NN; B = Breitengrad

Die Formel geht von der Annahme aus, dass das Sauerstoffisotopen-Temperaturgefälle in allen geographischen Regionen ähnlich ist. Diese Vereinfachung war notwendig, da keine Daten aus großen Höhenlagen zur Verfügung standen. Der durchschnittliche Unterschied zwischen Messwert und berechnetem Wert beträgt $-0,21\text{‰}$ ($\sigma=2,49\text{‰}$) (Bowen & Wilkinson 2002).

Anhand dieser Formel, angewandt auf den Raum Ingolstadt, mit einer Höhe von 362 - 410 m über NN und einem Breitengrad von $48,7667^{49}$, wird ein $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von $-9,37\text{‰}$ ($\pm 0,21\text{‰}$) berechnet (für eine Höhe von $h = 400\text{ m}$). Dieser Wert stimmt annähernd mit der Wertespanne der hier gemessenen Daten überein.

Um einen Höhenwert anhand des Wertes von Individuum Grm 56 ($\delta^{18}\text{O} = -15,47$) zu ermitteln, ist diese Formel ungeeignet, da auch der Breitengrad unbekannt ist. Daher wurde hier die Formel nach Maréchal & Etcheverrya (2003) verwendet. Dort wird für die nördlichen Alpen der Höhengradient von $\delta^{18}\text{O}$ (‰) mit $< 0,27\text{‰} / 100\text{ m}$ berechnet, also $< 1,4\text{‰} / 500\text{ m}$. Als Formel wird:

$$\delta^{18}\text{O} = -0,0027 \times (h) - 8,4 \quad \delta^{18}\text{O} \text{ (‰); } h = \text{Höhe (m)}$$

angegeben (Maréchal & Etcheverrya 2003).

⁴⁹ Quelle: www.de.wikipedia.org/wiki/Ingolstadt, Stand: 03.08.2010.

In der Umrechnung wäre dies:

$$h = \frac{\delta^{18}\text{O} + 8,4}{-0,0027} \quad \delta^{18}\text{O} (\text{‰}); h = \text{Höhe (m)}$$

Anhand dieser Formel wurde ein ungefährender Höhenwert anhand des $\delta^{18}\text{O}$ -Wertes berechnet. Demnach müsste ein $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von ca. -15,5 ‰ einer maximalen Höhe von ≈ 2630 m für die nördlichen Alpen entsprechen. Dies läge jedoch deutlich über der für die Zeit um 700 n. Chr. angegebenen Baumgrenze von 2150 - 2170 m (Nicolussi 2009)⁵⁰. Eine Herkunft des Mannes in dem Grab Grm 56 aus einer solch hochalpinen Region erscheint unwahrscheinlich. Er könnte aber möglicherweise aus einer Gegend kommen, dessen Trinkwasser aus kaltem Schmelz- oder Quellwasser aus den Hochalpen gespeist wurde (McGlynn 2007). Diese Region müsste der frühmature Mann aber, unter Berücksichtigung der Knochenumbaurate (Parfitt 1979) etwa 5-10 Jahre vor seinem Tod verlassen haben, also im Alter von Anfang bis Mitte dreißig.

Der Alpenraum war bereits im 7. Jahrhundert unter Kontrolle der Franken (Winckler 2010). Die wichtigsten Alpenpässe wurden im Frühmittelalter von den Merowingern als Verbindungsstraßen weiter benutzt und es wurde Almwirtschaft betrieben (Beck et al. 1973; Schneider 1987; Winckler 2010). Im Gebiet der Zentralalpen, besonders in der heutigen Schweiz, befanden sich zahlreiche Klöster und Siedlungen unter fränkischer Herrschaft (Genf, Chur, Grenoble). In Chur („Churrätien“) beispielsweise ist für das 7. Jahrhundert eine stark hierarchisch geordnete Gesellschaft mit einer egalitären Gesellschaftsordnung dokumentiert⁵¹ (Winckler 2010). Eine Herkunft des Mannes aus dem Gebiet der heutigen Schweiz wäre denkbar. Leider konnten von diesem Individuum keine Strontium-Isotopendaten zur Unterstützung dieser Hypothese gewonnen werden.

Strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)

Wie zunächst von der Methode erhofft, erwies es sich mehrfach als problematisch, einen Messwert einfach mit geologischen Regionen oder Daten aus Gesteins- oder Bodenproben zu vergleichen. Im Folgenden werden einige Diskussionspunkte erörtert.

Geologische Regionen

Eine Bestimmung der „lokalen“ Isotopenwerte erscheint, abhängig von der geologischen Komplexität, einfacher oder schwieriger. In einer geologisch homogenen Region haben alle Nahrungskomponenten annähernd das gleiche Strontiumisotopen-Verhältnis. In geologisch heterogenen Gebieten reflektiert die Nahrung eine Mischung der unterschiedlichen Strontium-Isotopen der verschiedenen geologischen Bereiche (Price et al. 2004). Dadurch könnten sogenannte Mischisotopen entstehen.

Das Gebiet im südlichen Zentraleuropa stellt ein komplexes geologisches Mosaik mit unterschiedlichen, spezifischen Strontium-Isotopen dar (Dallmeyer et al. 1995). Die niedrigsten in Süddeutschland gemessenen Werte fanden sich in jungem Vulkangestein (0,7036-0,7054) (z.B. Kaiserstuhl, Vogelsberg, oberer Rheingraben, südwestlich der Schwäbischen Alb oder bei Frankfurt). Dies sind aber nur kleine „geologische Inseln“. Erdgeschichtlich altes Gestein wie Granit oder Gneis (Schwarzwald, Odenwald entlang des Rheins, Böhmisches Massiv) ist hochvariabel in seinem Strontiumisotopen-Verhältnis (Price et al. 2004). $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte $> 0,715$ finden sich auf Granitböden der Hochländer wie dem Odenwald oder dem Bayerischen Wald, den Vogesen und dem Schwarzwald (Grupe et al. 1997; Price et al. 2004; Probst et al. 2000; Tricca et al. 1999). Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte von Löss und marinen Karbonaten sollten in diesem Gebiet zwischen 0,708 und 0,710 liegen (Price et al. 2004), können aber auch deutlich höhere Werte aufweisen (z.B. 0,72-0,73 Rheinhessen, Pfalz). Ähnlich hohe Sr-Isotopenwerte für Lössboden (0,713-0,716) wurden auch in der

⁵⁰ Daten: Kaunertal, Tirol Österreich (Zentralalpengebiet).

⁵¹ Winckler 2010, S. 238 und 271

Bretagne und der Normandie gemessen (Gallet et al. 1998). Bei Lößböden in Süddeutschland wird von niedrigeren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werten ausgegangen (0,7080-0,7095), da es sich bei diesen Böden um karbonatreiche Ablagerungen aus den Alpen handelt (Hatté et al. 1998; Mahaney & Andres 1991; Schnetger 1992). Messungen von Sr-Isotopenwerten an menschlichen Knochen aus diesem Gebiet bestätigen ebenfalls diese Annahme (z. B. Grupe et al. 1997a, Schweissing 2004, Price et al. 2002, 2004, Bentley, 2005). In Proben aus der hier untersuchten Donauregion liegen die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte in etwa bei 0,709 (Grupe et al. 1997; Price et al. 2004).

Bayern kann in verschiedene geologische Zonen eingeteilt werden, die von der Donau in eine nördliche und eine südliche Hälfte geteilt werden. Nordöstlich des Flusses ist die Gegend durch Granit und Gneis geprägt. So kann das Granitgestein im östlichen Teil Bayerns und im westlichen Teil Böhmens nordöstlich der Donau Sr-Isotopien von 0,710 bis 0,750 und höher aufweisen (Grupe et al. 1997; Price et al. 2004). Im Nordwesten der Donau ist der Boden von unterschiedlichen Sedimenten geprägt (Keuper, Kalkstein und Sandstein <0,7079). Die Sedimente südlich der Donau sind teilweise glazialen Ursprungs mit zusätzlichen Lössablagerungen in Flussnähe. Diese Sedimente wurden aber bezüglich ihrer Strontium-Isotopien bislang noch nicht genauer geologisch kartiert (Schweissing 2004). Die Werte liegen jedoch niedriger als 0,71. Messungen von Bodenproben im östlicheren Bereich der Donau (Straubing, Künzing-Bruck und Osterhofen) erbrachten $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte von 0,70899 bis 0,70992, mit einem Mittelwert von 0,70938 (Grupe et al. 1997). Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Flussablagerungen der Donau eine geologische Mischung Zentraleuropas darstellen. Daher ist bei der Untersuchung von Bodenproben, besonders bei kleinen Probenmengen, das Ergebnis stark davon abhängig, welches Mineral in dem untersuchten Gesteinsstück am häufigsten vorkommt (Price et al. 2004).

Erosionsprodukte aus den Alpen charakterisieren das Alpenvorland südlich der Donau, hauptsächlich Schotter und marine oder Süßwasser-Sedimente. Diese Sedimente werden teilweise von Lössablagerungen im Norden des Alpenvorlandes und von glazialen Moränen im Süden überdeckt. Alle diese Sedimente haben ihren Ursprung in den Alpen, die wiederum aus verschiedenen Gesteinsarten bestehen. Daher besteht eine gewisse Variabilität der lokalen Sr-Isotopenverhältnisse im Voralpenland und in der Schotterebene südlich der Donau. Die Ablagerungen an den Oberflächen des Grundgesteins stellen häufig die Quelle für das biologisch verfügbare Strontium dar (Price et al. 2004).

Da das geologische Gebiet, in dem sich die Orte Enkering, Etting und Großmehring befinden in seinen Gesteinsformationen sehr uneinheitlich ist (siehe Anhang Abb. 1.33, nach Price 2004), erlauben die Sr-Isotopien der Individuen keine genauen Rückschlüsse auf ein mögliches kleinräumiges Zuzugsgebiet (Schweissing 2004). Es sollten also nur Individuen mit deutlich unterschiedlichen Werten als sicher „ortsfremd“ klassifiziert werden. Zwei Individuen (Grm 65 und Ett 18/I) weisen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopien über 0,712 auf und können daher als „ortsfremd“ gelten. Diese Werte sind charakteristisch für Gesteine wie Granit oder Gneiss und finden sich beispielsweise im böhmischen Raum, im Schwarz- und Odenwald, in den Vogesen und dem französischen Zentralmassiv oder den Ostalpen (Bentley & Knipper 2005). In Zusammenhang mit den archäologischen Daten und im Vergleich mit den ortsfremden Beigaben kann das Herkunftsgebiet möglicherweise enger gefasst werden, eine genauere Bestimmung des Herkunftsgebietes allein anhand der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte bleibt jedoch weiterhin spekulativ.

Diagenese und Kontamination

Diagenese und Kontaminationen sind ein allgemeines Problem bei der Analyse von Isotopen und Spurenelementen aus bodengelagertem Skelettmaterial.

So kann die Sr-Signatur des Grundwassers durch den Eintrag von Kunstdünger auf agrarisch intensiv genutzten Flächen beeinflusst werden (Bentley 2006; Böhlke & Horan 2000). Wenn sich die Werte aber nicht deutlich von den erwarteten geologischen Werten unterscheiden, ist ein solcher Effekt jedoch nicht feststellbar (Bentley 2006).

Strontium aus dem Grundwasser kann in das Skelett eindringen und den „in vivo“ Strontium-Anteil verändern (Bentley et al. 2004). Dieses Problem ist bei Verwendung von Knochen zu berücksichtigen. Diese Veränderungen wären zwar, da sie aus dem Grundwasser kommen,

„Kontaminationen“ mit lokalen Isotopensignaturen, die im Knochen bereits vorhanden sein müssten (Grupe et al. 1997; Grupe et al. 1999), allerdings wäre das Ergebnis bei „spät zugewanderten“ Individuen falsch. Es stellt sich auch die Frage, ob „lokale“ Kontaminationen die ursprüngliche Variationsbreite in den $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werten aus menschlichem Knochen verändern und dadurch die als „lokal“ definierte Wertespanne, die durch die Standardabweichung (oder einer Modifikation der Standardabweichung) dieser Werte definiert wird, beeinflussen könnten (Horn & Müller-Sohnius 1999).

Zahnschmelz scheint allerdings für Diagenese-Prozesse weniger anfällig zu sein. Außerdem erscheinen die Vorbehandlungen bei der Analyse effektiv genug um alle Kontaminationen zu entfernen (Price et al. 1994).

Signifikanzbereich und Grenzwertbestimmung („cut-off value“)

Die Höhe des Strontiumisotopen-Verhältnisses in Gestein, Boden und Wasser kann innerhalb eines kleinräumigen Gebietes variieren. Ein einzelnes repräsentatives Verhältnis ist daher schwer zu ermitteln (Price et al. 2002), besonders da das Gebiet in dem sich die hier untersuchten Bestattungsplätze befinden geologisch sehr uneinheitlich ist (Price 2004).

Auch bei den Isotopenraten im menschlichen Knochen und im Zahnschmelz gibt es eine Wertespanne. Dies erschwert es zusätzlich Einwanderer von ortsansässigen Personen zu unterscheiden (Price et al. 2002).

Da Werte mit fünf oder sechs Nachkommastellen ausgewertet werden, stellt sich die Frage nach dem Signifikanzbereich. Bei Grupe et al. (1997) wurden eine Probe von zwei unabhängigen Laboren gemessen. Die Ergebnisse von Proben eines Individuums aus Weichering, einem Bestattungsplatz in unmittelbarer geographischer Nähe von Enkering und Großmehring, ergaben $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte von einmal 0,712305 und einmal 0,712821 (Zahn), sowie einmal 0,708740 und einmal 0,708847 (Knochen) (Grupe et al. 1997). Demnach können bei verschiedenen Messungen einer Einzelprobe Schwankungen nach der dritten Nachkommastelle bestehen, die bis zu 0,00052 betragen.

Die hier als „lokal“ festgelegte $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wertespanne zwischen Minimalwert (0,70724) und Maximalwertes (0,71161) beträgt schon 0,000436 (Tab. 5.24). Aufgrund dieser Schwankungen wurde von Grupe et al. (1997) „Ortsfremdheit“ ab einem Unterschied in der dritten Nachkommastelle definiert, um „sichere Grenzen“ zu erhalten. Da die Schwankungen in den Messwerten innerhalb einer Probe relativ hoch sein können, ist ein kleinräumiges Unterscheiden der Sr-Isotopien, besonders in einem geologisch stark heterogenen Gebiet, vermutlich nicht möglich.

Es stellt sich die Frage welche Werte als „lokal“ und welche als „fremd“ definiert werden sollten und wie Werte in den Grenzbereichen zu interpretieren sind. Bis vor kurzem wurde der als „lokal“ definierte Bereich der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Signatur anhand der zweifachen Standardabweichung (2σ) des Mittelwertes der gemessenen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte aus menschlichem Knochen oder Zahnschmelz definiert (Bentley et al. 2004; Gage & Zansky 1995; Grupe et al. 1997; Grupe et al. 1999). Anhand dieser so genannten „konservativen Definition“ wurde weitgehend ausgeschlossen, dass „lokale“ Individuen fälschlich als „Einwanderer“ bestimmt wurden (Bentley et al. 2002; Grupe et al. 1997; Grupe et al. 1999; Price et al. 2002). Sie kann aber auch zu einer signifikanten Unterschätzung der Anzahl „nicht ortsansässiger“ Personen führen (Bentley et al. 2004). Vohberger (2011) versucht die lokalen Signaturen anhand eines „ σ -outlier-Tests“, mit Hilfe eines auf Excel-basierenden Makros (Isoplot/Ex 3.71), einer modifizierten Form der Standardabweichung, zu berechnen. (Vohberger 2011). Bentley et al. (2004) bezeichnen derartige Berechnungen als eher „subjektive Einteilung“ der Daten, die eben keine objektive Darstellung von feststehenden „Isotopengrenzen“ einer Landschaft sind (Bentley et al. 2004). Ebenso sieht Pollard (2011b) hier den Beweis „innerhalb der Daten selbst“ geführt und die geologischen Daten ignoriert (Pollard 2011b). Die geologische Zusammensetzung des Bodens ist offensichtlich der Hauptfaktor, der Strontium-Isotopen Zusammensetzung in der lokalen Biosphäre, sie ist aber nur eine von vielen Faktoren, die zum Isotopenwert der Menschen beitragen die in einem bestimmten Ort leben. Auch andere Faktoren wie Trinkwasserquellen, Handel mit Lebensmitteln, Landwirtschaftliche Praktiken oder abweichende geologische Verhältnisse innerhalb kurzer Distanzen können eine Rolle spielen (Pollard 2011b).

Die lokale Wertespanne könnte anhand einer Kombination von geologischen Karten und weiteren Indikatoren wie den Skeletten oder Gehäusen lokal lebender Tiere charakterisiert (Bentley et al. 2002; Price et al. 2002) oder aus dem $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Verhältnis von Flusswasser (Bentley et al. 2004) abgeleitet werden. Dabei wäre aber zunächst eine genauere und detaillierte Kartierung der verschiedenen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse des geologischen Materials von Nöten (Beard & Johnson 2000; Bentley et al. 2004). Eine Kartierung anhand der Werte von standorttreuen Tieren, z.B. an Knochen von Mäusen oder Schneckenhäusern (Price et al. 2004), könnte einen Vergleich von Boden und Knochen ermöglichen.

Auch die Messwerte lokaler herbivorer Haustiere zeigen eine einheitliche Wertespanne der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopien mit denen ihrer Umwelt (Bentley et al. 2004; Burton & Price 1999; Price et al. 2002). Möglicherweise könnten bei archäologischen Fundstätten die lokalen Strontium-Isotopensignaturen anhand von Zähnen aus Tierfunden im archäologischen Material bestimmt werden. Dadurch könnten auch das Problem der umweltbedingten Variabilität, die Beeinflussung durch modernen anthropogenen Strontium-Eintrag und, aufgrund der Verwendung des bezüglich postmortalen biochemischen Veränderungen relativ resistenten Zahnschmelzes, auch Diagenese-Erscheinungen weitgehend minimiert werden (Price et al. 2002). Voraussetzung hierfür ist selbstverständlich, dass es sich tatsächlich um „lokale“ und nicht um „importierte“ Tiere handelt. Dies wäre bei deutlich abweichenden $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopien erkennbar.

Nehlich et al. (2009) verwenden $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte aus dem Dentin derselben Zahnprobe, um die „lokale“ Sr-Isotopensignatur zu bestimmen und diese mit den Messwerte aus dem Zahnschmelz zu vergleichen (Nehlich et al. 2009). Diese Vergleichsmöglichkeiten boten sich bei den hier ausgewerteten Daten nicht, da keine tierischen Vergleichsproben vorhanden waren oder gemessen wurden und das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis ausschließlich im Zahnschmelz bestimmt wurde (Gaugler 2006, Strott et al. 2008). Ein $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert des Zahnschmelzes, der außerhalb eines analytisch definierten lokalen Wertebereichs liegt, sagt genau genommen nur aus, dass die Nahrung, die diese Person im Kindesalter konsumierte hauptsächlich aus nicht-lokalen Quellen kam (Bentley et al. 2004).

Es muss bei der Auswertung der Daten und bei der Festlegung von „Grenzwerten“ („cut-off values“) stets berücksichtigt werden, dass es sich hier um geologische und biologische Systeme handelt, die sich in einem steten Umbau befinden. Solange deren Zusammenspiel noch nicht vollständig erforscht ist, wie im Zahnschmelz (Montgomery 2010) kann es keine genau festgesetzten Grenzen geben, sondern nur Annäherungen daran. Geologische Unsicherheiten müssen in Betracht gezogen werden, genau so wie die Notwendigkeit mehr über die Biologie des Strontium Eintrages im Zahnschmelz zu verstehen (Pollard 2011b).

Biologisch verfügbares Strontium

In dem Review von Bentley (2006) wird verdeutlicht, dass ein alleiniger Vergleich der im Skelettmaterial gemessenen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopensignatur mit der Signatur eines Gesteins oder des Gesteins an sich nicht zulässig ist, um die Herkunft eines Individuums festzustellen (Bentley 2006). Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopie eines Gesteins nicht allein von dessen Zusammensetzung, sondern auch von dem Alter des Gesteins abhängig (Faure & Powel 1972).

Der Wert des elementaren Strontiums und die Isotopien in Steinen, Grundwasser, Boden Pflanzen und Tieren sind jedoch von den jeweiligen geologischen Bedingungen abhängig (Dasch 1969). Die Sr- Zusammensetzung in Knochen und Zähnen wiederum leitet sich vom Sr-Isotopenverhältnis in Nahrung und Trinkwasser ab (Price et al. 2002). Daher könnte ein Vergleich der Messwerte mit der Sr-Isotopenzusammensetzung von Trinkwasser eine weitere Möglichkeit der Datenauswertung bieten. Anhand der Sr-Isotopien im Trinkwasser kann die Zusammensetzung des bioverfügbaren Strontiums, welches von den örtlichen Pflanzen aufgenommen wird und in die lokale Nahrungskette gelangt, bestimmt werden (Voerkelius et al. 2010). Durch die systematische Messung von natürlichem Mineralwasser aus verschiedenen Regionen Europas konnten Voerkelius et al. (2010) eine Karte der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopien erstellen. Die Zusammensetzung der Sr-Isotopen des Grundwassers spiegelt nicht die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopie des Bodens wider mit dem es in Kontakt kommt, sondern die Isotopien der löslichen Mineralien in den Gesteinen (Åberg et al. 1989). Es konnte aber gezeigt werden, dass die Zusammensetzung der Strontiumisotopen von Honig und Weizen

gut mit den Werten des natürlichen Mineralwassers aus der selben Region übereinstimmt (Voerkelius et al. 2010).

Vergleich der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte mit Trinkwasser: Alternativer Ansatz zur Auswertung der Strontium Isotopien

Die hier als „lokal“ festgelegte $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wertespanne liegt zwischen 0,70724 und 0,71161. Bodenproben aus dem Gebiet an der Donau zeigen jedoch, dass Werte bis 0,710 durchaus lokalen Ursprungs sein können (Bentley & Knipper 2005). Möglicherweise muss also die Wertespanne weiter gefasst werden.

Die Sr-Daten der ausgewählten Individuen aus Enkering, Etting und Großmehring wurden zunächst anhand der zweifachen Standardabweichung nach Grupe et al. (1997) ausgewertet (Gaugler 2006; Strott et al. 2008). Dabei erwies es sich als schwierig eine genaue „lokale“ Sr-Signatur festzulegen. Strontium-Isotopen-Messwerte von herbivoren Haustieren aus den hier untersuchten Bestattungsplätzen, anhand deren Werte eine Bestimmung „lokaler“ Sr-Isotopien vorgenommen werden könnte (Bentley et al. 2004; Burton & Price 1999; Price et al. 2002) liegen nicht vor. Eine Kartierung anhand der Werte von standorttreuen Tieren, z.B. an Knochen von Mäusen oder Schneckenhäusern (Price et al. 2004) steht bislang nicht zur Verfügung. Die gemessenen Werte konnten daher nur mit Daten aus Bestattungsplätzen in geographischer Nähe verglichen werden (Grupe et al. 1997), um die lokale Signatur anhand reeller Daten einzugrenzen (Tab. 5.25). Hier wird ein alternativer Ansatz zur Auswertung von Strontium-Daten versucht. Dies könnte hilfreich sein wenn Vergleichsproben wie Schneckenhäuser fehlen oder zur Kontrolle.

Da das Wasser die Werte des biogenen Strontiums und somit die lokale Isotopensignatur widerzuspiegeln scheint (Montgomery et al. 2006, Voerkelius et al. 2010), könnten die Daten aus dem menschlichen Knochen bzw. Zahnschmelzkarbonat mit diesen verglichen werden. Dadurch könnten die Methoden zur Festlegung der „lokalen“ Isotopien zusätzlich unterstützt werden (siehe auch).

Eine Bestimmung möglicher Herkunftsgebiete von Individuen mit abweichenden $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werten bleibt weitgehend spekulativ.

Gräberfeld	Grab	Alter	Geschl.	Zahnschmelz		Knochen	
				$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Sr (ppm)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Sr (ppm)
Weichering	We 3	A	M	0,70938	83	0,70870	255
	We 5	J	M	0,70888	90	0,70870	266
	We 10	A	M	0,70886	70	0,70867	282
	We 14	A	F	0,70868	102	0,70872	322
	We 17	A	M	0,70958	89	0,70857	306
	We 18	A	M	0,70861	79	0,70905	289
	We 19	A	M	0,71066	57	0,70885	284
	We A	A	M	0,70992	120	0,70861	368
	We D	A	F	0,71288	131	0,70891	251
Manching	Ma 1	A	M	0,70923	64	0,70871	179
	Ma 2	A	M	0,70846	196	0,70871	220
	Ma 4	A	F	0,71122	82	0,70899	210
Mittelwert				0,70970			
STABW				0,00131			
2s				0,00262			

Tab. 5.25:
Strontiumisotopen-
Werte von
Individuen aus
Gräberfeldern in
unmittelbarer Nähe
der
Bestattungsplätze
Etting und
Großmehring.

(Originaldaten
Grupe et al. 1997)

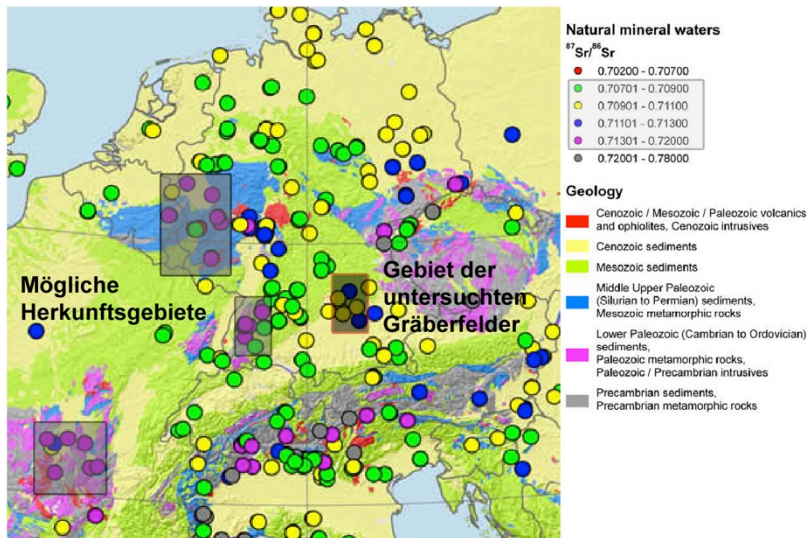


Abb. 5.92: Karte von im Trinkwasser gemessenen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werten in Mitteleuropa. Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte des lokalen Trinkwassers (grau/rot markierter Bereich) schwanken zwischen 0,70901-0,71100 (gelbe Punkte) in Donaunähe und von 0,71101 bis 0,71300 (blaue Punkte), in einer etwas weiteren Entfernung zur Donau. Die Gebiete die mit den $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werten des Mannes aus Grab 18/I übereinstimmen (0,71301-0,72000, grau markierte Bereiche, magenta Punkte) (Voerkelius et al. 2010) liegen im fränkischen Kerngebiet (Abbildung modifiziert nach Voerkelius et al. 2010).

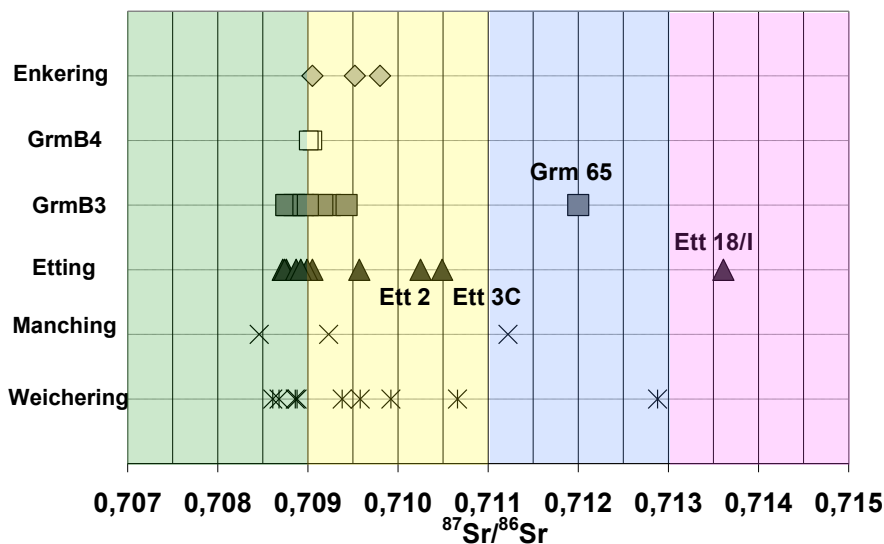


Abb. 5.93: Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte der untersuchten und der Vergleichspopulationen in Zusammenhang mit Werten aus natürlichem Mineralwasser (vgl. Abb. 5.92, Farbgebung analog). Gelber Bereich: Isotopie des lokalen Trinkwassers in Donaunähe (0,70901-0,71100); blauer (0,71101-0,71300) und grüner (0,70701-0,70900) Bereich: Trinkwasserwerte in etwas weiterer Entfernung zur Donau; magenta Bereich: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopie möglichen Herkunftsgebiete von Ett 18/I (0,71301-0,72000); Originaldaten Manching und Weichering siehe Tab. 5.25, aus Grupe et al. 1997; Originaldaten Etting, Enkering und Großmehring: Gaugler 2006)

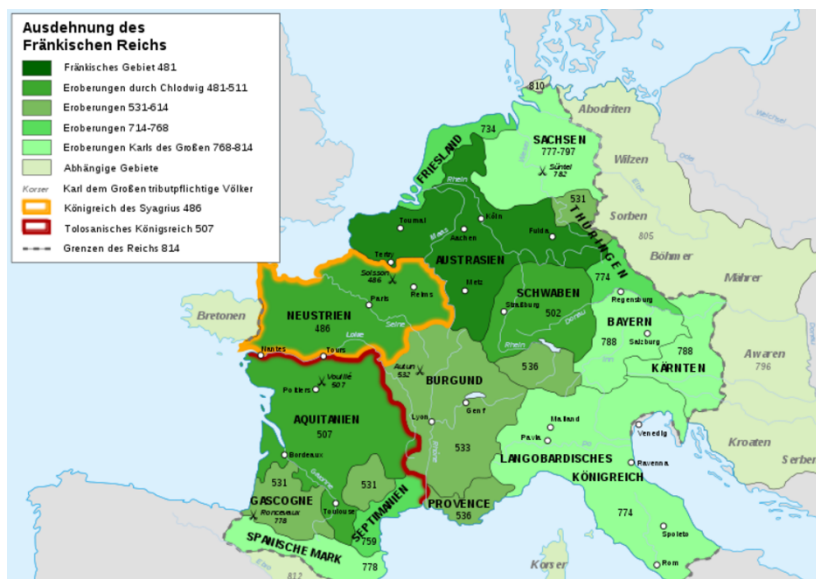


Abb. 5.94: Ausdehnung des fränkischen Reiches zwischen 481 und 814 n. Chr. Das Kerngebiet des fränkischen Reiches („Austrasien“) befand sich im linksrheinischen Gebiet (Kartenquelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/02/Frankish_Empire_481_to_814-de.svg).

Bei Betrachtung der von Voerkelius et al. (2010) erstellten Kartierung der Sr-Isotopien zeigt sich, dass die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte des Trinkwassers in dem Gebiet der hier untersuchten Bestattungsplätze zwischen 0,70901 und 0,71100 (gelbe Punkte) in Donaunähe und zwischen 0,71101 und 0,71300 (blaue Punkte) in einer etwas weiteren Entfernung zur Donau schwanken. Im Voralpenland ist ein Wertebereich zwischen 0,70701 (grüne Punkte) und 0,71100 (gelbe Punkte) zu erwarten. Im Bereich der Schwäbischen- und Fränkischen Alp liegen die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopien bei 0,70701-0,70900 (grüne Punkte) (Abb. 5.92) (Voerkelius et al. 2010).

Werden diese Wertebereiche auf die hier gemessenen Daten (Gaugler 2006; Strott et al. 2008) und die der Vergleichspopulation (Grupe et al. 1997) angewandt (Abb. 5.93), zeigt sich, dass sich der Großteil der Individuen in den Wertebereichen in Donaunähe, bzw. -umgebung (grün und gelb markiert) befindet. Zwei Individuen befinden sich jedoch außerhalb dieser Wertespanne. Der Sr-Wert des mitteladulten Mannes aus Großmehring Grab 65 liegt mit 0,71200 in dem definierten Bereich zwischen 0,71101 und 0,71300 (Abb. 5.93, blau markiert). Diese Isotopensignatur zeigt sich aber in dem Gebiet in Donaunähe, in dem sich auch die hier untersuchten Bestattungsplätze befinden (Abb. 5.92). Demnach kann dieser Mann ebenfalls als „lokal“ eingestuft werden.

Der Wert des frühmaturen Mannes aus Etting Grab 18/I (0,71361) befindet sich im Wertebereich 0,71301-0,72000 (Abb. 5.93, magenta markiert). Die Spanne zwischen 0,71301 und 0,72000 (Abb. 5.92, magenta Punkte) entspricht etwa dem $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wertebereich des Trinkwassers in Böhmen, im Bereich der Hochalpen, im Schwarzwald, dem linksrheinischen Gebiet Eifel / Ardennen / Hunsrück und dem französischen Zentralmassiv (Voerkelius et al. 2010). Eine Zuwanderung aus Böhmen erscheint hier aufgrund der damaligen politischen Situation her unwahrscheinlich. Das Gebiet des heutigen Böhmen lag außerhalb der Grenzen des bayerischen Herzogtums und / oder des fränkischen Reiches und wurde erst später dem Reich zugeordnet⁵². Eine Herkunft dieses Mannes aus einem Gebiet im Alpenraum mit ähnlicher Sr-Isotopensignatur (0,71301-0,72000 magenta Bereich) kann anhand des $\delta^{18}\text{O}$ -Wertes weitgehend ausgeschlossen werden, da dieser aufgrund der Höhenlage deutlich negativer sein müsste.

Das Gebiet des heutigen Belgiens gilt als Kerngebiet des damaligen Frankenreiches (Prinz 2003a) (Abb. 5.94). Unter historischen Aspekten wären daher Herkunftsgebiete wie der Schwarzwald oder das linksrheinische Gebiet wahrscheinlicher. Aber auch eine Herkunft aus dem französischen Zentralmassiv kann nicht, wie zunächst vermutet (Gaugler 2006; Strott et al. 2008), ausgeschlossen werden, denn dieses Gebiet gehörte seit Anfang des 6. Jahrhunderts zum Frankenreich⁵³ (Prinz 2003a). Es könnte durchaus die Möglichkeit bestehen, dass es sich bei dem Mann aus Etting Grab 18/I um eine Person höheren sozialen Ranges handelt, der in fränkischen Diensten stand und zur Sicherung des fränkischen Gebietsanspruches im bayrischen Raum eingesetzt wurde.

Anwendbarkeit eines Vergleichs mit Sr-Isotopien aus Trinkwasser

Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte des biologisch verfügbaren Strontiums in einer Region entsprechen den Werten des regionalen Trinkwassers. Das Strontium gelangt über Trinkwasser und Pflanzen in die lokale Nahrungskette (Voerkelius et al. 2010). Die Sr-Isotopen-Zusammensetzung in Knochen und Zähnen leitet sich vom Sr-Isotopenverhältnis in Nahrung und Trinkwasser ab (Price et al. 2002).

Durch den Vergleich der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopien von natürlichem Trinkwasser und den Werten aus dem Knochenmaterial der untersuchten Individuen wurde versucht, die gemessenen Werte auf Daten zu beziehen, deren Werte direkt mit bestimmten Gebieten in Verbindung gebracht werden können. Anhand der durch systematische Messungen von natürlichem Mineralwasser aus verschiedenen Regionen Europas erstellte $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopen Karte

⁵² Im Zuge der Ausweitung des Reiches nach Osten unter Karl dem Großen geriet Böhmen in fränkische Abhängigkeit. In einer Urkunde von 817, in der die Provinzen und Völker des Frankenreiches aufgelistet sind, werden die *Beheimi* als eines der abhängigen Völker genannt (Prinz 2003a).

⁵³ Anfang des 6. Jahrhunderts wurde im Zuge von Feldzügen gegen Alarich, den König der Westgoten, auch das Gebiet um Clermont-Ferrand von Chlodwig und seinem Sohn Theuderich erobert (Prinz 2003a).

(Voerkelius et al. 2010) können die Sr-Daten der Individuen aus den untersuchten Gräberfeldern möglichen Herkunftsgebieten zugewiesen werden und „lokale“ Isotopenwerte besser bestimmt werden (siehe auch Montgomery et al. 2006).

Bei der Eingrenzung der als „lokal“ anzusehenden Werte bestätigt der hier angewandte Bezug der Daten auf die lokalen Trinkwasser-Isotopien sowohl die Ergebnisse aus dem Vergleich mit anderen, in derselben geologischen Region ansässigen Populationen (hier Manching und Weichering aus Grupe et al. 1997), als auch Ergebnisse einer Eingrenzung anhand der Berechnungen der zweifachen Standardabweichung (Gaugler 2006; Strott et al. 2008, nach Grupe et al. 1997). Lediglich ein Individuum (Grm 65) wurde anhand dieser Methode den „lokalen“ Individuen zugeordnet. Der Vergleich mit den $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Daten aus natürlichem Mineralwasser konnte ebenfalls den Interpretationsansatz bekräftigen, dass es sich bei einem der auf den Separatfriedhöfen Bestatteten Individuen (Ett 18/I), um einen „Zuwanderer“, möglicherweise aus dem Kerngebiet des fränkischen Reich handelt (Strott et al. 2008).

Leider ist auch anhand der von Voerkelius et al. (2010) erstellten Karte eine genauere oder kleinräumigere Zuweisung von Herkunft nicht möglich. So können beispielsweise die für die erweiterte Donauregion als „lokal“ geltenden Werte (Abb. 5.5, grüne, gelbe und blaue Punkte) könnten in einigen anderen Regionen in Deutschland ihren Ursprung haben.

Der Vorteil eines Vergleichs mit Trinkwasserwerten liegt darin, dass die Daten auf reelle Messwerte bezogen werden können, welche die Werte des Trinkwassers, der Nahrung und somit die des biologisch verfügbaren Strontiums widerspiegeln. Des Weiteren ist hier eine grobe Kartierung Europas bereits vorhanden. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass es sich bei Voerkelius et al. (2010) um moderne Referenzdaten handelt. Vor der Verwendung von modernen Referenzdaten wird allgemein gewarnt, da diese möglicherweise verändert sein könnten, z.B. durch Kunstdünger in agrarisch intensiv genutzten Flächen (Bentley 2006; Böhlke & Horan 2000). Momentan können valide Aussagen anhand der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Daten nur eingeschränkt getroffen werden. Daher erscheint ein kombinierter Vergleich der erhobenen Daten mit den Wertespanssen des lokalen Trinkwassers (Voerkelius et al. 2010), mit den Werten von herbivoren Haustieren aus dem archäologischen Fundgut (Price et al. 2002), in Kombination mit Vergleichsdaten von Populationen aus nahe Gelegenen Fundorten (Grupe et al. 1997) am sinnvollsten. Eine Interpretation der Ergebnisse sowohl der Strontium- als auch der Sauerstoffisotopen-Analysen muss aber, schon allein aufgrund der weitgehend fehlenden Vergleichsmöglichkeit der Daten, zum jetzigen Zeitpunkt mit Vorbehalt gesehen werden.

6 Archäologische und anthropologische Synthese

In einem Geschichtsabschnitt wie dem frühen Mittelalter, in dem Textquellen und archäologische Aussagen nur unvollständige Hinweise auf die allgemeinen Lebensumstände liefern können, erlauben paläobiologische Untersuchungen einen Blick auf Unterschiede in der täglichen Lebensweise und Ernährung einzelner Mitglieder einer Gemeinschaft im Bezug auf Geschlecht, Alter, Ernährung und soziale Stellung. In dieser Arbeit wurde versucht, soziale Unterschiede innerhalb frühmittelalterlicher Bevölkerungsgruppen im Vergleich mit ähnlichen Populationen mit Hilfe biologischer Methoden nachzuweisen.

Anhand der ermittelten Datenbasis erscheint es schwierig, Aussagen über ganze Kollektive zu treffen. Meist ist ein breites Wertespektrum vorhanden und / oder die Werte verschiedener Friedhöfe oder eingeteilter Gruppen unterscheiden sich meist nicht signifikant, es sind lediglich Tendenzen erkennbar. Ein Erfassen ganzer Kollektive und deren Vergleich ist häufig schwierig aufgrund einer oft zu geringen Individuenanzahl in den Untergruppen (z.B. Alters- oder Friedhofsklassen) und deshalb meist nicht signifikanten Ergebnissen. Die morphologische Begutachtung und Aufnahme der degenerativen Veränderungen ist nur für Individualbefunde verwendbar. Auch ein adäquater Vergleich zwischen Friedhöfen, Friedhofgruppen oder Altersklassen war aufgrund partiell fehlender Skelettelemente meist nicht möglich. Die morphologische Alters- und Geschlechtsbestimmung ist ebenfalls stark vom Erhaltungszustand des Skelettmaterials abhängig. Daher ist eine alternative Bestimmung des Alters anhand der Zahnzementringe sehr hilfreich. Diese Methode ist jedoch ebenfalls mit einigen Fehlerquellen verbunden und eine Standardisierung der Methode ist bislang noch nicht gegeben. Aus den Daten der Alters- und Geschlechtsbestimmung generieren sich aber wiederum die demographischen Berechnungen, deren Formeln selbst lediglich auf Annahmen beruhen. Auch sind die Daten meist aufgrund der geringen Individuenzahlen nicht signifikant und können daher nur Annäherungen an die tatsächlichen Werte liefern. Die Auswertung sämtlicher weiterer Analysen und Befunde erfolgte hier zum einen auf der Grundlage der Daten der Alters- und Geschlechtsbestimmung, zum anderen auf der archäologischen Einteilung der Friedhofsklassen.

Mit Hilfe der verwendeten Methoden konnten keine statistisch signifikanten Parameter gefunden werden, die eine ganze Bevölkerungsgruppe als sozial „höhergestellt“ kennzeichnen würde. Die morphologischen Untersuchungen am Skelett mit Hinblick auf degenerative Veränderungen erbrachten keine Korrelationen bezüglich des sozialen Status. Welche Skelettbefunde sich als „sozial signifikant“ herausstellen hängt offensichtlich von den lokal spezifischen Arten physischer Belastung und ihrer sozialen Einteilung ab (Robb et al. 2001). Daher sind diese Daten eher als „Individualbefunde“ und nicht als „Kollektivbefunde“ zu werten. Die Möglichkeit Gesundheit und Status zu korrelieren ist an die kontextabhängige Ausprägung der archäologischen Funde und die spezifische Ausprägung der Merkmale am Skelett gebunden (Robb et al. 2001). Dies ist das entscheidende Problem bei vergleichenden Analysen. Darüber hinaus ist eine, eigentlich notwendige, „kleinräumige“ Einteilung der Vergleichsgruppen aufgrund der geringeren Datenmenge in der Regel nicht möglich. Lediglich die demographische Auswertung, besonders die höhere Lebenserwartung der zuvor als „höhergestellt“ definierten Gruppen konnte diesbezüglich in etwa die erhofften Ergebnisse liefern. Demographische Berechnungen an diesen historischen Bevölkerungen sind aber, wie oben bereits erwähnt, nur als Annäherungen zu betrachten. Hinsichtlich der Rekonstruktion der Ernährung, respektive der „Trophiestufe“, anhand der C/N-Isotopenanalyse erbrachte lediglich einer der Bestattungsplätze ein signifikantes Ergebnis (Etting), bei einem der Fälle zeigte sich eine Tendenz (Großmehring). In zwei Fällen (Bruckmühl und Kelheim) konnte hingegen kein Unterschied zwischen den eingeteilten Friedhofsklassen festgestellt werden.

Bei Analysen, die auf messbaren Werten oder zählbaren Strukturen wie Isotopenwerte oder Zahnzementzuwachsringe beruhen, ist eine genaue Kenntnis der zugrunde liegenden biochemischen und physiologischen Vorgänge essentiell. Aber so vage die hier gewonnenen

Erkenntnisse und Aussagen zunächst auch erscheinen mögen, so muss unbedingt darauf hingewiesen werden, dass die genannten Methoden derzeit die einzige Möglichkeit sind, die damaligen Lebensbedingungen annähernd zu erfassen. Definitive Aussagen werden, allein schon aufgrund der nicht möglichen Nachprüfbarkeit der wirklichen Gegebenheiten in vergangenen Zeiten, niemals möglich sein. Einzelne, in der Anthropologie verwendete Methoden, wie DNA-Analysen könnten definitive Aussagen liefern (z.B. Nachweis von Krankheitserregern), die meisten Methoden können sich den Tatsachen hingegen nur annähern.

Das Hauptproblem bei der Interpretation der Ergebnisse ergibt sich aus der allgemein schwierigen biologischen Nachweisbarkeit von „Status“. So konnte bei den von Robb et al. (2001) untersuchten eisenzeitlichen Gräbern nicht zwingend eine direkte Übereinstimmung zwischen Beigabenausstattung und biologischem Status nachgewiesen werden. Die gängigen paläopathologischen Anzeichen für starke physische Belastung waren hauptsächlich bei den Individuen aus Oberschichtengräbern zu finden (Robb et al. 2001). Zusammenfassend können aus anthropologischer Sicht drei Unsicherheitsfaktoren genannt werden: (1) Am Skelett sicht- und nachweisbare biologische Indikatoren sind möglicherweise nicht geeignet, feinere Unterschiede in den Lebensbedingungen deutlich zu machen. (2) Die archäologischen „Beweise“ für gehobene soziale Stellung (Beigaben, Friedhofstruktur) reflektieren den ökonomischen Status nicht in dem angenommenen Maß. Eventuell wird nicht das ganze soziale Spektrum erfasst und / oder die Bestattungsart symbolisiert nicht klar den sozialen Status oder die Lebensgewohnheiten. (3) Die gestellte Hypothese ist nicht durchgehend gültig, da in einer Gesellschaft mit unterschiedlichen Schichten alle Individuen unter den gleichen gesundheitlichen Risiken wie Infektionskrankheiten oder Umweltbelastungen leiden (Robb et al. 2001).

Ein weiteres Problem bei der vorliegenden Studie ergab sich aus der Voreinteilung in „Friedhofsklassen“, also aus der Festlegung der „sozial höhergestellten“ Individuen. Um die Daten gemäß den archäologischen Hypothesen auszuwerten, war eine Unterteilung anhand der Beigaben und / oder der Friedhofsstruktur nahe liegend. Diese sind jedoch abhängig von den jeweiligen archäologischen Befunden. Unter archäologischen Aspekten wird die Einteilung der sozialen Abstufung gewöhnlich anhand von Qualitätsabstufungen der Grabbeigaben vorgenommen (Christlein 1973). Dieser Qualitätsschlüssel ist jedoch im späten Frühmittelalter aufgrund der schwindenden Beigabensitte nicht mehr uneingeschränkt anwendbar (Czermak & Ledderose 2004; Ledderose 2006; Steuer 2001). Es stellt sich dabei die Frage nach der Aussagekraft der Beigaben in diesen Zeiten des gesellschaftlichen Umbruchs. Sind die Beigaben als Ausdruck von „Reichtum“ oder von „Status“, der nicht zwingend mit Reichtum assoziiert sein muss, zu werten? Oder sollen sie Repräsentation und Rang über den Tod hinaus ausdrücken (Steuer 2001)? In ihrer Analyse des „Nobilifizierungsprozesses“ während der späten Merowingerzeit modifizierte Burzler (2006)⁵⁴ die von Christlein (1973) eingeteilten Qualitätsgruppen der Beigaben vor dem Hintergrund der Veränderungen in der Beigabensitte. Dies erleichtert zwar die qualitative Beurteilung einer Beigabenausstattung, die soziale Interpretation bleibt jedoch unverändert schwierig. Frauengräber lassen sich nach wie vor schlechter sozial einstufen, da sich die Interpretation der Beigaben überwiegend auf den Materialwert stützt. In Männergräbern bietet die Waffenausstattung, wie Vollbewaffnung⁵⁵, die Unterscheidung zwischen *Spatha* und *Sax*⁵⁶ oder die Frage nach der Bedeutung eines Gegenstandes als anerkanntes gesellschaftliches Symbol für eine bestimmte Stellung innerhalb einer Gemeinschaft mehrere kontroverse Aussagemöglichkeiten⁵⁷. Neben Waffen und Schmuck können weitere Gegenstände wie Reitzubehör und der Nachweis „gehobener Tischsitten“ für die soziale Interpretation genutzt werden. Auch religiöse, alters- oder berufs- abhängige Beigaben, die den „Status“ einer Person im Grabbefund zusätzlich kennzeichnen können, sowie kleinräumiges bzw.

⁵⁴ Burzler 2000, S. 120-127.

⁵⁵ Auch die Vollbewaffnung unterliegt jedoch einer zeitlichen Abhängigkeit (Ledderose 2006; Burzler 2000, S. 97-104).

⁵⁶ *Spatha*: zweischneidiges Langschwert, hohe Qualitätsstufe; *Sax*: einschneidiges Hiebschwert, mittlere Qualitätsstufe (nach Christlein 1973).

⁵⁷ Schwert und Sporen als Attribute des Kriegers oder Reiters scheinen weniger Ausdruck von „beruflichen“, sondern vielmehr sozialen Bindungen zu Lebzeiten gewesen zu sein (siehe Ledderose 2006).

regionales Bestattungsbrauchtum sind zu berücksichtigen. Allerdings steht jegliche Beigabenausstattung in dieser Zeit immer der reduzierten Beigabensitte gegenüber. Die soziale Einordnung eines Grabfundes kann nur in Abhängigkeit von seiner möglichst exakten Zeitstellung beurteilt werden. Aber ohne eine befriedigende Absicherung der Chronologie, die für die jüngste Merowingerzeit nicht gegeben ist, ist die soziale Interpretation mit Unwägbarkeiten behaftet (Ledderose 2006).

Neben der Beigabenausstattung spielen auch die Friedhofsstruktur⁵⁸, sowie Grabbau und Lageposition der Gräber als weitere archäologisch fassbare Komponenten mit möglicher soziologischer Aussagekraft eine wichtige Rolle (Ament 1970; Ledderose 2006). Unter diesen Aspekten und auch teilweise mangels Beigaben wurde hier bei der Festlegung der „Friedhofsklassen“ zusätzlich die Friedhofsstruktur mit berücksichtigt. Bei einer Auswertung anhand der Friedhofsstruktur war zum einen die Vollständigkeit des Gräberfeldes, zum anderen die Eindeutigkeit des Befundes relevant. Der Friedhof Etting war vollständig ergraben, es waren zahlreiche Beigaben vorhanden und auch eine eindeutige Struktur des Friedhofs erkennbar. Die archäologische Befundlage wurde jedoch von Großmehring über Bruckmühl bis zu Kelheim immer „uneindeutiger“. Während in Großmehring noch Beigaben, wenn auch weniger und eine relativ deutliche Friedhofsstruktur mit Kreisgraben vorhanden war, so fehlen in Bruckmühl die typische Struktur des Friedhofs, während in Kelheim keine Beigaben vorhanden waren. Des Weiteren ist die Vollständigkeit des Bestattungsplatzes Bruckmühl nicht gesichert (Suhr & Fehr 2007). Besonders die C/N-Isotopenanalyse verdeutlicht dieses Dilemma. Es wird von der Annahme ausgegangen, dass wohlhabende Personen oder Personen höheren Ranges im Vergleich zu sozial niedriger gestellten Individuen höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aufweisen (Richards et al. 1998). Während die Theorie der „Reichen und Wohlerährten“ auf den Friedhof Etting hervorragend zutrifft, so wird die Aussagekraft mit schlechter werdender Einteilbarkeit der Friedhofsklassen auch geringer. Bei Kokkotidis (1999) bestand ebenfalls das Problem der „richtigen“ Zuweisung von „Ober-“ und „Unterschicht“ anhand der Friedhofsstruktur und der Beigaben. Der Befund war auch dort bei den Individuen aus dem Kreisgraben und den angrenzenden Gräbern eindeutig. Aber eine Zweiteilung des Friedhofs war anhand der verwendeten anthropologischen Methoden nicht immer nachvollziehbar. Hierfür wird ebenfalls eine mögliche falsche Zuweisung in „Ober-“ und „Unterschicht“ aufgrund der Beigaben verantwortlich gemacht (Kokkotidis 1999).

Die Auswertbarkeit der Ergebnisse korreliert mit der Festlegbarkeit der Friedhofsklassen. Der Trennung des Bestattungsplatzes **Etting** in zwei Areale (siehe Kap. 2.3.2 und Abb. 2.3 Einteilung der Friedhofsklassen) könnte auch ein (nicht gesichert fassbarer) zeitlicher Ablauf zugrunde liegen. Gleiches könnte auch für **Großmehring B3** gelten. Hier ist eine Zweiteilung aufgrund der Friedhofsstruktur nicht eindeutig nachweisbar. Dieser Bestattungsplatz unterscheidet sich von Etting unter anderem auch durch eine längere Benutzungsdauer (ca. zweite Hälfte 7. Jahrhundert bis erste Hälfte 8. Jahrhundert⁵⁹). Unter den vier Bestattungsplatzarealen in Großmehring ragt B3 durch die beiden von großen Kreisgräben eingefassten Gräber 24 und 55 deutlich hervor (vgl. Gräberfeldplan Abb. 3.6). Ähnlich Grab 3 in Etting stellt sich bei diesen Personen kaum die Frage nach der sozialen Führungsrolle, die sowohl im Grabbau als auch in der Beigabenausstattung deutlich wird. Auf diesem Bestattungsplatz sind jedoch keine waffenführenden Männergräber dokumentiert. Frauenbestattungen, deren Beigaben auf wirtschaftlichen Wohlstand schließen ließen, fehlen sowohl unter den älter datierten Gräbern als auch unter den jüngeren Bestattungen. Die Frage, ob deren Beigabenlosigkeit, die vorrangig chronologische Ursachen haben dürfte, außerdem sozial bedingt ist, lässt sich archäologisch nicht beantworten (Ledderose 2006).

⁵⁸ Nach Ament (1970), Böhme (1993) und Burzler (2000) sind Separatfriedhöfe durch den für den Nachweis von „Adel“ besonders wichtigen Aspekt des Erbbegräbnisses charakterisiert, das an einer zeitlichen Staffelung von Bestattungen erkennbar ist und mehrere Generationen einer Familie vermuten lässt. Ein genauer Nachweis ist jedoch immer mit Unsicherheiten verbunden (Ledderose 2006).

⁵⁹ „Der in Beigaben erkennbare überdurchschnittliche Wohlstand einiger Personen tritt in Großmehring offensichtlich erst gegen Ende der Merowingerzeit in Erscheinung. Ob hiermit auch ein sozialer Aufstieg verbunden ist, lässt sich nicht entscheiden. Schließlich stellt sich in diesem Zusammenhang ganz grundsätzlich die Frage nach der Notwendigkeit eines prunkvollen Begräbnisses, die immer vor dem Hintergrund von spezifischen kulturellen und historischen Gegebenheiten gesehen werden muss. Dies ist für den Ingolstädter Raum, der sich im frühen 8. Jahrhundert in einem politischen Spannungsfeld zwischen bayerischem und fränkischem Machteinfluss befindet, zweifellos von einiger Brisanz“ (Ledderose 2006; S. 327f).

Eine Bestattung im Kreisgraben weist, trotz der Beigabenlosigkeit, sicher auch in **Kelheim** sozial höher gestellte Personen aus. Aber die anhand der Friedhofsstruktur postulierte Zweiteilung kann auch hier aufgrund fehlender Beigaben und ungenauer Datierungsmöglichkeit archäologisch nicht belegt werden (Meier 2007). In **Bruckmühl** fehlen „herausragende“ Bestattungen. Hier konnte allein anhand der Beigaben und einer angedeuteten „Zäsur“ (siehe Abb. 3.4 Gräberfeldplan) zwischen den potentiellen Friedhofsteilen unterschieden werden. Diese Einteilung erscheint aufgrund der Größe der Grabgruben plausibel (Fingerlin, mündl. Mitteilung Freiburg 2010). Trotzdem stellt sich auch hier die Frage nach der genauen Chronologie der Gräber, besonders im Zusammenhang mit dem Schwinden der Beigabensitte.

Es ist war also aufgrund zahlreicher Faktoren nur schwer möglich, die Wertigkeit der vorhandenen Beigaben objektiv zu bestimmen und aus diesen einen sozialen Rang abzuleiten (Ledderose 2006). Ebenso konnte anhand der Friedhofsstruktur nicht bei allen Grablegen eine eindeutige Einteilung getroffen werden. Eine valide Einteilung der sozialen Gruppen war aber eine unbedingte Voraussetzung für die Auswertung der anthropologischen Daten im Sinne der Fragestellung. Die zweite Hauptproblematik bestand demnach darin, dass Auswertung und Interpretation der anthropologischen Daten weitgehend auf den Vorannahmen der archäologischen Interpretationen aufbauten. Die genannten Unsicherheitsfaktoren beider Disziplinen müssen bei den Auswertungen unbedingt berücksichtigt werden. Sie müssen gemeinsam diskutiert werden und die Interpretation der Ergebnisse kann nur in enger Zusammenarbeit erfolgen. Es muss generell bedacht werden, dass durch eine Einteilung, welcher Art auch immer, eine „Selektion“ der Daten erfolgt. Demnach wäre es für künftige Studien möglicherweise sinnvoll, die erhobenen Daten zunächst unabhängig von den archäologischen Befunden zu betrachten, eine unvoreingenommene Klassifizierung vorzunehmen und diese dann mit den archäologischen Befunden zu vergleichen. So könnten die anthropologischen Befunde ohne vorherige Selektion ausgewertet und mögliche „zufällige“ Übereinstimmungen und Zusammenhänge erkannt werden. Im Anschluss kann dann umgekehrt das „vorselektierte Modell“ angewandt werden, um die archäologische Theorie mit den anthropologischen Daten zu vergleichen, im Sinne einer „doppelten Rückversicherung“. Voraussetzung ist aber in jedem Fall die Validität der Ergebnisse, die eine Interpretation der Daten erst zulässt. Der wechselseitige Austausch beider Fächer im Sinne der von Meier & Tillesen (2010) geforderten „interdisziplinären Hermeneutik“, die nicht nur auf der Ebene der Interpretation der Daten, sondern auch auf der Ebene der „Vorannahmen“ erfolgen sollte (Meier & Tillesen 2010), fand hier im Rahmen der jeweiligen Möglichkeiten erfolgreich statt.

Durch die Rekonstruktion der Lebensverhältnisse früherer Bevölkerungen wurde versucht, soziologische und umwelthistorische Fragen zu beantworten. In diesem Aufgabengebiet berühren sich Archäologie und Anthropologie. Zwar sind Quellenmaterial und Methoden beider Disziplinen sehr unterschiedlich, die Ergebnisse können und sollen sich jedoch ergänzen, um ein möglichst vollständiges Bild vom historischen Menschen in seinem spezifischen Umfeld, also von seiner „Alltagsgeschichte“ zu erhalten. Voraussetzung hierfür ist ein konsequenter anthropologisch-archäologischer Austausch, der über Möglichkeiten, aber auch Grenzen beider Seiten informiert und durch die Bereitschaft gekennzeichnet ist sich mit Problemstellungen im gemeinsamen Diskurs auseinanderzusetzen. Diese interdisziplinäre Untersuchung von Separatfriedhöfen sollte einen Beitrag zum Verständnis des Entstehungsprozesses gesellschaftlicher Strukturen im frühen Mittelalter leisten. Die Gesamtergebnisse zeigen, dass sowohl demographische Parameter als auch die Ernährungsweise als biologische Korrelate zu sozialer Stellung gelten können und daher soziale Abstufungen innerhalb einer Population mit biologischen Methoden durchaus feststellbar sind. Da jedoch die Ergebnisse nicht bei allen untersuchten Friedhöfen eindeutig waren, sind weitere Untersuchungen an Separatfriedhöfen oder ähnlich strukturierten Gräberfeldern notwendig. Wichtig ist dabei eine klare Einteilbarkeit der Populationen in „Gesellschaftsschichten“, um die biologischen Ergebnisse im Sinne der archäologischen Fragestellung valide auswerten zu können. Grundsätzlich gilt auch hier, dass eine Hypothese nicht verifizierbar ist, sondern es muss nur damit gerechnet werden, dass sie zutreffen könnte, so lange sie nicht widerlegt ist (Popper 1935). Daher müssen von allen

beteiligten Disziplinen Parameter festgelegt werden, unter denen eine Hypothese als „falsifiziert“ gilt. Aber selbst die Kombination aller Erkenntnisse aus Geschichtsforschung, Archäologie und Anthropologie kann nur eine Annäherung an die tatsächlichen Vorgänge, Verhältnisse und Lebensbedingungen zu damaligen Zeiten sein. Diese Arbeit kann aber als Grundlage für weitere Studien dienen, um mit Hilfe archäologischer und anthropologischer Methoden Entwicklungen und Lebensbedingungen in historischen Gesellschaften zu beleuchten, die anhand schriftlicher Quellen nicht eindeutig zu rekonstruieren sind.

7 Literatur

- Abel W. 1962. Geschichte der deutschen Landwirtschaft vom frühen Mittelalter bis zum 19. Jahrhundert. Deutsche Agrargeschichte II. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- Åberg G, Jacks G, Hamilton PJ. 1989. Weathering rates and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios: An isotopic approach. *Journal of Hydrology* 109 (1-2):65-78.
- Acsádi G, Nemeskéri I. 1970. History of human lifespan and mortality. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Adler P. 1967. Chronologie der Gebissentwicklung. In: E. H, H. W. Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde im Kindesalter. Berlin: Die Quintessenz: 38-74.
- Aiello LC. 1994. Variable but singular. *Nature* 368 (6470):399-400.
- Alter G. 2004. Height, frailty, and the standard of living: modelling the effects of diet and disease on declining mortality and increasing height. *Population Studies* 58 (3):265-279.
- Ambadekar NN, Wahab SN, Zodpey SN, Khandait DW. 1999. Effect of child labour on growth of children. *Public Health* 113 (6):303-306.
- Ambrose SH. 1987. Stable carbon and nitrogen isotope analysis of human and animal diet in Africa. *Journal of Human Evolution* 15:707-731.
- Ambrose SH. 1993. Isotopic Analysis of Paleodiets: Methodological and Interpretive Considerations. In: Stanford MK. Investigation of ancient human tissue, chemical analysis in Anthropology. Longhorn Pennsylvania, USA: Gordon and Breach Science Publishers. 59-130.
- Ambrose SH. 2000. Controlled Diet and Climate Experiments on Nitrogen Isotope Ratios of Rats. *Biogeochemical Approaches to Paleodietary Analysis*. Ambrose SH & Katzenberg. Kluwer Academic/Plenum Publisher New York.
- Ambrose SH, De Niro M. 1986. Reconstruction of African human diet using bone collagen carbon and nitrogen isotope ratios. *Nature* 319:321-323.
- 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. In: Lambert JB, Grupe G. Prehistoric human bone: archaeology at the molecular level. Berlin: Springer. 1-37.
- Ament H. 1970. Fränkische Adelsgräber von Flonheim in Rheinhessen. Berlin: Gebr. Mann.
- Arnold F. 1844. Handbuch der Anatomie des Menschen. Freiburg im Breisgau.
- Auerswald K, Wittmer M, Zazzo A, Schäufele R, Schnyder H. 2010. Biases in the analysis of stable isotope discrimination in food webs. *Journal of Applied Ecology* 47 (4): 936-941.
- Azaz B, Ulmansky M, Moshev R, Sela J. 1974. Correlation between age and thickness of cementum in impacted teeth. *Oral Surgery* 38 (5):691-694.
- Bach H. 1965. Zur Berechnung der Körperhöhe aus den langen Gliedmaßenknochen weiblicher Skelette. *Anthropologischer Anzeiger* 29: 12-21.
- Bähr J, Jentsch C, Kuls W. 1992. Bevölkerungsgeographie. Berlin, New York: de Gruyter.
- Beard BL, Johnson CM. 2000. Strontium isotope composition of skeletal material can determine the birth place and geographic mobility of humans and animals. *Journal of Forensic Sciences* 45:1049-1061.
- Beck H, Jankuhn H, Kuhn A, Ranke K, Wenskus R. 1973. Reallexikon der Germanischen Altertumskunde, Band 1. Berlin: de Gruyter.
- Becker MA, Seegmiller JE. 1974. Genetic Aspects of Gout. *Annual Review of Medicine* 25:15-28.
- Behre K-E. 1985. Die Ernährung im Mittelalter. In: Herrmann B. Mensch und Umwelt im Mittelalter. Köln: Komet. p 71-84.
- Belcastro MG. 2001. Skeletal markers of activity in the early middle ages necropolis of vicenne-campochiaro (Molise, Italy). *Journal of Paleopathology* 13:9-20.
- Benecke N. 1994. Der Mensch und seine Haustiere: Theiss.
- Bentley RA. 2006. Strontium Isotopes from the Earth to the Archaeological Skeleton: A Review. *Journal of Archaeological Method and Theory* 13 (3):135-187.
- Bentley RA, Knipper C. 2005. Geographical Patterns in Biologically Available Strontium, Carbon and Oxygen Isotope Signatures in Prehistoric SW Germany. *Archaeometry* 47 (3):629-644.
- Bentley RA, Price DT, Lüning J, Gronenborn D, Wahl J, Fullagar PD. 2002. Prehistoric Migration in Europe: Strontium Isotope Analysis of Early Neolithic Skeletons. *Current Anthropology* 43 (5):799-804.
- Bentley RA, Price DT, Stephan E. 2004. Determining the 'local' $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ range for archaeological skeletons: a case study from Neolithic Europe. *Journal of Archaeological Science* 31 (4):365-375.
- Berchtold R. 2008. Chirurgie. München: Elsevier, Urban & Fischer.
- Bergner C. 1995. Aktivitätsmuster im frühen Mittelalter. Diplomarbeit. München.
- Berryman HE, Jones Haun S. 1996. Applying forensic techniques to interpret cranial fracture patterns in an archaeological specimen. *International Journal of Osteoarchaeology* 6 (1):2-9.
- Bocherens H, Drucker D. 2003. Trophic level isotopic enrichment of carbon and nitrogen in bone collagen: case studies from recent and ancient terrestrial ecosystems. *International Journal of Osteoarchaeology* 13 (1-2):46-53.
- Bocherens H, Fizet M, Mariotti A, Lange-Badre B, Vandermeersch B, Borel P, 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 (6):481-492.
- Bocherens H, Grupe G, Mariotti A, Turban-Just S. 1997a. Isotopic biochemistry as a marker of Neandertal diet. *Anthropologischer Anzeiger* 55:101-120.

- Bocherens H, Grupe G, Mariotti A, Turban-Just S. 1997b. Molecular preservation and isotopy of Mesolithic human finds from the Ofnet cave (Bavaria, Germany). *Anthropologischer Anzeiger* 55:121-129.
- Bocquet JP, Masset C. 1977. Estimateurs en paléodémographie. *L'Homme* 17:65-90.
- Bocquet-Appel JP. 1985. Small Populations: Demography and Paleoanthropological Interferences. *Journal of Human Evolution* 14:683-691.
- Bocquet-Appel JP, Masset C. 1982. Farewell to Paleodemography. *Journal of Human Evolution* 11:321-333.
- Bocquet-Appel JP, Masset C. 1996. Paleodemography: Expectancy and False Hope. *American Journal of Physical Anthropology* 99:571-583.
- Boessneck J, Müller H-H, Teichert M. 1964. Osteologische Unterscheidungsmerkmale zwischen Schaf (*ovis aries* liné) und Ziegen (*capra hircus* liné). *Kühn Archiv Band 78, Hl. S.* 1-129.
- Bogaard A. 2007. The impact of manuring on nitrogen isotope ratios in cereals: archaeological implications for reconstruction of diet and crop management practices. *Journal of Archaeological Science* 34 (3):335-343.
- Böhlke JK, Horan M. 2000. Strontium isotope geochemistry of ground waters and streams affected by agriculture, Locust Grove MD. *Applied Geochemistry* 15:599-609.
- Böhme HW. 2000. Neue archäologische Aspekte zur Christianisierung Süddeutschlands während der jüngeren Merowingerzeit. In: Berschin W, Geuenich D, Steuer H. *Mission und Christianisierung am Hoch- und Oberrhein (6.-8. Jahrhundert)*. Stuttgart: Thorbecke.
- Boner M. 2005. Überprüfung zur Authentizität von Rindfleisch (Bio) mit Hilfe der stabilen Isotope der Bioelemente. Bonn: Dissertation.
- Bonsall C, Lennon R, McSweeney K, Stewart C, Harkness D, Boroneant V. 1997. Mesolithic and early Neolithic in the Iron Gates: a palaeodietary perspective. *European Journal of Archaeology* 5 (1):50-92.
- Borst A. 1979. Lebensformen im Mittelalter. Ullstein.
- Borst O. 1983. Alltagsleben im Mittelalter. Frankfurt am Main.
- Bösl C, Grupe G, Peters J. 2006. A Late Neolithic vertebrate food web based on stable isotope analyses. *International Journal of Osteoarchaeology* 16:296-315.
- Bosl K. 1970. Staat, Gesellschaft, Wirtschaft im deutschen Mittelalter; Gebhardt, Handbuch der deutschen Geschichte, Band 7. Stuttgart: dtv Wissenschaft.
- Bosshardt DD, Selvig KA. 1997. Dental cementum: the dynamic tissue covering of the root. *Periodontology* 2000 13:41-75.
- Bouvier M. 1981. Effect of Bone Strain on Cortical Bone Structure in Macaques (*Macaca mulatta*). *Journal of Morphology* 167:1-12.
- Bouvier M. 1985. Application of in vivo bone strain measurement techniques to problems of skeletal adaption. *Yearbook of Physical Anthropology* 28:238-248.
- Bowen GJ, Wilkinson B. 2002. Spatial distribution of $d^{18}O$ in meteoric precipitation. *Geology* 30 (4):315-318.
- Bozzoli C, Deaton AS, Quintana-Domeque C. 2007. Child Mortality, Income and Adult Height. NBER Working paper series March 5 - March 12 (12966).
- Bradley RS, Hughes MK, Diaz HF. 2003. Climate in Medieval Time. *Science* 302:404-405.
- Brather S. 2009. Memoria und Repräsentation Frühmittelalterliche Bestattungen zwischen Erinnerung und Erwartung. *Historia archaeologica* 70:247-284.
- Breitinger E. 1937. Zur Berechnung der Körperhöhe aus den langen Gliedmaßenknochen. *Anthropologischer Anzeiger* 14:249-274.
- Bridges PS. 1992. Prehistoric Arthritis in the Americas. *Annual Review of Anthropology* 21:67-91.
- Bridges PS. 1994. Vertebral Arthritis and Physical Activities in the Prehistoric Southeastern United States. *American Journal of Physical Anthropology* 93 (1):83-93.
- Bridges PS. 1995. Skeletal Biology and Behaviour in ancient Humans. *Evolutionary Anthropology* 4 (4):112-120.
- Bromage TG. 2003. Circularly polarized light standards for investigations of collagen fiber orientation in bone. The anatomical record (Part B: New Anatomy) 274B:157-168.
- Brunner K. 1988. Wovon lebte der Mensch? In: Dannheimer H, Dopsch, H. *Die Bajuwaren. Rosenheim, Mattsee: Katalog zur gemeinsamen Landesausstellung des Freistaates Bayern und des Landes Salzburg.* p S. 192-197.
- Bruzek J. 2002. A method for visual determination of sex, using the human hip bone. *American Journal of Physical Anthropology* 117:157-168.
- Buckberry JL, Chamberlain AT. 2002. Age estimation from the auricular surface of the ilium: A revised method. *American Journal of Physical Anthropology* 119 (3):231-239.
- Bull S. 1991. *An Historical Guide to Arms & Armor*. London: Checkmark Books.
- Burckhardt JL. 1935. Über Pleuraverkalkung (Panzerpleura) im Kindesalter. *Lung* 87 (2):90-95.
- Burr DB, Robling AG, Turner CH. 2002. Effects of biomechanical stress on bones in animals. *Bone* 30 (5):781-786.
- Burton JH, Price DT. 1999. Correlation of bone Ba/Ca and Sr/Ca due to biological purification of calcium. *Journal of Archaeological Science* 26 (6):609-616.
- Burzler A. 1992. Das Dorf und seine Bewohner. Bauern in Bayern: Von der Römerzeit bis zur Gegenwart. Regensburg: Hrsg. von Michael Henker. S. 42ff.
- Burzler A. 2000. Archäologische Beiträge zum Nobilifizierungsprozess in der jüngeren Merowingerzeit. *Kallmünz/Opf.: Lasseleben.* S. 247ff.
- Campbell NA. 1997. *Biologie*. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum.
- Carson SA. 2009. Geography, insolation, and vitamin D in nineteenth century US African-American and white statures. *Explorations in Economic History* 46 (1):149-159.
- Casey M, Post D. 2011. The problem of isotopic baseline: Reconstructing the diet and trophic position of fossil animals. *Earth-Science Reviews* 106 (1-2): 131-148.

- Caut St, Angulo E, Courchamp F. 2008a. Discrimination factors ($\Delta^{15}\text{N}$ and $\Delta^{13}\text{C}$) in an omnivorous consumer: effect of diet isotopic ratio. *Functional Ecology* 22 (2): 255-263.
- Caut St, Angulo E, Courchamp F. 2008b. Caution on isotopic model use for analyses of consumer diet. *Canadian Journal of Zoology* 86 (5): 438-445.
- Caut St, Angulo E, Courchamp F. 2009. Variation in discrimination factors ($\Delta^{15}\text{N}$ and $\Delta^{13}\text{C}$): the effect of diet isotopic values and applications for diet reconstruction. *Journal of Applied Ecology* 46 (2): 443-453.
- Caut St, Angulo E, Courchamp F, Fuguerola J. 2010. Trophic experiments to estimate isotope discrimination factors. *Journal of Applied Ecology* 47 (4): 948-954.
- Cavill S, Bryden P. 2003. Development of handedness: Comparison of questionnaire and performance-based measures of preference. *Brain and Cognition* 53:149-151.
- Chapman FH. 1972. Vertebral osteophytosis in prehistoric populations of central and southern Mexico. *American Journal of Physical Anthropology* 36 (1):31-37.
- Charles DK, Condon K, Cheverud JM. 1986. Cementum annulation and age determination in homo sapiens I. Tooth variability and observer error. *American Journal of Physical Anthropology* 71:311-320.
- Choi HK, Atkinson K, Karlson EW, Willett W, Curhan G. 2004. Purine-Rich Foods, Dairy and Protein Intake, and the Risk of Gout in Men. *New England Journal of Medicine* 350 (11).
- Christensen TL, Djurhuus CB, Clayton P, Christiansen JS. 2007. An evaluation of the relationship between adult height and health-related quality of life in the general UK population. *Clinical Endocrinology* 67:407-412.
- Christlein R. 1973. Besitzabstufungen zur Merowingerzeit im Spiegel reicher Grabfunde aus West- und Süddeutschland. *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz* 20:147-180.
- Cipriano A. 2002. Cold stress in captive great apes recorded in incremental lines of dental cementum. *Folia Primatologica* 73 (1):21-31.
- Cipriano-Bechtel A. 1994. Altern und Lebenserwartung in prähistorischen Bevölkerungen. München: Diplomarbeit.
- Cipriano-Bechtel A, Grupe G, Schröter P. 1996. Ageing and life expectancy in the early Middle Ages. *Homo* 46/3:267-279.
- Clayton F, Sealy J, Pfeiffer S. 2006. Weaning age among foragers at Matjes river rock shelter, South Africa, from stable nitrogen and carbon isotope analyses. *American Journal of Physical Anthropology* 129 (2):311-317.
- Codreanu-Windauer S. 1993. Ein neu entdecktes Reihengräberfeld in Pfarkofen. *Archäologisches Jahr in Bayern*:121-124.
- Codron D, Codron J, Sponheimer M, Bernasconi St, Clauss M. 2011. When animals are not quite what they eat: diet digestibility influences ^{13}C -incorporation rates and apparent discrimination in a mixed-feeding herbivore. *Canadian Journal of Zoology* 89 (6): 453-465.
- Condon K, Charles DK, Cheverud JM. 1986. Cementum annulation and age determination in homo sapiens. II Estimates and accuracy. *American Journal of Physical Anthropology* 71:321-330.
- Cook GT, Bonsall C, Hedges REM, McSweeney K, Boronean V, Pettitt PB. 2001. A freshwater diet-derived ^{14}C reservoir effect at the Stone Age sites in the Iron Gates Gorge. *Radiocarbon* 43 (453-4601).
- Cool SM, Forwood MR, Campbell P, Bennett MB. 2002. Comparisons between bone and cementum compositions and the possible basis for their layered appearances. *Bone* 30 (2):386-392.
- Coren S, Porac C. 1977. Fifty centuries of right-handedness: the historical record. *Science* 198:631-632.
- Corr LT. 2009. Probing dietary change of the Kwäday Dän Ts'inci individual, an ancient glacier body from British Columbia: II. Deconvoluting whole skin and bone collagen $\delta^{13}\text{C}$ values via carbon isotope analysis of individual amino acids. *Journal of Archaeological Science* 36 (1):12-18.
- Corr LT, Sealy J, Horton M, Evershed R. 2005. A novel marine dietary indicator utilising compound-specific bone collagen amino acid $\delta^{13}\text{C}$ values of ancient humans. *Journal of Archaeological Science* 32 (3):321-330.
- Crane E. 2000. The world history of beekeeping and honey hunting. London: Duckworth.
- Cranfield J, Inwood K. 2007. The great transformation: a long-run perspective on physical well-being in Canada. *Economics and Human Biology* 5 5 (2):204-228.
- Czarnetzki A. 1987. Vorläufiger anthropologischer Bericht über die Skelettreste aus dem merowingerzeitlichen Gräberfeld von Heidenheim-Großkuchen "Gessenacker". Grabfunde der Merowingerzeit aus Heidenheim-Großkuchen: Heege. p 193-208.
- Czarnetzki A. 1995. Das Kleinkinderdefizit in der Merowingerzeit in Südwestdeutschland im Spiegel medizinhistorischer Ergebnisse. *Bulletin Société Suisse d'Anthropologie* 1:89-103.
- Czarnetzki A, Uhlig C, Wolf R. 1989. Menschen des frühen Mittelalters im Spiegel der Anthropologie und Medizin. Stuttgart: Württembergisches Landesmuseum.
- Czermak A. 2002. Anthropologische Analyse der Skelettfunde aus der Separatgrablege Etting, Landkreis Ingolstadt. Diplomarbeit, München.
- Czermak A, Czermak AM, Ernst H, Grupe G. 2006a. A New Method for the Automated Age-at-Death Evaluation by Tooth-Cementum Annulation (TCA). *Anthropologischer Anzeiger* 64 (1):1-16.
- Czermak A, Gairhos A, Fehr H. 2009. Goldohring und Bajuwarenschwert - Anthropologische Analyse des frühmittelalterlichen Separatfriedhofs Bruckmühl. *Metalla, Archäometrie und Denkmalpflege Sonderheft* 2:56-58.
- Czermak A, Ledderose A. 2004. Getrennt und Gemeinsam - Zur gesellschaftlichen Gliederung eines frühmittelalterlichen Separatfriedhofs. *Documenta Archaeobiologiae* 2:71-95.
- Czermak A, Ledderose A, Meier T, Strott N, Grupe G. 2006b. Social Structures and Social Relations - An Archaeological and Anthropological Examination of three Early Medieval Separate burial sites in Bavaria. *Anthropologischer Anzeiger* 64 (3):297-310.

- Czermak AM. 2004. Bildanalytische Auswertung von Zahnzementzuwachsringen: Fachhochschule Rosenheim, Fachbereich Informatik. Diplomarbeit.
- Dallmeyer RD, Franke W, Weber K. 1995. Pre-Permian Geology of Central and Eastern Europe. New York: Springer.
- Darmon N, Drewnowski A. 2008. Does social class predict diet quality? *American Journal of Clinical Nutrition* 87 (5):1107-1117.
- Dasch EJ. 1969. Strontium isotopes in weathering profiles, deep-sea sediments and sedimentary rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 33 (12):1521-1522.
- Dasler C. 2008. Grundelemente der mittelalterlichen Jagd in einer quellenkritischen Perspektive Naturräumliche Voraussetzungen, herrschaftliche Bezüge, Funktionen. *Das Mittelalter* 13 (2):107-121.
- Dastmalchi R, Polson A, Bouwsma O, Proskin H. 1990. Cementum thickness and mesial drift. *Journal of Clinical Periodontology* 17 (10):709-713.
- De Boor H. 2003. Das Nibelungenlied. Köln.
- De Niro M, Epstein S. 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42 (5):495-506.
- De Niro MJ. 1985. Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to paleodietary reconstruction. *Nature* 317 (6040):806-809.
- De Niro MJ, Epstein S. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 45:341-351.
- Degenhardt A. 1980. Über die primäre Sexualproportion beim Menschen. *Homo* 31:112-116.
- Dekker J, Boot B, van der Woude LHV, Bijlsma JWJ. 1992. Pain and disability in osteoarthritis: A review of biobehavioral mechanisms. *Journal of Behavioral Medicine* 15 (2):189-214.
- Dettwyler KA. 1995. A Time to Wean: The Hominid Blueprint for the Natural Age of Weaning in Modern Human Populations. In: Stuart-Macadam P, Dettwyler KA. *Breastfeeding: biocultural perspectives*. New York: De Gruyter.
- Diepolder G. 1988. Grundzüge der Siedlungsstruktur. In: Dannheimer H, Dopsch, H.. *Die Bajuwaren*. Rosenheim, Mattsee: Die Bajuwaren, Katalog zur gemeinsamen Landesausstellung des Freistaates Bayern und des Landes Salzburg. S. 168-178.
- Ditch LE, Rose JC. 1972. A multivariate dental sexing technique. *American Journal of Physical Anthropology* 37:61-66.
- Dittmann K, Grupe G. 2000. Biochemical and palaeopathological investigations on weaning and infant mortality in the early Middle Ages. *Anthropologischer Anzeiger* 58 (4):345-355.
- Djuric MP, Roberts CA, Rakoc ZB, Djonic DD, Lesic AR. 2006. Fractures in Late Medieval Skeletal Populations from Serbia. *American Journal of Physical Anthropology* 130 (2):167-178.
- Dobberstein RC, Collins MJ, Craig OE, Taylor G, Penkman KEH, Ritz-Timme S. 2009. Archaeological collagen: Why worry about collagen diagenesis? *Archaeological and Anthropological Sciences* 1 (1):31-42.
- Donat P, Ullrich H. 1971. Einwohnerzahlen und Siedlungsgröße der Merowingerzeit. *Zeitschrift für Archäologie* 5:234-265.
- Doppler S. 2008. Alters-, Aktivitäts- und Krankheitsmerkmale in der menschlichen Knochenmikrostruktur: Eine vergleichende Studie einer individualaltersbekannten historischen Population mit rezenten Menschen. München: Dissertation.
- Doppler S, Vohberger M, von Carnap-Bornheim C, Heinrich D, Peters J, Grupe G. 2010. Biodiversity of Archaeological Fauna in the Estuarine Palaeoecosystem of the Schleiford, Northern Germany: Isotopic Evidence. *Documenta Archaeobiologiae* 8:21-70.
- Douglas CK, Condon, K. 1986. Cementum Annulation and age Determination in *Homo sapiens*. I. Tooth variability and observer error. *Am J Phys Anthropol* 71:311-320.
- Drenhaus U. 1988. Methoden der Paläodemographie. In: Knußmann R. *Anthropologie Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen*, Band I: Allgemeine Anthropologie, Teil 2. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. p 602-615.
- du Treu MD, van Dellen JR. 1992. Penetrating Stab Wounds to the Brain: The Timing of Angiography in Patients Presenting with the Weapon Already Removed. *Neurosurgery* 31 (5):905-912.
- Dürnwächter C, Craig OE, Collins MJ, Burger J, Alt KW. 2006. Beyond the grave: variability in Neolithic diets in Southern Germany? *Journal of Archaeological Science* 33 (1):39-48.
- Ebermann R, Elmadfa I. 2008. *Lehrbuch Lebensmittelchemie und Ernährung*. Wien: Springer.
- Ebringer A. 1983. The cross-tolerance hypothesis, HLA-B27 and ankylosing spondylitis. *Rheumatology, former British Journal of Rheumatology* 22 (2):53-66.
- Ebringer A, Rashid T, Wilson C, Ptaszynska T, Fielder M. 2006. Ankylosing Spondylitis, HLA-B27 and Klebsiella - An Overview: Proposal for Early Diagnosis and Treatment. *Current Rheumatology Reviews* 2 (1):55-68.
- Edmonds J, Geczy AF, Sullivan JS, Prendergast JK, Upfold LI, Bashir HV. 1983. Enteric bacteria and HLA-B27 associated cell surface modification in patients with seronegative spondylarthritis. *Rheumatology, former British Journal of Rheumatology* 22 (2):75-82.
- Eerkens J, Berget A, Bartelink E. 2011. Estimating weaning and early childhood diet from serial micro-samples of dentin collagen. *Journal of Archaeological Science* 38 (11): 3101-3111.
- Ehrlinger JR, Rundel PW, Nagy KA. 1986. Stable isotopes in physiological ecology and food web research. *Trends in Ecology & Evolution* 1 (2):42-45.
- Eibl F, Meier T. 2006. Zur Frühgeschichte Kelheims: Aspekte der ersten Großgrabung in Bayern (Kanal I). *Vorträge des Niederbayerischen Archäologentages*:201-240.
- Ennen E. 1984. *Frauen im Mittelalter*. München: Verlag C.H. Beck.

- Ernst H. 2000. Grundlagen und Konzepte der Informatik. Eine Einführung in die Informatik ausgehend von fundamentalen Grundlagen. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg Verlag.
- Ernst H. 2001. Script zur Vorlesung "Digitale Bildverarbeitung": Fachhochschule Rosenheim.
- Ernst H. 2003. Script zur Vorlesung "Numerische Mathematik": Fachhochschule Rosenheim.
- Esenwein-Rothe I. 1982. Einführung in die Demographie. Bevölkerungsstruktur und Bevölkerungsprozess aus Sicht der Statistik. Wiesbaden.
- Esmyl A. 2002. Ehefrau oder Geliebte? Köln: Böhlau Verlag.
- Evans RD, Ehleringer JR. 1994. Water and nitrogen dynamics in an arid woodland. *Oecologia* 99 (3-4):233-242.
- Fagan B. 2007. Fish on Friday. Feasting, Fasting and the Discovery of the New World: Basic Books.
- Faure G, Powel T. 1972. Strontium Isotope Geology. New York: Springer-Verlag.
- Feachem RG, Koblinsky MA. 1984. Interventions for the control of diarrhoeal diseases among young children: promotion of breast-feeding. *Bulletin of the World Health Organisation* 62 (2):271-291.
- Fischer T. 1988. Die Bajuwaren. Römer und Bajuwaren an der Donau. Regensburg: Verlag Friedrich Pustet.
- Fizet M, Mariotti A, Bocherens H. 1995. Effect of diet, physiologie and climate on carbon and nitrogen stable isotopes of collagen in a late pleistocene anthropic Paleoecosystem: Marillac, Charente, France. *Journal of Archaeological Science* 22:67-79.
- Focken U. 2001. Stable Isotopes in Animal Ecology: The Effect of Ration Size on the Trophic Shift of C and N Isotopes Between Feed and Carcass. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 37 (3):199-211.
- Fogel M, Tuross N. 1999. Transformation of plant biochemicals to geological macromolecules during early diagenesis. *Oecologia* 120 (3):336-346.
- Fogel M, Tuross N, Johnson BJ, Miller GH. 1997. Biogeochemical record of ancient humans. *Organic Geochemistry* 27 (5/6):275-287.
- Forschner S. 2001. Geschlechtsbestimmung an der juvenilen Pars petrosa ossis temporalis im Kontext forensischer Identifikations-Untersuchungen. Tübingen: Eberhard-Karls-Universität.
- France R. 1996. Carbon isotope ratios in logged and unlogged boreal forests: examination of the potential for determining wildlife habitat use. *Environmental Management* 20 (2):249-255.
- Francey RJ, Allison, CE. 1998. In situ $d^{13}CO_2$ from Cape Grim, Tasmania, Australia 1982-1993. <http://cdiacesdornilgov/trends/co2/capegrimhtml>. CSIRO, Division of Atmospheric Research: Internet.
- Franke W. 1997. Nutzpflanzenkunde, Thieme Stuttgart.
- Frost HM. 1985. The "New Bone": Some Anthropological Potentials. *Yearbook of Physical Anthropology* 28:211-226.
- Fry B. 2008. Stable Isotope Ecology. Springer Verlag. New York.
- Fuller BT, Fuller JL, Harris DA, Hedges REM. 2006a. Detection of breastfeeding and weaning in modern human infants with carbon and nitrogen stable isotope ratios. *American Journal of Physical Anthropology* 129 (2):279-293.
- Fuller BT, Fuller JL, Sage NE, Harris DA, O'Connell TC, Hedges REM. 2004. Nitrogen balance and $\delta^{15}N$: why you're not what you eat during pregnancy. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 19 (18):2889-2896.
- Fuller BT, Molleson T, Harris DA, Gilmour LT, Hedges REM. 2006b. Isotopic Evidence for Breastfeeding and Possible Adult Dietary Differences from Late/Sub-Roman Britain. *American Journal of Physical Anthropology* 129 (1):45-54.
- 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 (12):1673-1684.
- Gage TB, Zansky SM. 1995. Anthropometric indicators of nutritional status and level of mortality. *American Journal of Human Biology* 7 (6):679-691.
- Gallet SB, Jahn M, Lanoe BV, Dia A, Rossello E. 1998. Loess geochemistry and its implications for particle origin and composition of the upper continental crust. *Earth and Planetary Science Letters* 156 (3-4):157-172.
- Garzinea CN, Quadeb J, DeCelles PG, English NB. 2000. Predicting paleoelevation of Tibet and the Himalaya from $d^{18}O$ vs. altitude gradients in meteoric water across the Nepal Himalaya. *Earth and Planetary Science Letters* Volume 183 (1-2):215-229.
- Gaugler P. 2006. Mobilität und Mortalität im Frühmittelalter. Anthropologische Analyse zweier merowingerzeitlicher Separatgrablagen. München: Diplomarbeit.
- Geisler H. 1988. Haus und Siedlung. In: Dannheimer H, Dopsch, H.. Die Bajuwaren. Rosenheim, Mattsee: Katalog zur gemeinsamen Landesausstellung des Freistaates Bayern und des Landes Salzburg. S. 179-184.
- Geppert EG, Müller K-H. 1951a. Die Wurzelzementapposition als messbarer Ausdruck der Kaudruckbelastung des Zahnes (Apposition of root cement as measurable sign of masticatory strain on the tooth). *Deutsche Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde mit Zentralblatt Gesamtausgabe* 15 (3-4):97-119.
- Geppert EG, Müller K-H. 1951b. Die Wurzelzementapposition als messbarer Ausdruck der Kaudruckbelastung des Zahnes (Apposition of the radicular cementum as a measurable manifestation of masticatory stress). *Deutsche Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde mit Zentralblatt Gesamtausgabe* 15 (1-2):30-48.
- Gerber C, Hersche O, Berberat C. 1998. The clinical relevance of posttraumatic avascular necrosis of the humeral head. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 7 (6):586-590.
- Gilbert AS. 1989. Microscopic bone structure in wild and domestic animals: a reappraisal. In: Crabtree D, Campana D, Ryan K. Early Animal Domestication and its Cultural Context. Philadelphia: PA: MASCA Research Papers in Science and Archaeology. S. 46-86.
- Gillich AC. 2008. "Der lange Weg zum Kirchhof" - Zur Christianisierung in Südwestdeutschland. In: Ernst A, Kuhn TK, Wennemuth U. Jahrbuch für badische Kirchen- und Religionsgeschichte 2. Stuttgart: Kohlhammer. S. 11-18.

- Gracovetsky S, Farfan H. 1986. The optimum spine. *Spine* 11 (6):543.
- Graw M, Dietzel M, Grupe G. 2009. Geschlechtsdiagnose am kindlichen Felsenbein. In: Peschel O, Mützel E, Penning R. *Das Kind in der forensischen Medizin Festschrift für Wolfgang Eisenmenger*. Landsberg/Lech: ecomed Medizin. S. 257-262.
- Graw M, Schulz M, Wahl J. 2003. A Simple Morphological Method for Gender Determination at the Petrosus Portion of the Os Temporalis. *Forensic Science International* 136:165-166.
- Graw M, Wahl J, Ahlbrecht M. 2005. Course of the meatus acusticus internus as criterion for sex differentiation. *Forensic Science International* 147:113-117.
- Gröbner W, Walter-Sack I. 2002. Hyperurikämie und Gicht - Diagnostik. *Deutsche Medizinische Wochenschrift* 127:207-209.
- Großkopf B. 1988. Möglichkeiten der Altersbestimmung an bodengelagerten menschlichen Zähnen durch bestimmung der Zuwachsringe im Zement. Göttingen: Diplomarbeit.
- Großkopf B. 1990. Individualaltersbestimmung mit Hilfe von Zuwachsringen am Zement bodengelagerter menschlicher Zähne. *Zeitschrift für Rechtsmedizin* 103:351-359.
- Grue H, Jensen B. 1979. Review of the formation of incremental lines in tooth cementum of terrestrial mammals. *Dan Rev Game Biol* 11:1-48.
- Grupe G. 1986. Umwelt und Bevölkerungsentwicklung im Mittelalter. In: Herrmann B. *Mensch und Umwelt im Mittelalter*. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.
- Grupe G. 1990. Die "Ressource Frau" - Aussagemöglichkeiten der Biowissenschaften. In: Affeldt W. *Frauen in Spätantike und Frühmittelalter*. Sigmaringen: Thorbecke. S. 105-114.
- Grupe G, Christiansen K, Schröder I, Wittwer-Backofen U. 2005. *Anthropologie*. Ein einführendes Lehrbuch. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Grupe G, Lippitsch A. 2007. Variability of the apposition of the acellular, extrinsic fibre cementum and its influence on the tooth cementum annulation technique. *Documenta Archaeobiologiae* 5:87-112.
- Grupe G, Piepenbrink, H. 1989. Impact of microbial activity on trace element concentrations in excavated bones. *Applied Geochemistry* 4:293-298.
- Grupe G, Price DT, Schröder P, Söllner F, Johnson CM, Bearde BL. 1997. Mobility of Bell Beaker people revealed by strontium isotope ratios of tooth and bone: a study of southern Bavarian skeletal remains. *Applied Geochemistry* 12 (4):517-525.
- Grupe G, Price DT, Schröder P, Söllner F, Johnson CM, Bearde BL. 1999. Mobility of Bell Beaker people revealed by strontium isotope ratios of tooth and bone: a study of southern Bavarian skeletal remains. A reply to the comment by Peter Horn and Dieter Müller-Sohnius. *Applied Geochemistry* 14 (2):271-275.
- Grupe G, Turban-Just S. 1998. Amino acid composition of degraded matrix collagen from archaeological human bone. *Anthropologischer Anzeiger* 56 (3):213-226.
- Hacking P, Allen T, Rodgers J. 1994. Rheumatoid Arthritis in a Medieval Skeleton. *International Journal of Osteoarchaeology* 4:251-255.
- Haines MR, Kitner HJ. 2008. Can breast feeding help you in later life? Evidence from German military heights in the early 20th century. *Economics and Human Biology* 6 (3):420-430.
- Hakenbeck S, McManus E, Geisler H, Grupe G, O'Connell T. 2010. Diet and mobility in Early Medieval Bavaria: A study of carbon and nitrogen stable isotopes. *American Journal of Physical Anthropology* 143 (2):235-249.
- Halberg F, Lagoguey M, Reinberg A. 1983. Human circannual rhythms over a broad spectrum of physiological processes. *International Journal of Chronobiology* 8 (4):225-268.
- Hallmon WW, Carranza FA, Drisko CL, Rapley JW, Robinson P. 1996. *Periodontal Diseases*. Periodontal Literature Reviews. Chicago: American Academy of Periodontology. S. 12-35.
- Hanesch W, Krause P, Bäcker B. 2000. *Armut und Ungleichheit in Deutschland*: Rowohlt.
- 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 (1):43-57.
- Harcourt RA. 1974. The dog in prehistoric and early historic Britain. *Journal of Archaeological Science* 1:151-175.
- Harms J. 2007. *Aufbau der Wirbelsäule*. In: www.harms-spinesurgery.com.
- Harris SS, Dawson-Hughes B. 1998. Seasonal changes in plasma 25-hydroxyvitamin D concentrations of young American black and white women. *American Journal of Clinical Nutrition* 67:1232-1236.
- Hartmann W. 1988. *Das Recht*. Die Bajuwaren Katalog zur gemeinsamen Landesausstellung des Freistaates Bayern und des Landes Salzburg. Rosenheim, Mattsee: Dannheimer H, Dopsch H. S. 266-286.
- Hartmann W, Dopsch H. 1988. Bistümer, Synoden und Matropolitanverfassungen. Katalog zur gemeinsamen Landesausstellung des Freistaates Bayern und des Landes Salzburg. Die Bajuwaren H Dannheimer, Dopsch, H rg. Rosenheim, Mattsee. S. 318-328.
- Hartung W. 1983. *Süddeutschland in der frühen Merowingerzeit; Studien zur Gesellschaft, Herrschaft, Stammesbildung bei Alamannen und Bajuwaren*. Wiesbaden: Franz Steiner Verlag GmbH.
- Hatté C, Fontugne M, Rousseau D-D, Antoine P, Zöller L, Tisnérat Laborde N, Bentalab I. 1998. $\delta^{13}\text{C}$ variations of loess organic matter as a record of the vegetation response to climatic changes during the Weichselian. *Geology* 26 (7):583-586.
- Hawkey DE, Merbs CF. 1995. Activity-induced musculoskeletal stress markers (MSM) and subsistence strategy changes among ancient Hudson Bay Eskimos. *International Journal of Osteoarchaeology* 5 (4):324-338.
- Heaney RP, Davies KM, Chen TC, Holick MF, Barger-Lux MJ. 2003. Human serum 25-hydroxycholecalciferol response to extended oral dosing with cholecalciferol. *American Journal of Clinical Nutrition* 77:204-210.
- Heaton THE. 1987. The $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratios of plants in South Africa and Namibia: relationship to climate and coastal/saline environments. *Oecologia* 74 (2):236-246.

- Heaton T, Jones G, Halstead P, Tsipropoulos T. 2009. Variations in the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of modern wheat grain and implications for interpreting data from Bronze Age Assiros Toumba, Greece. *Journal of Archaeological Science* 36 (10): 2224-2233.
- Heckmann JJ. 2006. Skill formation and the economics of investing in disadvantaged children. *Science* 312 (30):1900-1902.
- Hedges REM, Reynard LM. 2007. Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology. *Journal of Archaeological Science* 34 (8):1240-1251.
- Hedges REM, Stevens RE, Richards MP. 2004. Bone as a Stable Isotope Archive for local climatic information. *Quaternary Science Reviews* 23 (7-8):959-965.
- Helmert U. 1994. Sozialschichtspezifische Unterschiede in der selbst wahrgenommenen Morbidität und bei ausgewählten gesundheitsbezogenen Indikatoren in West-Deutschland. In: Mielck A. Krankheit und soziale Ungleichheit Sozialepidemiologische Forschungen in Deutschland. Opladen: Leske und Budrich. p 187-207.
- Henisch BA. 1976. *Fast and Feast. Food in Medieval Society*: The Pennsylvania State University Press.
- Herbert A. 1986. Pathogenesis of pleurisy, pleural fibrosis, and mesothelial proliferation. *Thorax* 41:176-189.
- Herring A, Saunders S, Katzenberg A. 1998. Investigating the weaning process in past populations. *American Journal of Physical Anthropology* 105:425-439.
- Herrmann B, Grupe G. 1986. Empirische Grundlagen zur Rekonstruktion von Lebensbedingungen der Frauen im Mittelalter. In: Affeld W, Kuhn A. Frauen in der Geschichte VII Interdisziplinäre Studien zur Geschichte der Frauen im Frühmittelalter Methoden-Probleme-Ergebnisse. Düsseldorf. S. 45-52.
- Herrmann B, Grupe G, Hummel S, Piepenbrink H, Schutkowski H. 1990. *Prähistorische Anthropologie. Leitfaden der Feld- und Labormethoden*. Berlin: Springer-Verlag.
- Herrscher E, Bocherens H. 2000. Dietary behaviour in past population and its evolution over the life span. Methodological aspects of isotopic biogeochemistry (^{13}C , ^{15}N). *European Journal of Clinical Nutrition* 54 (Suppl 4):S10, P-12.
- Herrscher E, Bocherens H, Valentin F, Colardelle R. 2001. Change in dietary behaviour over the life span and its impact on a French late Medieval population health (Saint-Laurent de Grenoble, France). *American Journal of Physical Anthropology* 114 (S32):79-80.
- Hiermeyer M. 2008. The trade-off between a high and an equal biological standard of living - Evidence from Germany. *Economics and Human Biology* 6:431-445.
- Hiller H. 2003. *Jäger und Jagd: Zur Entwicklung des Jagdwesens in Deutschland zwischen 1848 und 1914*. Münster: Waxmann.
- Hillson S. 1988. The scanning electron microscope and the study of ancient teeth. In: Olsen SL. *Scanning Microscopy in Archaeology*. Oxford: BAR International Series. S. 249-260.
- Hillson S. 1996. *Dental Anthropology*: Cambridge University Press.
- Hirschhorn JN, Lindgren CM, Daly MJ, Kirby A, Schaffner SF, Lander ES. 2001. Genomewide linkage analysis of stature in multiple populations reveals several regions with evidence of linkage to adult height. *American Journal of Human Genetics* 69 (1):106-116.
- Hofmann MI, Böni T, Alt KW, Woitek U, Rühli FJ. 2008. Paleopathologies of the vertebral column in medieval skeletons. *Anthropologischer Anzeiger* 66 (1):1-17.
- Hohenberg P, Lees L. 1985. *The making of urban Europe, 1000-1950*: Harvard University Press.
- Holick MF. 1995. Environmental factors that influence the cutaneous production of vitamin D. *American Journal of Clinical Nutrition* 61:638-645.
- Hollis BW. 2005. Circulating 25-Hydroxyvitamin D Levels Indicative of Vitamin D Sufficiency: Implications for Establishing a New Effective Dietary Intake Recommendation for Vitamin D. *Journal of Nutrition* 135 (2):317-322.
- Hoops J. 2003. *Reallexikon der germanischen Altertumskunde*: De Gruyter.
- Horn F, Lindenmeier G, Moc I, Grillhösl C, Berghold S. 2002. *Biochemie des Menschen*. Stuttgart: Thieme.
- Horn P, Müller-Sohnius D. 1999. Comment on Grupe et al. (1997). *Applied Geochemistry* 14 (2):263-269.
- Houghton P. 1974. The Relationship of the Pre-auricular Groove of the Ilium to Pregnancy. *American Journal of Physical Anthropology* 42:381-390.
- Howland MR, Corr LT, Young SMM, Jones V, Jim S, Van Der Merwe NJ, Mitchell AD, Evershed RP. 2003. Expression of the dietary isotope signal in the compound-specific $\delta^{13}\text{C}$ values of pig bone lipids and amino acids. *International Journal of Osteoarchaeology* 13 (1-2):54-65.
- <http://www.fwiegbleb.de/geodat.htm>. 2008. Datenbank Geografische Längen- und Breitengrade deutscher Städte und Gemeinden.
- Huiskes R, Ruimerman R, van Leuthe G, Janssen J. 2000. Effects of mechanical forces maintenance and adaption of form in trabecular bone. *Nature* 405 (6787):704-706.
- Hunger H, Leopold D. 1995. *Identifikation*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Jaeger U, Bruchhaus H, Finke L. 1998. Secular trends of body height since the Neolithic. *Anthropologischer Anzeiger* 56 (2):117-130.
- Jahn J. 1991. *Ducatus Baiuvariorum. Das bairische Herzogtum der Agilolfinger (Monographien zur Geschichte des Mittelalters 35)*. Stuttgart.
- Jankauskas R, Barakauskas S, Bojarun R. 2001. Incremental lines of dental cementum in biological age estimation. *Homo* 52 (1):59-71.
- Jankuhn H. 1976. *Archäologie und Geschichte, Beiträge zur siedlungsarchäologischen Forschung; Band 1: De Gruyter*.

- Jay M, Fuller BT, Richards MP, Knüsel CJ, King SS. 2008. Iron Age breastfeeding practices in Britain: Isotopic evidence from Wetwang Slack, East Yorkshire. *American Journal of Physical Anthropology* 136 (3):327-337.
- Jenkins SG, Patridge ST, Stephenson TR, Farley SD, Robbins CT. 2001. Nitrogen and carbon isotope fractionation between mothers, neonates, and nursing offspring. *Oecologia* 129 (3):336-341.
- Jennet WB, Miller JD, Braakman R. 1974. Epilepsy after nonmissile depressed skull fracture. *Journal of Neurosurgery* 41 (2).
- Jerz H. 1995. Quartärgeschichte. In: K.-H. R, A. T. Archäologie um Ingolstadt Die archäologischen Untersuchungen beim Bau der B16 und der Bahnverlegung. Kipfenberg: Hercynia. p 29-34.
- Jones HH, Priest JD, Hayes WC, Tichenor C, Nagel DA. 1977. Humeral hypertrophy in response to exercise. *Journal of Bone and Joint Surgery* 59 (A):204-208.
- Jørkov MLS, Jørgensen L, Lynnerup N. 2010. Uniform Diet in a Diverse Society. Revealing New Dietary Evidence of the Danish Roman Iron Age Based on Stable Isotope Analysis. *American Journal of Physical Anthropology* 143 (4):523-533.
- Jürgens HW. 1988. Demographische Gliederung und Messung. Knußmann R (Hrsg): *Anthropologie Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen*, Band I: Allgemeine Anthropologie, Teil 2. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. S. 593-602.
- Jurmain RD. 1977. Stress and the Etiology of Osteoarthritis. *Am J Phys Anthropol* 46:353-366.
- Jurmain RD. 1990. Paleoepidemiology of a central California prehistoric population from CA-ALA-329: II. Degenerative disease. *American Journal of Physical Anthropology* 83 (1):83-94.
- Kagerer P. 2000. Die Zahnzementzuwachsringe - Stumme Zeugen oder dechiffrierbare Annalen in der Paläopathologie, Paläodemographie und Rechtsmedizin? München: Doktorarbeit.
- Kagerer P, Grupe G. 2001a. Age-at-death diagnosis and determination of life-history parameters by incremental lines in human dental cementum as an identification aid. *Forensic Science International* 118:75-82.
- Kagerer P, Grupe G. 2001b. On the validity of individual age-at-death diagnosis by incremental line counts in human dental cementum. Technical considerations. *Anthropologischer Anzeiger* 59 (4):331-342.
- Kaiser R. 1990. Bistumsgründung und Kirchenorganisation im 8. Jahrhundert. In: Dickerhof H, Reiter E, Weinfurter S. *Der hl Willibald - Klosterbischof oder Bistumsgründer? Eichstätter Studien, Neue Folge*, Band 30. Regensburg: Pustet. S. 29-67.
- Katzenberg A, Herring, A., Saunders, S. 1996. Weaning and infant mortality. *Yearbook of Physical Anthropology* 39:177-199.
- Katzenberg A, Lovell NC. 1999. Stable isotope variation in pathological bone. *International Journal of Osteoarchaeology* 9 (5):316-324.
- Katzenberg A, Saunders S, Fitzgerald WR. 1993. Age differences in stable carbon and nitrogen isotope ratios in a population of prehistoric maize horticulturists. *American Journal of Physical Anthropology* 90 (3):267-281.
- Kay RT, Rasmussen DT, Beard KC. 1984. Cementum annulus counts provide a means for age determination in *Macaca mulatta* (primates, anthropoidea). *Folia Primatologica* 42 (2):85-95.
- Kellner CM, Schoeninger MJ. 2007. A simple carbon isotope model for reconstructing prehistoric human diet. *American Journal of Physical Anthropology* 133 (4):1112-1127.
- Kelly RL. 1992. Mobility/Sedentism: Concepts, Archaeological Measures, and Effects. *Annual Review of Anthropology* 21:43-66.
- Kemkes-Grottenthaler A. 1997. Das Frauendefizit archäologischer Serien - Ein paläodemographisches Paradoxon? *Anthropologischer Anzeiger* 55:265-280.
- Kemkes-Grottenthaler A. 2002. Aging through the ages: Historical perspectives on age indicator methods. In: Hoppa RD, Vaupel JW. *Palaeodemography*: Cambridge University Press. S. 49-71.
- Kemkes-Grottenthaler A. 2005. The Short Die Young: The Interrelationship Between Stature and Longevity—Evidence From Skeletal Remains. *American Journal of Physical Anthropology* 128 (2):340-347.
- Khalil N, Elwany MN, Miller JD. 1991. Transcranial stab wounds: morbidity and medicolegal awareness. *Surgical Neurology* 35 (4):294-299.
- Kieck C, Devilliers J. 1984. Vascular lesions due to transcranial stab wounds. *Journal of Neurosurgery* 60 (1):42-46.
- Klevezal GA, Kirillova IV, Shishlina NI, Sokolov AA, Trunova [Selkova] YE. 2006. Growth layers in tooth dentin and cementum: problems and perspectives of their use in the study of fossil and subfossil mammal remains including humans. *Documenta Archaeobiologiae* 4:133-123.
- Knowles AK. 1983. Acute traumatic lesions. Disease in Ancient Man. Toronto: Hart, G.D., Clark Irwin. p S.61-83.
- Knüsel CJ, Göggel S, Lucy D. 1997. Comparative degenerative joint disease of the vertebral column in the medieval monastic cemetery of the Gilbertine priory of St. Andrew, Fishergate, York, England. *American Journal of Physical Anthropology* 103 (4):481-495.
- Koch U. 2001. Der Ritt in die Ferne. Die Alamannen. Landesmuseum Baden-Württemberg: Theiss. p 403-415.
- Kokabi M. 2001. Fleisch für Lebende und Tote. Die Alamannen. Landesmuseum Baden-Württemberg: Theiss. S. 331-336.
- Kokkotidis KG. 1999. Von der Wiege bis zur Bahre – Untersuchungen zur Paläodemographie der Alamannen des frühen Mittelalters. Köln: Dissertation.
- Kölbl S. 2004. Das Kinderdefizit im frühen Mittelalter - Realität oder Hypothese? Zur Deutung demographischer Strukturen in Gräberfeldern: Dissertation.
- Komlos J. 1990. Height and Social Status in Eighteenth-Century Germany. *Journal of Interdisciplinary History* 20 (4):607-621.

- Komlos J. 2000. Modernes ökonomisches Wachstum und biologischer Lebensstandard. *Anthropologischer Anzeiger* 58 (4):357-366.
- Komlos J. 2003. Access to food and the biological standard of living: perspectives on the nutritional status of native Americans. *American Economic Review* 93 (1):252-255.
- Komlos J. 2007. On english pygmies and giants: the physical stature of English youth in the late-18th and early-19th centuries. *Research in Economic History* 25:149-168.
- Konigsberg LW, Frankenberg S. 2002. Deconstructing Death in Paleodemography. *American Journal of Physical Anthropology* 117:297-309.
- Konomi N, Lebwohl E, Mowbray K, Tattersall I, Zhang D. 2002. Detection of Mycobacterial DNA in Andean Mummies. *Journal of Clinical Microbiology* 40 (12):4738-4740.
- Körber-Grohne U. 1995. Nutzpflanzen in Deutschland. Von der Vorgeschichte bis heute. Stuttgart: Theiss Verlag.
- Körner C, Diemer M. 1987. In situ Photosynthetic Responses to Light, Temperature and Carbon Dioxide in Herbaceous Plants from Low and High Altitude. *Functional Ecology* 1 (3):179-194.
- Körner C, Farquhar GD, Wong SC. 1991. Carbon isotope discrimination by plants follows latitudinal and altitudinal trends. *Oecologia* 88 (1):30-40.
- Kornexel 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 as quality control. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung* 205 (1):19-21.
- Kottje R. 1987. Eherechtlichen Bestimmungen der germanischen Volksrechte (5.-8. Jahrhundert). In: Affeldt W. *Frauen in Spätantike und Frühmittelalter Lebensbedingungen-Lebensnormen-Lebensformen*. Düsseldorf. p 211-220.
- Krämer W. 1970. Die Ausgrabungen in Manching 1. Wiesbaden: Steiner.
- Kriwy P, Komlos J. 2003. Soziale Schicht und Körpergröße in Ost- und Westdeutschland. *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie* 55 (3):543-556.
- Kronfeld R. 1938. The biology of cementum. *Journal of the American Dental Association* 25:1451-1461.
- Kuchenbuch L. 1986. Trennung und Verbindung im bäuerlichen Werken des 9. Jahrhunderts. *Frauen in der Geschichte VII - Interdisziplinäre Studien zur Geschichte der Frauen im Frühmittelalter*: Affeldt, W.
- Kuhn A, Kuola-Jenik H, Kraft M, Miko M. 2005. Leitfaden Ernährungsmedizin. München, Jena: Urban & Fischer.
- Kurosaki K. 1993. Individual DNA-identification from ancient human remains. *American Journal of Human Genetics* 53 (3):638-643.
- Küster HJ. 1988. Umwelt und Pflanzenanbau. In: Dannheimer H, Dopsch, H.. *Die Bajuwaren*. Rosenheim, Mattsee: Katalog zur gemeinsamen Landesausstellung des Freistaates Bayern und des Landes Salzburg. S. 185-191.
- Kvaal SI, Solheim T. 1995. Incremental lines in human dental cementum in relation to age. *European Journal of Oral Sciences* 103 (4):225-230.
- Lam YM. 2008. Variability in cementum deposition in springbok from the South African Cape. *Journal of Archaeological Science* 35:1062-1073.
- Langenscheidt F. 1985. Methodenkritische Untersuchungen zu Paläodemographie am Beispiel zweier fränkischer Gräberfelder. Wiesbaden: Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung.
- Lanyon LE, Bourn S. 1979. The influence of mechanical function on the development and remodeling of the tibia. An experimental study. *The Journal of Bone & Joint Surgery* 61:263-273.
- Larsen CS. 1995. Biological Changes in Human Populations with Agriculture. *Annual Review of Anthropology* 24:185-213.
- Larsen CS. 1997. *Bioarchaeology - Interpreting behaviour from the human skeleton*: Cambridge University Press.
- Laurioux B. 1999. *Tafelfreuden im Mittelalter. Die Ernährung der Ritter, Bürger und Bauersleute*. Augsburg: Weltbild Verlag.
- Le Huray JD, Schutkowski H. 2005. Diet and social status during the La Tène period in Bohemia: Carbon and nitrogen stable isotope analysis of bone collagen from Kutná Hora-Karlovy and Radošovice. *Journal of Anthropological Archaeology* 24:135-147.
- Ledderose A. 2006. Studien zu spät- und endmerowingerzeitlichen Bestattungspätzen im Ingolstädter Raum. München: Dissertation.
- Lee-Thorp J, van der Merwe NJ. 1991. Aspects of the Chemistry of Modern and Fossil Biological Apatites. *Journal of Archaeological Science* 18 (3):343-354.
- Lehnert B. 2000. Molekulare Geschlechtsbestimmung und Verwandtschaftsanalyse an einem geschlossenen frühmittelalterlichen Skelettkollektiv. München: Diplomarbeit.
- Lescanne E, Velut S, Lefrancq T, Destrieux C. 2002. The internal acoustic meatus and its meningeal layers: a microanatomical study. *Journal of Neurosurgery* 97:1191-1197.
- LFUBayern. 1973. Bodenschätzungs-Übersichtskarte des Regierungsbezirkes Oberbayern, Blatt I. Maßstab 1:100 000. München: Bayerisches Geologisches Landesamt.
- Lieberman DE, Deacon TW, Meadow RH. 1990. Computer image enhancement and analysis of cementum increments as applied to teeth of *Gazella gazella*. *Journal of Archaeological Science* 17:519-533.
- Liebermann DE. 1993. Life History Variables Preserved in Dental Cementum Microstructure. *Science* 261:1162-1164.
- Liebermann DE. 1994. The Biological Basis for Seasonal Increments in Dental Cementum and their Application to Archaeological Research. *Journal of Archaeological Science* 21:525-539.
- Liebermann DE, Meadow RH. 1992. The biology of cementum increments (an archaeological perspective). *Mammal Review* 22:57-77.
- Lindskog S, Blomlöf L, Hammarström L. 1987. Cellular colonization of denuded root surfaces in vivo: cell morphology in dentin resorption and cementum repair. *Journal of Clinical Periodontology* 14 (7):390-395.

- Lippitsch A. 2007. Funktionsmorphologischer Einfluss auf die Ausprägung und Charakteristika der menschlichen Zementapposition in Bezug auf die Anwendung der TCA-Methode. München.
- Lipsinic FE, Paunovich E, Houston GD, Robison SF. 1986. Correlation of age and incremental lines in the cementum of human teeth. *Journal of Forensic Science* 31 (3):982-990.
- Lloyd ME. 2002. Anthropometry and moderate malnutrition in preschool children. *Indian Journal of Pediatrics* 69 (9):171-174.
- Longin M. 1971. New method of collagen extraction for radiocarbon dating. *Nature* 230:241-242.
- Lösch S. 2009. Paläopathologisch-anthropologische und molekulare Untersuchungen an mittelalterlichen und frühneuzeitlichen Bevölkerungsgruppen: Ernährung und Gesundheitszustand süd- und nordbayerischer Bevölkerungsstichproben. München: Dissertation.
- Lovejoy CO, Meindl RS, Mensforth RP, Barton TJ. 1985. Multifactorial determination of skeletal age at death: A method and blind tests of its accuracy. *American Journal of Physical Anthropology* 68 (1):1-14.
- Lovell NC. 1994. Spinal arthritis and physical stress at Bronze Age Harappa. *American Journal of Physical Anthropology* 93 (2):149-164.
- Lovell NC. 1997. Trauma Analysis in Paleopathology. *American Journal of Physical Anthropology* 140 (S25):139-170.
- Lovell NC, Nelson DE, Schwarcz HP. 1986. Carbon isotope ratios in palaeodiet: Lack of age or sex effect. *Archaeometry* 28 (1):51-55.
- Lynnerup N, Schultz M, Madelung A, Graw M. 2006. Diameter of the human internal acoustic meatus and sex determination. *International Journal of Osteoarchaeology* 16 (2):118-123.
- Maat GJR, Gerretsen RRR, Aarents MJ. 2006. Improving the visibility of tooth cementum annulations by adjustment of the cutting angle of microscopic sections. *Forensic Science International* 159 (S):S95-S99.
- Mac Laughlin J, Hollick MF. 1985. Aging Decreases the Capacity of Human Skin Produce Vitamin D₃. *Journal of Clinical Investigation* 76:1536-1538.
- MacAvoy SE, Macko SA, Arneson L. 2005. Growth versus metabolic tissue replacement in mouse tissues determined by stable carbon and nitrogen isotope analysis. *Canadian Journal of Zoology* 83 (6):631-641.
- Macho GA. 1991. Morphological asymmetries in Southern African populations. Further evidence for lateralization. *International Journal of Anthropology* 6:215-230.
- Macko SA, Engel MH, Andrusevich V, Lubec G, O'Collet TC, R.E.M. H. 1999. Documenting the diet in ancient human populations through stable isotope analysis of hair. *Philosophical Transactions: Biological Sciences* 359 (1379):65-76.
- Mahaney WC, Andres W. 1991. Glacially crushed quartz grains in loess as indicators of long-distance transport from major European ice centers during the Pleistocene. *Boreas* 20 (3):231-239.
- Manhart H. 2002. Schriftliche Mitteilung. München: Anthropologische und Paläoanatomische Staatssammlung.
- Maréchal JC, Etcheverry D. 2003. The use of ³H and ¹⁸O tracers to characterize water inflows in Alpine tunnels. *Applied Geochemistry* 18 (3):33-351.
- Margo RA, Steckel RH. 1982. The Height of American Slaves. *Social Science History* 6 (3):516-538.
- Martel W, Abell MR, Mikkelsen WM, Whitehouse WM. 1968. Pulmonary and pleural lesions in rheumatoid disease. *Radiology* 90 (4):641-653.
- Martin R. 1928. *Lehrbuch der Anthropologie*. Jena: Gustav Fischer.
- Martin RB, Burr DB, Sharkey NA. 1998. *Skeletal Tissue Mechanics*. New York, Berlin, Heidelberg: Springer.
- Matzdorf I. 1980. Soziale und regionale Schwankungen der sekundären Sexualproportion in der Bundesrepublik Deutschland. *Homo* 31:117-121.
- Mayr G. 1988. Frühes Christentum in Bayern. In: Dannheimer H. Die Bajuwaren Katalog zur gemeinsamen Landesausstellung des Freistaates Bayern und des Landes Salzburg. Rosenheim, Mattsee. S. 281-286.
- Mays SA, Richards MP, Fuller BT. 2002. Bone stable isotope evidence for infant feeding in Mediaeval England. *Antiquity* 76:654-656.
- Mays S, Beavan N. 2012. An investigation of diet in early Anglo-Saxon England using carbon and nitrogen stable isotope analysis of human bone collagen. *Journal of Archaeological Science* 39 (4): 867-874.
- McCullagh JS, Juchelka D, Hedges REM. 2006. Analysis of amino acid ¹³C abundance from human and faunal bone collagen using liquid chromatography/isotope ratio mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 20 (18):2761-2768.
- McGlynn G. 2007. Using ¹³C-, ¹⁵N-, and ¹⁸O stable isotope analysis of human bone tissue to identify transhumance, high altitude habitation and reconstruct palaeodiet for the early medieval Alpine population at Volders, Austria. München.
- Meier F. 2008. *Mensch und Tier im Mittelalter*: Thorbecke.
- Meier T. 2004. Ökosystem, Sozialstruktur und Wirtschaftsweise im mittelalterlichen Altbaiern. *Archäologisches Nachrichtenblatt* 9:62-67.
- Meier T. 2007. Sozialstruktur und Wirtschaftsweise im frühmittelalterlichen Südbayern. Das Beispiel der Siedlungen Kelheim-Kanal I und Unterigling Loibachanger. Kiel: Habilitationsschrift (ungedruckt).
- Meier T, Tillesen P. 2010. Von Schlachten, Hoffnungen und Ängsten: Einführende Gedanken zur Interdisziplinarität in der historischen Umweltforschung. In: Meier T, Tillesen P. Über die Grenzen und zwischen den Disziplinen Fächerübergreifende Zusammenarbeit im Forschungsfeld historischer Mensch-Umwelt-Beziehungen. Budapest.
- Meier U, Gärtner F, Knopf W, Klötzer R, Wolf O. 1992. The traumatic dural sinus injury — a clinical study. *Acta Neurochirurgica* 119 (1-4):91-93.
- Meindl RS, Lovejoy CO. 1985. Ectocranial suture closure: a revised method for the determination of skeletal age at death based on the lateral-anterior sutures. *American Journal of Physical Anthropology* 68 (1):57-66.

- Meindl RS, Lovejoy CO, Mensforth RP, Walker RA. 1985. A revised method of age determination using the os pubis, with a review and tests of accuracy of other current methods of pubic symphyseal aging. *American Journal of Physical Anthropology* 68 (1):29-45.
- Mekota A-M, Grupe G, Ufer S, Cuntz U. 2006. Serial analysis of stable nitrogen and carbon isotopes in hair: monitoring starvation and recovery phases of patients suffering from anorexia nervosa. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 20 (10):1604-1610.
- Mekota A-M, Grupe G, Ufer S, Cuntz U. 2009. Identifying starvation episodes using stable isotopes in hair. *Rechtsmedizin* 19 (6):431-440.
- Menke M. 1988. Die bairisch besiedelten Landschaften im 6. und 7. Jahrhundert nach den archäologischen Quellen. In: Dannheimer H, Dopsch, H.. *Die Bajuwaren: Rosenheim, Mattsee: Katalog zur gemeinsamen Landesausstellung des Freistaates Bayern und des Landes Salzburg.* p 70-77.
- Miller CS, Dove SB, Cottone JA. 1988. Failure of use of cemental annulations in teeth to determine the age of humans. *Journal of Forensic Sciences* 33 (1):137-143.
- Miller GH, Beaumont PB, Jull AJT, Johnson BJ. 1992. Pleistocene Geochronology and Palaeothermometry from Protein Diagenesis in Ostrich Eggshells: Implications for the Evolution of Modern Humans. *Philosophical Transactions: Biological Sciences* 337 (1280):149-157.
- Miller JD, Jennet WB. 1968. Complications of depressed skull fracture. *The Lancet* 292 (7576):991-995.
- Millward J. 1994. Can We Define Indispensable Amino Acid Requirements and Assess Protein Quality in Adults? *Journal of Nutrition* 124:1509-1516.
- Minagawa M, Wada E. 1984. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48 (5):1135-1140.
- Mitchell PD, Nagar J, Ellenblum R. 2006. Weapon injuries in the 12th century Crusader garrison of Vadum Iacob Castle, Galilee. *International Journal of Osteoarchaeology* 16 (2):145-155.
- Molbak K, Gottschau A, Aaby P, Hojlyng N, Ingholt L-, Da Silva APJ. 1994. Prolonged breast feeding, diarrhoeal disease, and survival of children in Guinea-Bissau. *British Medical Journal* 308 (6914):1403-1406.
- Molleson T. 2003. Body of evidence: Museum collections, why they were brought together, their value today and public future. *Documenta Archaeobiologie* 1: 17-28.
- Montgomery J, Evans J, Wildman G. 2006. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotope composition of bottled mineral waters for environmental and forensic purposes. *Applied Geochemistry* 21 (10): 1626-1634.
- Moran J, Newburn M, Alexander L, Sams R, Kelly J, Kreuzer H. 2011. Laser ablation isotope ratio mass spectrometry for enhanced sensitivity and spatial resolution in stable isotope analysis. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 25 (9): 1282-1290.
- Morris P. 1972. A review of mammalian age determination methods. *Mammal Review* 2:69-104.
- Mulkey S. 1986. Photosynthetic acclimation and water-use efficiency of three species of understory herbaceous bamboo (Gramineae) in Panama. *Oecologia* 70 (4):514-519.
- Müller HF. 1976. *Das Alamannische Gräberfeld von Hemmingen (Kreis Ludwigsburg).* Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg 7.
- Nanci A, Bosshardt DD. 2006. Structure of periodontal tissues in health and disease. *Periodontology* 2000 40:11-28.
- Nathan H. 1962. Osteophytes of the Vertebral Column: An Anatomical Study of Their Development According to Age, Race, and Sex with Considerations as to Their Etiology and Significance. *Journal of Bone and Joint Surgery* 44:243-268.
- Nawroth M. 2001. *Das Gräberfeld von Pfahlheim und das Reitzubehör der Merowingerzeit.* Nürnberg: Germanisches Nationalmuseum.
- Naylor JW, Miller WG, Stokes GN, Stott GG. 1985. Cemental annulation enhancement: a technique for age determination in man. *American Journal of Physical Anthropology* 68 (2):197-200.
- Nehlich O, Boric D, Stefanovic S, Richards MP. 2010. Sulphur isotope evidence for freshwater fish consumption: a case study from the Danube Gorges, SE Europe. *Journal of Archaeological Science* 37 (5):1131-1139.
- Nehlich O, Montgomery J, Evans J, Schade-Linding S, Pichler SL, Richards MP, Alt KW. 2009. Mobility or migration: a case study from the Neolithic settlement of Nieder-Mörlen (Hessen, Germany). *Journal of Archaeological Science* 36 (8):1791-1799.
- Nehlich O, Richards MP. 2009. Establishing collagen quality criteria for sulphur isotope analysis of archaeological bone collagen. *Archaeological and Anthropological Sciences* 1 (1):59-75.
- Nelson DL, Cox M. 2001. *Lehninger Biochemie:* Springer.
- Neuberger FM. in prep. *Serielle Analyse stabiler Isotope an menschlichen keratinisierten Geweben zur retrospektiven Rekonstruktion von Lebenslaufparametern in sozial relevanten Fällen von Mangelernährung und Vernachlässigung.* München: Dissertation.
- Nicolas S, Steckel RH. 1997. Living standards of women in England and Wales, 1785–1815: new evidence from newgate prison records. *Economic History Review* 49 (3):591–599.
- Nicolussi K. 2009. Klimaentwicklung in den Alpen während der letzten 7000 Jahre. In: Oeggel K, Prost M. *Die Geschichte des Bergbaus in Tirol und seinen angrenzenden Gebieten:* Innsbruck University Press. S. 109-124.
- Nobel A, Veillon E. 1997. *Medical Dictionary:* Huber.
- Norén A, Lynnerup N, Czarnetzki A, Graw M. 2005. Lateral Angle: A Method for Sexing Using the Petrous Bone. *American Journal of Physical Anthropology* 128:318-323.
- Norman AW. 1998. Sunlight, season, skin pigmentation, vitamin D and 25-hydroxyvitamin: integral components of the vitamin D endocrine system. *American Journal of Clinical Nutrition* 67 (6):1108-1110.
- O'Connell TC, Hedges REM. 1999. Isotopic Comparison of Hair and Bone: Archaeological Analyses. *Journal of Archaeological Science* 26 (6):661-665.

- O'Connell TC, Hedges REM. 2001. Isotopic Comparison of Hair, Nail and Bone: Modern Analyses. *Journal of Archaeological Science* 28 (11):1247-1255.
- Obertova Z, Francken M. 2009. Tooth Cementum Annulation Method: Accuracy and Applicability. In: Koppe T, Meyer G, Alt KW. *Comparative Dental Morphology*: Karger. S. 184-189.
- Ogasawara M, Kono DH, Yu D. 1986. Mimicry of Human Histocompatibility HLA-B27 Antigens by *Klebsiella pneumoniae*. *Infection and Immunity* 51 (3):901-908.
- Ohler N. 2004. Reisen im Mittelalter: Artemis & Winkler.
- Ohsumi S, Kasuya T, Nishiwaki M. 1963. Accumulation rate of dental growth layers in the maxillary tooth of the sperm whale. *Whales Research Institute, Scientific Reports* 17:15-35.
- Ortner DJ. 1968. Description and classification of degenerative bone changes in the distal joint surfaces of the humerus. *American Journal of Physical Anthropology* 28 (2):139-156.
- Parfitt AM. 1979. Quantum Concept of Bone Remodeling and Turnover: Implications for the Pathogenesis of Osteoporosis. *Calcified Tissue International* 28:1-5.
- Pauli L. 1978. Ungewöhnliche Grabfunde aus frühgeschichtlicher Zeit: Archäologische Analyse und anthropologischer Befund. *Homo* 29:45.
- Pearson K. 1992. Nutrition and the Early-Medieval Diet. *Speculum* 72 (1):1-32.
- Pearson K, Levey DJ, Greenberg CH, del Rio CM. 2003. Effects of elemental composition on the incorporation of dietary nitrogen and carbon isotopic signatures in an omnivorous songbird. *Oecologia* 135 (4):516-523.
- Perga M-E, Grey J. 2010. Laboratory measures of isotope discrimination factors: comments on Caut, Angullo & Courchamp (2008, 2009). *Journal of Applied Ecology* 47 (4): 942-947.
- Perola M, Öhman M, Hiekkalinna T, Leppävuori J, Peltonen L. 2001. Quantitative-Trait-Locus Analysis of Body-Mass Index and of Stature, by Combined Analysis of Genome Scans of Five Finnish Study Groups. *American Journal of Human Genetics* 69 (1):117-123.
- Peters KM. 2004. Morbus Hass – nicht auf die leichte Schulter zu nehmen. *Orthopädie & Rheuma* 4:45-46.
- Pfeil J. 2005. Orthopädie. Stuttgart: Thieme Verlag.
- Pfützner W. 1902. Social-anthropologische Studien. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie* 4:31-98.
- Phillips DL, Koch PL. 2002. Incorporating Concentration Dependence in Stable Isotope Mixing Models. *Oecologia* 130 (1): 114-125.
- Phillips DL. 2001. Mixing models in analyses of diet using multiple stable isotopes: a critique. *Oecologia* 127 (2): 166-170.
- Phillips DL, Newsome SD, Gregg JW. 2005. Combining Sources in Stable Isotope Mixing Models: Alternative Methods. *Oecologia* 144 (4): 520-527.
- Pieck J. 2008. Schädeltraumen und ihre klinischen Folgen. In: Pieck J, Terberger T. *Traumatologische und pathologische Veränderungen an prähistorischen und historischen Skelettresten - Diagnose, Ursachen, Kontext*: Verlag Marie Leidorf.
- Pilloud S. 2004. Lässt sich mittels der Altersbestimmung anhand des Zahnzementes auch bei älteren Individuen ein signifikanter Zusammenhang zwischen histologischen und reelem Alter finden? *Anthropologischer Anzeiger* 62 (2):231-239.
- Pollard AM, Pellegrini M, Lee-Thorp JA. 2011a. Technical Note: Some Observations on the Conversion of Dental Enamel $\delta^{18}\text{O}_\text{p}$ Values to $\delta^{18}\text{O}_\text{w}$ to Determine Human Mobility. *American Journal of Physical Anthropology* 145 (3): 499-504.
- Pollard AM. 2011b. Isotopes and impact: a cautionary tale. *Antiquity* 85 (328): 631-638.
- Ponsard S, Averbuch P. 1999. Should growing and adult animals fed on the same diet show different $\delta^{15}\text{N}$ values? *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 13 (13):1305-1310.
- Popper K. 1935. *Logik der Forschung* (Neuaufgabe 2005): Mohr Siebeck.
- Post DM. 2002. Using Stable Isotopes to estimate Trophic Position: Models, Methods and Assumptions. *Ecology* 83 (3):703-718.
- Powers N. 2005. Cranial trauma and treatment: a case study from the medieval cemetery of St. Mary Spital, London. *International Journal of Osteoarchaeology* 15 (1):1-14.
- Price DT, Knipper C, Grupe G, Smrcka V. 2004. Strontium Isotopes and Prehistoric Human Migration: The Bell Beaker Period in Central Europe. *European Journal of Archaeology* 7 (1):9-40.
- Price TD, Burton JH, Bentley RA. 2002. The Characterization of Biologically Available Strontium Isotope Ratios for the Study of Prehistoric Migration. *Archaeometry* 44 (1):117-135.
- Price TD, Johnson CM, Ezzo JA, Ericson J, Burton JB. 1994. Residential Mobility in the Prehistoric Southwest United States: A Preliminary Study using Strontium Isotope Analysis. *Journal of Archaeological Science* 21 (3):315-330.
- Prinz F. 2003a. *Deutschlands Frühgeschichte*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Prinz F. 2003b. *Deutschlands Frühgeschichte, Kelten, Römer und Germanen*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Privat K, O'Connell T, Richards MP. 2002. Stable Isotope Analysis of Human and Faunal Remains from the Anglo-Saxon Cemetery at Berinsfield, Oxfordshire: Dietary and Social Implications. *Journal of Archaeological Science* 29 (7):779-790.
- Prives MG. 1960. Influence of labor and sport upon skeleton structure in man. *Anatomical Record* 136:261 (Abstract).
- Probst A, El Gh'mari A, Aubert D, Fritz B, Mc Nutt R. 2000. Strontium as a tracer of weathering process in a silicate catchment polluted by acid atmospheric inputs, Strengbach, France. *Chemical Geology* 170 (1-4):203-219.
- Putz R, Graichen H. 2006. Anatomische und funktionelle Aspekte von Brust- und Lendenwirbelsäule. *Manuelle Medizin* 44 (6):479-486.

- Ramey Burns K. 1998. Forensic Anthropology Training Manual. in Powers 2005. Prentice Hall: Upper Saddle River NJ.
- Rashid T, Ebringer A. 2007. Ankylosing spondylitis is linked to Klebsiella—the evidence. *Clinical Rheumatology* 26 (6):858-864.
- Raspanti M, Cesari C, V. DP, Ottani V, Strocchi R, Zucchelli G, Ruggeri A. 2000. A histological and electron-microscopic study of the architecture and ultrastructure of human periodontal tissues. *Archives of Oral Biology* 45 (3):185-192.
- Rauber-Kopsch. 1955. Lehrbuch und Atlas der Anatomie des Menschen, Band 1. Stuttgart: Thieme Verlag.
- Reichholf JH. 2007. Eine kurze Naturgeschichte des letzten Jahrtausends. Frankfurt/Main: Fischer Verlag.
- Reiser R. 1977. Agilolf oder die Herkunft der Bayern. München.
- Renz H, Radlanski RJ. 2006. Incremental lines in root cementum of human teeth - A reliable age marker. *Homo* 57:29-50.
- Renz H, Schaefer V, Duschner H, Radlanski RJ. 1997. Incremental Lines in Root Cementum of Human Teeth: An Approach to their Ultrastructural Nature by Microscopy. *Advances in Dental Research* 11 (4):472-477.
- Resnick D, Niwayama G. 1988. Diagnosis of bone and joint disorders. Philadelphia: W.S. Saunders.
- Richards MP. 2002. Stable carbon and nitrogen isotope values of bone and teeth reflect weaning age at the medieval Wharram Percy Site, Yorkshire, UK. *American Journal of Physical Anthropology* 119:205-210.
- Richards MP. 2006. Stable isotope palaeodietary study of humans and fauna from the multi-period (Iron Age, Viking and Late Medieval) site of Newark Bay, Orkney. *Journal of Archaeological Science* 33 (1):122-131.
- Richards MP, Hedges REM. 1999. Stable Isotope Evidence for Similarities in the Types of Marine Foods Used by Late Mesolithic Humans at Sites Along the Atlantic Coast of Europe. *Journal of Archaeological Science* 26 (6):717-722.
- Richards MP, Hedges REM, Molleson T, Vogel JC. 1998. Stable Isotope Analysis Reveals Variations in Human Diet at the Poundbury Camp Cemetery Site. *Journal of Archaeological Science* 25 (12):1247-1252.
- Richards MP, Harvati K, Grimes V, Smith C, Smith T, Hublin J-J, Karkanas P, Panagopoulou E. 2008. Strontium isotope evidence of Neanderthal mobility at the site of Lakonis, Greece using laser-ablation PIMMS. *Journal of Archaeological Science* 35 (5): 1251-1256.
- Richmont BG, Strait DS. 2000. Evidence that humans evolved from a knuckle-walking ancestor. *Nature* 404 (6774):382-384.
- Riebesehl T. 1999. Ernährung im Mittelalter. Seminararbeit, Institut für Geschichte, Universität Salzburg: www.sbg.ac.at.
- Riedel G. 1995. Frühmittelalterliche Besiedlung. In: Rieder KH, Tillmann A. Archäologie um Ingolstadt Die archäologischen Untersuchungen beim Bau der B16 und der Bahnverlegung. Kipfenberg: Hercynia. p 219-232.
- Rieder K-H. 1993. Siedlungsgeschichtliche Aspekte der späten Römerzeit, Völkerwanderungszeit und zum beginnenden Mittelalter an der mittleren bayerischen Donau. In: K. S. Vorträge des 11 Niederbayerischen Archäologentages. Buch am Erlbach: Leidorf.
- Riley JC. 1994. Height, nutrition, and mortality risk reconsidered. *Journal of Interdisciplinary History* 24 (3):465-492.
- Ritz-Timme S, Cattaneo C, Collins MJ, Waite ER, Schütz HW, Kaatsch H-J, Borrman HIM. 2000. Age estimation: The state of the art in relation to the specific demands of forensic practise. *International Journal of Legal Medicine* 133 (3):129-136.
- Robb J. 1994. Skeletal signs of activity in the Italian metal ages: Methodological and interpretative notes. *Human Evolution* 9:215-229.
- Robb J. 1998. The interpretation of skeletal muscle sites: a statistical approach. *International Journal of Osteoarchaeology; Special Issue: Stress Markers* 8 (5):363-377.
- Robb J, Bigazzi R, Lazzarini L, Scarsini C, Sonego F. 2001. Social "status" and biological "status": A comparison of grave goods and skeletal indicators from Pontecagnano. *American Journal of Physical Anthropology* 115 (3):213-222.
- Robbins CT, Felicetti LA, Sponheimer M. 2005. The effect of dietary protein quality on nitrogen isotope discrimination in mammals and birds. *Oecologia* 144 (4):534-540.
- Robbling AG, Stout SD. 2000. Histomorphometry of Human Cortical Bone: Applications to Age Estimation. In: Katzenberg A, Saunders S. *Biological Anthropology of the Human Skeleton*: Wiley-Liss, Inc.
- Roberts C, Manchester K. 2005. *The Archaeology of Disease*. NewYork: Cornell University Press.
- Roksandic M, Vlak D, Schillaci MA, Voicu D. 2009. Technical Note: Applicability of Tooth Cementum Annulation to an Archaeological Population. *American Journal of Physical Anthropology* 140 (3):583-588.
- Rösch M. 2001. Ackerbau und Ernährung. Die Alamannen. Landesmuseum Baden-Württemberg: Theiss. S. 323-330.
- Rösener W. 1985. Bauern im Mittelalter. München.
- Rösener W. 1997. Jagd und höfische Kultur im Mittelalter. In: Rösener W. Jagd und höfische Kultur als Gegenstand der Forschung. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht. S. 11-29.
- Rösing FW, Graw M, Marré B, Ritz-Timme S. 2005a. Empfehlungen für die forensische Geschlechts- und Altersbestimmung am Skelett. *Anthropologischer Anzeiger* 63 (2):221-232.
- Rösing FW, Graw M, Marré B, Ritz-Timme S. 2005b. Empfehlungen für die forensische Geschlechts- und Altersdiagnose am Skelett. *Rechtsmedizin* 15 (1):32-38.
- Rössler H, Pitzen P, Steinhagen J. 2005. *Orthopädie und Unfallchirurgie*: Elsevier, Urban&FischerVerlag.
- Ruff CB. 1981. Bilateral asymmetry in cortical bone of the humerus and tibia - sex and age factors. *Human Biology* 53 (1):69-86.

- Ruff CB. 2000. Biomechanical Analysis of archaeological human skeletons. In: Katzenberg A, Rae Saunders S. Biological anthropology of the human skeleton. New York: Wiley. S. 71-102.
- Sage RF, Percy RW. 1987. The nitrogen use efficiency of C₃ and C₄ plants: II. Leaf nitrogen effects on the gas exchange characteristics of *Chenopodium album* (L.) and *Amaranthus retroflexus*. *Plant Physiology* 84 (3):959-963.
- Saller K, Martin R. 1959. Lehrbuch der Anthropologie, Band II. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
- Sasse B. 1986. Demographisch-soziale Untersuchungen an frühmittelalterlichen Frauengräbern im Bereich der Reihengräberzivilisation. In: Affeldt W, Kuhn A. Frauen in der Geschichte VII Interdisziplinäre Studien zur Geschichte der Frauen im Frühmittelalter Methoden-Probleme-Ergebnisse. Düsseldorf. S. 56-87.
- Sauer NJ. 1998. The timing of injuries and manner of death: distinguishing among antemortem, perimortem and postmortem trauma. In: Reichs KS. Forensic Osteology, 2nd edition. Springfield, Illinois: Charles C. Thomas. S. 321-332.
- SCF. 2002. Opinion of the Scientific Committee on Food on the Tolerable Upper Intake Level of Vitamin. Scientific Committee on Food (Wissenschaftlicher Lebensmittelausschuss der Europäischen Kommission).
- Schaeffer AA. 1928. Spiral movement of man and other primates. *Journal of Morphology and Physiology* 45:293-398.
- Scheuer L, Black S. 2000. Developmental Juvenile Osteology. London: Academic Press.
- Schmid HM, Dahm P. 1977. Die postnatale Entwicklung des menschlichen Os temporale. *Gegenbaurs morphologisches Jahrbuch* 123:485-513.
- Schmidt IM, Jørgensen MH, Michaelsen KF. 1995. Height of conscripts in Europe: is postneonatal mortality a predictor? *Annals of Human Biology* 22 (1):57-67.
- Schmidt WJ, Kiel A. 1972. Polarizing Microscopy of Dental Tissues. Oxford: Pergamon Press.
- Schneider R. 1987. Fränkische Alpenpolitik. Die transalpinen Verbindungen der Bayern Alamannen und Franken bis zum 10. Jahrhundert. Sigmaringen: Beumann, H.
- Schröder, W. S.23-49.
- Schneider T, Fink C, Schmidt-Wiethoff R. 2008. Osteonecrosis of the humeral head. *Obere Extremität* 3 (2):84-91.
- Schnetger B. 1992. Chemical composition of loess from a local and worldwide view. *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Monatshefte* 1:29-47.
- Schoeninger MJ. 1985. Trophic level Effects on ¹⁵N/¹⁴N and ¹³C/¹²C ratios in bone collagen and strontium levels in bone mineral. *Journal of Human Evolution* 14:515-525.
- Schoeninger MJ, DeNiro MJ. 1984. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48: S. 625-639.
- Schoeninger MJ, DeNiro MJ, Tauber H. 1983. Stable nitrogen ratios of bone collagen reflects marine and terrestrial components of prehistoric human diet. *Science* 220:1380-1383.
- Schroeder HE. 2001. Orale Strukturbioogie. Stuttgart: Thieme.
- Schubert E. 2006. Essen und Trinken im Mittelalter. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Schulting RJ. 2002. Dogs, Ducks, Deer and diet: Mew stable isotope evidence on early mesolithic dogs from the vale of Pickering, North-east England. *Journal of Archaeological Science* 29:327-333.
- Schulting RJ, Blockley SM, Bocherens H, Drucker D, Richards MP. 2008. Stable carbon and nitrogen isotope analysis on human remains from the Early Mesolithic site of La Vergne (Charente-Maritime, France). *Journal of Archaeological Science* 35 (3):763-772.
- Schultz A. 1965. Das höfische Leben zur Zeit der Minnesänger, Erster Band. Osnabrück: Otto Zeller Verlag.
- Schultz M. 2001. Paleohistopathology of Bone: A New Approach to the Study of Ancient Diseases. *Yearbook of Physical Anthropology* 44:106-147.
- Schumacher GH, Schmidt H. 1983. Anatomie und Biochemie der Zähne. Stuttgart: Fischer.
- Schumacher GH, Schmidt H. 1990. Anatomie und Biochemie der Zähne. Stuttgart: Fischer.
- Schurr MR. 1997. Stable nitrogen isotopes as evidence for the age of weaning at the Angel Site: A comparison of isotopic and demographic measures of weaning age. *Journal of Archaeological Science* 24:919-927.
- Schurr MR. 1998. Using Stable Nitrogen-Isotopes to Study Weaning Behavior in past Populations. *World Archaeology* 30 (2):327-342.
- Schutkowski H. 1987. Sex determination of fetal and neonate skeletons by means of discriminant analysis. *International Journal of Anthropology* 2:347.
- Schutkowski H. 1990. Zur Geschlechtsdiagnose von Kinderskeletten. Morphognostische, metrische und diskriminanzanalytische Untersuchungen. Dissertation. Göttingen.
- Schutkowski H. 1993. Sex determination of infant and juvenile skeletons. I. Morphognostic features. *American Journal of Physical Anthropology* 90:199-205.
- Schweissing MM. 2004. Strontium-Isotopenanalyse (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr). Eine archäometrische Applikation zur Klärung anthropologischer und archäologischer Fragestellungen in Bezug auf Migration und Handel. *Münchener Geologische Hefte* A31.
- Schweissing MM, Grupe G. 2000. Local or nonlocal? A research of strontium isotope ratios of teeth and bones on skeletal remains with artificial deformed skulls. *Anthropologischer Anzeiger* 58 (1):99-103.
- Sealy J. 2001. Body tissue chemistry and palaeodiet. In: D.R. B, A.M. P. Handbook of archaeological sciences. Chichester: John Wiley & Sons. S. 269-279.
- Seifert L. 2010. Molekulargenetische Applikationen in der Paläoepidemiologie. München: Diplomarbeit.
- Selvig K. 1966. Ultrastructural changes in cementum and adjacent connective tissue in periodontal disease. *Acta Odontologica* 24 (4):459-500.
- Sharma OP. 2000. Hypercalcemia in granulomatous disorders: a clinical review. *Current Opinion in Pulmonary Medicine* 6:442-447.

- Silventoinen K. 2003. Determinants of variation in adult body height. *Journal of Biosocial Science* 35 (2):263–285.
- Singh B, Milton JD, Woodrow JC. 1986. Ankylosing spondylitis, HLA-B27, and Klebsiella: a study of lymphocyte reactivity of anti-Klebsiella sera. *Annals of Rheumatic Diseases* 45 (3):190-197.
- Sjovold T. 1988. Geschlechtsdiagnose am Skelett. Knußmann R (Hrsg): *Anthropologie Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen, Band I: Allgemeine Anthropologie, Teil 1*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. S. 444-460.
- Smith BN, Oliver J, McMillan C. 1976. Influence of Carbon Source, Oxygen Concentration, Light Intensity, and Temperature on $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ Ratios in Plant Tissues. *Botanical Gazette* 137 (2):99-104.
- Smith C. 1998. Dogs, cats and horses in the Scottish medieval town. *Proceedings of the Society of Antiquaries* 128:859-885.
- Sofaer Derevenski JR. 2000. Sex differences in activity-related osseous change in the spine and the gendered division of labor at Ensay and Wharram Percy, UK. *American Journal of Physical Anthropology* 111 (3):333-354.
- Sponheimer M, Robinson T, Ayliffe L, Roeder B, Hammer J, Passey B, West A, Cerling T, Dearing D, Ehleringer J. 2003a. Nitrogen isotopes in mammalian herbivores: hair $\delta^{15}\text{N}$ values from a controlled feeding study. *International Journal of Osteoarchaeology* 13 (1-2):80-87.
- Sponheimer M, Robinson TF, Roeder BL, Passey BH, Ayliffe LK, Cerling TE, Dearing MD, Ehleringer JR. 2003b. An experimental study of nitrogen flux in llamas: is ^{14}N preferentially excreted? *Journal of Archaeological Science* 30 (13):1649-1655.
- Sponheimer M, Codron D, Passey B, de Ruiter D, Cerling Th, Lee-Thorp J. 2009. Using Carbon Isotopes to Track Dietary Change in Modern, Historical, and Ancient Primates. *American Journal of Physical Anthropology* 140 (4): 661-670.
- Srinivas S, Dhelaria R, Pai D, Black F, Cooper R. 2007. Multiple calcified pulmonary nodules: an unusual presentation of rheumatoid lung. *Clinical Radiology* 62 (3):274-276.
- Stallibrass S. 1982. The use of cement layers for absolute ageing of mammalian teeth: a selective review of the literature, with suggestions for future research and alternative applications. In: Wilson B, Grigson C, Payne S. *Ageing and Sexing Animal Bones from Archaeological Sites*. Oxford: BAR British Series.
- Stamp TBC, Round JM. 1974. Seasonal changes in human plasma levels of 25-hydroxyvitamin D. *Nature* 247:563-565.
- Steckel RH. 1995. Stature and the Standard of Living. *Journal of Economic Literature* 33 (4):1903-1940.
- Steckel RH. 1999. Industrialization and health in historical perspective. NBER Working paper series on historical factors in long run growth Historical paper 118.
- Steckel RH. 2002. Health and Nutrition in the Pre-Industrial Era: Insights from a Millennium of Average. *Living Standards in the Past: New Perspectives on Well-being: NBR Working Paper*.
- Steckel RH. 2004. New Light on the "Dark Ages". *Social Science History* 28 (2):211-229.
- Steckel RH. 2005. Young adult mortality following severe physiological stress in childhood: Skeletal evidence. *Economics and Human Biology* 3 (2):314-328.
- Steckel RH. 2009. Heights and human welfare: Recent developments and new directions. *Explorations in Economic History* 46:1–23.
- Steckel RH, Sciulli PW, Rose JC. 2002. A Health Index from Skeletal Remains. In: Steckel RH, Rose JC. *The backbone of history Health and Nutrition in the Western Hemisphere*.
- Steele KW, Daniel RM. 1978. Fractionation of nitrogen isotopes by animals: a further complication to the use of variations in the natural abundance of ^{15}N for tracer studies. *Journal of Agricultural Science* 90:7-9.
- Stegmüller W. 1980. Hypothese. *Handbuch wissenschaftstheoretischer Begriffe*. Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht. S. 284-287.
- Stein F. 1967. *Adelsgräber des 8. Jahrhunderts in Deutschland*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Steinhour WD, Stokes MR, Clark JH, Rogers JA, Davis CL, Nelson DR. 1982. Estimation of the proportion of non-ammonia-nitrogen reaching the lower gut of the ruminant derived from bacterial and protozoal nitrogen. *British Journal of Nutrition* 48:417-431.
- Steinlechner M, Berger B, Niederstätter H, Parson W. 2002. Rare failures in the amelogenin sex test. *International Journal of Legal Medicine* 116 (2):117-120.
- Steuer H. 1988. Zur Berechnung von Bevölkerungsgröße und Bevölkerungsentwicklung in einer Siedlungslandschaft der Merowingerzeit. *Saeculum* 39:119-126.
- Steuer H. 2001. *Krieger und Bauern - Bauernkrieger. Die Alamannen*. Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg: Theiss. S. 275-287.
- Steuer H. 2004. Adelsgräber, Hofgrablagen und Grabraub um 700 im östlichen Merowingerreich – Widerspiegelung eines gesellschaftlichen Umbruchs. In: Nuber UH. *Der Südwesten im 8. Jahrhundert aus historischer und archäologischer Sicht: Thorbecke*. S. 193-217.
- Steyn M, Pretorius E, Hutten L. 2004. Geometric morphometric Analysis of the greater sciatic notch in South Africans. *Homo* 54 (3):197-206.
- Stirland AJ. 1993. Asymetry and activity-related change in the male humerus. *International Journal of Osteoarchaeology* 3:105-113.
- Stirland AJ. 1998. Musculoskeletal evidence for activity: problems of evaluation. *International Journal of Osteoarchaeology; Special Issue: Stress Marker* 8 (5):354-362.
- Stloukal M. 1970. Spondylosehäufigkeit bei mittelalterlichen Populationen. *Homo* 21:46-53.
- Stloukal M, Vyhnanek L. 1975. Die Arthrose der großen Gelenke. *Homo* 26: 121-136.
- Stork I. 2001. *Friedhof und Dorf, Herrenhof und Adelsgrab. Die Alamannen*. Stuttgart: Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg, Theiss. S. 290-310.

- Störmer W. 1972. Adelsgruppen im früh- und hochmittelalterlichen Bayern, (Studien zur bayerischen Verfassungs- und Sozialgeschichte 4): Kommission für bayerische Landesgeschichte bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Verlag Michael Laßleben, Kallmünz.
- Störmer W. 2002. Die Bajuwaren. Von der Völkerwanderung bis Tassilo III. München: C.H. Beck.
- Stott GG, Sis RF, Levy BM. 1982. Cemental annulation as an age criterion in forensic dentistry. *Journal of Dental Research* 61:814-817.
- Strott N. 2006. Paläodemographie frühmittelalterlicher Bevölkerungen Altbaierens - Diachrone und allopatrische Trends. München: Dissertation.
- Strott N, Czermak A, Grupe G. 2008. Are there biological correlates to social stratification? Investigation of early medieval separated burial grounds in Bavaria. *Documenta Archaeobiologiae* 5:68-86.
- Stülzembach A. 1998. Vampir- und Wiedergängerserscheinungen aus volkskundlicher und archäologischer Sicht. *Archäologie online (Concilium medii aevi)*; <http://cma.gbv.de/dr,cma,001,1998,a,06.pdf>. Stand 04/2010.
- Stutz AJ. 2002. Polarizing Microscopy Identification of Chemical Diagenesis in Archaeological Cementum. *Journal of Archaeological Science* 29:1327-1347.
- Suhr G, Fehr H. 2007. Goldohring und Bajuwarenschwert. Bruckmühl am Ende der Merowingerzeit. Markt Bruckmühl.
- Sullivan KM, Mannucci A, Kimpton CP, Gill P. 1993. A rapid DNA sex test: fluorescence-based PCR analysis of X-Y homologous gene amelogenin. *Biotechniques* 15 (4):640-641.
- Szilvássy J. 1988. Altersdiagnose am Skelett. Knußmann R (Hrsg): *Anthropologie Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen, Band I: Allgemeine Anthropologie, Teil 1*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. S. 421-435.
- Tacitus. *Germania*.
- Tadman M. 2000. The demographic cost of sugar: debates on slave societies and natural increase in the Americas. *American Historical Review* 105 (5):1534-1575.
- Tainter JA. 1980. Behavior and Status in a Middle Woodland Mortuary Population from the Illinois Valley. *American Antiquity* 45 (2):308-313.
- Tatarek NE. 2006. Geographic height variation among Ohio caucasian male convicts born 1780-1849. *Economics and Human Biology* 4 (2):222-236.
- Theune-Großkopf B. 2001. Der lange Weg zum Kirchhof. Die Alamannen: Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg, Theiss. S. 471-490.
- Thomas MG, Skorecki K, Ben-Ami H, Parfitt T, Bradman N, Goldstein DB. 1998. Origins of Old Testament priests. *Nature* 394: 138-40.
- Tricca A, Stille P, Steinmann M, Kiefel B, Samuel J, Eikenberg J. 1999. Rare elements and Sr and Nd isotopic compositions of dissolved and suspended loads from small river systems in the Vosges Mountains (France), the river Rhine, and groundwater. *Chemical Geology* 160 (1-2):139-158.
- Trinkaus E, Churchill SE, Ruff CB. 1994. Postcranial robusticity in Homo, II: Humeral bilateral asymmetry and bone plasticity. *American Journal of Physical Anthropology* 93:1-34.
- Tütken T, Vennemann TW, Pfretschner HU. 2004. Analyse stabiler und radiogener Isotope in archäologischem Knochenmaterial: Herkunftsbestimmung des karolingischen Maultiers von Frankental und Vergleich mit spätpleistozänen Großsäugerknochen aus den Rheinablagerungen. *Prähistorische Zeitschrift* 79:89-110.
- Tyrrell AR, Reilly T, Troup JDG. 1985. Circadian Variation in Stature and the Effects of Spinal Loading. *Spine* 10 (2):161-116.
- Umbarger HE. 1978. Amino Acid Biosynthesis and its Regulation. *Annual Review of Biochemistry* 47:533-606.
- UN. 1955. Age and Sex patterns of mortality. Model life tables for under-developed countries. New York.
- van Klinken GJ. 1999. Bone Collagen Quality Indicators for Palaeodietary and Radiocarbon Measurements. *Journal of Archaeological Science* 26:687-695.
- van Klinken GJ, Richards MP, Hedges REM. 2002. Advances in Archaeological and Museum Science. In: Aitken M, Sayre EV, Taylor RE, Tykot R. *Biogeochemical Approaches to Paleodietary Analysis*: Springer.
- van Saase JL, van Romunde LK, Cats A, Vandenbroucke JP, Valkenburg HA. 1989. Epidemiology of osteoarthritis: Zoetermeer survey. Comparison of radiological osteoarthritis in a Dutch population with that in 10 other populations. *Annals of the Rheumatic Diseases* 48 (4):271-280.
- van Winter JM. 1985. Kochen und Essen im Mittelalter. In: Herrmann B. *Mensch und Umwelt im Mittelalter*. Köln: Komet. S. 85-97.
- Vanderklift MA, Ponsard S. 2002. Sources of variation in consumer-diet $\delta^{15}\text{N}$ enrichment: a meta-analysis. *Oecologia* 136 (2):169-182.
- Vieth R. 2006. Critique of the Considerations for Establishing the Tolerable Upper Intake Level for Vitamin D: Critical Need for Revision Upwards. *Journal of Nutrition* 136:1117-1122.
- Voerkelius S, Lorenz GD, Rummel S, Quézel CR, Heiss G, Ueckermann H. 2010. Strontium isotopic signatures of natural mineral waters, the reference to a simple geological map and its potential for authentication of food. *Food Chemistry* 118 (4):933-940.
- Vohberger M. 2011. Lokal oder eingewandert? Interpretationsmöglichkeiten und Grenzen lokaler Strontium- und Sauerstoffisotopensignaturen am Beispiel einer Altgrabung in Wenigumstadt. München: Dissertation.
- von den Driesch A, Boessneck J. 1988. Haustierhaltung, Jagd und Fischfang. In: Dannheimer H, Dopsch H. *Die Bajuwaren. Rosenheim, Mattsee: Katalog zur gemeinsamen Landesausstellung des Freistaates Bayern und des Landes Salzburg*. S. 198-207.
- Wada K, Ohtaishi N, Hachiya N. 1978. Determination of age in the Japanese monkey from growth layers in the dental cementum. *Primates* 19:775-784.

- Wahl J. 1981. Ein Beitrag zur metrischen Geschlechtsdiagnose verbrannter und unverbrannter menschlicher Knochenreste - ausgearbeitet an der pars petrosa ossis temporalis. Zeitschrift für Rechtsmedizin 86:79-101.
- Wahl J. 2007. Karies, Kampf & Schädelkult. Stuttgart: Theiss Verlag.
- Wahl J, Graw M. 2001. Metric Sex differentiation of the pars petrosa ossis temporalis. International Journal of Legal Medicine 114:215-223.
- Wahl J, Wittwer-Backofen, U., Kunter, M. 2001. Zwischen Masse und Klasse. Die Alamannen. Archäologisches Landesmuseum Baden Württemberg: Theiss. S. 337-348.
- Waldeyer AJ. 2002. Anatomie des Menschen (17. Auflage): de Gruyter.
- Waldron T. 1994. Counting the Dead: The Epidemiology of Skeletal Populations: Chichester: John Wiley & Sons.
- Warinner Ch, Tuross N. 2010. Brief Communication: Tissue Isotopic Enrichment Associated With Growth Depression in a Pig: Implications for Archaeology and Ecology. American Journal of Physical Anthropology 141 (3): 486-493.
- Waters-Rist L, Katzenberg A. 2010. The effect of growth on stable nitrogen isotope ratios in subadult bone collagen. International Journal of Osteoarchaeology 20 (2):172-191.
- Webb AR, Kline L, Holick MF. 1988. Influence of season and latitude on the cutaneous synthesis of vitamin D₃: exposure to winter sunlight in Boston and Edmonton will not promote vitamin D₃ synthesis in human skin. Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism 67:373-378.
- Webb AR, Kuh D, Pajak A, Kubinova R. 2008. Estimation of secular trends in adult height, and childhood socioeconomic circumstances in three Eastern European populations. Economics and Human Biology 6:228-236.
- Weber J, Czarnetzki A. 2001. Brief Communication: Neurotraumatological Aspects of Head Injuries Resulting from Sharp and Blunt Force in the Early Medieval Period of Southwestern Germany. American Journal of Physical Anthropology 114 (4):352-356.
- Wedel VL. 2007. Determination of Season at Death Using Dental Cementum Increment Analysis. Journal of Forensic Science 52 (6):1334-1337.
- Weiss KM. 1973. Demographic models for Anthropology. Memoirs of the Society for American Archaeology 27:1-86.
- White CD, Schwarcz HP. 1989. Ancient Maya diet: as inferred from isotopic and elemental analysis of human bone. Journal of Archaeological Science 16 (5):451-474.
- White CD, Spence MW, Stuart-Williams HL, Schwarcz HP. 1998. Oxygen Isotopes and the Identification of Geographical Origins: The Valley of Oaxaca versus the Valley of Mexico. Journal of Archaeological Science 25 (7):643-655.
- White TD. 2000. Human Osteology, 2nd edition. San Diego: Academic Press.
- WHO. 1991. Energy and protein requirements: World Health Organization Technical Report Series 724.
- WHO/FHO. 1991. Protein Quality Evaluation. Genf.
- Wiechmann I, Grupe G. 2005. Detection of *Yersinia pestis* DNA in two early medieval skeletal finds from Aschheim (Upper Bavaria, 6th century A.D.). American Journal of Physical Anthropology 126 (1):48-55.
- Wilczak CA. 1998. Consideration of sexual dimorphism, age, and asymmetry in quantitative measurements of muscle insertion sites. International Journal of Osteoarchaeology; Special Issue: Stress Marker 8 (5):311-325.
- Wilkie AOM. 1997. Craniosynostosis: genes and mechanisms. Human Molecular Genetics 6 (10):1647-1656.
- Winckler K. 2010. Mensch und Gebirge im Frühmittelalter: Die Alpen im Vergleich. Wien: Dissertation.
- Winner WE, Thomas SC, Berry JA, Bond BJ, Cooper CE, Phillips N, Williams M. 2004. Canopy Carbon Gain and Water Use: Analysis of Old-growth Conifers in the Pacific Northwest. Ecosystems 7 (5):482-497.
- Witt AN, Rettig H, Schlegel KF. 1987. Orthopädie in Praxis und Klinik. Stuttgart: Thieme.
- Wittwer-Backofen U. 1991. Nekropole und Siedlung. Möglichkeiten und Grenzen der Rekonstruktion prähistorischer Bevölkerungsstrukturen. Mitteilungen der Berliner Gesellschaft für Anthropologie, Ethnologie und Urgeschichte 12:31-37.
- Wittwer-Backofen U, Buba H. 2002. Age estimation by tooth cementum annulation: perspectives of a new validation study. In: Hoppa RD, Vaupel JW. Paleodemography Age distributions from skeletal samples Cambridge studies in biological and evolutionary anthropology: Cambridge University Press. S. 107-128.
- Wittwer-Backofen U, Gampe J, Vaupel JW. 2004. Tooth Cementum Annulation for age estimation: results from a large known-age validation study. American Journal of Physical Anthropology 123:119-129.
- Wolff J. 1870. Über die innere Architektur der Knochen und ihre Bedeutung für die Frage vom Knochenwachstum. Virchows Archiv für Pathologische Anatomie und Physiologie 50:389-453.
- Wood JW, Milner GR, Harpending HC, Weiss KM. 1992. The Osteological Paradox. Problems of inferring Prehistoric Health from Skeletal Samples. Current Anthropology 33 (4):343-370.
- Wortmann RL. 2002. Gout and hyperuricemia. Rheumatology 14 (3):281-286.
- 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 16 (9):1159-1170.
- Wurm H. 1982. Über die Schwankungen der durchschnittlichen Körperhöhe im Verlauf der deutschen Geschichte und die Einflüsse des Eiweißgehaltes der Kost. Homo 33: 21-36.
- Wurm H. 1986. Körpergröße und Ernährung der Deutschen im Mittelalter. In: Herrmann B. Mensch und Umwelt im Mittelalter. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt. S. 101-107.
- www.datenmatrix.de/projekte/hdbg/kloster/html-data/geschichte_ks0405.php. 2008.
- www.gbe-bund.de. 2007. Gesundheitsberichterstattung des Bundes.
- www.geodaten.bayern.de. 2008. BayernViewer. Bayerische Vermessungsverwaltung.

- www.kloster-benediktbeuern.de. 2008.
- www.lfu.bayern.de. 1997. www.lfu.bayern.de/natur/fachinformationen/absp_lkr/doc/wm_1_2.pdf. Geschichtliche Entwicklung der Landnutzung
- www.weltkarte.com/europa/deutschlandkarten. 2008. Landkarte Deutschland, Topographische Karte.
- Zander HA, Hürzeler B. 1958. Continuous cementum apposition. *Journal of Dental Research* 37 (6):1035-1044.
- Zazzo A, Balasse M, Passey B, Moloney A, Monahan F, Schmidt O. 2008. The isotope record of short- and longterm dietary changes in sheep tooth enamel: Implications for quantitative reconstruction of paleodiets. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74 (12): 3571-3586.
- Zeller K. 1988. Bestattungsformen und Beigabensitten. In: Dannheimer H, Dopsch, H. Die Bajuwaren. Rosenheim, Mattsee: Katalog zur gemeinsamen Landesausstellung des Freistaates Bayern und des Landes Salzburg. S. 229-236.
- Zink A, Sola C, Reischl U, Grabner W, Nerlich AG. 2003. Characterization of *Mycobacterium tuberculosis* Complex DNAs from Egyptian Mummies by Spoligotyping. *Journal of Clinical Microbiology* 41 (1):359-367.
- Zink A, Grabner W, Nerlich AG. 2005. Molecular Identification of Human Tuberculosis in Recent and Historic Bone Tissue Samples: The Role of Molecular Techniques for the Study of Historic Tuberculosis. *American Journal of Physical Anthropology* 126 (1):32-47.
- Zoege v. Manteufel C. 1983. Skelette erzählen..., Menschen des frühen Mittelalters im Spiegel der Anthropologie und Medizin: Eine Ausstellung des württembergischen Landesmuseums Stuttgart.
- Zumwalt A. 2006. The effect of endurance exercise on the morphology of muscle attachment sites. *The Journal of Experimental Biology* 209:444-454.

Inhaltsverzeichnis Anhang

1	Ergänzende Einführung und Methoden	212
1.1	Zahnapparat und Zähne.....	212
1.1.1	Aufbau des Zahnapparates	212
1.1.2	Aufbau des Zahness	212
1.1.3	Zahnentstehung	214
1.2	Knochen und Knorpel.....	215
1.2.1	Knorpel	215
1.2.2	Knochen	216
	<i>Knochenwachstum</i>	216
	<i>Aufbau des Knochens</i>	217
	<i>Physiologie des Knochens</i>	220
1.3	Bewegungsapparat	221
	<i>Wirbelsäule</i>	221
	<i>Gelenke</i>	226
1.4	Pathologie am Skelett	235
1.4.1	Pathologische Veränderungen	235
	<i>Pathologische Veränderungen der Gelenke</i>	235
	<i>Pathologische Veränderungen der Wirbelsäule</i>	235
1.4.2	Degenerative Veränderungen	236
	<i>Gelenksarthrosen (Arthrosis deformans)</i>	237
	<i>Spondylose (Spondylosis deformans)</i>	237
	<i>Spondylarthrose (Spondylarthrosis deformans)</i>	238
1.4.3	Traumata	239
1.5	Rekonstruktion der Ernährung	240
1.5.1	Kohlenstoff und Stickstoff Isotope	240
	<i>Kohlenstoff</i>	240
	<i>Stickstoff</i>	241
1.5.2	Rekonstruktion der allgemeinen Nahrungsquellen.....	242
1.5.3	Aminosäureanalyse (ASA) zur Qualitätskontrolle des Kollagens.....	244
1.6	Herkunftsrekonstruktion (Sr- und O-Isotopen-Analysen)	245
1.6.1	Sauerstoff	245
1.6.2	Strontium	246
1.7	Statistische Datenauswertung.....	248
1.7.1	Deskriptive Statistik	248
1.7.2	Mittelwertvergleich oder Verteilungen von zwei oder mehreren Gruppen.....	248
1.7.3	Korrelationen von metrischen und nicht-metrischen Daten.....	249
1.7.4	Auswertung von Boxplots und Bestimmung von „Ausreißern“	250
1.8	Literatur Anhang.....	252
2	Ergänzendes Datenmaterial.....	256
2.1	Befundbogen.....	256
2.2	Einzelergebnisse	257
2.2.1	Einzelzählergebnisse der Zahndünnschnitte mit Hilfe des TCA-Programmes.....	257
2.2.2	Liste der Gesamtdaten	257
2.2.3	Katalog der ausgewerteten Bestattungsplätze.....	257
2.2.4	Liste der untersuchten Tierknochen	265
2.2.5	Sterbetafeln	266
2.2.6	Ergebnisse der Aminosäureanalyse (Separatgrablege Etting)	268
	<i>Einzelergebnisse der ASA (Czermak 2003)</i>	268
	<i>Vergleich der Mittelwerte der ASA mit rezentem Kollagen (Czermak 2003)</i>	270
	Lebenslauf.....	271
	Publikationen.....	272
	Zeitplan der Arbeit.....	274
	Danksagung	276
	Erklärung.....	277

1 Ergänzende Einführung und Methoden

Knochen und Zähne bilden hier das Untersuchungsmaterial. Es wurde versucht, mit makro- und mikromorphologischen, sowie molekularbiologischen Methoden die Lebensumstände der untersuchten Populationen zu rekonstruieren.

1.1 Zahnapparat und Zähne

Das Sterbealter kann anhand der Zähne sowohl bei erwachsenen als auch bei subadulten Individuen bestimmt werden. Bei Kindern und Jugendlichen durch Bestimmung des Zahndurchbruches, bei Erwachsenen durch das Zählen der Zuwachsringe im Zahnzement. Der Zahnschmelz wird bei Strontium-Isotopenanalysen zur Herkunftsbestimmung verwendet.

1.1.1 Aufbau des Zahnapparates

Das menschliche Dauergebiss besteht aus 32 bleibenden Zähnen, jeder Quadrant eines Kiefers enthält 8 Zähne:

2 Schneidezähne (*Incisivi*), 1 Eckzahn (*Caninus*), 2 Vorbackenzähne (*Praemolares*) und 3 Mahlzähne (*Molares*) (Tab. 1.1).

Das menschliche Milchgebiss besteht aus 20 Zähnen, jeder Quadrant eines Kiefers enthält 5 Zähne:

2 Incisivi, 1 Caninus und 2 Molares (Tab. 1.2).

Die Milchzähne werden durch 20 Dauerzähne ersetzt und durch 3 bleibende Molaren ergänzt (Zuwachszähne) (Schroeder 2001).

	R								L							
	(18)	17	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	27	(28)
Oberkiefer	(48)	47	46	45	44	43	42	41	31	32	33	34	35	36	37	(38)
Unterkiefer	(M ₃)	M ₂	M ₁	P ₂	P ₁	C	I ₂	I ₁	I ₁	I ₂	C	P ₁	P ₂	M ₁	M ₂	(M ₃)

Tab 1.1: Zahnschema der Dauerzähne

	R					L				
	57	56	53	52	51	61	62	23	66	67
Oberkiefer	87	86	83	82	81	71	72	73	76	77
Unterkiefer	m ₂	m ₁	c	i ₂	i ₁	i ₁	i ₂	c	m ₁	m ₂

Tab. 1.2: Zahnschema der Milchzähne

1.1.2 Aufbau des Zahness

Der Zahn besteht aus Zahnkrone (*Corona dentis*), Zahnhals (*Collum dentis*) und Zahnwurzel (*Radix dentis*). Außen befindet sich der Zahnschmelz (*Enamelum*), der das innen liegende Zahnbein (*Dentin*) bedeckt. Das Dentin umschließt das Zahnmark (*Pulpa*), im Wurzelbereich wird das Dentin von Zahnzement (*Cementum*) bedeckt. Eingebettet sind die Zähne in die Alveolaren des Kieferknochens (Abb. 1.1) (Schroeder 2001).

Zahnschmelz (*Enamelum*) ist die am stärksten mineralisierte und härteste Substanz des menschlichen Körpers. Er besteht zu 95 Prozent aus Hydroxylapatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$), das durch Fluoride in das härtere Fluorapatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F})$) umgewandelt werden kann. Durch Säuren können Calcium und Phosphat aus dem Zahnschmelz herausgelöst werden (Schroeder 2001).

Das unter dem Zahnschmelz liegende **Dentin** nimmt die Hauptmasse des Zahnes ein. Die Hartschubstanz des Dentins besteht zu zwei Dritteln aus Calcium und Phosphat, zu einem Drittel aus Proteinen und Wasser. Es ist daher weicher und anfälliger gegen Karies als Zahnschmelz. Das Dentin umschließt den inneren Teil des Zahns, die Pulpa, die von Blutgefäßen und Nervenfasern durchzogen wird, wodurch es auch schmerzempfindlich ist. Die dritte Zahnhartschubstanz, das **Zahnzement**, umschließend das Dentin der Zahnwurzel als dünne Schicht. Die äußere Schicht der Zahnwurzel ist Bestandteil des Zahnhalteapparates (Schroeder 2001).

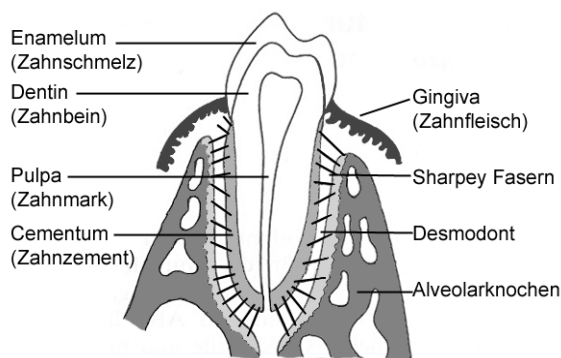


Abb. 1.1: Zahnaufbau (Längsschnitt durch Zahn und Kieferknochen) (Abbildung modifiziert nach Schroeder 2001).

Der **Zahnhalteapparat** (*Parodontium*) ist das funktionelle Verankerungssystem des Zahnes. Er besteht aus Zahnfleisch (*Gingiva*), Zahnzement (*Cementum*), Zahnfach (*Alveole*) und Wurzelhaut (*Desmodont* oder *Periodontium*). Die Fibroblasten des Desmodonts bilden Kollagen-Fasern (*Sharpey-Fasern*), die das Zahnzement mit der Alveole beweglich verbinden. Die Fasern übertragen die einwirkende Kraft auf den Knochen als Zugkraft. Zug bewirkt einen Aufbau beziehungsweise eine Verstärkung des Knochens, während Druck zu Knochenabbau und -schwund führt (Schroeder 2001).

Das **Desmodont** besteht aus Wurzelzement, den periodontalen Bändern, dem Zahnfleisch und dem alveolaren Knochen. Die periodontalen Bänder entstehen aus Fibroblasten des Zahnfollikels, die Kollagen absondern, welches mit den Fasern auf der Oberfläche der angrenzenden Knochen und des Wurzelzements interagiert. Bei der Entstehung von Wurzel und Wurzelzement bildet sich in deren Umgebung der alveolare Knochen, wobei die Osteoblasten aus dem Zahnfollikel stammen. Es entstehen Kollagen-Fasern in der Nähe des Zahns und die sich mit den periodontalen Bändern verbinden (nach Schroeder 2001).

Das **Zahnzement** verankert die Zahnwurzel im Kiefer. Es besteht etwa zu 40 Gewichtsprozent aus Hydroxyapatit und zu 60 % aus Kollagen und weiteren organischen Anteilen (Liebermann 1994). Die chemische Zusammensetzung des Minerals aus Hydroxyapatit mit geringen Anteilen an amorphem Kalzium-Phosphat entspricht dem anderer kalzifizierter Gewebe. Die Kristalle sind entlang der assoziierten Kollagenfibrillen ausgerichtet. Wie in anderen Hartgeweben ist das Zahnzement nicht chemisch rein und beinhaltet auch andere Elemente. Es ist von allen Zahnhartsubstanzen am wenigsten dicht mineralisiert und ähnelt somit in seiner Grundsubstanz dem Faserknochen. Die offenere Mineralstruktur erlaubt eine größere Kapazität für die Aufnahme von Fluoriden und anderen Elementen, aber auch ein leichtes Dekalzifizieren unter sauren pH-Bedingungen (Bosshardt & Selvig 1997).

Die **Zementbildung** beruht auf einer Mineralisation der zementalen Abschnitte (*Zementoid*) des Desmodonts. Die Zementoblasten bilden zunächst das Präzement, bestehend aus einer mukoproteinhaltigen Grundsubstanz und Kollagenfibrillen (*Sharpey-Fasern* oder *extrinsic fibers*). Durch Mineralisierung entsteht aus dem Präzement das Wurzelzement. Weichen die Zementoblasten während der Grundsubstanzbildung zurück, so entsteht *azelluläres Fremdfaserzement* (AEFZ). Werden die Zementoblasten während der Grundsubstanzbildung von dieser eingeschlossen, dann wandeln sich die Zementoblasten in Zementozyten um (*zelluläres Gemischfaserzement* CMSC). Zement, das nach der Zahnentwicklung gebildet wird, wird auch als sekundäres Zement bezeichnet (Schroeder 2001). Insgesamt werden fünf Zementarten morphologisch und funktionell voneinander unterschieden (Tab. 1.3).

Während Knochengewebe am Metabolismus des Körpers teilnimmt und ein Reservoir für Kalzium und andere Elemente bildet, das der Körper bei Bedarf in Anspruch nehmen kann, ist das Zahnzement davon weitgehend ausgenommen (Bosshardt & Selvig 1997). Da keine der Zementarten regelmäßig erneuert wird, finden dynamische Änderungen durch die neue Verankerung der Sharpey-Fasern statt. Im Bereich des **azellulären Fremdfaserzementes** (AEFC, zervikaler bis mittlerer Wurzelabschnitt) wird dies von der Entstehung neuer Zementschichten begleitet. Die altersbedingte Dickenzunahme dieser Zementart ist morphologischer Ausdruck für die Dynamik der Verankerungseinrichtung. Im Bereich des

zellulären Gemischtfaserzementes (CMSC, apikaler Wurzelabschnitt) kann die Zementdicke rasch zunehmen. Die Funktionen des zellulären Eigenfaserzementes (CIFC) in diesem Bereich sind kompensatorische Anpassung der Zahnwurzel an die Alveole, die Verlängerung der Zahnwurzel und Reparaturen. Der im Querschnitt lamellenartige Aufbau des Zements („Zahnzementringe“) entsteht vermutlich durch die schubweise Bildung und nachfolgende unterschiedliche Mineralisation der einzelnen Schichten (nach Schroeder 2001, siehe auch Kap. 6.3.3 Entstehung der Zahnzementringe).

Zementart	Abkürzung	Organische Komponenten	Lokalisation	Funktion
Azelluläres, afibrilläres Zement	AAC	Homogene Matrix, keine Zellen, keine Fasern	Schmelz-Zement-Grenze, auf dem Schmelz	unbekannt
Azelluläres Fremdfaserzement	AEFC	Kollagen-Fibrillen (Sharpey'sche Fasern), keine Zellen	Zervikaler bis mittlerer Wurzelabschnitt	Verankerung der Sharpeyschen Fasern
Zelluläres Eigenfaserzement	CIFC	Kollagen-Eigenfasern, Zementozyten	Apikale und interrädikuläre Wurzeloberflächen, Resorptionslakunen, Frakturspalten	Adaption, Reparatur
Azelluläres Eigenfaserzement	AIFC	Kollagen-Eigenfasern, keine Zellen	Apikale und interrädikuläre Wurzeloberflächen	Adaption
Zelluläres Gemischtfaserzement (AEFC + CIFC/AIFC)	CMSC	Kollagen-Eigenfasern, Sharpey'sche Fasern, Zementozyten	Apikales und mittleres Wurzeltrittel, interrädikuläre Wurzeloberflächen	Adaption, Zahnverankerung

Tab. 1.3: Zementarten nach Schroeder 2001.

1.1.3 Zahnentstehung

Am Fortschritt der Zahnentwicklung kann bei Feten und Kleinkindern das Alter bestimmt werden. Während der Zahnentstehung werden Mineralien und somit zahlreiche Elemente in das Zahnhartgewebe eingelagert.

Die ontogenetische Entwicklung der Zähne ist ein komplexer Prozess, bei dem Zähne aus embryonalen Zellen entstehen, wachsen und im Mund hervortreten. Zähne entstehen aus dem Ektoderm, Zahnpulpa und Zahnhalteapparat aus Mesenchym. Bei der Entwicklung der Zähne unterscheidet man folgende Stadien: Knospe, Kappe, Glocke und die Reife.

Die **Zahnknospe** ist die erste Anlage eines Zahns, bestehend aus Zahnschmelz-Organ, *Zahnpapille* und *Zahnfollikel*. Die Zellen des Zahnschmelz-Organ differenzieren sich zu Ameloblasten, die den Schmelzübergang über das Dentin produzieren. Dessen zervikale Zellen bilden die „Hertwig'sche Epithelscheide“ aus, welche die spätere Form der Zahnwurzel bedingt. Die *Zahnpapille* enthält Zellen, die sich zu dentinbildenden Odontoblasten entwickeln. Die Verbindung zwischen Papille und innerem Epithel bestimmt die Form der Zahnkrone. Mesenchymale Zellen in der Papille sind verantwortlich für die Bildung der Pulpa. Der *Zahnfollikel* erzeugt Zementoblasten, Osteoblasten und Fibroblasten. Zementoblasten bilden das Wurzelzement, Osteoblasten die Alveole rund um die Zahnwurzel und Fibroblasten die periodontalen Bänder (Sharpey-Fasern), die den Zahn durch den Wurzelzement mit den Alveolen verbinden.

Im **Kappenstadium** wird die Zahnpapille gebildet. Zu diesem Zeitpunkt nimmt die Zahnknospe die Form einer Kappe an. Zahnschmelzorgan und Papille beginnen Zahnschmelz und Dentin zu produzieren. Im **Glockenstadium** findet eine weitere Differenzierung statt. Die Krone nimmt während dieses Stadiums ihre Form an.

Dentin, Zahnschmelz und Zahnzement entwickeln sich im **Kronen- oder Reifestadium** weiter. Die Bildung von **Dentin** (*Dentinogenese*) ist das erste erkennbare Merkmal im Kronenstadium. Die Dentin bildenden Odontoblasten sondern eine organische Matrix rund um die zukünftige Krone des Zahnes ab. Die Bildung von **Zahnschmelz** (*Amelogenese*), findet nach der Entstehung von Dentin in zwei Phasen statt. In der sekretorischen Phase wird ein teilweise mineralisierter Zahnschmelz gebildet, dessen Mineralisierung in der Reifephase abgeschlossen wird. **Zahnzement** wird zu einem späten Zeitpunkt in der

Zahnentwicklung gebildet (*Zementogenese*). Das azelluläre Zement bildet sich zuerst. Die Zementoblasten bewegen sich vom Zahn weg und lagern auf ihrem Weg Kollagen (Typ I) ab. Bei beginnender Mineralisation entfernen sich die Zementoblasten vom Wurzelzement und die zurückbleibenden Fasern verbinden sich mit den periodontalen Bändern. Zelluläres Wurzelzement entsteht, wenn die Zahnbildung fast abgeschlossen ist. Er bildet sich rund um die Faserbündel der periodontalen Bänder. Die Zementoblasten werden in dem von ihnen produzierten Wurzelzement eingeschlossen.

Während des **Zahndurchbruchs** wird der sich entwickelnde Zahn aus dem Kieferknochen in die *Okklusionsebene* der Mundhöhle bewegt. Entwicklung und Durchbruch sind auf das allgemeine Körperwachstum und die entsprechenden Größenverhältnisse des Kiefers und des Gesichtsschädels abgestimmt. Der Durchbruch erfolgt in Schüben, unterbrochen von Ruhephasen. Der Durchbruch der Milchzähne erfolgt zwischen dem dritten und neununddreißigsten Lebensmonat, in der Regel von anterior nach posterior. Die Zähne des Milchgebisses benötigen bis zur vollständigen Entwicklung zwei bis vier Jahre und tragen etwa vier Jahre lang die Kaubelastung alleine. Vom sechsten bis vierzehnten Lebensjahr wird das Milchgebiss durch bleibende Zähne ersetzt. Die Entwicklung der Dauerzähne beginnt bereits während Entwicklung und Funktion der Milchzähne. Weisheitszähne, sofern vorhanden, schließen die Dentition zwischen dem sechzehnten und vierzigstem Lebensjahr ab. Dem Durchbruch der Dauerzähne gehen die Resorption der Milchzahnwurzeln und der Verlust der Milchzahnkrone voraus. Die Resorptionsvorgänge der Zahnwurzeln beginnen unmittelbar nach Abschluss ihrer Bildung. Der Auflösung der Milchzahnwurzeln geht dabei immer die Auflösung des umgebenden Alveolarknochens und des Zahnhalteapparats voraus (nach Schroeder 2001). Der beobachtbare Durchbruch eines Zahnes durch die Epitheldecke der Mundschleimhaut repräsentiert nur einen kurzen Abschnitt des gesamten Ablaufes der Dentition. Im Weiteren wird dieser Vorgang aber zur Vereinfachung als „Zahndurchbruch“ bezeichnet.

1.2 Knochen und Knorpel

1.2.1 Knorpel

Knorpel ist ein aus Zellen bestehendes, druck- und biegungselastisches, gefäßloses Stützgewebe. In der Entwicklung bildet er größtenteils die Anlage des knöchernen Skeletts. Knorpelgewebe ist beim Erwachsenen frei von Gefäßen und Nerven. Die Ernährung der Zellen erfolgt daher über Diffusion, entweder über das Perichondrium, welches den hyalinen und elastischen Knorpel als Knorpelhaut überzieht, oder beim hyalinen Gelenkknorpel über die Synovialflüssigkeit des Gelenkspaltes. Hauptbestandteil der Synovia ist **Hyaluronsäure**. Diese Polysaccharidkette kann Wasser aufgrund ihrer nach außen gerichteten hydrophilen Carboxylatgruppen bis zum 10 000 fachen ihres Eigenvolumens gelartig binden (Koolman 1998). Dadurch wird die Synovia, wie Wasser, praktisch nicht komprimierbar. Die Viskosität der Synovia kann sich durch mechanische Kräfte verändern. Sie nimmt ab, je stärker die Scherkräfte werden. Durch diese thixotrope Eigenschaft wird am Anfang einer Bewegung, wenn noch starke Druckkräfte auf das Gelenk wirken, die Belastung durch die hohe Viskosität gedämpft. Wenn aber schnelle Scherbewegung nötig ist (z.B. beim Laufen), wird die Viskosität der Hyaluronsäure herabgesetzt und so die Reibung verringert (Horn et al. 2002).

Es existieren drei Knorpelzelltypen: *Chondroblasten*, *Chondrozyten*, und *Chondroklasten*.

Chondroblasten bilden die Vorläuferzellen der Chondrozyten. Sie stammen von mesenchymalen Stammzellen ab und stellen die aktive Form der Knorpelzelle dar, da sie alle Komponenten der Knorpelmatrix synthetisieren können. Nach Einstellen dieser Synthesefunktion differenzieren sie zu Chondrozyten, den eigentlichen Knorpelzellen.

Chondrozyten können sich im unausgereiften Zustand noch teilen, was zum charakteristischen Auftreten von Chondronen führen kann. Als *Chondron* („Knorpelsäule“) wird die Einheit aus meist säulenartig angeordneten Chondrozyten bezeichnet. Nach ihrer Ausdifferenzierung, verlieren die Chondrozyten ihre Fähigkeit zur Teilung. **Chondroklasten**

sind auf Knorpel spezialisierte Fresszellen. Sie spielen bei der Ossifikation eine wichtige Rolle (Rauber-Kopsch 1955).

Bei der **Knorpelentstehung** (*Chondrogenese*) vergrößern sich zunächst aus dem Mesenchym die dicht zusammen gelegenen Chondroblasten. Diese sondern dann eine chondro-mukoproteinreiche Matrix und Kollagen ab, die im Extrazellularraum abgelagert werden. Durch die Produktion dieser Substanzen rücken die Chondroblasten immer weiter auseinander. Gleichzeitig differenzieren sie zu Chondrozyten. Das Wachstum des Knorpels geschieht somit durch die Größenzunahme der Interzellulärsubstanz (*interstitielles Wachstum*). Dies tritt nur im Rahmen der Knorpelentstehung auf. Für weiteres Wachstum ist hauptsächlich das Anlagerungswachstum (*appositionelles Wachstum*) verantwortlich. Dabei kommt es auch zur Bildung der Knorpelhaut.

Die Interzellulärsubstanz des Knorpels besteht aus Proteoglykanen, Hyaluronsäure. Sie bestimmt mit der Art ihrer Zusammensetzung und ihrem Faseranteil die Art des Knorpelgewebes. **Hyaliner Knorpel** kommt als Gelenk-, Rippen-, und Nasenknorpel, in den Epiphysenfugen und im knorpelig präformierten Skelett vor. Im chondrozytenreichen hyalinen Knorpel finden sich schon frühzeitig Kalkeinlagerungen. Seine Gefäßarmut begünstigt, zusammen mit der oft hohen mechanischen Belastung, degenerative Prozesse. Im Gelenkknorpel fehlt das umgebende Perichondrium und damit auch die mesenchymalen Zellen, die zu Chondroblasten differenzieren können, so dass kaum Regeneration stattfinden kann. **Elastischer Knorpel** ist wie hyaliner Knorpel zellreich aufgebaut und zusätzlich von elastischen Fasernetzen durchzogen. Dadurch ist er stark druck- und biegeelastisch. Elastischer Knorpel kommt in der Ohrmuschel, dem äußeren Gehörgang, der Ohrtrumpete, dem Kehldeckel und den kleinen Bronchien vor. **Faserknorpel** enthält weniger Zellen und viele Kollagenfibrillen. Er befindet sich aufgrund seiner Elastizität an Stellen auf die starke Scherkräfte wirken, wie z.B. Bandscheiben, Schambein- und anderen Symphysen (Rauber-Kopsch 1955).

1.2.2 Knochen

Der Knochen stellt das Hauptuntersuchungsmaterial dar. Er wird sowohl makromorphologisch im Hinblick auf degenerative Veränderungen der Gelenke und der Wirbelsäule, als auch biochemisch mittels Isotopenanalysen aus Knochenkollagen untersucht. Knochen ist ein dynamisches Gewebe, dessen Form durch das Zusammenspiel genetischer Faktoren, Wachstum, Entwicklung und Gebrauch entsteht und das sich im ständigen Wandel befindet (Frost 1985).

Die Knochensubstanz besteht aus Knochenmatrix und Knochenzellen (*Osteozyten*). **Osteoblasten** entstehen aus embryonalem Bindegewebe (*Mesenchym*) und bilden das *Osteoid*, die Knochengrundsubstanz. Die Osteoblasten akkumulieren mit der Zeit Ionen, die extrazellulär kristallisieren (Hydroxylapatit). Dadurch wird der Knochen hart und stabil. Osteoblasten, die vollständig von Knochenmatrix umgeben sind, werden **Osteozyten** genannt.

Osteoklasten entwickeln sich aus dem Knochenmark und haben die Eigenschaften von Makrophagen. Ihre Aufgabe ist die Resorption von Knochensubstanz, die eng mit der nachfolgenden Neusynthese durch Osteoblasten verknüpft ist. Die Geweberemodellierung dient der Anpassung an Belastungen und dem Vorbeugen von Materialermüdungen. Die Osteoklastenaktivität wird hormonell gesteuert: Durch das Parathormon (Aktivierung > Kalziumfreisetzung), wobei die Aktivierung indirekt über Osteoblasten erfolgt und direkt durch Calcitonin (Inaktivierung > Kalziumspeicherung) (Jilka et al. 1992; Tsukii et al. 1998).

Knochenwachstum

Es gibt zwei Arten der Knochenentstehung. Bei der **desmalen Ossifikation** entsteht das Knochengewebe direkt aus dem Mesenchym (Bindegewebsknochen). Mesenchymzellen verdichten sich und differenzieren sich zu *Osteoblasten*, die Knochengrundsubstanz (*Osteoid*) aufbauen und diese anschließend mineralisieren. Die dadurch „eingemauerten“

Osteoblasten differenzieren zu *Osteozyten*. So entstehen Verknöcherungsiseln die sich vereinigen und so fertiges Knochengewebe bilden (z.B. Schädelknochen und Schlüsselbein). Bei der „Reparatur“ eines Knochenbruchs wird zunächst desmal neues Knochengewebe gebildet das später in Lamellenknochen umgewandelt wird (Felsenberg 2001). Bei einer **perichondralen Ossifikation** sondern sich von der Knorpelhaut Osteoblasten ab, die sich um den Knorpel legen. Dies findet an den Diaphysen der Langknochen statt und dient dem Dickenwachstum (*appositionelles Wachstum*) (Schultz 2001).

Bei der **chondralen Ossifikation** entsteht aus Mesenchymzellen zunächst Knorpel (*Primordialskelett*), der dann durch Knochen ersetzt wird (*Ersatzknochen*). Es gibt zwei Formen der chondralen Verknöcherung (Abb. 1.2): Während der **enchondralen Ossifikation** wachsen Blutgefäße in das Knorpelgewebe ein, in deren Begleitung sich Mesenchymzellen befinden. Diese differenzieren sich zu *Chondroklasten* (Knorpelabbau) und *Osteoblasten* (Knochenaufbau). Im Bereich der Epiphysenfugen kommt es durch ständigen Auf- und Abbau zu einem Längenwachstum (*interstitielles Wachstum*). Im Inneren des Knochens entsteht dabei ein Innenraum (Markraum). Der Verschluss der Epiphysenfugen ist gleichzeitig der Abschluss des Längenwachstums (Burr et al. 2002).

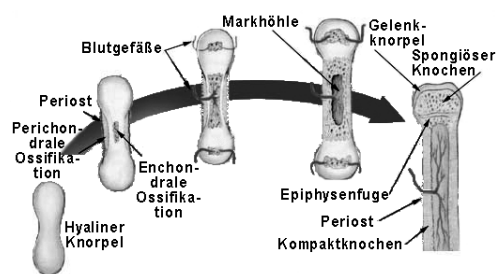


Abb. 1.2: Schematische Darstellung der chondralen Ossifikation. Bei der perichondralen Ossifikation sondert die Knorpelhaut Osteoblasten ab, die sich manschettenartig um die Diaphyse legen. Bei der enchondralen Ossifikation wachsen Blutgefäße in das Knorpelgewebe ein. Dort differenzieren die eingebrachten Mesenchymzellen zu Chondroklasten und Osteoblasten. (Abbildung modifiziert nach www.wikipedia.org/wiki/Ossifikation).

Aufbau des Knochens

Makrostruktureller Aufbau

Knochen werden anhand ihrer Form in Röhrenknochen, kurze, platte und irreguläre Knochen unterteilt. Zu den kurzen Knochen zählen Hand- und Fußwurzelknochen. Hirnschädel und Schulterblatt bestehen aus platten Knochen und die Knochen des Gesichtsschädels und der Wirbelsäule werden als „irreguläre“ Knochen bezeichnet (Schwegler 2002). Röhren- oder Langknochen bestehen aus zwei Enden (*Epiphysen*) und einem Knochenschaft (*Diaphyse*). Die Epiphysen beinhalten ein feines Geflecht von Knochenbälkchen (*Trabekeln*). Dieses Geflecht (*Spongiosa*) bildet ein engmaschig vernetztes Gerüst, wobei die meisten Bälkchen entlang der wichtigsten Belastungslinien (Spannungstrajektorien) des Knochens angeordnet sind. Zwischen den Trabekeln liegen Hohlräume mit Knochenmark, innerhalb der *Diaphyse* befindet sich die Markhöhle. Die mechanische Festigkeit der Diaphyse ist durch die Kompakta bedingt. Der gesamte Knochen ist, mit Ausnahme der knorpeligen Gelenkflächen von Knochenhaut überzogen (ausßen: *Periost*, innen: *Endost*) (Hackenbroch 2002; Martin et al. 1998; Schwegler 2002). Die Knochenhaut dient dem Schutz des Knochens, außerdem ist sie die Anheftungsstelle für Bänder und Sehnen (Schultz 2001).

Der ausgewachsene Knochen setzt sich histologisch aus zwei Knochenformen zusammen: Kompakta und Spongiosa (Abb. 1.3) (Felsenberg 2001). Die *Substantia compacta* erscheint als kontinuierliche Schicht (Martin et al. 1998), spongioser Knochen hingegen besteht aus vielen feinen Knochenbälkchen (Trabekeln), in deren Zwischenräumen sich das Knochenmark befindet (Martin et al. 1998; Parfitt 1983). Die Trabekel sind in Richtung der Hauptspannungslinien (*Trajektorien*) orientiert, entlang derer Druck- und Zugkräfte wirken (Grupe et al. 2005). Etwa 80% der Masse eines erwachsenen menschlichen Skelettes werden von kompaktem Knochen eingenommen (Parfitt 1983; Zoetis et al. 2003).

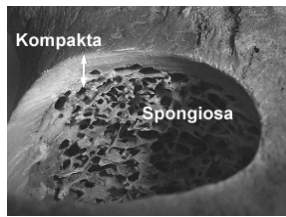


Abb. 1.3: Makrostruktureller Aufbau eines Knochens (Femur-Querschnitt).
(Abbildung mit freundlicher Genehmigung von S. Doppler).

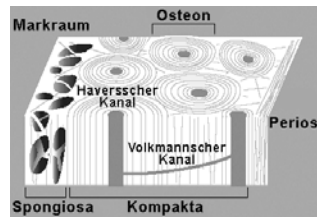


Abb. 1.4: Schematische Darstellung der Langknochenkompakta.
(Abbildung modifiziert nach Felsenberg 2001)

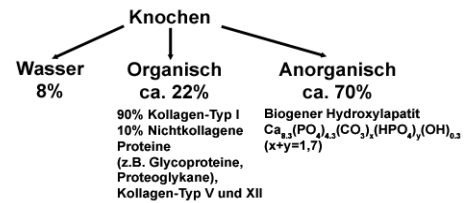


Abb. 1.5: Bestandteile von Knochen, in Gewichtsprozent (Doppler 2008).

Mikrostruktureller Aufbau

Die histologische Organisation der Kompakta unterscheidet sich von derjenigen der Spongiosa. Die charakteristische Struktureinheit von kompaktem Knochen ist das *sekundäre Osteon* (*Basic-Structural-Unit* „BSU“ oder Havers'sches System). Dabei handelt es sich um zylinderförmige Strukturen, bei denen Kollagenlamellen konzentrisch um einen Gefäßkanal, der Blutgefäße, Nerven, Lymphbahnen und Bindegewebe enthalten kann, angeordnet sind (Parfitt 1979; Parfitt 1983; Schultz 2001) (Abb. 1.4). In den Trabekeln der Spongiosa sind hingegen kaum Osteone zu finden, sondern parallel ausgerichtete lamelläre Strukturen (z.B. Parfitt 1994). Der Gefäßkanal wird als Havers'scher Kanal bezeichnet. Havers'sche Systeme verlaufen annähernd parallel zur Längsachse eines Knochens (Hert et al. 1994; Martin et al. 1998). Osteone sind im Wesentlichen entlang der Achse der hauptsächlichen Belastung eines Langknochens ausgerichtet (Hert et al. 1994). Havers'sche Kanäle können untereinander durch kurze, transvers verlaufende Volkmann'sche Kanäle verbunden sein, so dass sie ein Netzwerk bilden (Felsenberg 2001). Zwischen den einzelnen Osteon-Lamellen, ca. 5-20 pro Osteon (Grupe et al. 2005; Martin et al. 1998), liegen die Osteozyten in ihren Lakunen. Havers'sche Systeme sind neben der höheren Anzahl an konzentrischen Lamellen auch durch das Vorhandensein einer so genannten Zementlinie von primären Osteonen zu unterscheiden (Kerley 1965). Diese dient dazu, im Falle von Strukturermüdung, Mikrofrakturen vor einem Osteon zu stoppen bzw. ihre Ausbreitung zu verlangsamen (Martin et al. 1998). Zwischen den Osteonen findet sich, je nach Individualalter, ein höherer Anteil von parallel verlaufenden Generallamellen (Grundlamellen) oder Osteonfragmenten (Schaltlamellen). Osteonfragmente sind Reste der alten Osteonengeneration, die durch Knochenumbau (*remodeling*) von neuen Osteonen überlagert wurde (Herrmann et al. 1990).

Chemisch-Physikalische Zusammensetzung

Knochen besteht aus einem organischen, einem anorganischen Anteil und zu einem geringen Teil aus Wasser (Abb. 1.5). Der Wasseranteil macht 8% eines Knochens aus (Grupe et al. 2005; Wang & Puram 2004; Zoetis et al. 2003). Für die Funktion der Zellen und Versorgung mit Nährstoffen wird Feuchtigkeit im Gewebe benötigt (Boskey 1999). Der Anteil organischen Materials beträgt ca. 20% (Collins et al. 2002; Reiche et al. 2002), welches zu 90% aus Kollagen Typ I und zu 10% aus über 200 nicht-kollagenen Proteinen (NCPs) wie Glycoproteine und Proteoglycane, sowie Kollagen Typ V und VII besteht (Weiner & Wagner 1998). Etwa 70% (Gewichtsprozent) sind anorganisches Material (biogener Hydroxylapatit, Karbonathydroxylapatit). In Volumenprozent haben mineralische und kollagene Phase mit je etwa 40% einen annähernd gleichen Anteil. Der mineralische Anteil des Knochens ist für Festigkeit und Härte des Gewebes verantwortlich, die Qualität des kollagenen Anteils bestimmt die Elastizität und Flexibilität (Boskey 1999; Liebermann 1997; Wang & Puram 2004).

Organische Phase: Kollagen

Kollagenfasern machen den Knochen elastisch und flexibel (Boskey 1999). Kollagen ist ein konserviertes, langgestrecktes, fibrilläres Protein, dessen Untereinheiten eine Tripelhelix bilden. Aufgrund seines Aufbaus verleiht Kollagen dem Gewebe mechanische Stabilität. Die Kollagenfibrillen geben dem Knochen Flexibilität und die Fähigkeit Spannungen in seiner Längsachse zu widerstehen. Außerdem sind sie Anlagerungsstellen des Calcium-Phosphat Minerals und organisieren dadurch den Knochen (Liebermann 1997; Martin et al. 1998). Ein Kollagenmolekül besteht aus drei zur Tripelhelix gewundenen Polypeptidketten (zwei $\alpha 1$ -Ketten und eine $\alpha 2$ -Kette, stabilisiert durch Wasserstoffbrückenbindungen), mit einer Länge von jeweils etwa 1000 Aminosäuren (Grupe et al. 2005; Persikov et al. 2000). Die Kollagen-I-Synthese findet in den Osteoblasten statt, beginnend mit der Produktion der Polypeptidketten an membrangebundenen Ribosomen, die als pro- α -Ketten in das endoplasmatische Reticulum transportiert werden. Dort erfolgt die Hydroxylierung eines Teils von Prolin und Lysin. Die einzelnen α -Ketten bilden linksgewundene Helices, die sich zu einer rechtsgewundenen Tripelhelix verbinden. Das zylinderförmige Molekül hat einen Durchmesser von ca. 1,5 nm und eine Länge von ca. 300 nm. Nach dem Transport des Prokollagenmakromoleküls in den Extrazellulärraum, werden C- und N-terminale Telopeptide abgespalten. Das Kollagenmolekül verbleibt in der Nähe der Zelloberfläche, die einzelnen Helices lagern sich linear-parallel zu Faserbündeln (Fibrillen) zusammen, mit einer Breite von bis zu 500 nm und einer Länge von mehreren Millimetern. Kollagenfibrillen werden je nach Struktur des Knochens unterschiedlich organisiert und angeordnet (Grupe et al. 2005; Weiner & Wagner 1998).

Kollagen besitzt ein spezifisches Aminosäureprofil, in dem sich die Sequenzen regelhaft wiederholen (Horn et al. 2002) (Abb. 1.6). Glycin, die kleinste Aminosäure, nimmt jede dritte Stelle ein (Child 1995; Horn et al. 2002; Persikov et al. 2000). Aufgrund ihrer geringen Größe stabilisiert sie das Innere der Helix (Horn et al. 2002). Weitere Hauptaminosäuren des Kollagens sind Alanin, Prolin und Hydroxyprolin. Hydroxyprolin ist für die Stabilisierung der Tripelhelix verantwortlich und typisch für das im reifen Knochen hauptsächlich vorhandene Kollagen Typ I (Grupe et al. 2005; Persikov et al. 2000). Im reifen Skelett sind die Kollagenfibrillen relativ vollständig von Knochenmineral ummantelt. Aufgrund dessen geringer Löslichkeit können die organischen Komponenten des Knochens sehr lange Zeitspannen im Boden überdauern (Grupe et al. 2000; Grupe et al. 2005).

Das Knochenkollagen wird im lebenden Organismus nur etwa alle 10 bis 30 Jahre vollständig erneuert, so dass mittels Isotopen-Analysen Aussagen über das Nahrungsverhalten während einer relativ langen Zeitspanne im Leben eines Individuums getroffen werden können (Ambrose 1993).

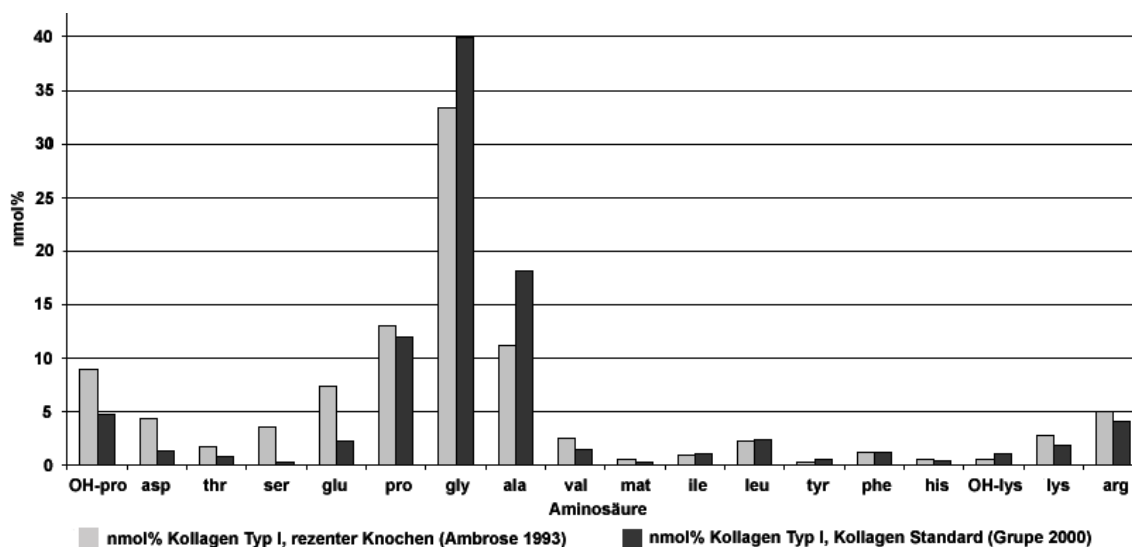


Abb. 1.6: Aminosäureprofil Kollagen Typ I (nach Ambrose 1993 und Grupe et al. 2000).

Mineralische Phase: Apatit

Apatit ist eine kationische Komplex-Verbindung aus Ca^{2+} und drei $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ -Liganden (Koolman 1998). Das Knochenmineral gleicht dem Hydroxylapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$). Es weist aber an den Stellen der Calcium- und Hydroxylionen zahlreiche Substitutionen auf (Boskey 1999; Martin et al. 1998), so dass die reale Mineralfraktion des menschlichen Skelettes eher der Formel $\text{Ca}_{8.3}(\text{PO}_4)_{4.3}(\text{CO}_3)_x(\text{HPO}_4)_y(\text{OH})_{0.3}$ mit $x+y = 1,7$ (const.) entspricht (Grupe et al. 2005). Knochen bestehen zu etwa 50% aus Hydroxylapatit, Zahnbein zu ca. 70% und Zahnschmelz zu etwa 97% (Koolman 1998).

Physiologie des Knochens

Knochen ist über die mineralische Homöostase in die Stoffwechselvorgänge des Körpers integriert und trägt so zur Regulation der Zusammensetzung der Extrazellulärflüssigkeit bei (Parfitt 1983). Das Skelett fungiert dabei als Kalzium-, Magnesium- und Phosphoreservoir (Boskey 1999). Die Knochenmatrix ist weiterhin ein Depot für viele Wachstumsfaktoren und Cytokine, die lokal und systemisch z.B. während der Knochenresorption ausgeschüttet werden können (Parfitt 1983; Zoetis et al. 2003).

Wichtigster Botenstoff des Kalziumstoffwechsels ist das Vitamin D. In Knochen und Zähnen sind 99% des Kalziums im Körper als Calciumphosphat (=Apatit) eingelagert. Knochen wirkt als Kalziumspeicher, auf den kurzfristig zugegriffen werden kann. Vitamin D fördert dabei die Mobilisierung von Kalzium aus dem „Kalzium-Lager“ im Knochen in Zeiten des Mangels, inhibiert die Zunahme von Osteoblasten und fördert ihre Differenzierung. Von der aufgenommenen Menge an Kalzium werden ca. 40% im Darm resorbiert. Vitamin D verbessert die Aufnahme von Kalzium im Darm. Die Aufnahmemenge ist abhängig von der Menge an Kalzium in der Nahrung und vom physiologischen Bedarf. Bei geringem Kalziumangebot aus der Nahrung wird annähernd das gesamte Kalzium absorbiert, ebenso während der Schwangerschaft und Stillzeit. Die (ineffektive) Aufnahme erfolgt Calcitriol-abhängig im *Duodenum* (Zwölffingerdarm) und mit erleichterter Diffusion im gesamten Dünndarm (Brown et al. 1999).

Die drei am Kalziumstoffwechsel beteiligten Hormone Parathormon, Calcitriol und Calcitonin, teilen die Aufgabe den Phosphat- und vor allem den Kalziumspiegel im Blut konstant zu halten.

Das **Parathormon** (PTH) ist das entscheidende Hormon bei der Regulation des Kalziumhaushaltes. Es wird in der Nebenschilddrüse gebildet und erhöht den Kalziumspiegel im Blut. Bei einem Abfall der Konzentration des freien Plasmakalziums unter die Norm wird Parathormon freigesetzt. Zielzellen des Parathormons sind Osteoklasten, durch deren Knochenabbau Kalzium (Ca^{2+}) und Phosphat (PO_4^-) frei werden. PTH aktiviert gleichzeitig Calcitriol, welches Kalzium und Phosphat für den Organismus wieder vermehrt zugänglich macht (Horn et al. 2002; Schwegler 2002).

Calcitonin wird in der Schilddrüse hergestellt, bei erhöhtem Kalziumspiegel ausgeschüttet und sorgt als direkter Antagonist des Parathormons durch eine Steigerung der Kalzium- und Phosphatausscheidung in den Nieren für eine Senkung des Kalziumspiegels im Blut. Außerdem hemmt es die Ca^{2+} Mobilisierung aus dem Knochen und stimuliert die Knochenmineralisation. Calcitonin spielt aber keine wesentliche Rolle bei der Regulation des Kalziumspiegels (Horn et al. 2002; Schwegler 2002).

Calcitriol (Vitamin D₃) ist ein lipophiles Steroidhormon der Nieren (Steroide: Stoffklasse der Lipide, Synthese aus Cholesterin) und ist essentiell für den Knochenauf- und -abbau. Durch Calcitriol wird die Resorption von Kalzium und Phosphat aus dem Darm gesteigert und es fördert in den Osteoblasten mit Hilfe des Vitamin K den Kalziumeinbau in den Knochen. In Anwesenheit des Parathormons hemmt es zusätzlich die renale Ausscheidung von Kalzium und Phosphat in der Niere. Die Halbwertszeit von Calcitriol beträgt 3-4 Stunden.

Calcitriol wird in drei Organen synthetisiert. Beginnend in der Leber wird aus dem Ausgangsstoff Cholesterin durch die Cholesterin-Dehydrogenase das *7-Dehydro-Cholesterin* hergestellt und in die Haut transportiert. In den innersten Schichten der Epidermis wird durch UV-Strahlung der B-Ring des Moleküls gespalten und es entsteht eine Vorstufe von Vitamin D. Diese ist thermodynamisch instabil und isomerisiert zu *Cholecalciferol* („Vitamin D“ oder „Calcio“). Dem bislang nur schwach aktiven Hormon wird jeweils in der

Leber und anschließend, Parathormon abhängig, in der Niere eine OH-Gruppe hinzugefügt. Dadurch entsteht das aktive 1,25-Dihydroxy-Cholecalciferol (Calcitriol, Vitamin D₃) (Horn et al. 2002; Schwegler 2002).

Da Calcitriol im Körper mit Hilfe von ultraviolettem Licht (UV-B, Wellenlänge 290–315 nm) in der Haut gebildet werden kann, ist der Begriff „Vitamin“ nicht korrekt. Definitionsgemäß sind Vitamine Substanzen, die der Körper benötigt, aber selbst nicht herstellen kann. Die Vorstufen dieses „Vitamins“ werden aber vom Körper hergestellt. Es hat also die Funktion eines Provitamins, das bei ausreichender Lichtexposition vom Körper selbst gebildet wird. Der Mensch deckt einen Großteil seines Vitamin-D-Bedarfes durch Sonnenbestrahlung (UV-B) der Haut ab. Limitierender Faktor bei der endogenen Calcitriolbildung ist demnach die Intensität der Sonneneinstrahlung. Calcitriol kommt auch in Nahrungsmitteln vor, in relevanten Mengen jedoch nur in tierischen Produkten (Fisch, Eigelb, Milchprodukte, Rinderleber) (Norman 1998).

1.3 Bewegungsapparat

Der Bewegungsapparat induziert Form und Bewegung des Körpers. Hauptfunktionen des knöchernen Skelettes sind die mechanische Stützfunktion und der Schutz der inneren Organe. Das Skelett ist Ansatzpunkt für die Muskeln und transformiert Muskelkräfte von einem Teil des Körpers auf einen anderen (Boskey 1999; Parfitt 1983). Sehnen dienen dabei als Kraftüberträger, die auf der einen Seite am Knochen, auf der anderen Seite im Muskel angewachsen sind (Schwegler 2002).

Wirbelsäule

Die Wirbelsäule besteht aus 33–34 Wirbelknochen (*Vertebrae*) und den dazwischen liegenden Zwischenwirbel- oder Bandscheiben (*Disci intervertebrales*), die durch Bandverbindungen und die Wirbelbogengelenke (*Articulationes intervertebrales*) stabilisiert werden. Bei Erwachsenen ist sie in der Sagittalebene doppelt S-förmig gekrümmt. Die nach vorne konvexe Krümmung in Hals- und Lendenbereich wird als *Lordose* bezeichnet, die nach hinten konvexe Krümmung im Brust- und Kreuzbereich als *Kyphose*. Die gesamte Wirbelsäule ist unterteilt in sieben Hals- (*Zervikal-*), zwölf Brust- (*Thorakal-*) und fünf Lendenwirbel (*Lumbalwirbel*), dem Kreuzbein (*Os sacrum*) mit fünf Sakralwirbel und dem Steißbein (*Os coccygium*) mit vier bis fünf *Coccygealwirbel* (Harms 2010; Imhof et al. 2010; Waldeyer 2002).

Die **Halswirbelsäule** (HWS) (C0-C7) ermöglicht durch ihren speziellen Aufbau eine große Beweglichkeit für den Kopf. Sie ist daher leicht verletzlich und unterliegt häufig Verschleißprozessen (Waldeyer 2002). Das obere Kopfgelenk (*Atlantooccipitalgelenk*) ist hauptsächlich für Beugung und Streckung, das untere Kopfgelenk (*Atlantoaxialgelenk*) vornehmlich für Rotationsbewegungen (Drehung) zuständig. Die restlichen Halswirbel übernehmen einen großen Anteil der Seitwärtsbewegung (Harms 2010). Die **Brustwirbelsäule** (BWS) ist der Abschnitt mit der geringsten Beweglichkeit, da die Rippen des Brustkorbs fest über Gelenkverbindungen mit den Brustwirbeln und dem Brustbein verbunden sind (Harms 2010). Die **Lendenwirbelsäule** (LWS) zeigt das größte Beweglichkeitsausmaß. Dieses Segment, besonders der Übergang zum Kreuzbein (*lumbosacraler Übergang*), ist einerseits stark druckbelastet, andererseits wirken aufgrund der durch die Bipedie bedingten verstärkten Vorwärtskrümmung („*Lordosierung*“) starke Seitwärtskräfte, durch die besonders Gelenkfortsätze und Bandscheiben belastet werden. Daher ist das Lendenwirbelsegment für die Entstehung von degenerativ bedingten Erkrankungen besonders anfällig (Harms 2010; Imhof et al. 2010; Waldeyer 2002).

Wirbel

Jeder menschliche Wirbel (*Vertebra*) besteht, mit Ausnahme des Atlas, aus dem ventral liegenden Wirbelkörper (*Corpus vertebrae*), dem dorsalen Wirbelbogen (*Arcus vertebrae*), mit zwei Querfortsätzen, dem Dornfortsatz und zwei oberen und zwei unteren Gelenkfortsätzen. Der dorsal gelegene Wirbelbogen, sowie Quer- und Dornfortsätze und die Bogenwurzel bilden wichtige Ansatzpunkte für die Rückenmuskulatur. Der Wirbelkörper besteht aus spongiösem Knochen und bildet mit den dazwischen liegenden Bandscheiben die tragende Säule. Cranial und caudal zur Bandscheibe befinden sich die Grund- und Deckplatten, hyalinknorpelige Abschlussplatten mit subchondralem Knochen. Der Wirbelkanal (*Canalis vertebralis*) schützt das Rückenmark mit den austretenden Spinalnerven (Abb. 1.7).

Geometrie und Orientierung der Wirbel sind wesentlich für die Bewegungscharakteristik der einzelnen Segmente verantwortlich. Erster und zweiter **Halswirbel** (*Atlas* und *Axis*) bilden mit dem Hinterhaupt die Kopfgelenke und unterscheiden sich in Form und Funktion von den freien Wirbeln. Die übrigen Wirbelkörper der Halswirbel sind klein und rechteckig, der Querschnitt des Wirbellochs ist groß und dreieckig, die Dornfortsätze liegen horizontal (Abb. 1.7 A). Bei den **Brustwirbeln** sind die Wirbelkörper dreieckig, rechteckiger aufgebaut, der Querschnitt des Wirbelloches ist rund und die Dornfortsätze sind steil abwärts gerichtet (Abb. 1.7 B und D). **Lendenwirbelkörper** sind groß und bohnenförmig, das Wirbelloch hat einen kleinen, dreieckigen Querschnitt, die Dornfortsätze sind kräftig ausgebildet und liegen horizontal (Abb. 1.7 C) (Harms 2010).

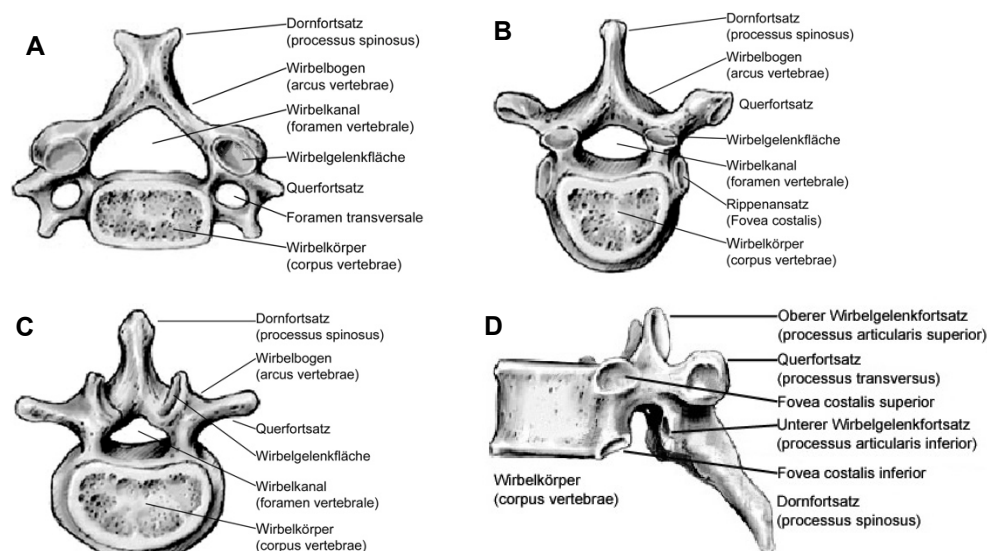


Abb. 1.7: A: Halswirbel (Ansicht cranial). B: Brustwirbel (Ansicht cranial) C: Lendenwirbel (Ansicht cranial). D: Wirbelkörper lateral (Brustwirbel) (Abbildungen modifiziert nach Harms 2010).

Wirbelgelenke

Bei den 23 paarigen Zwischenwirbelgelenken (pro Wirbel zwei obere und untere Gelenkfortsätze) handelt es sich um „*Facettengelenke*“, bei denen die Bewegung parallel zu den Gelenkflächen erfolgt. Die Ausrichtung der Gelenkflächen bestimmt die Beweglichkeit im entsprechenden Wirbelsäulenabschnitt. Die Gelenkflächen der Halswirbelsäule verlaufen ca. 45° schräg, die der Brustwirbel 60° und die der Lendenwirbel annähernd senkrecht zur Horizontalen (Abb. 1.8). Während Drehbewegungen im Bereich der Lendenwirbel nicht möglich sind, ist in der Halswirbelsäule eine größtmögliche Drehbewegung gewährleistet. Bei den Halswirbeln besteht in der Transversalebene keine Neigung, im Brustwirbelabschnitt beträgt sie 20° und im Lendenwirbelbereich 45° (Abb. 1.8). Diese Ausrichtung erlaubt keine Seitwärtsneigung der Halswirbel, aber eine seitliche Neigung des Rumpfes im lumbalen Bereich von 30-40° (Harms 2010; Nordin & Frankel 1989; Schwegler 2002).

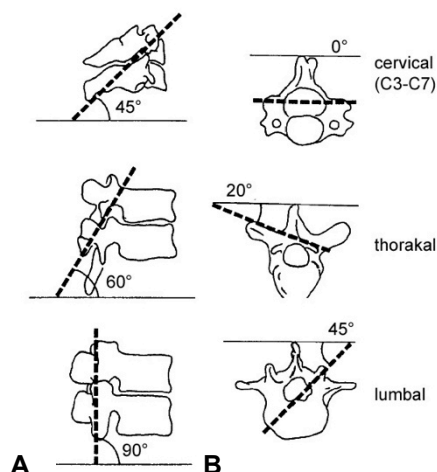


Abb. 1.8: Orientierung der Gelenkfacetten der Wirbelsäulenabschnitte. Die Beweglichkeit im entsprechenden Wirbelsäulenabschnitt ist abhängig von der Ausrichtung der Gelenkflächen. **A: Sagittalebene.** Die Wirbelgelenkflächen der Halswirbelsäule verlaufen ca. 45° schräg zur Horizontalen, die der Brustwirbel sind 60° und die der Lendenwirbel annähernd senkrecht zur Horizontalen **B: Transversalebene.** Bei den Halswirbeln besteht keine Neigung, im Brustwirbelabschnitt beträgt sie 20° und im Lendenwirbelbereich 45° (Abbildung modifiziert nach Nordin & Frankel 1989).

Bandscheiben

Hauptaufgabe der Bandscheiben ist es, stoßartige Belastungen zu dämpfen und den Druck gleichmäßig auf die benachbarten Wirbelkörper zu verteilen. Die Wirbelsäule des Menschen besitzt 23 Bandscheiben (zwischen Schädel, *Atlas* und *Axis* gibt es keine Bandscheiben), die zu einem Viertel zu der Gesamtlänge der präsakralen Wirbelsäule beitragen. Durch ihre Keilform konsolidieren sie die natürliche Krümmung der Wirbelsäule (Waldeyer 2002). Die Bandscheibe ist mit den Grund- und Deckplatten der Wirbel und dem vorderen Längsband verwachsen und gibt der Wirbelsäule dadurch ihre Stabilität (Abb. 1.10).

Bandscheiben bestehen aus dem äußeren Faserring (*Anulus fibrosus*) und dem inneren Gallertkern (*Nucleus pulposus*). Der **Anulus fibrosus** ist aus zehn bis fünfzehn konzentrischen Schichten von sich überkreuzenden Kollagenfasern (Typ I und II) zusammengesetzt, die nach innen allmählich in Faserknorpel übergehen (Abb. 1.9). Durch die Anordnung der Fasern werden Schubkräfte aufgenommen, vom Gallertkern übertragen, annähernd gleichmäßig in allen Schichten des Faserrings aufgeteilt und großflächig auf die Wirbelkörperendplatten übertragen.

Der **Nucleus pulposus**, ein Überrest der *Chorda dorsalis*, ist ein zellarmes, gallertartiges Gewebe mit einem Wassergehalt von bis zu 80%. Durch die Verformbarkeit des Gallertkerns wird Elastizität und Beweglichkeit gewährleistet. Er enthält wasserbindende Hyaluronsäure, wodurch er ähnlich einem „Wasserkissen“ die Druckbelastung der Wirbelsäule auffängt (Jäger 2003; Koolman 1998; Waldeyer 2002). Die Bandscheiben werden durch Diffusion versorgt. Der Diffusionskontakt mit dem Knochenmarkraum erfolgt durch die poröse Struktur der Deckplatten des Wirbelkörpers. Die Bandscheiben verlieren durch ausgeübten Druck Flüssigkeit, bei Entlastung saugen sie diese wieder wie ein Schwamm auf.

Der Wechsel zwischen Be- und Entlastung ist die Grundvoraussetzung für den Stoffwechsel der Bandscheiben, da diese bereits ab dem vierten Lebensjahr ohne Blutgefäße sind. Die Belastung der Bandscheibe bei täglichen Aktivitäten ist eine Kombination aus Druck, Biegung und Torsion. Bei zentrischer Belastung, überträgt sich der Druck vom *Nucleus pulposus* gleichmäßig auf die angrenzenden Strukturen des *Anulus fibrosus* und der Knorpeldeckplatten (Abb. 1.11 A). Bei einseitiger Belastung, also Flexion, Extension oder Seitenneigung, weicht der Gallertkern in Richtung der weniger stark belasteten Seite aus. Dies führt zu Zug- und Druckbeanspruchung der Bandscheibe (White & Panjabi 1990) (Abb. 1.11 B).

Während des natürlichen Alterungsprozesses verliert die Bandscheibe die Fähigkeit Wasser aufzunehmen. Dadurch nimmt der Quelldruck des Faserkerns ab und die Druckweiterleitung erfolgt vermehrt über den Faserring. Mit zunehmendem Elastizitätsverlust und Verschmälerung der Bandscheibe nähern sich Grund- und Deckplatten benachbarter Wirbel an und es kommt zu knöchernen Abstützreaktionen, der Bildung von *Osteophyten* an den Randleisten der Wirbelkörper. Diese Osteophyten sind demnach ein Zeichen für die Degeneration der Bandscheibe (*Osteochondrose*, *Spondylose*) (Harms 2010; Imhof et al. 2010).

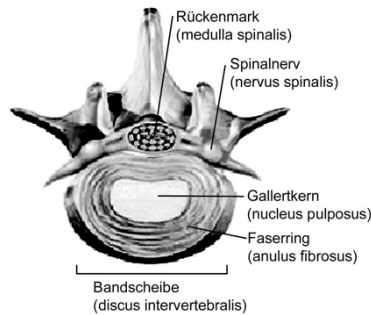


Abb. 1.9: Bandscheibe und Wirbel (Ansicht caudal).
Lagebeziehung zu Rückenmark und Spinalnerven (Abbildung modifiziert nach Harms 2010).

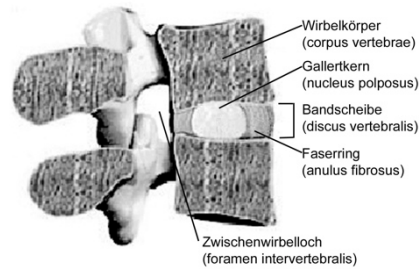


Abb. 1.10: Lendenwirbelsegment (Längsschnitt).
Wirbelkörper und Bandscheibe (Abbildung modifiziert nach 2010).

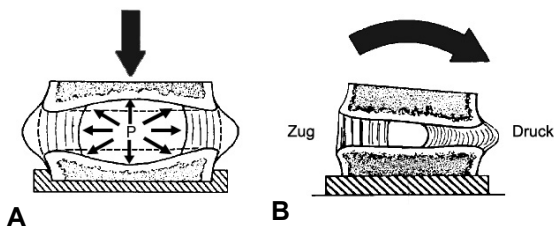


Abb. 1.11: Druckverteilung und Dehnung in der belasteten Bandscheibe. **A:** Bei zentrischer Belastung überträgt sich der Druck vom Nucleus pulposus gleichmäßig auf die angrenzenden Strukturen des Annulus fibrosus. **B:** Einseitige Belastung lässt den Gallertkern zur weniger stark belasteten Seite der Bandscheibe ausweichen, was zu Zug- und Druckbeanspruchung in der Bandscheibe führt (Abbildungen modifiziert nach White & Panjabi 1990).

Biomechanik der Wirbelsäule

Bewegungen der Wirbelsäule entstehen durch koordiniertes Zusammenspiel der einzelnen Komponenten. Der Bewegungsumfang („*range of motion*“) variiert stark in den einzelnen Abschnitten der Wirbelsäule und ist abhängig von der Orientierung der Wirbelgelenke. Die Beweglichkeit zwischen zwei benachbarten Wirbeln ist zwar relativ gering (mit Ausnahme Atlas und Axis), aber in der Summe der Teilbewegungen der 24-gliedrigen Kette ist die Beweglichkeit relativ groß. Ein Bewegungssegment, die kleinste funktionelle Einheit der Wirbelsäule, besteht aus dem „vorderen Pfeiler“ mit den zwei benachbarten Wirbelkörpern und der dazwischen liegenden Bandscheibe, sowie dem „hinteren Pfeiler“, der sich aus Quer- und Dornfortsätzen der Wirbel mit ihrem Bandapparat, den Wirbelbögen und der autochtonen Rückenmuskulatur zusammensetzt (Abb. 1.12). Die Wirbelgelenke wirken als Drehpunkte zwischen dem vorderen und dem hinteren Pfeiler, Bandscheibe und Bandapparat stehen in einem funktionellen Gleichgewicht (*discoligamentäres Gleichgewicht*) (Harms 2010).

Die Wirbelsäule wird durch äußere Kräfte und Momente und durch Muskelkräfte belastet. In einem Bewegungssegment sind zwölf Bewegungsrichtungen im dreidimensionalen Raum möglich. Unabhängig von der Art der Belastung kann diese in sechs Lastkomponenten, drei Kräfte und drei Drehmomente, eingeteilt werden (Abb. 1.13) (Panjabi & White 2000). Vor- und Rückbeugung (*Ventral- und Dorsalflexion*, 110° bzw. 30-35°) erfolgt hauptsächlich in Hals- und Lendenwirbelsäule. Im Brustbereich wird die Streckung durch die dachziegelartig gelagerten Dornfortsätze gehemmt. Eine besonders starke Rückwärtsneigung (*Reklination*) ist vor allem im Bereich der unteren Halswirbelsäule, zwischen elftem Brust- und zweitem Lendenwirbel und im lumbosakralen Übergang möglich. In diesen Bereichen kommen belastungsbedingte Verletzungen besonders häufig vor. Auch die Seitenneigung (*Lateralflexion*, 30-40°) findet vor allem im Hals- und Lendenwirbelbereich statt. Die thorakale Seitenneigung wird durch die gleichseitigen Rippen limitiert. Eine Drehung um die Longitudinal-Achse (90°) ist im Halsbereich ausgeprägt möglich, nimmt nach caudal ab und ist im Lendenwirbelbereich wegen der sagittal gestellten Gelenkflächen minimal. Im Stand wird daher bei stärkerer Rumpfdrehung das Becken mitgenommen. Der Bewegungsumfang ist individuell verschieden und abhängig von Alter, Geschlecht, Konstitutionstyp, Lebensgewohnheiten und Belastung (Waldeyer 2002).

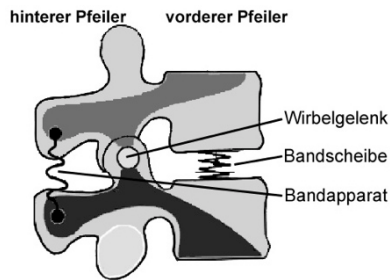


Abb. 1.12: Bewegungssegment der Wirbelsäule. Die Wirbelgelenke sind Drehpunkte zwischen vorderem und hinterem Pfeiler. Bandscheibe und Bandapparat sind funktionell im Gleichgewicht, im unbewegten Zustand besteht ein disco-ligamentäres Gleichgewicht zwischen vorderem und hinterem Pfeiler (Abbildung modifiziert nach Harms 2010).

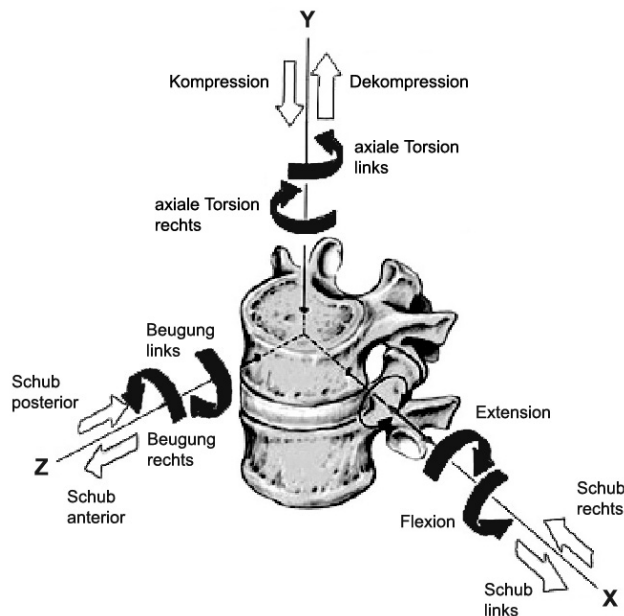


Abb. 1.13: Kräfte und Bewegungen eines Wirbelsegments im dreidimensionalen Raum. Beugung und Streckung der Bewegungssegmente erfolgen über die X-Achse, die Seitwärtsneigung über die Z-Achse und die Seitwärtsdrehung über die Y-Achse. Die Wirbelsäule wird durch sechs Lastkomponenten, drei Kräfte (Kompression / Dekompression, Schub anterior/posterior, Schub rechts / links) und drei Drehmomente (axiale Torsion rechts / links, Beugung rechts / links, Extension / Flexion), belastet (Abbildung modifiziert nach Panjabi & White 2000).

Rückenmuskulatur

Die Strukturen des Organismus können durch Kontraktion und Relaxation von Muskeln bewegt werden. Die Muskelkontraktion wird von elektrischen Impulsen (*Aktionspotenzialen*) ausgelöst, die vom Gehirn oder Rückenmark ausgesandt und über die Nerven weitergeleitet wurden. Muskeln werden in *Agonisten* und *Antagonisten* unterteilt. *Synergisten* haben gleiche oder ähnliche Wirkung und arbeiten bei Bewegungsabläufen zusammen. Das Gewebe der Skelettmuskulatur besteht aus charakteristischen Fasern. Als Muskelfaser wird die spindelförmige Grundeinheit eines Skelettmuskels bezeichnet, eine vielkernige Zelle. Die Muskelzelle enthält Ketten aus Sarkomeren (Myofibrillen), die aus drei kontraktile Proteinen (Aktin, Myosin und Titin) aufgebaut sind (Ebashi 1972).

Muskeln und Knochen sind durch Sehnen verbunden. Sehnen bestehen, wie alle Binde- und Stützgewebe, aus Zellen und einer Interzellulärsubstanz, in die hauptsächlich kollagene Fasern (Kollagen Typ I und Typ III) eingelagert sind. Durch Ligamente (Bänder) entstehen flexible Verbindungen zweier Knochen. Diese dehnbaren, faserartigen Bindegewebsstränge gewährleisten ein funktionelles Maß an Beweglichkeit (Rauber-Kopsch 1955; Sobotta 1988).

Die Rückenmuskulatur wirkt als „Zuggurtung“ („*tension band*“), die den aufrechten Gang ermöglicht. Die Wirbelsäule des Menschen verläuft nicht genau in der Körpermitte und stimmt nicht mit dem Schwerpunkt überein. Für den aufrechten Gang ist daher ein Antagonist zur Schwerkraft notwendig; diesen bildet die Rückenmuskulatur. Die Körperhaltung ist bedingt durch das Zusammenwirken von Schwerkraft und Spannung der Rücken- und Bauchmuskulatur. Die Bauchmuskulatur ist der Gegenpart der Rückenmuskulatur. Durch Hüft- und Beinmuskeln wird die Krümmung der Lendenwirbelsäule beeinflusst. Die Muskeln des Rückens liegen in mehreren Schichten übereinander und bilden ein stabilisierendes Muskelgeflecht. Die oberflächliche Schicht dient hauptsächlich zur Unterstützung der Atmung und der Beweglichkeit der Schulter-Armregion (z. B.

M. latissimus dorsi, *M. trapezius* und *M. rhomboideus*). Die tiefe (*autochtone*) Rückenmuskulatur wirkt unmittelbar auf das Achsenskelett und erstreckt sich als paariger Muskelstrang links und rechts der Wirbelsäule vom Hinterhaupt bis zum Kreuzbein. Jeder Strang setzt sich aus vielen einzelnen Muskeln zusammen, die von einem zum nächsten Wirbel ziehen. Die Stränge liegen zwischen Dorn- und Querfortsätzen (HWS), den Rippen (BWS) oder den Rippenfortsätzen (LWS). Die autochtone Rückenmuskulatur ist im Bereich der Hals- und Lendenlordose besonders stark ausgebildet. Im Lendenbereich ist sie für Gleichgewichtsregulierung, im Nackenbereich für die Ausführung der Hals und Kopfbewegung zuständig (Harms 2010; Waldeyer 2002).

Variationen der knöchernen Wirbelsäule

Sowohl die Anzahl der Wirbel kann verändert, als auch die Grenze zwischen benachbarten Wirbelsäulenabschnitten verschoben sein.

Bei der **Atlasassimilation** ist der erste Halswirbel partiell oder vollständig mit dem Hinterhaupt verschmolzen. Der Bewegungsverlust zwischen Hinterhaupt und Atlas kann von der Halswirbelsäule kompensiert werden. Bei einem **Proatlas** zeigt die knöcherne Begrenzung des Hinterhauptloches deutliche Wirbelgestalt. Unter **Blockwirbel** versteht man die Verschmelzung von zwei oder mehreren benachbarten Wirbeln (meist C2-C3). Häufiger sind jedoch erkrankungsbedingte, sekundäre Blockbildungen. Das Rippenrudiment des C7 (selten C6 oder C5) kann sich zur vollständigen Rippe ausbilden („Halsrippe“). Ebenso kann das Rippenrudiment des ersten Lendenwirbels (*Processus costalis*) zu einer Thorakalrippe auswachsen („Lendenrippe“). Bei einer Lumbalisation liegt der erste Sakralwirbel als sechster Lendenwirbel vor. Ebenso kann bei der Sakralisation der fünfte Lendenwirbel partiell oder vollständig mit dem Kreuzbein verschmolzen sein (Waldeyer 2002).

Gelenke

Ein Gelenk (*Articulatio*) ist eine bewegliche Verbindung von mindestens zwei Knochen. Es wird zwischen echten und unechten Gelenken unterschieden. Zu den **unechten Gelenken** (*Synarthrosen*) gehören knorpelige Knochenverbindungen wie *Synchondrosen* (Verbindungen über hyalinen Knorpel, z. B. am Brustbein) oder *Symphysen* (Verbindung über Faserknorpel, z. B. Bandscheiben) und Knochenverbindungen aus Bindegewebe wie *Suturæ* („Schädelnähte“), *Gomphosen* („Verkeilung“ von Knochen, stabilisiert durch Bindegewebsfasern, z. B. Verankerung der Zähne in den Alveolen des Kiefers) oder *Syndesmosen* (z. B. Verbindung zwischen Ulna / Radius oder Tibia / Fibula).

Bei den **echten Gelenken** befindet sich ein Gelenkspalt zwischen den Knochen und die Gelenkflächen sind von Knorpel überzogen. Das Gelenk wird von einer Gelenkkapsel (*Capsula articularis*) umschlossen, die im Inneren aus einem epithelähnlichen Bindegewebsverband (*Membrana synovialis*) und aus straffem Bindegewebe außen (*Membrana fibrosa*) besteht. Die Membrana fibrosa wird durch Gelenk- oder Kapselbänder verstärkt. Die Gelenkkapsel ist eine bindegewebige Hülle, welche die mit viskoser Gelenkflüssigkeit (*Synovia*) ausgefüllte Gelenkhöhle umschließt. Sie besteht aus *Stratum fibrosum* und *Stratum synoviale*. Das außen gelegene kollagene Bindegewebe des *Stratum fibrosum* bestimmt die mechanische Festigkeit des Gelenks. Das *Stratum synoviale* bildet die Innenauskleidung der Gelenkhöhle. Durch die *Synovia* („Gelenkschmiere“), gebildet von der *Membrana synovialis*, entsteht ein Gleitfilm auf den Gelenkflächen, der als Stoßdämpfung wirkt und den Gelenkknorpel ernährt. Die Ernährung erfolgt, ähnlich den Bandscheiben, durch be- und entlastungsinduzierten Flüssigkeitsaustausch. Daher kommt es bei langer Ruhigstellung, aber auch bei Überlastung eines Gelenkes wegen mangelnder Ernährung des Knorpels zu Knorpelschäden (Hackenbroch 2002; Rauber-Kopsch 1955; Sobotta 1988).

Die Gelenkflächen echter Gelenke werden nach ihrer Form und Beweglichkeit untergliedert (Tab. 1.4).

Gelenk	Beschreibung	Beispiel
Kugel-, Nussgelenk (<i>Articulatio spherioidea</i>)	Dreiaxsig, Bewegung um drei Raumachsen: Flexion / Extension (Beugung – Streckung), Ab- und Adduktion, Außen- und Innenrotation.	Schultergelenk, Hüftgelenk, Fingergrundgelenke (außer Daumen)
Ellipsoid- oder Eigelenk (<i>Articulatio ellipsoidea</i>)	Zweiaxsig, Dorsal-/Palmarflexion, Extension/Flexion, Abduktion/Adduktion	Kopfgelenk, zwischen Atlas und Schädel, proximales Handgelenk
Sattelgelenk (<i>Articulatio sellaris</i>)	Zweiaxsig, Bewegung um zwei Raumachsen, Flexion und Extension, Ab- und Adduktion, Opposition/Reposition	Gelenk zwischen Handwurzelknochen, Daumensattelgelenk (Mittelhandknochen unterhalb des Daumens)
Scharniergelenk (<i>Ginglymus</i>)	Einachsig, Flexion/Extension	Kniegelenk, Ellenbogengelenk (Humerus-Ulna)
Roll-, Zapfengelenk (<i>Articulatio trochoidea</i>)	Einachsig, Pronation/Supination, Innenrotation/Außenrotation	Radioulnargelenk, Atlanto-Axialgelenk
Drehgelenk (<i>Articulatio plana</i>)	kein geometrisches Bewegungszentrum, auch planes Gelenk genannt	zwischen Wirbelfortsätzen
Bicondyläres Gelenk (<i>Articulatio bicondylaris</i>)	Zweiaxsig: Beugung, Streckung, Außen- und Innenrotation	Kniegelenk
Flaches / Gleit-Gelenk (<i>Amphiarthrose</i>)	Dreiaxsig, Gelenkflächen verschieben sich gegeneinander	Zwischenwirbelgelenke, Iliosakralgelenk

Tab. 1.4: Gelenkformen echter Gelenke (zusammengefasst aus Rauber-Kopsch 1955).

Schultergelenk

Die Schulter wird von *Clavicula*, *Scapula*, dem proximalen Ende des *Humerus* gebildet. Die *Clavicula* bildet mit dem *Sternum* das innere und die Schulterhöhe mit dem Schlüsselbein das äußere Schlüsselbeingelenk. Die artikulierenden Flächen des Schultergelenks sind die *Cavitas glenoidalis* des Schulterblattes und der *Caput humeri* des Oberarmes. Der Schultergürtel besteht aus drei mehrachsigen Kugelgelenken und ist von einer Gelenkkapsel umhüllt (Tab. 1.5). Dadurch dass das Gelenk vor allem durch Muskeln („Rotatorenmanschette“) gesichert ist und kaum durch knöcherne Strukturen eingeschränkt wird, ist es prinzipiell in alle Richtungen beweglich. Die Rotatorenmanschette ist eine Gruppe von Muskeln, deren Aufgabe es ist, den Oberarmkopf in der flachen Gelenkpfanne des Schulterblattes zu halten. Diese dynamische Fixierung bedingt aber eine potentielle Instabilität. Verrenkungen (*Luxationen*) im Schultergelenk, der Oberarmkopf verlässt dabei die Gelenkpfanne des Schulterblattes, sind daher besonders häufig. Bei Stürzen auf Arm oder Schulter kommt es häufig zu Verletzungen der Rotatorenmanschette (Rauber-Kopsch 1955; Schwegler 2002).

Das **Schulterblatt** (*Scapula*) bildet den dorsalen Teil des knöchernen Schultergürtels. Es dient der Befestigung des Armes, als Muskelansatz und der Stabilisierung des Schultergelenks. Die *Scapula* kann sich aufgrund ihrer Verschiebbarkeit den Bewegungen des Oberarms anpassen. Der *Processus coracoideus* („Rabenschnabelfortsatz“) und das *Acromion* („Schulterhöhe“) umgeben das Gelenk von cranial. An dem hakenförmig gebogenen Rabenschnabelfortsatz entspringen der *M. biceps brachii* und der kleine Brustmuskel (*M. pectoralis minor*). Die obere Fläche des *Acromions* bildet den Ursprung des *M. deltoideus*. Am Rand liegt die Gelenkverbindung zur *Clavicula* (*Facies articularis acromii*). Beide Strukturen bilden die ovale Gelenkspfanne (*Cavitas glenoidalis*), die zusammen mit dem Humeruskopf das Schultergelenk bilden. Oberhalb der Gelenkpfanne hat der *M. biceps brachii* seinen Ursprung (Rauber-Kopsch 1955; Schwegler 2002) (Abb. 1.14).

Das S-förmig gekrümmte **Schlüsselbein** (*Clavicula*) verbindet *Scapula* und *Sternum* und ist die einzige gelenkige Verbindung der oberen Extremität mit dem Rumpf. Die Gelenkfläche des medialen Endes (*Facies articularis sternalis*) bildet das Gelenk zwischen Brust- und Schlüsselbein, das laterale Ende (*Facies articularis acromialis*) die Gelenkverbindung mit dem *Acromion* der *Scapula*. An der cranialen Seite des Schlüsselbeins setzt der Deltamuskel (*M. deltoideus*) an (Rauber-Kopsch 1955; Schwegler 2002) (Abb. 1.16).

Das proximale Ende des **Oberarms** (*Humerus*) trägt einen um ca. 130° abgewinkelten, halbkugelförmigen Gelenkkopf (*Caput humeri*). Unterhalb des Oberarmkopfes befinden sich

Knochenausziehungen (*Tuberculum majus* und *Tuberculum minus*), an denen mehrere Muskelgruppen ansetzen. Die Muskeln des Oberarmes unterstützen die Bewegungen des gesamten Armes und fixieren den Oberarm im Schultergelenk (Rauber-Kopsch 1955; Schwegler 2002) (Abb. 1.15).

Schultergelenk (Articulatio humeri)	
Knochen	Gelenkfläche
Humerus	Caput humeri.
Scapula	Cavitas glenoidalis
Clavicula	Facies articularis acromialis

Ellenbogengelenk (Articulatio cubiti)		
Knochen		Gelenkfläche
Humerus	Condylen	Trochlea humeri. Capitulum humeri
Ulna	Olecranon	Incisura semilunaris Incisura radialis
Radius	Caput radii	Circumferentia articularis

Tab. 1.1: Gelenkflächen des Schultergelenks.

Tab.1.2: Gelenkflächen des Ellenbogengelenks

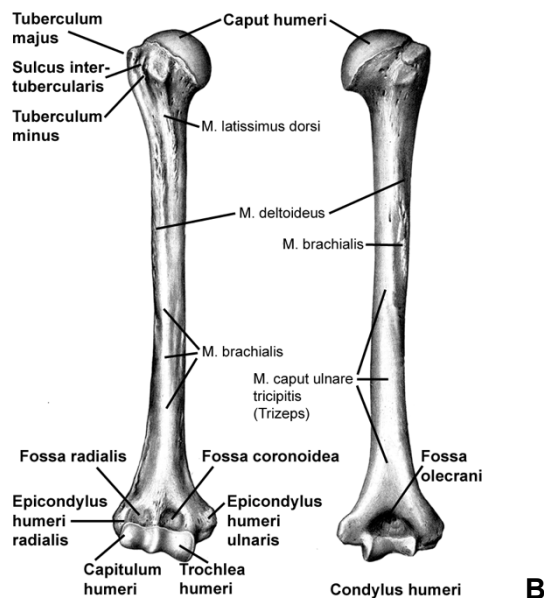


Abb. 1.15: Humerus (Oberarm) rechts. Ansicht anterior (A) und posterior (B). Bestandteile, Gelenkflächen und Muskelansatzstellen. (Abbildung modifiziert nach Rauber-Kopsch 1955)

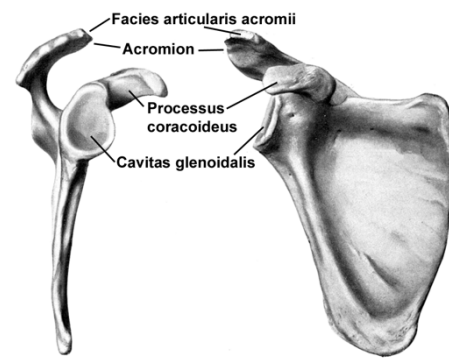


Abb. 1.14: Scapula (Schulterblatt) rechts. Ansicht lateral (A) und frontal (B). (Abbildung modifiziert nach Rauber-Kopsch 1955)

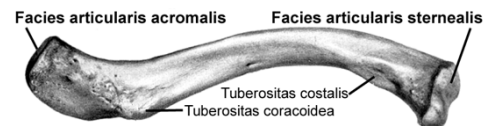


Abb. 1.16: Clavicula (Schlüsselbein) rechts. Ansicht kaudal. (Abbildung modifiziert nach Rauber-Kopsch 1955).

Ellenbogengelenk

Das Ellenbogengelenk (*Articulatio cubiti*) setzt sich aus drei Teilgelenken zusammen, durch die Humerus, Ulna und Radius verbunden werden.

Das **Oberarm-Elle-Gelenk** (*Articulatio humeroulnaris*) ist durch die Gelenkflächen *Trochlea humeri* (Rolle des Humerus) und *Incisura trochlearis ulnae* (Rollens-Einschnitt der Elle) verbunden, das **Oberarm-Speichen-Gelenk** (*A. humeroradialis*) durch *Capitulum humeri* (Köpfchen des Humerus) und die *Fovea capitis radii* (Speichen-Kopf-Grube). Das obere Ellen-Speichen-Gelenk (*A. radioulnaris proximalis*) verbindet Elle und Speiche durch die *Circumferentia articularis radii* (Gelenkumfang der Speiche) und die *Incisura radialis ulnae* (Speichen-Einschnitt der Elle) (Tab. 1.6). Die drei Teilgelenke werden von einer gemeinsamen Kapsel umschlossen und durch Bänder stabilisiert. Das Oberarm-Elle-Gelenk ermöglicht die Beugung des Armes durch Bizeps (*M. biceps brachii*) und Oberarmmuskel (*M. brachialis*) und die Streckung durch Trizeps (*M. triceps brachii*) und Ellenbogenmuskel (*M. anconeus*). Das obere Radioulnargelenk (*A. radioulnaris proximalis*) ist, zusammen mit dem unteren Ellen-Speichen-Gelenk (*A. radioulnaris distalis*), an der

Auswärts- (*Supination*) und Inwärts-Drehung (*Pronation*) des Unterarmes beteiligt (Rauber-Kopsch 1955).

Das distale Ende des **Humerus** ist abgeflacht, mit seitlichen Knochenvorwölbungen (*Epikondylen*). Der *Condylus humeri* bildet mit seinen Gelenkflächen den proximalen Teil des Ellenbogengelenks und lässt sich untergliedern in die medial gelegenen *Trochlea humeri* (Verbindung zur *Incisura trochlearis* der Ulna) und das lateral gelegene *Capitulum humeri*, (Verbindung zur konkaven Gelenkfläche des *Caput radii*). Proximal des *Capitulum humeri* befindet sich eine Vertiefung (*Fossa radialis*), die bei starker Flexion des Unterarmes den Vorderrand des *Caput radii* aufnimmt. Die proximal der Trochlea gelegene Vertiefung (*Fossa coronoidea*) nimmt den *Processus coronoideus* des Olecranon der proximalen Ulna auf. Der mediale Anteil der Gelenkfläche bildet von der Vorder- zur Rückseite des *Humerus* eine Knorpelrolle (*Trochlea*). Die Trochlea artikuliert mit der halbmondförmigen Gelenkfläche des Olecranon. Auf der Rückseite des lateralen *Humerus* befindet sich die *Fossa olecrani*. Sie nimmt in der Extensionsstellung des Unterarms das Olecranon der *Ulna* auf (Rauber-Kopsch 1955; Schwegler 2002) (Abb. 1.15).

Das am proximalen Ende der **Ulna** hakenförmig nach vorne ragende *Olecranon* greift bei Streckung des Ellbogengelenks in die *Fossa olecrani* des Humerus. Die konkave Gelenkfläche (*Incisura trochlearis*) ist an der Bildung des Ellbogengelenks beteiligt.

Am **Radius** bildet die Gelenkfläche (*Fovea capitis*) des Radiuskopfes (*Caput radii*) die Verbindung zum *Humerus*, die kranzartige Gelenkfläche (*Circumferentia articularis*) die Verbindung mit der Ulna. An der *Tuberositas radii* am Radiuskopf setzt der *M. biceps brachii* an. (Rauber-Kopsch 1955; Schwegler 2002).

Ulna und *Radius* sind am oberen und unteren Ende durch Radioulnargelenke (*Articulatio radioulnaris proximalis* und *distalis*) verbunden, welche die Drehbewegung des Radius um die Ulna ermöglichen, und durch eine Syndesmose (*Membrana interossea antebrachii*) miteinander verbunden (Rauber-Kopsch 1955; Schwegler 2002) (Abb. 1.19).

Handwurzelknochen				
Proximale Reihe	Kahnbein	Mondbein	Dreiecksbein	Erbsenbein
Distale Reihe	Großes Vieleckbein (<i>Os trapezium</i>)	Kleines Vieleckbein (<i>Os trapezoideum</i>)	Kopfbein (<i>Os capitatum</i>)	Hakenbein (<i>Os hamatum</i>)

Tab. 1.7: Handwurzelknochen

Handgelenk (<i>Articulatio carpi</i>)		
Knochen		Gelenkfläche
Ulna	<i>Capitulum ulnae</i>	<i>Circumferentia articularis</i> <i>Facies articularis carpalis</i>
Radius		
Carpus	<i>Os naviculare</i>	
	<i>Os lunatum</i> <i>Os triquetrum</i>	

Tab. 1.8: Gelenkflächen des Handgelenks

Hüftgelenk (<i>Articulatio coxae</i>)		
Knochen		Gelenkfläche
Pelvis	<i>Os ilium</i> <i>Os pubis</i> <i>Os ischii</i>	<i>Facies lunata</i>
Femur		
		<i>Caput femoris</i>

Tab. 1.9: Gelenkflächen des Hüftgelenks

Handgelenk

Als Handgelenk (*Articulatio carpi*) werden die Gelenke zwischen den distalen Gelenkflächen der Unterarmknochen und den Handwurzel- und Mittelhandknochen bezeichnet. Es ermöglicht Bewegungen der Hand gegenüber dem Unterarm. Das Handgelenk ist aus mehreren Teilgelenken zusammengesetzt (Tab. 1.7). *Ulna* und *Radius* bilden die Gelenkpfanne des proximalen Handgelenks (*Articulatio radiocarpalis*) (Abb. 1.18). Das untere Ende der *Ulna* (*Processus styloideus*) liegt an der Kleinfingerseite oberhalb des Handgelenks an, die sich am unteren Ende verbreiternde Gelenkrolle des *Radius* (*Trochlea radii*) bildet die Verbindung zur Handwurzel (*Facies articularis carpea*). Die proximale Reihe der Handwurzelknochen (*Os scaphoideum*, *lunatum*, *triquetrum*, außer dem *Os pisiforme*) bilden den Gelenkkopf (Tab. 1.7). Das Handmittelgelenk (*Articulatio mediocarpalis*) liegt zwischen proximaler und distaler Reihe der Handwurzelknochen, die *Articulationes intercarpales* zwischen den Handwurzelknochen der proximalen (ohne *Os pisiforme*) und

distalen Reihe. Das distale Handgelenk liegt zwischen der distalen Reihe der Karpalknochen und den Mittelhandknochen (Abb. 1.17) (Rauber-Kopsch 1955; Schwegler 2002).

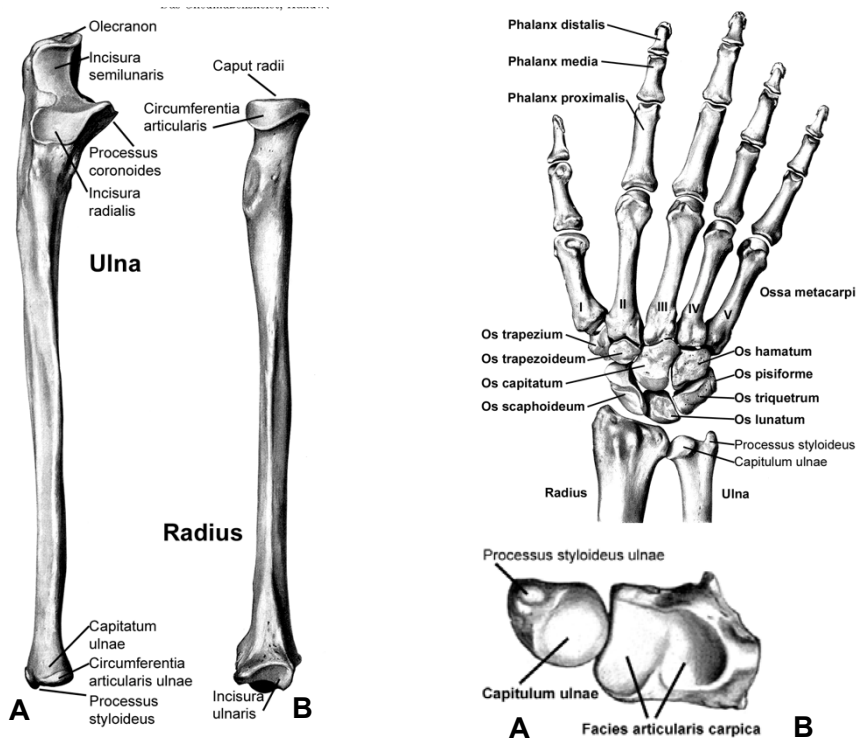


Abb. 1.17: Manus (Hand) rechts. Mit *Ulna* und *Radius* (distal), Pronations-Stellung. (Abbildung modifiziert nach Rauber-Kopsch 1955).

Abb. 1.18: Gelenkflächen von Ulna (A) und Radius (B) (distal). Am Handgelenk beteiligte Gelenkflächen. (Abbildung modifiziert nach Rauber-Kopsch 1955).

Abb. 1.19: Unterarm rechts. A: Ulna (Elle). Ansicht dorsal/lateral. **B: Radius** (Speiche). Ansicht medial. (Abbildung modifiziert nach Rauber-Kopsch 1955).

Hüftgelenk

Das Hüftgelenk (*Articulatio coxae*) wird aus *Femur* und *Pelvis* gebildet. Bei dieser Sonderform des Kugelgelenks umgreift die Gelenkpfanne den Gelenkkopf über dessen Äquator hinaus. Dadurch werden alle Freiheitsgrade zugelassen, aber Bewegungen in ihrer Amplitude eingeschränkt. Die tiefe Pfanne, die das *Caput femoris* umgreift, gewährleistet die Sicherung des Standbeins bei der aufrechten Haltung und gestattet vielseitige Bewegungen des Spielbeins. Artikulierende Flächen des Hüftgelenks sind *Caput femoris* und *Facies lunata*.

Der **Femur** (Oberschenkel) bildet am proximalen Ende einen kugelförmigen Kopf (*Caput femoris*), mit einem Radius von durchschnittlich 2,5 Zentimetern mit einer „Eintiefung“ in der Mitte des Oberschenkelkopfes (*Fovea capitis femoris*). Der Oberschenkelkopf ist durchgehend von hyalinem Knorpel überzogen, in den Hauptbelastungszonen mit einer Schicht von etwa 2,5 bis 3,5 Millimetern Dicke, zum Oberschenkelhals (*Collum femoris*) hin abnehmend (Rauber-Kopsch 1955; Schwegler 2002) (Abb. 1.24).

Die Gelenkpfanne (*Acetabulum*) des Hüftknochens (**Pelvis**) wird von Darmbein (*Os ilium*), Schambein (*Os pubis*) und Sitzbein (*Os ischii*) gebildet, die sich zum Hüftbein (*Os coxae*) vereinigen. Eine Faserknorpellippe (*Labrum acetabuli*) umgreift das *Caput femoris*. Zum Schambeinloch (*Foramen obturatum*) hin ist die Pfannenlippe durch die *Incisura acetabuli* unterbrochen, so dass sie eine halbmondförmige Gestalt annimmt (*Facies lunata*). Die physiologische Kontaktfläche mit dem *Caput femoris* beschränkt sich auf die *Facies lunata*. Medial des Acetabulums, als Fortsetzung der *Incisura acetabuli* nach innen liegt eine Vertiefung (*Fossa acetabuli*) (Rauber-Kopsch 1955; Schwegler 2002).

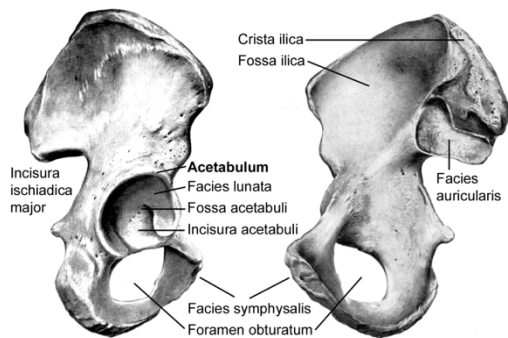


Abb. 1.20: Pelvis (Hüfte). A: Ansicht lateral. B: Ansicht medial

Kniegelenk		
A Knochen		B Gelenkfläche
Femur	Condylen	Facies patellaris Condylus tibialis Condylus fibularis
Patella		Facies articularis
Tibia	Condylus fibularis Condylus tibialis	Facies articularis Facies articularis
Fibula	Capitulum fibulae	Facies articularis fibulae

Tab. 1.10: Gelenkflächen des Kniegelenks

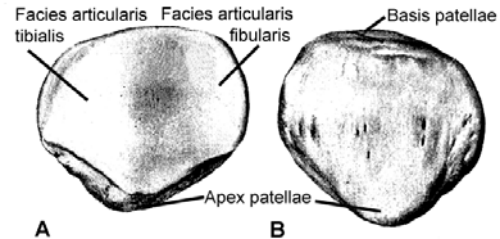


Abb. 1.21: Patella (Kniescheibe). Ansicht von dorsal (A) und frontal (B). (Abbildung modifiziert nach Rauber-Kopsch 1955).

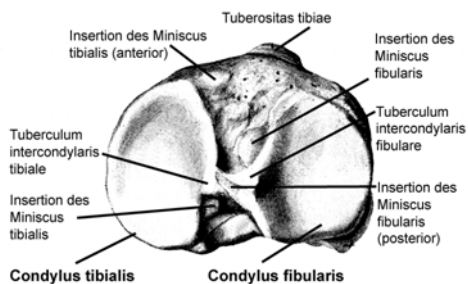


Abb. 1.22: Proximale Gelenkfläche der rechten Tibia (Schienbein). Am Kniegelenk beteiligte Gelenkflächen. (Abbildung modifiziert nach Rauber-Kopsch 1955).

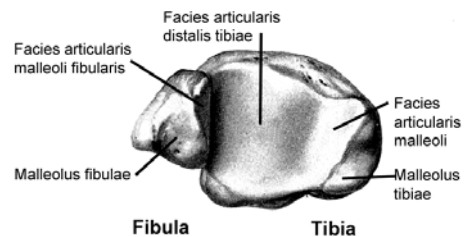


Abb. 1.23: Tibia (Schienbein) und Fibula (Wadenbein), distale Gelenkflächen (Abbildung modifiziert nach Rauber-Kopsch 1955).

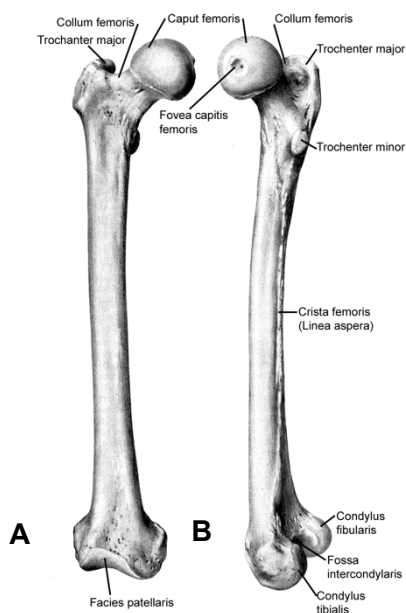


Abb. 1.24: Femur (Oberschenkel) rechts. Ansicht frontal (A) und medial (B). (Abbildung modifiziert nach Rauber-Kopsch 1955).

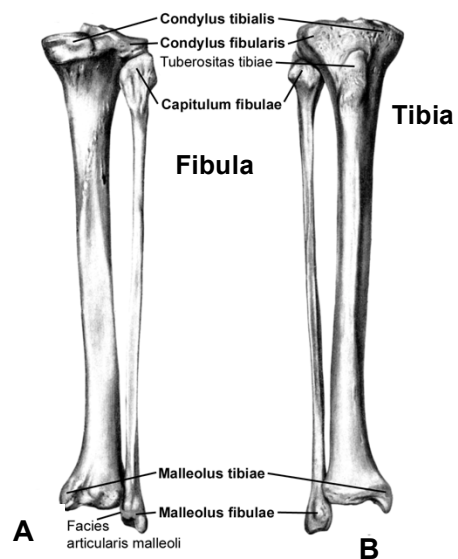


Abb. 1.25: Unterschenkel rechts (Tibia und Fibula). Ansicht von dorsal (A) und frontal (B). (Abbildung modifiziert nach Rauber-Kopsch 1955)

Kniegelenk

Das Kniegelenk (*Articulatio genus*) ist aus zwei Einzelgelenken zusammengesetzt, wobei Femur, Tibia und Patella die knöchernen Gelenkpartner bilden. Das Kniescheibengelenk befindet sich zwischen Femur und Patella, das Kniekehlgelenk, zwischen Femur und Tibiakopf (*Caput tibiae*). Anatomisch gesehen zählt auch das Gelenk zwischen Tibia und Fibula zum Kniegelenk, es hat aber keine funktionelle Wirkung.

Im **Kniescheibengelenk** stehen sich die Gelenkflächen auf der Rückseite der Kniescheibe (*Facies articularis patellae*) und die Gelenkfläche auf der Vorderseite des Femurs (*Facies patellaris femoris*) gegenüber. Die Kniescheibe gleitet in der für sie vorgesehenen „Rinne“ („*Schlittengelenk*“) (Tab. 1.10).

Das **Kniekehlgelenk** befindet sich zwischen Femur- und Tibia-Condylen. Das Drehscharniergelenk ermöglicht die Beugung und Streckung, sowie im 90° gebeugten Knie eine leichte Innen- und Auswärtsdrehung. Die Inkongruenz zwischen den Gelenkflächen wird durch halbmondförmige Faserknorpelscheiben (*Menisken*) ausgeglichen.

Das gesamte Kniegelenk wird von einer stabilisierenden Kapsel umhüllt. Da die knöcherne Konstruktion des Knies sehr instabil ist, wird es durch zahlreiche Bänder gefestigt (z.B. Kreuzbänder) und von der umgebenden Muskulatur unterstützt. Zur Entlastung der stark beanspruchten Gelenkflächen befindet sich vor dem Gelenk ein Fettkörper („Hoffa-Fettkörper“). Um Schäden an den über das Gelenk ziehenden Sehnen vorzubeugen, besitzt das Kniegelenk an besonderen Reibungspunkten Schleimbeutel (*Bursae*).

Hauptbeuger des Kniegelenks ist der „Schneidermuskel“ (*M. sartorius*), der längste Muskel des Körpers, der mit zwei weiteren Muskeln einen gemeinsamen Ansatz am Schienbein bildet (Rauber-Kopsch 1955; Schwegler 2002).

Der **Femur** endet distal mit den breiten, von vorne nach hinten verlaufenden leicht konvexen Condylen (*Condylus lateralis femoris* und *Condylus medialis femoris*), zwischen denen auf der Rückseite eine schmale Grube (*Fossa intercondylaris*) liegt. Auf der Gelenkfläche des Oberschenkelknochens (Vorderseite) verläuft zwischen den Condylen eine flache „Gleitrinne“ für die Kniescheibe (*Facies patellaris femoris*). Die Knorpelschicht der Condylen ist dünner als die der Kniescheibe und die äußere Gleitfläche ist von einer dickeren Knorpelschicht überzogen als die innere (Rauber-Kopsch 1955; Schwegler 2002) (Abb. 1.24).

Die **Patella** ist eingebettet in die gemeinsame Endsehne der vier Muskelköpfe des Quadrizeps (*M. quadriceps femoris*) auf der Vorderseite des Oberschenkels. Die Gelenkfläche auf der Hinterseite der Kniescheibe (*Facies articularis patellaris*) ist in zwei Facetten unterteilt. Die Knorpelschicht ist hier etwa 6 mm dick. Bei gebeugtem Knie liegt die Kniescheibe fest in der Furche kurz oberhalb des Gelenkspaltes zwischen Oberschenkelknochen und Schienbein, bei gestrecktem Bein weiter oberhalb (Rauber-Kopsch 1955; Schwegler 2002) (Abb. 1.21).

Die gesamte proximale Fläche der **Tibia** bildet die Gelenkfläche für das Kniegelenk (*Condylus tibialis* und *Condylus fibularis*). Dazwischen befindet sich ein erhabener Knochenfirst, der sich in zwei kleine Höcker unterteilt (*Tuberculum intercondylaris tibiale* und *Tuberculum intercondylaris fibulare*), unter denen die Kreuzbänder und die Haltebänder der Menisken ansetzen. Am seitlichen Umfang des Knochenrandes befindet sich die Gelenkfläche (*Facies articularis fibularis*) für den Wadenbeinkopf (*Caput fibulae*). Man kann drei Gelenkflächen unterscheiden, die *Facies medialis*, *F. lateralis* und *F. posterior* (Rauber-Kopsch 1955; Schwegler 2002) (Abb. 1.22 und 1.25).

Die **Fibula** liegt seitlich neben der Tibia an. Der Fibulakopf (*Caput fibulae*) läuft proximal in eine Spitze (*Apex capitis*) aus, die durch eine konkave Gelenkfläche (*Facies articularis capitis fibulae*) mit dem Schienbein verbunden ist, aber keine Verbindung mit dem Femur und somit keinen funktionellen Einfluss auf das Kniegelenk hat (Rauber-Kopsch 1955; Schwegler 2002) (Abb. 1.22 und 1.25).

Fußgelenke

Der Fuß wird in Fußwurzel (*Tarsus*), Mittelfuß (*Metatarsus*) und Zehen (*Digitus pedis*) eingeteilt. Fersenbein (*Calcaneus*), Sprungbein (*Talus*), Kahnbein (*Os naviculare*), Würfelbein (*Os cuboideum*) und die drei Keilbeine (*Ossa cuneiformia*) bilden den *Metatarsus*.

Das **Sprunggelenk** ist eines der am stärksten belasteten Gelenke des Körpers, da es die gesamte Körperlast tragen muss. Verletzungen des Sprunggelenks sind ausgesprochen häufig. Durch die das ganze Leben andauernde Belastung entwickeln sich hier häufig Abnutzungserscheinungen (Tab. 1.11). Im **oberen Sprunggelenk** („Knöchelgelenk“) artikulieren die distalen Enden von Tibia und Fibula mit dem Talus. Die durch den Innenknöchel (*Malleolus medialis*) der Tibia und den Außenknöchel (*Malleolus lateralis*) der Fibula gebildete Sprunggelenksgabel artikuliert mit der Sprungbeinrolle (*Trochlea tali*). Das Scharniergelenk ermöglicht das Heben und Senken des Fußes (Abb. 1.28). Das untere Sprunggelenk ist Teil des Fußes (Abb. 1.26).

Das **untere Sprunggelenk** wird von Talus, Calcaneus und Os naviculare mit ihren entsprechenden Gelenkflächen begrenzt. In diesem Zapfengelenk finden Supination und Pronation statt. Die Gelenke zwischen den Knochen der Fußwurzel und den Fußwurzel-Mittelfußgelenken sind straffe Gelenke (*Amphiarthrosen*), die nur ein federndes Wackeln ermöglichen. Grund-, Mittel- und Endgelenke der Zehen können gebeugt und gestreckt werden. Die große Zehe (*Hallux*) besitzt nur ein Grund- und Endgelenk. Bau und Beweglichkeit des Fußes, sowie die doppelte Gewölbeform sind eine Anpassung an den aufrechten Gang. Beide Sprunggelenke zusammen besitzen die Funktion eines Walzengelenks. Der hintere Teil wird von Talus und Calcaneus gebildet. Es artikulieren die *Facies articularis calcanea posterior* am Talus und die *Facies articularis talaris posterior* am Calcaneus. Im vorderen Teil des unteren Sprunggelenks bilden Calcaneus und Os naviculare eine gemeinsame Mulde, die dem Talus nur eine Bewegungsachse bietet. Das Gelenk wird durch eine Reihe von Bändern zusammengehalten (z.B. *Facies articularis inferior* und *Facies articularis superior*). Die fast sagittal stehende Sprunggelenksfläche (*Facies articularis malleolaris*) liegt auf dem Innenknöchel (*Malleolus medialis*) auf. Die Gelenkfläche der distalen Tibia (*Facies articularis malleoli*) steht mit der Gelenkrolle des Talus in Verbindung. Beide bilden die obere Hälfte des Sprunggelenkes („Malleolengabel“) (Rauber-Kopsch 1955; Schwegler 2002) (Abb. 1.23).

Die **Fibula** liegt seitlich dem Schienbein an und bildet mit seinem distalen Ende einen Anteil des oberen Sprunggelenkes. Es leitet von dort die auf das Bein einwirkenden Kräfte über das obere Schienbein-Wadenbein-Gelenk und die Syndesmose zwischen den beiden Knochen zur Tibia und damit zum Femur. Das verdickte untere Ende der Fibula bildet den Innenknöchel (*Malleolus lateralis*). Auf der Innenseite liegt die artikulierende Gelenkfläche (*Facies articularis malleoli*) des Talus (Rauber-Kopsch 1955; Schwegler 2002) (Abb. 1.23).

Das untere Endstück der **Tibia** trägt zwei mit dem *Talus* verbundene Gelenkflächen (*Facies*). Der **Talus** ist Bestandteil der Fußwurzel und des Sprunggelenkes. Er liegt zwischen Malleolengabel und Calcaneus und verbindet den Fuß mit dem Bein und besteht aus Körper (*Corpus tali*), Hals (*Collum tali*) und Sprungbeinkopf (*Caput tali*). Auf der Oberseite befindet sich die Sprungbeinrolle (*Trochlea tali*), eine konkave Gelenkfläche, die mit der Malleolengabel in Verbindung steht. Medial der *Trochlea tali* befindet sich die Gelenkfläche für den Innenknöchel (*Facies malleolaris medialis*), lateral die dreieckige Gelenkfläche für den Außenknöchel (*Facies malleolaris lateralis*). Das *Caput tali* bildet die Gelenkfläche für das Os naviculare (*Facies articularis navicularis*), dessen kugelförmiger Kopf in der konkaven Gelenkfläche des Kahnbeines liegt. Diese Gelenkfläche ist Bestandteil des vorderen Teils des unteren Sprunggelenkes. Auf der Unterseite des Talus befinden sich drei Gelenkflächen, die mit dem Fersenbein in Berührung stehen: *Facies articularis calcanea anterior*, *-media* und *-posterior* (Rauber-Kopsch 1955; Schwegler 2002) (Abb. 1.28).

Der **Calcaneus** ist der Knochen der Fußwurzel, der die Ferse bildet und an dem die Achillessehne und die Wadenmuskulatur ansetzen. Nach vorne hin befindet sich die Gelenkfläche (*Facies articularis cuboideum*) für das Würfelbein (*Os cuboideum*). Auf der medialen Fläche befindet sich ein Vorsprung (*Sustentaculum tali*), auf dem große Teile des

Talus ruhen. Auf der oberen (dorsalen) Seite befinden sich drei Gelenkflächen: *Facies articularis talaris anterior*, *-media* (auf dem *Sustentaculum tali*) und *-posterior*. Anteriore und mediale Gelenkflächen sind gemeinsam ein Bestandteil des vorderen Sprunggelenkes, die posteriore Fläche des hinteren (Rauber-Kopsch 1955; Schwegler 2002) (Abb. 1.26).

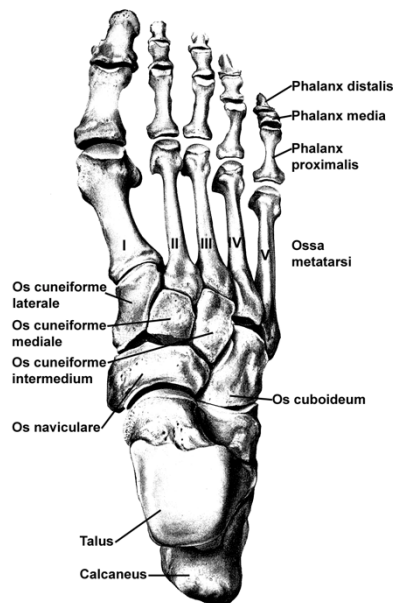


Abb. 1.27: Knochen des rechten Fußes. Aufsicht von caudal. Untersucht wurden alle Gelenkflächen der Fußwurzelknochen, der Mittelfußknochen, sowie der Zehenknochen (Abbildung modifiziert nach Rauber-Kopsch 1955)

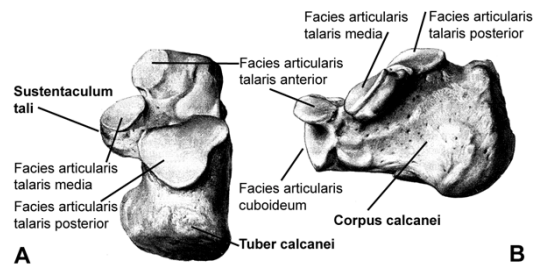


Abb. 1.26: Calcaneus (Sprungbein). A: Ansicht caudal B: Ansicht von medial. (Abbildung modifiziert nach Rauber-Kopsch 1955)

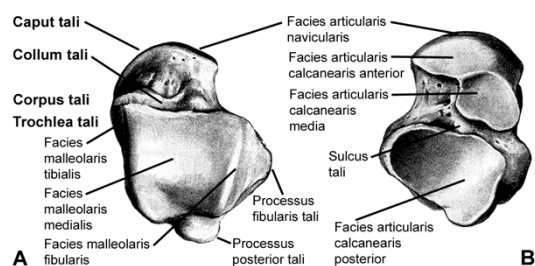


Abb. 1.28: Talus (Fersenbein). A: Ansicht von caudal B: Ansicht von distal. (Abbildung modifiziert nach Rauber-Kopsch 1955)

Sprunggelenk		
Knochen		Gelenkfläche
Tibia	Malleolus tibiae	Facies articularis distalis tibiae
	Malleolus fibulae	Facies articularis malleoli
Fibula	Trochlea tali	Facies proximalis
		Facies malleolaris fibularis
Talus		Facies malleolaris tibialis
		Facies articularis calcanearis proximalis
Calcaneus	Caput tali	Facies articularis navicularis
	Collum tali	Facies articularis calcanearis medialis
Corpus calcanei		Facies articularis talaris proximalis
		Facies articularis talaris distalis (-distalis bipartia)
Sustentaculum tali		Facies articularis talaris media (-distalis bipartia)

Tab. 1.11: Gelenkflächen des Sprunggelenks

1.4 Pathologie am Skelett

1.4.1 Pathologische Veränderungen

Pathologische Veränderungen der Gelenke

Bei Veränderungen eines Gelenks durch Verletzung, entzündliche Erkrankung oder Verschleißvorgänge, reagiert der Körper mit einer vermehrten Produktion von Gelenkflüssigkeit, die als Schwellung des Gelenkes auffällig wird. Wird beispielsweise der Bandapparat bei einer Verstauchung oder Luxation verletzt (häufig am Sprunggelenk, Knie oder Daumengrundgelenk), kann bei ungenügender Heilung das Gelenk nicht ausreichend stabilisiert sein. Die ungenaue Gelenkführung belastet die Knorpelschicht ungleichmäßig und eine verletzungsbedingte, posttraumatische Arthrose ist die Folge.

Auch durch entzündliche Erkrankungen (z.B. Synovitis, Gicht) kann es zu Schwellungen der Gelenkkapsel kommen. Die aufgequollenen Bänder verlieren ihre Geschmeidigkeit, das Gelenk büßt seine Beweglichkeit ein (Löffler & Petrides 1997).

Bei einer **Synovitis**, einer Entzündung der inneren Schicht der Gelenkkapsel, können Synovialzellen ihre Funktion ändern, werden aggressiv und überwuchern den Knorpel von den Rändern her. Wird Gelenkflüssigkeit (*Synovia*) im Überschuss produziert, ändert sich ihre Zusammensetzung. Die normalerweise hochvisköse Flüssigkeit wird wässrig und die normalen Funktionen im Gelenk können nicht mehr erfüllt werden (Burmeister et al. 1997; McGonagle et al. 1999) (Siehe Anhang, Anatomie des Bewegungsapparates).

Gicht (*Arthritis urica*) ist eine Gelenkentzündung auf der Grundlage einer meist erblichen Störung des Purinstoffwechsels. Beim Abbau von Nukleinsäuren ist Harnsäure das Endprodukt des Purinbasenabbaus und wird vorwiegend mit dem Urin ausgeschieden. Durch eine Ausscheidungsstörung der Niere fällt im Stoffwechsel vermehrt Harnsäure an. Diese kann bei einer Übersättigung der Körperflüssigkeiten als Harnsäurekristalle (Natriumurat) ausfallen und in Gelenkstrukturen wie Schleimbeutel, Sehnen, Knochen und vor allem Knorpel eingelagert werden. Charakteristische Merkmale sind stark schmerzhafte Entzündungen der Gelenke, meist des Großzehengrundgelenkes (*Podagra*), des Daumengrundgelenkes (*Chiragra*) und der Sprung- und Kniegelenke. Chronische Gicht ist das letzte Stadium der Erkrankung. Irreversible Gelenkveränderungen und Zerstörung des Gelenks sind die Folge. Ein charakteristisches Erscheinungsbild der Gicht sind Stanzdefekte in der Knochenspongiosa (Gröbner & Walter-Sack 2002).

Pathologische Veränderungen der Wirbelsäule

Die Wirbelsäule übernimmt statische und mechanische Aufgaben. Mit Unterstützung von Bändern und Rückenmuskulatur, ist sie tragendes und stabilisierendes Achsenorgan und übernimmt Aufnahme, Dämpfung und Weiterleitung von Druck- und Stossbelastungen. Belastbarkeit, Elastizität, Flexibilität und freie Beweglichkeit der Wirbelsäulensegmente sind von der Unversehrtheit der einzelnen Komponenten abhängig (Siehe Anhang 1.3, Biomechanik der Wirbelsäule). Wird dieses komplexe System durch Verschleiß oder Verletzung gestört, kommt es zu weit reichenden Veränderungen im Bewegungssegment (Waldeyer 2002). Durch den aufrechten Gang des Menschen ist die untere Lendenwirbelsäule mechanisch hoch belastet. Degenerative Veränderungen der Wirbelsäule sind sowohl alters- als auch belastungsabhängig und in leichten Ausprägungen weit verbreitet. Durch Fehlhaltung, Fehlbelastung und unübliche Bewegungsmuster treten zunächst Muskelverspannungen und -verhärtungen (*Myogelosen*) in der oberflächlichen Rückenmuskulatur auf (Windisch et al. 1999). Langandauernde Fehlbelastungen sind letztendlich für zahlreiche Beschwerden maßgebend, Verletzungen spielen dabei eher eine geringe Rolle (Harms 2010).

Am häufigsten sind Hals- und Lendenwirbelsäule betroffen. Ein **HWS-Syndrom** (Halswirbelsäulen- oder Zervikalsyndrom) ist häufig die Folge von Verschleißerscheinungen der Wirbelgelenke oder der Bandscheiben. Dies äußert sich in Schmerzen der

Halswirbelsäule, bei Bandscheibenvorfällen auch Taubheitsgefühl und Schwäche in den Armen.

Werden durch Fehlhaltungen oder Verletzungen Bandverbindungen überdehnt, kann es zu Blockierungen kommen. Im Bereich der Lendenwirbelsäule ist häufig das Iliosakralgelenk betroffen. Diese **Lumboischialgien** äußern sich durch ins Bein ausstrahlende Schmerzen. Auch **Lumbago** („Hexenschuss“), eine akute schmerzhafte Bewegungseinschränkung der Lendenwirbelsäule wird häufig durch eine Blockierung des Iliosakralgelenkes oder der Wirbelgelenke ausgelöst. Bei einem **Bandscheibenvorfall** wird die vom Rückenmark ausgehende Nervenwurzel durch verschobenes Bandscheibengewebe beeinträchtigt. Dies äußert sich in einem Taubheitsgefühl oder motorischer Lähmung in den Beinen (Harms 2010).

Bei **Morbus Bechterew** (*Spondylitis ankylosans*) handelt es sich um eine chronisch entzündliche rheumatische Erkrankung mit Schmerzen und Versteifung von Gelenken mit damit einhergehender Bewegungseinschränkung. Die Krankheit kann bereits ab dem jungen Erwachsenenalter manifestieren. Besonders stark sind in der Regel das Iliosakralgelenk und die Wirbelsäule betroffen, die in Fortgeschrittenem Stadium der Krankheit komplett versteifen kann (Roberts & Manchester 2005; Ebringer et al. 2006; Rashid & Ebringer 2007).

1.4.2 Degenerative Veränderungen

Wirbelsäule und Gelenke unterliegen alterungs- und belastungsbedingten Veränderungen. Die größer werdende Summe der Belastungen im Laufe des Lebens wirken sich auf Knochen und Gelenke aus. Festigkeit und Belastbarkeit sind von der Aktivität des Knochenstoffwechsels abhängig. Da Hormone wie Östrogen und Testosteron diesen beeinflussen, haben altersbedingte Veränderungen im Stoffwechsel Einfluss auf die Knochenstabilität (z.B. Menopause). Ebenso spielen Ernährung (Diäten, Ernährungsstörung, Mangelernährung) und Körpergewicht eine Rolle. Auch die Körperhaltung ist entscheidend, da eine unphysiologische Haltung beim Gehen, Stehen und Sitzen die einzelnen Strukturen der Gelenke und der Wirbelsäule übermäßig belastet und dadurch verändert. Länger andauernde, häufig ausgeführte unphysiologische Aktivitäten und übermäßige Belastungen können zu dauerhaften Schäden führen. Beispielsweise belastet das unsachgemäße Heben schwerer Gegenstände die Wirbelgelenke auf der Seite des gehobenen Gewichts und die Muskeln der Gegenseite jeweils einseitig (Hackenbroch 2002).

Durch starke Belastungen können Wirbelknochen und die Gelenkflächen angeregt werden Knochenmasse anzubauen. Diese können in Form von Höckern, Randzacken, Spangen, flächenhaften Auflagerungen (*Osteophyten*) oder knöchernen Überbrückungen zwischen zwei Wirbeln oder Gelenksflächen (*Ankylose*) entstehen. Beschwerden entstehen wenn durch Osteophyten die Beweglichkeit eingeschränkt wird oder Nerven eingeengt werden. Eine belastungsbedingte Verformung des Gelenks und die Abnutzung des schützenden Gelenkknorpels äußern sich dadurch, dass die gelenkbildenden Knochenanteile bei Bewegung schmerzhaft aneinander reiben und sich das Gelenk verformt und verdickt. Degenerative Veränderungen kommen vorwiegend aufgrund starker Laufbelastung im Hüft-, Knie- und Sprunggelenk vor, aber auch Schulter- und Armbereich sind häufig betroffen. Der Körper kann diese Verschleißerscheinungen bis zu einem gewissen Grad kompensieren, so dass degenerative Veränderungen meist erst in fortgeschrittenem Stadium Beschwerden verursachen. Je nach betroffenem Bereich kommt es zu unterschiedlichen Symptomen (Hackenbroch 2002).

Degenerative Gelenkveränderungen treten erst nach Wachstumsabschluss auf und gelten als unspezifische Endprodukte heterogener mechanischer und biologischer gelenkschädigender Einflüsse. Dadurch entsteht eine Destabilisierung des Zusammenspiels zwischen Auf- und Abbau des Gelenkknorpels, mit sekundärer, schubweise verlaufender Entzündung der Gelenkkapsel (*Synovitis*) und teils produktiven, teils destruktiven Veränderungen am subchondralen Knochen. Es müssen daher stets multifaktorielle Ursachen angenommen werden (Hackenbroch 2002).

Chronische, schmerzhafte, zunehmend funktionsbehindernde Gelenkveränderungen sind allgemein als **Arthrosen** definiert. Sie treten meist infolge eines Missverhältnisses zwischen

Tragfähigkeit und Belastung, infolge eines Gelenktraumas oder als Alterserscheinung auf. Es handelt sich stets um eine degenerative Gelenkerkrankung. Im Gegensatz zur **Arthritis** ist es keine entzündliche Gelenkerkrankung, sondern eine chronische, schmerzhafte, zunehmend funktionsbehindernde Gelenkveränderung. Aber auch Alterung oder ein Gelenktrauma können ursächlich sein. Die Kombination von Arthrose und Arthritis ist die „aktivierte Arthrose“, bei der es, meist durch Überlastung, zu einer Entzündung im arthrotischen Gelenk kommt (Hackenbroch 2002). Bei einer Störung der Ernährung des Knorpels kommt es zum Verfall der Knorpelmatrix (*Chondrose*). Dadurch wird die Funktion des betroffenen Gelenks eingeschränkt und die Arthrose beginnt sich zu entwickeln (Hackenbroch 2002).

Gelenksarthrosen (*Arthrosis deformans*)

Bei der Gelenksarthrose (engl. *osteoarthritis*) handelt es sich stets um eine degenerative Gelenkerkrankung. Die Arthrose beginnt meist mit leichten, belastungsabhängigen Schmerzen. Später kommt es zu Veränderungen im Bereich der gelenknahen Knochen, der Gelenkschleimhaut und der Gelenkkapsel sowie der Muskulatur. Weiterhin können Schwellung und zunehmende Deformation des Gelenks auftreten. Typisch sind Schmerzen nach und später besonders während der Nachtruhe, dann Schmerzen in bestimmten Positionen, wo die Schädigung besonders wirksam ist. Die meisten Arthrosen sind an den Gelenken zu finden, die durch die Schwerkraft und Überlastungen, aber auch Traumata durch Unfälle besonders stark und / oder häufig belastet sind (Lendenwirbel, Knie-, Hüft- und Sprunggelenke). Die verminderte Beweglichkeit und Belastbarkeit ändert Haltung und Gang, was sich auch in der Wirbelsäulenstatik niederschlägt und Rückenschmerzen sowie eine Lockerung des Bandapparates des betroffenen Gelenkes zur Folge hat.

Von einem Verschleiß ist zunächst der Knorpel betroffen. Auf geschädigte Knorpelflächen reagiert der Körper mit einer Verbreiterung der knöchernen Anteile. Durch den gesteigerten Abrieb der gelenkbildenden Oberfläche kommt es zu einem Verlust an Knorpelsubstanz. Die mechanische Dämpfungsfunktion der Knorpelschicht wird dadurch schlechter und der unter dem Knorpel gelegene Knochen wird vermehrt mechanischem Stress ausgesetzt. Auf diesen Stress reagiert der Knochen mit einer Verdichtung seiner Binnenstruktur, der Knochen erscheint glatt poliert („**eburnisiert**“). Durch weiteren Verschleiß des Gelenkknorpels wird der subchondrale Knochen belastet. Zur Entlastung des Knochens und um die Gelenkfunktion aufrecht zu erhalten, entstehen an den Belastungsändern der Gelenkfläche knöcherne Ausläufer. Diese **Osteophyten** treten in Form von Spangen, Randzacken, Höckern oder flächenhaften Auflagerungen auf. Die Bildung von Osteophyten ist ein Versuch des Körpers, die Auflagefläche eines arthrotischen Gelenkes zu verbreitern und dadurch den Auflagedruck zu mindern. Osteophyten können Nerven einklemmen oder beschädigen und die Beweglichkeit einschränken. Die Gelenkflächen selbst erscheinen durch die freigelegte Knochenspongiosa porös oder weisen Lochdefekte auf. Diese **Geröllzysten** oder **Trümmerzysten** sind mit Flüssigkeit gefüllte Vertiefungen, die sich teilweise bis in den Markraum ausdehnen. Sie können als Folge einer tiefen Knochenschädigung im Gelenk entstehen. An Wirbelkörpern können ähnliche Lochdefekte („**Schmorl'sche Knötchen**“) durch Deckplatteneinbrüche auftreten. Bei völligem Niedergang des Knorpels kann es zu einer Verschmelzung der korrespondierenden Wirbelkörper und Gelenke kommen (**Ankylose**). Auch Alterungsprozesse und endogene biologische Faktoren können Ursache für derartige Veränderungen sein (Adler 1983; Hackenbroch 2002; Schmorl & Junghanns 1951).

Spondylose (*Spondylosis deformans*)

Mit dem Begriff der Spondylose werden alle sichtbaren Veränderungen des Wirbelkörpers beschrieben, die ein degenerativ veränderter Bandscheibenraum zur Folge hat. Entscheidender Faktor für die Entstehung ist eine Instabilität des Bewegungssegmentes. Im Verlauf der Degeneration einer Bandscheibe verliert zunächst der Gallertkern Wasser. Er „trocknet ein“, schwindet oder schrumpft (siehe Anhang 1.3, Bandscheiben). Der Abstand

zwischen den Wirbelkörpern wird geringer und es entsteht ein Höhenverlust des Bandscheibenraumes. Dadurch wird die Vorspannung des Bandapparates geringer, die Stabilität des Segmentes nimmt ab. Der Körper versucht, die Auflagefläche zu vergrößern und gleichzeitig den Bandapparat durch Einlagern von Knochenmaterial zu verstärken („*frustrane Reparaturreaktion*“). Dadurch entstehen an Ober- bzw. Unterkanten der Wirbelkörper in den betroffenen Bereichen spangenförmige Knochenbildungen (*Spondylophyten*). Der Verlust an mechanisch dämpfendem Material führt auch zu einer vermehrten Belastung der Grund- oder Deckplatten der Wirbelkörper. Der Knochen wird verdichtet („*sklerotisiert*“). Solange sich die Osteophyten ventral oder lateral des Wirbelkörpers befinden, verursachen sie kaum neurologische Probleme. Wenn sie von dorsal ausgehen, kann es zu einer Raumbeengung im Rückenmarkskanal führen (*spinale Stenose*), mit Folgen für die im entsprechenden Segment verlaufenden Nervenwurzeln. Aussagen über einen möglichen Bandscheibenvorfall können aber anhand von Spondylosen nicht getroffen werden (Harms 2010).

Spondylarthrose (Spondylarthrosis deformans)

Eine verschleißbedingte Verknöcherung der kleinen Wirbelbogengelenke (*Articulatioes intervertebrales*) wird als *Spondylarthrose* bezeichnet. Ursächlich ist meist eine Gewebsschädigung in Folge von Entzündungen, Durchblutungsstörungen, Überbelastung oder auch Alterungsprozessen. Da das Bewegungssegment der Wirbelsäule aus zwei „Pfeilern“ besteht (siehe Anhang, Biomechanik der Wirbelsäule), verursachen degenerative Veränderungen, die in der Regel mit einem Höhenverlust der Bandscheiben einhergehen, statische und mechanische Veränderungen im Bewegungssegment. Das Segment wird zunehmend instabil und es wirken veränderte Bewegungskräfte auf die Facettengelenke ein, wodurch es zur sekundären Fehlstellung und Überbelastung der Facettengelenke kommt. Dies kann dann in einem Kaskadeneffekt zur Abnutzung der Gelenksflächen, Arthrose, Gelenkspaltverschmälerung, Reizung der Gelenkkapsel und Anbau von Knochensubstanz an den Kanten der Wirbelgelenke führen. Ein Verschleiß der Facettengelenke kann an allen Wirbelsäulensegmenten auftreten. Eine deutliche Häufung zeigt sich in Bereichen starker mechanischer Belastung, wie der unteren Halswirbelsäule und der Lendenwirbelsäule (Harms 2010). Zunächst wird durch die Gefügelockerung im Bewegungssegment der Bandapparat gedehnt, es kommt in den betroffenen Segmenten durch Reizung der Band- und Muskelansätze zu Schmerzen in der Muskulatur und ihrer Bindegewebshüllen. Im Bereich der Rückenmuskulatur zeigen sich häufig als Folge der fortwährenden Fehl- oder Überbeanspruchung harte, druckschmerzhaftige Knoten (*Myogelosen*) (Harms 2010). Dauerhafte Fehlstellung und fortschreitender arthrotischer Umbau der Gelenkflächen führen zu schmerzhafter Bewegungseinschränkung und Blockade der Facettengelenke. Der Anbau von Osteophyten kann eine Verengung des Spinalnerven- und Rückenmarkkanals verursachen (*Spinalkanalstenose*). Die aus dem Spinalkanal entspringende Nervenwurzel verläuft in unmittelbarer Nähe des Wirbelbogengelenkes. Der degenerativ verursachte Reizzustand des Gelenkes führt oft zu einer Quetschung oder Irritation der Nervenwurzel. Dies kann, je nach betroffenem Bereich, neurologische Symptome wie Taubheit, Lähmung oder schwerwiegende Störungen der Organe nach sich ziehen (Harms 2010).

1.4.3 Traumata

Als Trauma wird in der Medizin eine Schädigung, Verletzung oder Wunde bezeichnet, die durch Gewalt von außen entsteht. Bei historischem Material sind akute mechanische Einwirkungen mit Folgen für das Skelettsystem oder einzelne Knochen von Bedeutung. Diese äußern sich in einer Kontinuitätstrennung des Knochens, der durch scharfe oder stumpfe Gewalt, aber auch durch Druck, Schub oder Zug entstehen kann (Herrmann et al. 1990; Knowles 1983). Je nach Kraftkomponente entstehen spezifische Fraktur- oder Läsionsmuster bei verschiedenen Gewaltarten (Herrmann et al. 1990; Lovell 1997).

Direkte oder indirekte Einwirkung von stumpfer Gewalt kann eine Zusammenhangstrennung („Brechen“) des Knochens bewirken. Ursächlich hierfür können großflächige Waffen sein (Stein, Keule). Aber auch Stürze verursachen ähnliche Frakturen. Für die Lage einer Verletzung am Schädel wird die „Hutkrempe[n]regel“ angegeben. Bei Frakturen im Bereich des Hutkrempe[n]niveaus und darunter kann von einem Sturz ausgegangen werden, bei Verletzungen oberhalb von einer Schlagverletzung (Herrmann et al. 1990).

Bei scharfer Gewalt (Klingen oder Pfeile) entsteht die Trennung nicht durch Brechen sondern durch Sägen und Schneiden bzw. Abschlagen. Messer verursachen Schnitt- oder Einstichwunden mit V-förmigen, glattwandigen Marken, deren Tiefe in der Regel in Richtung Schnittführung zunimmt. Es kann auch ein einseitiges Ausbrechen des Schnitttrandes auftreten. Durch Hiebe mit größeren scharfen Instrumenten entstehen tiefe Kerbungen parallel zur Einwirkungsrichtung, die bis zum Abschlag ganzer Knochenareale führen können (Herrmann et al. 1990). Die meisten Verletzungen dieser Art entstehen durch Waffen (Mitchell et al. 2006). Derartige Verletzungen sind am Schnittflächenbild an der typischen Riefenbildung leicht erkennbar (Herrmann et al. 1990). Ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung einer Verletzung ist auch die Färbung der Fraktur- bzw. Schnittfläche. Bei intravital gesetzten Verletzungen nehmen die Knochenbereiche dieselbe Färbung wie die übrigen Knochenflächen an. Die Bruchflächen bei Artefakten sind hingegen deutlich heller, da die Kontinuitätstrennung des Knochens erst nach einer gewissen Liegezeit aufgetreten ist (Herrmann et al. 1990).

1.5 Rekonstruktion der Ernährung

1.5.1 Kohlenstoff und Stickstoff Isotope

Isotope, Atome gleicher Ordnungs- aber unterschiedlicher Massenzahl, verhalten sich chemisch gleich. Die leichteren Kohlenstoff- und Stickstoff-Isotope kommen in der Natur häufiger vor und sind thermodynamisch reaktionsfreudiger. Die schwereren Isotope sind weniger reaktionsfreudig, verbleiben daher länger in den Geweben und können dadurch angereichert werden (Bigeleisen 1996).

Element	Atomgewicht
Kohlenstoff	^{12}C 98,99 %
	^{13}C 1,15 %
	(^{14}C 0,000 000 000 1 %)
	Standard: Marine Carbonate: PDB $^{13}\text{C}/^{14}\text{C} = 11\,237,20 \pm 2,9$ ppm
Stickstoff	^{14}N 99,651
	^{15}N 0,378
	Standard: Atmospheric Nitrogen: $^{15}\text{N}/^{14}\text{N} = 3676,50 \pm 8,1$ ppm

Tab. 1.3: Natürliches Vorkommen der stabilen Kohlenstoff und Stickstoff Isotope (nach Bigeleisen 1996).

Kohlenstoff

Kohlenstoff ist ein essentielles Element der Biosphäre. Kohlenstoffverbindungen bilden die molekulare Grundlage allen irdischen Lebens. Alles lebende Gewebe ist aus (organischen) Kohlenstoffverbindungen aufgebaut.

Es kommt in der Luft als Kohlenstoffdioxid (CO_2) vor, der Gesamtanteil beträgt etwa 0,04 %. Auch in Meerwasser ist CO_2 gelöst (ca. 0,01 %). Kohlenstoff hat zwei stabile Isotope, ^{12}C und ^{13}C . Das ^{12}C -Isotop kommt zu 98,9 % in der Natur vor, ^{13}C zu 1,1 %. Das instabile ^{14}C -Isotop findet beispielsweise in der Archäologie bei der Altersbestimmung von organischen Gegenständen Verwendung (C^{14} - oder *Radiocarbon-Methode*)¹ (Libby 1970).

Der Kohlenstoffzyklus beschreibt Austausch und chemische Umwandlungen kohlenstoffhaltiger Verbindungen in den globalen Systemen Lithosphäre, Hydrosphäre, Atmosphäre und Biosphäre (Abb. 1.29). Rund 0,001 % des globalen Gesamt-Kohlenstoffes befindet sich in der **Atmosphäre**. Wichtigste Kohlenstoffverbindung ist das Kohlenstoffdioxid (CO_2) mit einem Anteil am Luftgemisch von 0,03 Volumen-Prozent. Innerhalb der Atmosphäre finden vorwiegend physikalische Transportvorgänge statt. Durch beständige Durchmischung ist die CO_2 -Konzentration in den unteren Schichten der Atmosphäre überall gleich.

Die **Hydrosphäre** enthält 0,05 % des globalen Kohlenstoffgehaltes in Form von physikalisch gelöstem CO_2 , sowie gelösten Hydrogencarbonat- und Karbonationen. Durch absinkende Wassermassen findet im Meer ein Transport von Kohlenstoff in große Tiefen statt.

Mit 99,8 % Anteil am globalen Gesamt-Kohlenstoff stellt die **Lithosphäre** den größten Kohlenstoffspeicher dar. In diesem langfristigen bio-geochemischen Kohlenstoffkreislauf laufen biochemische Prozesse zunächst rasch ab, sind aber mit langfristigen geologischen Prozessen gekoppelt. Dabei wird sedimentiertes, organisches Material unter anaeroben Bedingungen nicht mehr vollständig abgebaut. Durch weitere Überschiebung und Absinken in größere Tiefen erhöhen sich Druck und Temperatur. Dadurch werden die organischen Bio-Moleküle unter Luftabschluss in fossilen Kohlenstoff umgewandelt.

Speicherformen des Kohlenstoffs in der **Biosphäre** sind organische Stoffe und Karbonate (in der Regel Kalziumkarbonat CaCO_3). Terrestrische und marine Ökosysteme enthalten insgesamt einem Anteil von ca. 0,001 % am globalen Gesamt-Kohlenstoff. Damit gehören

¹ Organisches, aktiv am Stoffwechsel beteiligtes Material hat das gleiche Verhältnis von ^{14}C zu den stabilen Isotopen wie der Kohlenstoff in der Atmosphäre. Nach dem Ende des Stoffwechsels verringert sich dieses Verhältnis allmählich durch den radioaktiven Zerfall von ^{14}C . Die Bestimmung des Verhältnisses von ^{14}C zu den stabilen Isotopen erlaubt daher eine Altersbestimmung an Gegenständen aus organischem Material. Die Halbwertszeit von ^{14}C beträgt etwa 5730 Jahre. Der zeitliche Anwendungsbereich der Altersbestimmungsmethode liegt zwischen 300 und 60 000 Jahren (Libby 1970).

Biosphäre und Atmosphäre zu den kleinsten Kohlenstoffspeichern. Biochemische Prozesse der Assimilation und Dissimilation laufen in raschen biochemischen Kohlenstoffkreisläufen ab. Durch die Photosynthese von Pflanzen, Algen und Bakterien werden aus CO_2 mit Hilfe von Lichtenergie organische Stoffe hergestellt. Durch die Zellatmung wird der Kohlenstoff aus diesen organischen Stoffen mit Hilfe von Sauerstoff wieder zu CO_2 oxidiert. Innerhalb der Biosphäre findet so ein Kohlenstoff-Fluss von den organische Stoffe erzeugenden Organismen zu den organische Stoffe verbrauchenden Organismen statt (Campbell 1997).

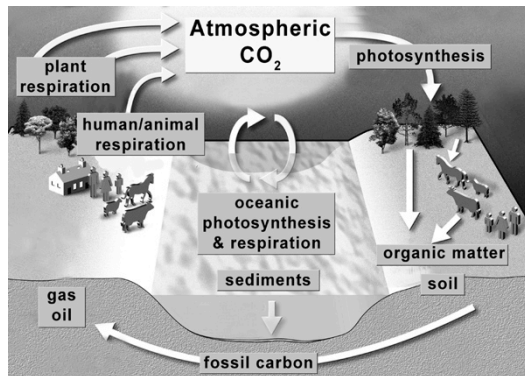


Abb. 1.29: Schematische Darstellung des Kohlenstoffkreislaufs. Umsetzung von Kohlenstoff in Atmosphäre, Boden und Biomasse.

(Modifizierte Abbildung. Quelle: www.geos.ed.ac.uk)

Stickstoff

Stickstoff liegt elementar in einer dreifach kovalenten Verbindung aus zwei Stickstoff-Atomen vor (N_2). Die stabilen Isotope sind ^{14}N und ^{15}N , deren natürliche Konzentration in der Atmosphäre ca. 99,65% (^{14}N) und 0,37 % (^{15}N) beträgt. Stickstoff ist ein wichtiger Bestandteil von Aminosäuren und DNA. Molekularer atmosphärischer Stickstoff kann von Pflanzen und Tieren jedoch nicht direkt genutzt werden sondern muss mit der Nahrung aufgenommen werden. Der Stickstoffzyklus verdeutlicht die bio-geochemische Umsetzung von Stickstoff in Atmosphäre und Boden und Biomasse (Campbell 1997; Mortimer 1996).

Der Stickstoffzyklus besteht aus mehreren Teilprozessen (Abb. 1.30). Ein wichtiger Schritt ist die **Stickstofffixierung**. Da die Moleküle des Luftstickstoffes (N_2) dreifach kovalent gebunden sind, kann diese Verbindung nicht direkt von Tieren und Pflanzen für die Biosynthese verwendet werden. Atmosphärischer Stickstoff muss daher zunächst von stickstofffixierenden Bakterien über das Enzym Nitrogenase in reduzierte Verbindungen umgewandelt werden. Der elementare Stickstoffs (N_2) wird dabei zu reaktiveren und vor allem bioverfügbaren Verbindungen wie Ammoniak (NH_3) und Ammonium (NH_4^+) umgewandelt. Stickstofffixierende Bakterien leben auch in Symbiose mit Leguminosen.

Danach folgt die **Ammonifikation**. Während der Ammonifikation wird der Stickstoff aus N-haltigen organischen Stoffen durch mikrobielle Prozesse (Desaminierung von Aminosäuren, Hydrolyse von Harnstoff) in Form von Ammoniak (NH_3) freigesetzt. Aus im Wasser gelöstem Ammoniak entstehen Ammoniumionen (NH_4^+).

Während der **Nitrifikation** erfolgt die bakterielle Oxidation von Ammoniak (NH_3) über Nitrit (NO_2^+) zu Nitrat (NO_3^-) durch Nitrit- (z.B. Nitrosomonas) und Nitratbakterien (z.B. Nitrobacter). Während des Umsatzes entsteht dabei ATP als Energiequelle für die Bakterien. Durch die **Stickstoffassimilierung** wird Nitrat von Pflanzen und Bakterien aus dem Boden aufgenommen für den Aufbau stickstoffhaltiger organischer Verbindungen (Proteine, Nukleinsäuren). **Denitrifikation** ist die Umwandlung des im Nitrat (NO_3^-) gebundenen Stickstoffs zu molekularem Stickstoff (N_2) durch autotrophe Bakterien (Denitrifikanten). Diese Nitratatmung dient den Bakterien als Energiequelle. Der molekulare Stickstoff gelangt wieder in die Atmosphäre (Campbell 1997; Mortimer 1996).

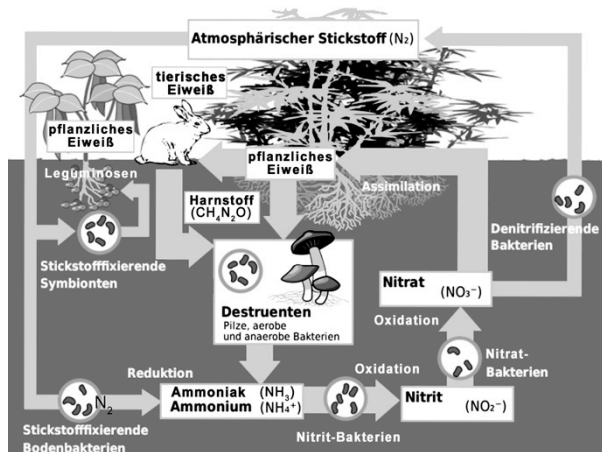


Abb. 1.30: Schematische Darstellung des Stickstoffkreislaufs. Biogeochemische Umsetzung von Stickstoff in Atmosphäre, Boden und Biomasse. (Modifizierte Abbildung nach Campbell 1997)

1.5.2 Rekonstruktion der allgemeinen Nahrungsquellen

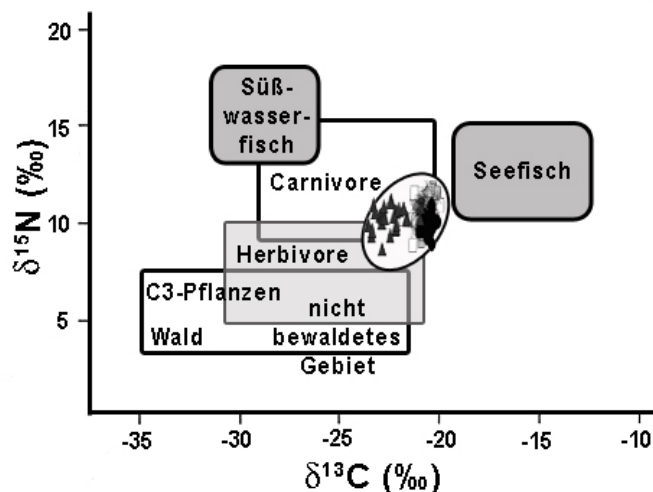


Abb. 1.31: Schematische Zusammenfassung der $\delta^{13}C$ - und $\delta^{15}N$ -Werte der Hauptnahrungsquellen und ihrer Konsumenten (Ambrose 1993; Bocherens et al. 1997).

(Abbildung modifiziert nach Bocherens et al. 1997).

Das Verhältnis der stabilen Kohlenstoff- ($^{12}C/^{13}C$) und Stickstoff-Isotope ($^{14}N/^{15}N$) aus dem Kollagen spiegelt die Herkunft des pflanzlichen und tierischen Proteinanteils in der Nahrung wieder. Durch die Auswertung der Isotopensignaturen können Rückschlüsse auf die Ernährungsweise gezogen werden (z.B. Ambrose 1993).

Die Kombination der gemessenen C- und N-Isotopen Verhältnisse (angegeben in δ -Notation, siehe Kap. 4.5.3) lässt Rückschlüsse auf die Nahrungszusammensetzung zu (Abb. 1.31). Kohlenstoff und Stickstoff des Kollagens stammen weitgehend von Proteinen, die mit der Nahrung aufgenommen wurden.

Die Variabilität der $\delta^{13}C$ -Werte hängt von der Quelle ab, aus welcher der Kohlenstoff stammt und auf welchem metabolischen Weg er fixiert wird. Bei terrestrischen Pflanzen ist atmosphärisches Kohlendioxid die primäre Quelle. Der Photosyntheseweg beeinflusst die Werte, die bei C_3 Pflanzen² (-27,1‰ \pm 2‰) niedriger liegen als bei C_4 Pflanzen³ (-13,1‰ \pm 1,2‰), mit klimatisch bedingten, regionalen Unterschieden (Ambrose & De Niro 1986; Schoeninger 1985; Schoeninger et al. 1983). Das Blätterdach eines Waldes schirmt die Pflanzen am Boden von atmosphärischem CO_2 ab, so dass den Pflanzen dort hauptsächlich ^{13}C -ärmeres, biogen erzeugtes CO_2 zur Verfügung steht. Dieser „Baldachineffekt“ vermindert die $\delta^{13}C$ -Werte der Pflanzen und ihrer Konsumenten. Niedrige $\delta^{13}C$ -Werte können ein Hinweis auf den Grad der Bewaldung und die vorherrschenden Umweltbedingungen sein (Ambrose

² C_3 -Pflanzen nutzen den Calvin-Zyklus für die ersten Schritte der chemischen Umsetzung von CO_2 in Glucose und Wasser. Dabei entsteht ein C_3 -Körper als Zwischenprodukt (Campbell 1997).

³ Bei C_4 -Pflanzen wird dem Calvin-Zyklus eine andere Art der CO_2 -Fixierung vorausgeschaltet, CO_2 wird zunächst in C_4 -Körper eingebaut (Campbell 1997).

1987). Der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert hat auch ökosystem-spezifisch charakteristische Werte, so können terrestrische und aquatische Ökosysteme unterschieden werden (Bösl et al. 2006; Doppler et al. 2010; Müldner & Richards 2007).

Das schwere Stickstoff-Isotop ^{15}N reichert sich im Verlauf der Nahrungskette in den Geweben der Konsumenten an. Pflanzen nehmen den Stickstoff direkt aus der Umgebung in Form von Nitratverbindungen auf und haben niedrige $\delta^{15}\text{N}$ -Werte. Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte herbivorer Lebewesen liegen niedriger (ca. 4-6‰) als die omnivorer (~6-8‰) und carnivorer (~9-15‰). Von einer Trophiestufe zur nächsten nehmen die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte um 3-4‰ zu (Ambrose & De Niro 1986; Bocherens et al. 1997; Schoeninger 1985; Schoeninger et al. 1983).

Hülsenfrüchte weisen einen niedrigeren $\delta^{15}\text{N}$ -Wert auf als andere Pflanzen, da Leguminosen mit stickstofffixierenden Bakterien in Symbiose leben, die stark gegen das schwere Stickstoffisotop ^{15}N diskriminieren.

Anders als bei den C-Isotopenwerten, lassen sich aber anhand der Stickstoffwerte nicht unbedingt Rückschlüsse auf die Werte der Pflanzen, deren Physiologie und die lokalen Bedingungen ziehen. Einige Pflanzen gehen eine Symbiose mit stickstofffixierenden Bakterien ein (Leguminosen), die atmosphärischen Stickstoff zu Ammoniak reduzieren. Es werden weitere Formen von Symbiosen (z.B. Mykorrhiza) genannt, aber auch andere Bodenkomponenten (z.B. Aminosäuren) dürften zusätzlich als Stickstofflieferanten dienen, besonders wenn mineralisierter Stickstoff knapp ist. Dies alles kann verantwortlich für ungewöhnlich oder generell niedrige $\delta^{15}\text{N}$ -Werte sein. Die meisten Pflanzen nehmen Stickstoff als Bodennitrat auf, das dann zu Ammonium (NH_4) reduziert werden muss. Bodennitrat ist ein schnell ausgelaugtes Zwischenglied zwischen organischem Material im Boden und organischem Pflanzenmaterial. Dieser intermediäre Status kann entscheidend für die von der Pflanze aufgenommene Stickstoff-Isotopenzusammensetzung sein. Sowohl während der Produktion von Ammonium als auch bei der Denitrifizierung, kann das Bodennitrat durch Reduktion zu N_2 oder NO umgewandelt werden. Dabei kann eine Fraktionierung der Isotopen stattfinden. Beide Prozesse neigen dazu mit ^{15}N angereicherte Nitrate für Pflanzenernährung zu hinterlassen. Eine zusätzliche Schwierigkeit ist, dass Pflanzenproteine vergleichsweise mobil sind. So können Unterschiede in der Isotopenzusammensetzung zwischen verschiedenen Pflanzenorganen zu unterschiedlichen Jahreszeiten entstehen. Blätter, reich an dem Protein Rubisco können sich in ihren Isotopen von Samen, reich an spezialisierten Speicherproteinen, unterscheiden. Es besteht jedoch eine große Variabilität der Daten und starke umweltbedingte Gradienten (Handley et al. 1999). So ändert sich die Zusammensetzung der N-Isotope von Boden und Pflanzen, die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte werden niedriger mit steigendem jährlichem Niederschlag und mit abnehmender Jahrsdurchschnittstemperatur (Ronald-Amundson et al. 2003).

In marinen Ökosystemen wird das Meerwasser durch Denitrifikationsprozesse mit hohem Fraktionierungsfaktor mit schweren Stickstoffisotopen angereichert. Daher haben marine Lebewesen höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte als terrestrische der gleichen Trophiestufe. Hinzu kommt, dass in aquatischen Systemen die Nahrungsketten meist länger sind. Ebenso können Wasser- und / oder Ernährungsstress zu erhöhten $\delta^{15}\text{N}$ -Werten führen (Ambrose & De Niro 1986; Schoeninger 1985; Schoeninger et al. 1983).

Bei Säuglingen, die gestillt wurden, zeigt sich die vergleichsweise höchste Anreicherung des schweren N-Isotops im Kollagen. Zur Milchproduktion wird bei laktierenden Frauen der körpereigene Stickstoff verwendet. Der $\delta^{15}\text{N}$ -Wert der Milch ist daher im Vergleich zum eigenen Gewebe um 3-4‰ höher. Der Wert des Säuglings liegt somit eine Trophiestufe über dem der Mutter. Bei Kindern bis zu einem Jahr liegt die Knochenumbaurate bei 200%, eine Nahrungsumstellung oder ein nahrungsbedingter Mangel schlägt sich demnach schneller im Kollagen nieder als bei Erwachsenen (Katzenberg 1996; Richards 2002; Schurr 1997). Diese Ergebnisse können, kombiniert mit den Ergebnissen aus den demographischen Berechnungen, wichtige Hinweise auf die Ernährung und Pflege von Säuglingen und Kleinkindern geben.

Im Vergleich mit den Isotopenwerten von herbivoren oder karnivoren Tieren desselben Habitats kann die Wahrscheinlichkeit des jeweiligen Anteils der potentiellen Nahrung berechnet werden (z.B. Phillips et al. 2005; Fry 2008; Doppler et al. 2010; Mays 2012). Diese statistischen Berechnungen sind jedoch keineswegs trivial (siehe auch Kap 5.9.3 und 5.9.5) und werden kontrovers diskutiert (z.B. Caut et al. 2008a, 2008b, 2009, 2010; Perga et al. 2010, Auerswald et al. 2010, Casey et al. 2011).

1.5.3 Aminosäureanalyse (ASA) zur Qualitätskontrolle des Kollagens

Um Erhaltungsgrad und Qualität des Kollagens zu überprüfen wurde bereits im Rahmen der Diplomarbeit (Czermak 2003) das aus dem Knochenmaterial der Individuen der Separatgrablege Etting extrahierte Kollagen einer Aminosäureanalyse (ASA) unterzogen. Durch diagenetische Veränderungen kann sich die Aminosäurezusammensetzung des Kollagens ändern (genauer zur Diagenese von Kollagen: z.B. Dobberstein et al. 2009; Harbeck & Grupe 2009). In Anbetracht der stark abweichenden $\delta^{13}\text{C}$ -Werte des Großteils der Individuen aus Etting wurden die Messungen der Aminosäurezusammensetzung in die Dissertation mit aufgenommen um diagenetische Veränderungen des untersuchten Kollagens als mögliche Ursache für die Abweichung auszuschließen. Die Ergebnisse der Aminosäureanalyse wurden mit den Werten von nativem Kollagen verglichen (Tab. 1.13). Die Δ -Werte stellen die Abweichung der $\delta^{13}\text{C}$ - bzw. $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Aminosäuren von dem δ -Wert des Gesamtmoleküls dar. Anschließend wurde die Qualität des Kollagens nach mehreren Kriterien (Tab. 1.14) bestimmt.

Aminosäure		% der AS im Kollagen	Anzahl C- Atome	% C im Kollagen	Anzahl N- Atome	% N im Kollagen	$\Delta^{13}\text{C} \%$	$\Delta^{15}\text{N} \%$
Hydroxyprolin	OH-pro	8,9	5	11,65	1	7,47	-0,5	+3,6
Aspartat	asp	4,4	4	4,61	1	3,69	-1,2	+1,3
Threonin	thr	1,7	4	1,78	1	1,43	+3,4	-8,5
Serin	ser	3,6	3	2,38	1	3,02	+2,8	-1,7
Glutamat	glu	7,4	5	9,69	1	6,21	+1,8	+2,1
Prolin	pro	13,0	5	17,02	1	10,91	0,0	+2,0
Glycin	gly	33,4	2	17,49	1	28,22	+3,5	-2,1
Alanin	ala	11,2	3	8,80	1	9,40	-2,9	+0,8
Cystein	cys	-	-	-	-	-	-	-
Valin	val	2,5	5	3,27	1	2,10	-8,0	+7,5
Methionin	met	0,5	5	0,65	1	0,42	-	-
Isoleucin	ile	0,9	6	1,41	1	0,76	-2,3	-3,7
Leucin	leu	2,3	6	3,61	1	1,93	-12,3	+8,5
Tyrosin	tyr	0,3	9	0,71	1	0,25	-	-
Phenylalanin	phe	1,2	9	2,83	1	1,01	-6,5	+2,3
Histidin	his	0,5	6	0,79	3	1,26	-	-
Hydroxylysin	OH-lys	0,5	6	0,79	2	0,84	-1,9	+0,2
Lysin	lys	2,7	6	4,24	2	4,53	-1,7	+1,0
Arginin	arg	5,0	6	7,85	4	16,78	-3,4	-2,7

Tab. 1.13: Aminosäurezusammensetzung in nativem Kollagen (Nach Ambrose 1993)

Guter Erhaltungszustand	Schlechter Erhaltungszustand
> 250 nmol AS / mg Protein ca. 33 mol % (1/3) gly (~weniger) ca. 33 mol % (1/3) pro+OH-pro+ala (~weniger) gly / glu = 3-5 gly / asp \geq 5-7 asp / pro < 10 OH-pro / pro \sim 0,8 OH-pro / asp \geq 1,5	< 50 nmol AS / mg Protein ca. 40 mol % asp & ser (lässt auf bakterielle Kontamination schließen) gly / glu < 2,5 gly / asp < 5 asp / pro > 10 OH-pro / asp < 1,5 Hohe Anteile von Serin und Asparaginsäure lassen auf bakterielle Kontamination schließen.

Tab. 1.14: Kriterien für den Erhaltungszustand von Kollagen (De Niro & Weininger 1988; De Niro 1985; Elster et al. 1991; Grupe 1992b; Harbeck & Grupe 2009; Masters 1987; Schoeninger et al. 1989; Taylor et al. 1989; Tuross 2002; Tuross et al. 1988)

1.6 Herkunftsrekonstruktion (Sr- und O-Isotopen-Analysen)

Diese Analysen wurden im Rahmen einer Diplomarbeit (Gaugler 2006) durchgeführt, daher werden hier nur die Grundlagen der Methodik erklärt, um die Neuinterpretation der Daten verständlich zu machen.

1.6.1 Sauerstoff

Stabile Sauerstoffisotope können aufgrund ihrer klimatischen Sensitivität Indikatoren für das geographische Ursprungsgebiet von Lebewesen sein. Sauerstoff ist eines der häufigsten chemischen Elemente und kommt elementar in der Luft, gebunden in Wasser und vielen weiteren organischen und anorganischen Verbindungen vor (Mortimer 1996). Natürlicher Sauerstoff besteht aus drei stabilen Isotopen, die in unterschiedlichen Häufigkeiten auftreten:

$^{16}\text{O} = 99,7630\%$, $^{17}\text{O} = 0,0375\%$ und $^{18}\text{O} = 0,1995\%$.

Die Sauerstoffisotopen-Zusammensetzung in der Umwelt hängt von der Fraktionierung des ^{18}O -Isotopes gegen das ^{16}O -Isotop während der Verdunstung, der Kondensation und dem Niederschlag im Sauerstoffkreislauf ab, da ^{18}O bevorzugt in der flüssigen Phase angereichert wird (Bentley & Knipper 2005). Für die Auswertung der Analysen wurde das $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnis bestimmt. Die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte in menschlichen Skelettfunden können zur Identifikation von Einwanderern herangezogen werden, wenn die untersuchte Region hinreichend zoniert ist (White et al. 1998). Die Isotopenverhältnisse werden auf den Mean Ocean Water-Standard (SMOW) bezogen und als Abweichung von diesem in δ -Notation und ‰ dargestellt.

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

Sauerstoffisotope aus der Phosphatfraktion des Knochenminerals stehen in direktem Zusammenhang mit der Sauerstofffraktion in Nahrung und Trinkwasser. Deren Sauerstoff-Isotopie wiederum ist eine Funktion des Wasservorkommens in der Umwelt (Niederschlag, recyceltes Wasservorkommen in Quellen, Flüssen und Seen). Da die ^{18}O -Werte des atmosphärischen Sauerstoffes relativ konstant sind, können Unterschiede der Isotopien auf verschiedene Trinkwasserressourcen zurückgeführt werden. Das Oberflächenwasser, das in der Regel als Trinkwasser dient, wird wiederum von der Temperatur beeinflusst. Wasser mit dem schwereren ^{18}O -Isotop geht, im Gegensatz zu Wasser mit dem leichteren ^{16}O -Isotop, nicht so schnell in die Gasphase über. Somit wird das verdampfende Wasser erst bei höheren Temperaturen mit ^{18}O angereichert (Burk & Stuiver 1981; Stephan 2000). Der ^{18}O -Wert in den Niederschlägen verringert sich mit zunehmendem Abstand zur Küste. Da sich im Regen das ^{18}O -Isotop anreichert (flüssige Phase), verliert der in den Wolken verbleibende Wasserdampf an ^{18}O . An Gebirgsketten regnen die Wolken vermehrt ab, dadurch wird auch das schwere ^{18}O -Isotop verstärkt abgerechnet, der verbleibende Wasserdampf wird ^{18}O -ärmer. Stark negative $\delta^{18}\text{O}$ -Werte sprechen demnach einerseits für eine größere Entfernung zur Küste und andererseits für eine zunehmende Höhenlage (Abb. 1.32) (Bentley & Knipper 2005; Bowen & Wilkinson 2002; Burk & Stuiver 1981). Mit Hilfe des Online Isotopes in Precipitation Calculators (OIPC)⁴ können die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte für spezifische Orte berechnet werden.

Die Erneuerungsrate von Sauerstoff-Isotopen in Knochenmaterial ist nicht genau bekannt, es werden aber in etwa 10 Jahre angenommen (Mays 2000). Daher sollten die Isotopenwerte die ökologischen Verhältnisse der letzten 10 Jahre eines Individuums widerspiegeln.

⁴ http://wateriso.eas.purdue.edu/waterisotopes/pages/data_access/form.html

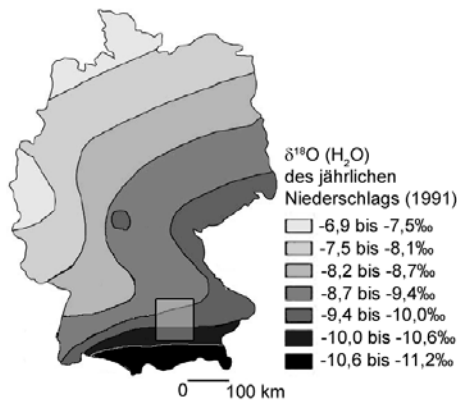


Abb. 1.32: Konturkarte von Deutschland mit den durchschnittlichen jährlichen $\delta^{18}\text{O}$ -Werten im Niederschlag (SMOW) (Messung 1991). Das Rechteck markiert das Gebiet in dem sich die untersuchten Bestattungsplätze befinden. (Abbildung modifiziert nach Bentley 2005)

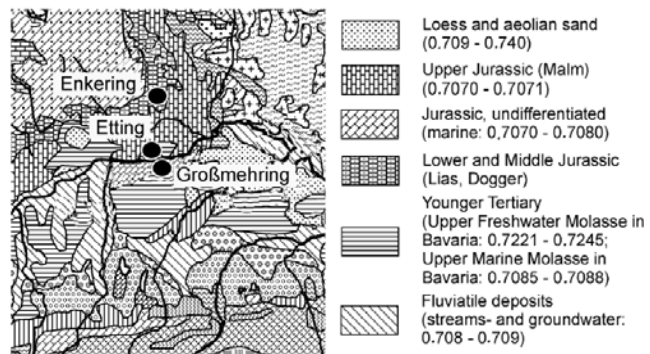


Abb. 1.33: Geologische Karte von Südostdeutschland mit den Haupt-Gesteinsformationen. Die untersuchten Bestattungsplätze sind markiert (Abbildung modifiziert nach Price 2004)

Die Sauerstoffisotopien wurden von Gaugler (2006) nicht, wie allgemein üblich, aus der Phosphatfraktion des Knochens (z.B. Lee-Thorp & van der Merwe 1991), sondern aus der Karbonatfraktion gemessen. Da Daten aus der Karbonatfraktion auf einen anderen Standard (V-PDB) bezogen sind als Daten aus der Phosphatfraktion (V-SMOW), ist zunächst ein Umrechnen der Daten über mehrere komplexe Rechenschritte notwendig, um diese auf das Wasser (SMOW) und somit via OIPC auf bestimmte Orte beziehen und mit anderen Studien vergleichen zu können. Des Weiteren muss die im Knochen stattfindende Fraktionierung und somit die Anreicherung von ^{18}O in den Geweben beachtet werden. Da diese nur für den Sauerstoff aus der Phosphatgruppe des Hydroxylapatits und nicht für das strukturelle Karbonat beschrieben ist, muss ebenfalls eine Umrechnung erfolgen (Gaugler 2006; Strott, Czermak & Grupe 2008).

Beispiele für eine Möglichkeit der Umrechnung, zu verwendende Regressionsgleichungen und Literaturangaben siehe Vohberger (2011), kritische Anmerkungen siehe Pollard (2011a).

1.6.2 Strontium

Das ^{87}Sr -Isotop ist ein Zerfallsprodukt des radioaktiven ^{87}Rb ($t_{1/2} = 48,8 \times 10^9$ Jahre)⁵. Der ^{87}Sr -Gehalt eines Gesteins ist demnach abhängig von der Ausgangskonzentration an ^{87}Rb und dem Alter des Gesteins. Unterschiedliche geologische Gebiete zeigen jeweils charakteristische Strontiumisotopenverhältnisse. Erdgeschichtlich alte, rubidiumreiche Gesteinsformationen wie tonreiche Böden, Schiefer oder Vulkangesteine, die einen höheren Anteil an Kalium und Kieselsäure haben (z.B. Granit), weisen häufig höhere $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte auf ($\approx 0,715$ bis zu $0,720$) (Faure 1986; Faure & Povel 1972; Price et al. 2004). Im Gegensatz dazu haben geologisch junge (< 100 Millionen Jahre), rubidiumarme Gesteine niedrigere $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte (z.B. Basalt $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} < 0,704$) (Rogers & Hawkesworth 1989). In Gesteinen aus marinen Sedimenten wie Kalkstein ist die Spanne der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Wert nur gering ($0,7070 - 0,7093$) (Price et al. 2004; Veizer & Compston 1974). Die Isotopien in den verschiedenen Gesteinsformationen sind also eine direkte Funktion von Alter und Zusammensetzung (Faure & Povel 1972; Price et al. 2004). Die Bestimmungsgenauigkeit wird für $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ mit $0,00001$ oder besser angegeben (Price et al. 2004). Da Gesteine unterschiedliche Konzentrationen an Strontium enthalten, wird der ^{87}Sr -Gehalt auf die Konzentration des ^{86}Sr bezogen (Schweissing & Grupe 2000) (Abb. 1.33).

Während des Aufbaus des mineralischen Anteils von Knochen und Zähnen kommt es im Hydroxylapatit zu einer Substitution von Kalzium durch Strontium. Dabei ist die Konzentration

⁵ Bei dem radioaktiven Zerfall von ^{87}Rb zu ^{87}Sr handelt es sich um einen β^- -Zerfall. Dabei wird im Kern ein Neutron in ein Proton umgewandelt und ein hochenergetisches Elektron emittiert. Somit erhöht sich die Ordnungszahl um eins, die Nukleonenzahl des Kerns ändert sich nicht (Mortimer 1996).

des Strontiums in Lebewesen von der Trophiestufe abhängig, die Isotopenzusammensetzung wird dadurch aber nicht beeinflusst (Price et al. 1994). Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopenzusammensetzung in Zahnschmelz und Knochen leitet sich vom Sr-Isotopenverhältnis in Nahrung und Trinkwasser ab, welches wiederum von dem Isotopenverhältnis des Bodens und des darunter liegenden Gesteins generiert wird (Price et al. 2002). Der Wert des elementaren Strontiums und die Isotopen in Steinen, Grundwasser, Boden, Pflanzen und Tieren sind abhängig von den jeweiligen lokalen geologischen Bedingungen (Dasch 1969).

Zahnschmelz wird in der Kindheit gebildet und so gut wie nicht umgebaut (Schroeder 2001). Das Isotopenverhältnis im Zahnschmelz sollte daher dem Isotopenverhältnis der Aufenthaltsregion in der frühen Kindheit entsprechen. Für die Analyse wurde der erste Dauermolar verwendet, dessen Schmelz sich in den ersten vier Lebensjahren bildet. Unterscheidet sich die Isotopie im Zahnschmelz von der des Bodens in dem das Individuum bestattet wurde, so ist davon auszugehen, dass das Individuum seine frühe Kindheit vermutlich in einer anderen geologischen Region verbracht hat (Bentley 2006; Ericson 1985; Grupe et al. 1999; Grupe et al. 1997; Parfitt 1983; Price et al. 1994).

Einen guten Überblick über die Grundlagen der Methode bietet das Review von Bentley (2006), kritische Anmerkungen siehe Pollard (2011b).

1.7 Statistische Datenauswertung

1.7.1 Deskriptive Statistik

Allen statistischen Berechnungen voran erfolgt ein Test auf Normalverteilung. Der verwendete Kolmogorow-Smirnow-Test (KS) überprüft, inwieweit die Werte signifikant von der Normalverteilung abweichen. Die statistisch auszuwertenden Daten wurden mit Hilfe einer explorativen Datenanalyse untersucht und beurteilt. Bei metrischen Daten wurden Mittelwerte, Standardabweichung, Median und 95 %ige Konfidenzintervalle berechnet, bei ordinalen und nominalen Daten wurden Häufigkeitsanalysen durchgeführt.

1.7.2 Mittelwertvergleich oder Verteilungen von zwei oder mehreren Gruppen

Alle Tests auf den Vergleich von Mittelwerten funktionieren nach dem Prinzip eines Vergleiches zweier Hypothesen. Die Nullhypothese postuliert, dass die Mittelwerte von zwei oder mehr Gruppen auf einem Niveau von 0,05 gleich sind. Liegt der Wert der Signifikanz über diesem Niveau ($p > 0,05$), ist die Nullhypothese bestätigt und die Mittelwerte von zwei oder mehr Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant. Liegt der Wert darunter ($p < 0,05$), wird die Nullhypothese abgewiesen und die Mittelwerte der getesteten Gruppen sind signifikant verschieden. Die erhobenen Daten wurden nach folgender Vorgehensweise statistisch ausgewertet (Doppler 2008) (Abb. 1.34):

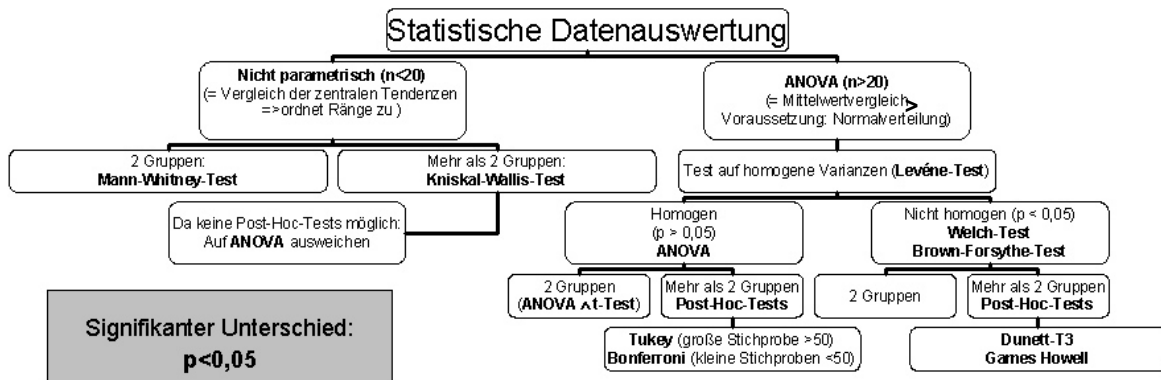


Abb. 1.34: Schema der Vorgehensweise bei der Statistischen Datenauswertung mit SPSS. (Schema der Auswertung nach Doppler 2008).

Für metrische Merkmale und Fallzahlen von $n > 20$ wird eine einfaktorielle **ANOVA** (*analysis of variance*) durchgeführt, um zu testen, ob sich die Mittelwerte auf einem Signifikanzniveau von 0,05 unterscheiden. Für diese Art von Mittelwertvergleich wird eine Normalverteilung der Daten vorausgesetzt, daher wird die Grundgesamtheit der zu untersuchenden Daten zunächst auf Normalverteilung getestet (Brosius 1998). Gleichzeitig wird ein **Levene-Test** auf Homogenität der Varianzen zwischen den zu untersuchenden Datengruppen durchgeführt. Dieser ist, neben einer Normalverteilung der Daten eine weitere Voraussetzung für die ANOVA (Brosius 1998). Der Levene-Test selbst setzt jedoch keine Normalverteilung voraus. Sind die Varianzen nicht homogen ($p < 0,05$), kann keine ANOVA durchgeführt werden. Zum Mittelwertvergleich wurden in diesem Fall der **Welch-Test (W)** bzw. der **Brown-Forsythe-Test (BF)** verwendet. Beide sind robust gegenüber Abweichungen der Varianzen in zwei zu vergleichenden Gruppen (Heidemann 2004).

Bei Homogenität der Varianzen ($p > 0,05$) kann eine ANOVA erfolgen. Eine einfaktorielle ANOVA, die nur zwei Gruppen vergleicht entspricht im Wesentlichen einem t-Test (Vergleich von Mittelwerten in zwei Gruppen). Sowohl der t-Test als auch ANOVA sind relativ robust gegenüber Abweichungen von der Normalverteilung (Heidemann 2004).

Werden mehr als zwei Gruppen miteinander verglichen und belegt ein signifikantes Ergebnis der ANOVA, dass sich mindestens zwei der ausgewerteten Gruppen hinsichtlich des untersuchten Merkmals signifikant unterscheiden, werden **Post-Hoc-Tests** (*A posteriori Tests*) verwendet. Dadurch wird festgestellt, um welche der Gruppen es sich handelt. Der geläufigste Test ist der **Tukey-HSD-Test** (HSD = *honestly significant difference*). Er setzt jedoch voraus, dass die Varianzen der untersuchten Gruppen homogen sind und dass die Stichprobengröße nicht zu klein ($n > 50$) ist. Untersucht man eine geringe Anzahl von Werten ($n < 50$), ist der **Bonferroni-Test** geeigneter, wobei dieser relativ konservativ bewertet. Diese Tests entsprechen einem t-Test zwischen allen Gruppen.

Liegt keine Homogenität der Varianzen in den getesteten Gruppen vor wird bei mehr als zwei Gruppen entweder der T_3 -Test nach **Dunnett** oder der **Games-Howell-Test** angewendet.

Mittelwertvergleiche und darauf basierende Tests sollten nicht bei Fallzahlen von weniger als 20 angewendet werden (Heidemann 2004). Bei $n < 20$, nicht-normal verteilten oder nicht-metrischen Daten, müssen zum Vergleich der zentralen Tendenz einer Variablen nicht-parametrische Tests verwendet werden. Sollen zwei Gruppen von Rangdaten (ordinale Daten) bzw. nicht normal verteilten Daten geprüft werden, wird der **Mann-Whitney-Test** (U-Test, **MWhU**) angewendet. Für einen Vergleich von Daten in mehreren Gruppen wird der **Kruskal-Wallis-Test** (**KW**) gewählt. Beide Tests untersuchen ob die unabhängigen Stichproben aus derselben Grundgesamtheit stammen. Die Werte aller Gruppen werden zu einer Gruppe zusammengefasst und in aufsteigender Reihenfolge geordnet. Jedem der Werte wird dann ein bestimmter Rang zugewiesen, der seine Position in der Gruppe beschreibt. Aus diesen Rangdaten wird für die verschiedenen Gruppen jeweils die Summe der Rangwerte berechnet und danach die Hypothese getestet, ob die Stichproben aus der gleichen Grundgesamtheit stammen (Brosius 1998) (Übersicht der Abkürzungen: Tab. 1.15).

1.7.3 Korrelationen von metrischen und nicht-metrischen Daten

Eine Korrelation beschreibt die Beziehung zwischen statistischen Variablen. Sie kann ein Hinweis auf einen kausalen Zusammenhang zweier statistischer Größen sein. Der Korrelationswert r (-koeffizient) ist ein Maß für den Grad des linearen Zusammenhangs und kann Werte zwischen $r = -1$ und $r = +1$ annehmen. Wenn der Wert $r = 0$ aufweist, besteht kein linearer Zusammenhang, die Werte sind unabhängig. Bei $r = 0,3$ bzw. $r = 0,8$ werden 9 % bzw. 64 % der gesamten auftretenden Varianz im Hinblick auf einen statistischen Zusammenhang erklärt.

Das Quadrat des Korrelationskoeffizienten r^2 (Regression, Bestimmtheitsmaß) gibt das allgemeine Verhältnis der Abweichung zwischen zwei Variablen an ($r^2 \times 100 = \%$ der allgemeinen Abweichung).

Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Merkmalen untereinander wurden mit dem Korrelationskoeffizienten nach **Pearson (Pears)** bestimmt. Dieser gibt eine lineare Korrelation von zwei metrischen Merkmalen untereinander an. Dabei wird die Richtung der Abhängigkeit angegeben. Je nach Vorzeichen besteht ein negativer oder positiver Zusammenhang. Die Korrelationen werden bei einem Niveau von 0,01** als „hochsignifikant“, auf dem Niveau von 0,05* als „signifikant“ angegeben. Dieser Wert beschreibt die Wahrscheinlichkeit für eine „falsche“ Berechnung (Heidemann 2004). Die Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Pearson setzt keine Normalverteilung voraus, nimmt diese aber an. Bei Werten von $r > 0,3$ wird von einer linearen Korrelation ausgegangen. Ist der berechnete Wert $r < 0,3$ liegt keine direkte lineare Korrelation vor (Abb. 1.35). Bei nur geringfügigen Abweichungen von diesem Wert wird von einer „Tendenz“ gesprochen, wobei eine Scheinkorrelation überprüft werden muss. Bei einer Scheinkorrelation ist ein Zusammenhang zwar statistisch existent, aber nicht als Beziehung zwischen den Variablen interpretierbar (Heidemann 2004).

Wenn die Daten jedoch nicht parametrisch sind (ordinale Daten), erfolgt die Berechnung der Korrelationen nach **Spearman-Rho (SpRho)**. Dabei wird keine lineare Verteilung angenommen und ein Rangkorrelationskoeffizient angegeben (Heidemann 2004).

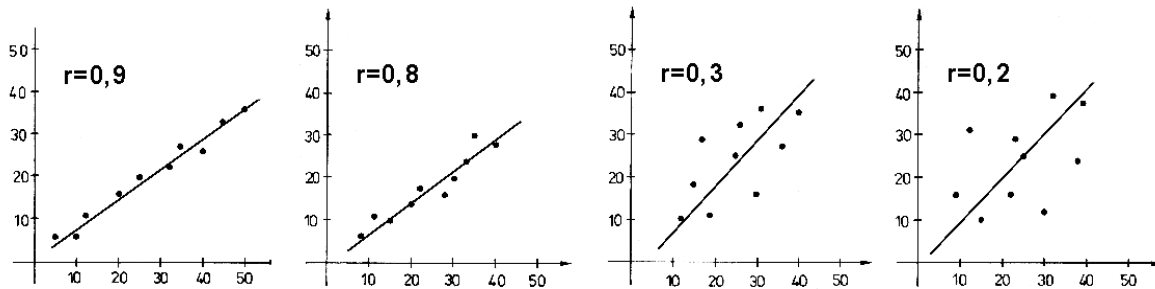


Abb. 1.35: Beispiele für positiv lineare Korrelationen. Bei einem Wert 1 besteht ein vollständig positiver linearer Zusammenhang zwischen den betrachteten Merkmalen. Wenn der Korrelationskoeffizient den Wert 0 aufweist, hängen die beiden Merkmale nicht linear voneinander ab. Bei Werten von $r > 0,3$ wird von einer linearen Korrelation ausgegangen, ist der Wert $r < 0,3$ liegt keine direkte lineare Korrelation vor. Ist der Wert nur unwesentlich kleiner als 0,3 wird von einer „Tendenz“ gesprochen. (Abbildung modifiziert nach: <http://www.fam-pape.de/raw/ralph/studium/stochastik/index.html>; Stand 03/2010)

1.7.4 Auswertung von Boxplots und Bestimmung von „Ausreißern“

Die graphische Darstellung der Daten anhand eines Boxplots liefert einen Überblick über die Häufigkeitsverteilung von numerischen Werten. Er zeigt Lage, Streuung und Extremwerte einer Verteilung an. Die Werte werden hier anstelle der X-Achse über die Y-Achse dargestellt. Im Gegensatz zur Häufigkeitsverteilung mittels Gaußkurve erhält man einen Vergleich über die jeweilige Lage mehrerer Datenreihen.

Die Spannweite des Boxplots umfasst den gesamten Wertebereich eines Datensatzes. Der Querstrich in den Boxen beschreibt den Median, 50% der Fälle haben demnach höhere und 50% der Fälle niedrigere Werte als dieser Wert. In der Box liegen die mittleren 50% aller Daten (Quartilabstand), die oberen und unteren Ränder der Box halbieren jeweils die obere (entspricht dem 75. Perzentil) und untere (entspricht dem 25. Perzentil) Hälfte der Stichprobe. Die waagrechten Linien am Ende der Striche („Whisker“), zeigen die höchsten bzw. niedrigsten beobachteten Werte an, die noch keine Ausreißer sind. Innerhalb dieser Grenzen liegen in der Regel 99 % aller beobachteten Werte. Punkte außerhalb der Box stellen Ausreißer dar. Diese sind um mehr als 1,5 Box-Längen vom 25. bzw. 75. Perzentil entfernt (Brosius 1998) (Abb. 1.36).

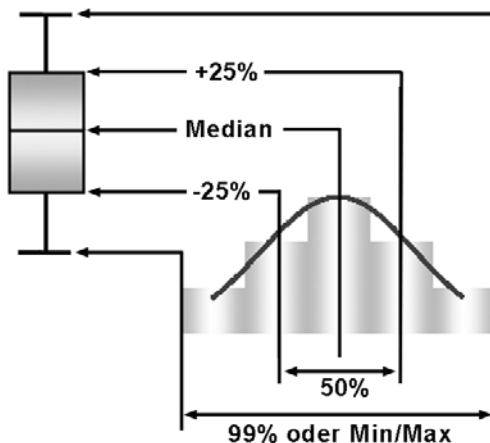


Abb. 1.36: Schematische Darstellung eines Boxplots (links) im Vergleich mit der Gauß'schen Verteilungskurve (rechts).

(Abbildung modifiziert nach www.crgraph.de/Boxplot.pdf, Stand 03/2010).

Verwendete Abkürzungen der statistischen Tests		
Korrelationen		
Normalverteilt	Pearson	Pears
Nicht normalverteilt	Spearman-Rho	Sp-Rho
Unterschiede		
Mittelwertvergleich	<i>Analysis of variance</i>	ANOVA
	Welch-Test	W
	Brown-Forsythe-Test	BF
Vergleich zentraler Tendenzen	Mann-Whitney-U-Test	MWhU
	Kruskal-Wallis-Test	KW

Tab. 1.15: Zusammenfassung der verwendete Abkürzungen der für die Auswertung verwendeten statistischen Tests.

1.8 Literatur Anhang

- Adler C-P. 1983. Knochenkrankheiten. Stuttgart: Thieme.
- Ambrose SH. 1987. Stable carbon and nitrogen isotope analysis of human and animal diet in Africa. *Journal of Human Evolution* 15:707-731.
- Ambrose SH. 1993. Isotopic Analysis of Paleodiets: Methodological and Interpretive Considerations. In: Stanford MK, editor. *Investigation of ancient human tissue, chemical analysis in Anthropology*. Longhorn Pennsylvania, USA: Gordon and Breach Science PublisherS. 59-130.
- Ambrose SH, De Niro M. 1986. Reconstruction of African human diet using bone collagen carbon and nitrogen isotope ratios. *Nature* 319:321-323.
- Auerswald K, Wittmer M, Zazzo A, Schäufele R, Schnyder H. 2010. Biases in the analysis of stable isotope discrimination in food webs. *Journal of Applied Ecology* 47 (4): 936-941.
- Bentley RA. 2006. Strontium Isotopes from the Earth to the Archaeological Skeleton: A Review. *Journal of Archaeological Method and Theory* 13 (3):135-187.
- Bentley RA, Knipper C. 2005. Geographical Patterns in Biologically Available Strontium, Carbon and Oxygen Isotope Signatures in Prehistoric SW Germany. *Archaeometry* 47 (3):629-644.
- Bigeleisen J. 1996. Temperature dependence of the isotope chemistry of the heavy elements. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 93 (18):9393-9396.
- Bocherens H, Grupe G, Mariotti A, Turban-Just S. 1997. Isotopic biochemistry as a marker of Neandertal diet. *Anthropologischer Anzeiger* 55:101-120.
- Boskey AL. 1999. Mineralization, Structure, and Funktion of Bone. In: Seibel MJ, Robins SP, Bilezikian JP, editors. *Dynamics of Bone and Cartilage Metabolism*: Academic Press.
- Bösl C, Grupe G, Peters J. 2006. A Late Neolithic vertebrate food web based on stable isotope analyses. *International Journal of Osteoarchaeology* 16:296-315.
- Bosshardt DD, Selvig KA. 1997. Dental cementum: the dynamic tissue covering of the root. *Periodontology* 2000 13:41-75.
- Bowen GJ, Wilkinson B. 2002. Spatial distribution of $\delta^{18}\text{O}$ in meteoric precipitation. *Geology* 30 (4):315-318.
- Brosius F. 1998. SPSS 8. Das mitp-Standardwerk. Bonn: Mitp.
- Brown A, Dusso A, Slatopolsky S. 1999. Vitamin D. Invited Review. *American Journal of Physiology* 277 (Renal Physiology 46):157-175.
- Burk RL, Stuiver M. 1981. Oxygen isotope ratios in trees reflect mean annual temperature and humidity. *Science* 211 (4489):1417-1419.
- Burmester GR, Stuhlmüller B, Keyszer G, Kinne RW. 1997. Mononuclear phagocytes and rheumatoid synovitis. Mastermind or workhorse in arthritis? *Arthritis & Rheumatism* 40 (1):5-18.
- Burr DB, Robling AG, Turner CH. 2002. Effects of biomechanical stress on bones in animals. *Bone* 30 (5):781-786.
- Campbell NA. 1997. *Biologie*. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum.
- Casey M, Post D. 2011. The problem of isotopic baseline: Reconstructing the diet and trophic position of fossil animals. *Earth-Science Reviews* 106 (1-2): 131-148.
- Caut St, Angulo E, Courchamp F. 2008a. Discrimination factors ($\Delta^{15}\text{N}$ and $\Delta^{13}\text{C}$) in an omnivorous consumer: effect of diet isotopic ratio. *Functional Ecology* 22 (2): 255-263.
- Caut St, Angulo E, Courchamp F. 2008b. Caution on isotopic model use for analyses of consumer diet. *Canadian Journal of Zoology* 86 (5): 438-445.
- Caut St, Angulo E, Courchamp F. 2009. Variation in discrimination factors ($\Delta^{15}\text{N}$ and $\Delta^{13}\text{C}$): the effect of diet isotopic values and applications for diet reconstruction. *Journal of Applied Ecology* 46 (2): 443-453.
- Caut St, Angulo E, Courchamp F, Fuguerola J. 2010. Trophic experiments to estimate isotope discrimination factors. *Journal of Applied Ecology* 47 (4): 948-954.
- Child Am. 1995. Towards an Understanding of the Microbial Decomposition of Archaeologic Bone in the burial Environment. *Journal of Archaeological Science* 22:165-174.
- Collins MJ, Nielsen-Marsh CM, Hiller J. 2002. The Survival of Organic Matter in Bone: A Review. *Archaeometrie* 44(3):383-394.
- Dasch EJ. 1969. Strontium isotopes in weathering profiles, deep-sea sediments and sedimentary rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 33 (12):1521-1522.
- De Niro M, Weininger S. 1988. Chemical, enzymatic and spectroscopic characterization of "collagen" and other organic fractions from prehistoric bones. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52 (9):2197-2206.
- De Niro MJ. 1985. Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to paleodietary reconstruction. *Nature* 317 (6040):806-809.
- Doppler S. 2008. Alters-, Aktivitäts- und Krankheitsmerkmale in der menschlichen Knochenmikrostruktur: Eine vergleichende Studie einer individualaltersbekannten historischen Population mit rezenten Menschen. München: Dissertation.
- Doppler S, Vohberger M, von Carnap-Bornheim C, Heinrich D, Peters J, Grupe G. 2010. Biodiversity of Archaeological Fauna in the Estuarine Palaeoecosystem of the Schleifjard, Northern Germany: Isotopic Evidence. *Documenta Archaeobiologiae* 8: 21-70.
- Ebashi S. 1972. Calcium Ions and Muscle Contraction. *Nature* 240:217-218.
- Elster H, Gil-Av E, Weinera S. 1991. Amino acid racemization of fossil bone. *Journal of Archaeological Science* 18 (5):605-617.

- Ericson JE. 1985. Strontium isotope characterization in the study of prehistoric human ecology. *Journal of Human Evolution* 14 (5):503-514.
- Faure G. 1986. *Principles of Isotope Geology*. New York: John Wiley.
- Faure G, Powel T. 1972. *Strontium Isotope Geology*. New York: Springer-Verlag.
- Felsenberg D. 2001. Struktur und Funktion des Knochens. *Pharmazie in unserer Zeit* 30 (6):488-493.
- Frost HM. 1985. The "New Bone": Some Anthropological Potentials. *Yearbook of Physical Anthropology* 28:211-226.
- Fry B. 2008. *Stable Isotope Ecology*. Springer Verlag. New York.
- Gröbner W, Walter-Sack I. 2002. Hyperurikämie und Gicht - Diagnostik. *Deutsche Medizinische Wochenschrift* 127:207-209.
- Grupe G. 1992b. Analytisch-chemische Methoden in der prähistorischen Anthropologie: Spurenelemente und stabile Isotope. Knußmann R (Hrsg): *Anthropologie Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen, Band II: Allgemeine Anthropologie*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. S. 66-73.
- Grupe G, Balzer A, Turben-Just S. 2000. Modelling Protein diagenesis in ancient bone: towards a validation of stable isotope data. In: Ambrose SH, Katzenberg A, editors. *Biogeochemical Approaches to Palaeodietary Analysis*. New York, Boston, Dordrecht: Kluwer Academic/Plenum Publisher. S. 173-187.
- Grupe G, Christiansen K, Schröder I, Wittwer-Backofen U. 2005. *Anthropologie. Ein einführendes Lehrbuch*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Grupe G, Price DT, Schröter P, Söllner F, Johnson CM, Bearde BL. 1999. Mobility of Bell Beaker people revealed by strontium isotope ratios of tooth and bone: a study of southern Bavarian skeletal remains. A reply to the comment by Peter Horn and Dieter Müller-Sohnius. *Applied Geochemistry* 14 (2):271-275.
- Grupe G, Schmid EM, Soika J. 1997. Identification of medieval human soft tissue remains in an advanced state of decomposition. *Biotech Histochem* 72 (3):135-140.
- Hackenbroch MH. 2002. *Arthrosen*. Stuttgart: Thieme.
- Handley LL, Austin AT, Stewart GR, Robinson D, Scrimgeour CM, Raven JA, Heaton THE, Schmidt S. 1999. The ^{15}N natural abundance ($\delta^{15}\text{N}$) of ecosystem samples reflects measures of water availability. *Functional Plant Biology* 26 (2):185-199.
- 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 (1):43-57.
- Harms J. 2010. www.harms-spinesurgery.com. Karlsbad: Stand 10/2010.
- Heidemann L. 2004. How to SPSS? Eine ganz kurze und oberflächliche Anleitung zur Verwendung der wichtigsten Verfahren zur statistischen Datenanalyse mit SPSS. www.tu-dresdende/phfis/heidemann/ZUR_DATENAUSWERTUNG_MIT_SPSSpdf (Stand März 2010).
- Herrmann B, Grupe G, Hummel S, Piepenbrink H, Schutkowski H. 1990. *Prähistorische Anthropologie. Leitfaden der Feld- und Labormethoden*. Berlin: Springer-Verlag.
- Hert J, Fiala P, Petryl M. 1994. Osteon Orientation of the Diaphysis of the Long Bones in Man. *Bone* 15:269-277.
- Horn F, Lindenmeier G, Moc I, Grillhösl C, Berghold S. 2002. *Biochemie des Menschen*. Stuttgart: Thieme.
- Imhof H, Halpern B, Herneth AM, Friedrich K, Matzner M, Müller-Mang C. 2010. *Wirbelsäule*: Thieme.
- Jäger F. 2003. *Die Biomechanik der menschlichen Wirbelsäule in Abhängigkeit vom Grad der Ventralflexion. Ein theoretisches Modell mit besonderer Berücksichtigung des intradiscalen Drucks*. Ruhr-Universität Bochum: Dissertation.
- Jilka RL, Hangoc G, Girasole G, Passeri G, Williams DC, JS Abrams JS, Boyce B, Broxmeyer H, Manolagas SC. 1992. Osteoclast development after estrogen loss: Mediation by interleukin-6. *Science* 257 (5066):88-91.
- Katzenberg A, Herring, A., Saunders, S. 1996. Weaning and infant mortality. *Yearbook of Physical Anthropology* 39:177-199.
- Kerley ER. 1965. The Microscopic Determination of Age in Human Bone. *American Journal of Physical Anthropology* 23:146-164.
- Knowles AK. 1983. Acute traumatic lesions. *Disease in Ancient Man*. Toronto: Hart, G.D., Clark Irwin. S. 61-83.
- Koolman J, Röhm, K.-H. 1998. *Taschenatlas der Biochemie, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage*. Stuttgart: Thieme Verlag.
- Libby WF. 1970. *Radiocarbon Dating*. London: The Royal Society, Series A, Mathematical and Physical Sciences.
- Liebermann DE. 1994. The Biological Basis for Seasonal Increments in Dental Cementum and their Application to Archaeological Research. *Journal of Archaeological Science* 21:525-539.
- Liebermann DE. 1997. Making Behavioral and Phylogenetic Inferences from Hominid Fossils: Considering the Developmental Influence of Mechanical Forces. *Annual Review of Anthropology* 26:185-210.
- Löffler G, Petrides PE. 1997. *Biochemie und Pathobiochemie*. Berlin-Heidelberg-New York: Springer.
- Lovell NC. 1997. Trauma Analysis in Paleopathology. *American Journal of Physical Anthropology* 140 (S25):139-170.
- Martin RB, Burr DB, Sharkey NA. 1998. *Skeletal Tissue Mechanics*. New York, Berlin, Heidelberg: Springer.
- Masters PM. 1987. Preferential preservation of noncollagenous protein during bone diagenesis: implications for chronometric and stable isotopic measurement. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 51 (12):3209-3214.
- Mays S. 2000. New Directions in the Analysis of Stable Isotopes in Excavated Bones and Teeth. In: Cox M, Mays S, editors. *Human Osteology: In Archaeology and Forensic Science*: Greenwich Medical Media Ltd. S. 425-438.
- Mays S, Beavan N. 2012. An investigation of diet in early Anglo-Saxon England using carbon and nitrogen stable isotope analysis of human bone collagen. *Journal of Archaeological Science* 39 (4): 867-874.

- McGonagle D, Conaghan PG, O'Connor P, Gibbon W, Green M, Wakefield R, Ridgway J, Emery P. 1999. The relationship between synovitis and bone changes in early untreated rheumatoid arthritis: A controlled magnetic resonance imaging study. *Arthritis & Rheumatism* 42 (8):1706-1711.
- Mitchell PD, Nagar J, Ellenblum R. 2006. Weapon injuries in the 12th century Crusader garrison of Vadum Iacob Castle, Galilee. *International Journal of Osteoarchaeology* 16 (2):145-155.
- Mortimer CE. 1996. Chemie, 6.Auflage. Stuttgart: Thieme.
- Müldner G, Richards MP. 2007. Diet and Diversity at Later Medieval Fishergate: The Isotopic Evidence. *American Journal of Physical Anthropology* 134:162-174.
- Nordin M, Frankel V. 1989. Basic biomechanics of the musculoskeletal system. Philadelphia: Lea & Febiger.
- Norman AW. 1998. Sunlight, season, skin pigmentation, vitamin D and 25-hydroxyvitamin: integral components of the vitamin D endocrine system. *American Journal of Clinical Nutrition* 67 (6):1108-1110.
- Panjabi MM, White AA. 2000. Biomechanics in the Musculoskeletal System: Churchill Livingstone.
- Parfitt AM. 1979. Quantum Concept of Bone Remodeling and Turnover: Implications for the Pathogenesis of Osteoporosis. *Calcified Tissue International* 28:1-5.
- Parfitt AM. 1983. Stereologic Basis of Bone Histomorphometry; Theory of Quantitative Microscopy and Reconstructing of the Third Dimension. In: Recker RR, editor. *Bone Histomorphometry: Techniques and Interpretation*. Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc.
- Perga M-E, Grey J. 2010. Laboratory measures of isotope discrimination factors: comments on Caut, Angullo & Courchamp (2008, 2009). *Journal of Applied Ecology* 47 (4): 942-947.
- Persikov AV, Ramshaw RAM, Kirkpatrick A, Brodsky B. 2000. Amino Acid Propensities for the Collagen Triple-Helix. *Biochemistry* 39:14960-14967.
- Phillips DL, Newsome SD, Gregg JW. 2005. Combining Sources in Stable Isotope Mixing Models: Alternative Methods. *Oecologia* 144 (4): 520-527. phillip
- Pollard AM, Pellegrini M, Lee-Thorp JA. 2011a. Technical Note: Some Observations on the Conversion of Dental Enamel $\delta^{18}\text{O}_\text{p}$ Values to $\delta^{18}\text{O}_\text{w}$ to Determine Human Mobility. *American Journal of Physical Anthropology* 145 (3): 499-504.
- Pollard AM. 2011b. Isotopes and impact: a cautionary tale. *Antiquity* 85 (328): 631-638.
- Price DT, Knipper C, Grupe G, Smrcka V. 2004. Strontium Isotopes and Prehistoric Human Migration: The Bell Beaker Period in Central Europe. *European Journal of Archaeology* 7 (1):9-40.
- Price TD, Burton JH, Bentley RA. 2002. The Characterization of Biologically Available Strontium Isotope Ratios for the Study of Prehistoric Migration. *Archaeometry* 44 (1):117-135.
- Price TD, Johnson CM, Ezzo JA, Ericson J, Burton JB. 1994. Residential Mobility in the Prehistoric Southwest United States: A Preliminary Study using Strontium Isotope Analysis. *Journal of Archaeological Science* 21 (3):315-330.
- Rauber-Kopsch. 1955. Lehrbuch und Atlas der Anatomie des Menschen, Band 1. Stuttgart: Thieme Verlag.
- Reiche I, Vignaud C, Menu M. 2002. The Crystallinity of Ancient Bone and Dentin: New Insights by Transmission Electron Microscopy. *Archaeometrie* 44(3):447-459.
- Richards MP. 2002. Stable carbon and nitrogen isotope values of bone and teeth reflect weaning age at the medieval Wharram Percy Site, Yorkshire, UK. *American Journal of Physical Anthropology* 119:205-210.
- Rogers G, Hawkesworth CJ. 1989. A geochemical traverse across the North Chilean Andes: evidence for crust generation from the mantle wedge. *Earth and Planetary Science Letters* 91 (3-4):271-285.
- Ronald-Amundson R, Austin AT, Schuur EA, Yoo K, Matzek V, Kendall C, Uebersax A, Brenner D, W.T. B. 2003. Global patterns of the isotopic composition of soil and plant nitrogen. *Global Biogeochemical Cycles* 17 (1):1031.
- Schmorl G, Junghanns H. 1951. Die gesunde und kranke Wirbelsäule in Röntgenbild und Klinik. Stuttgart: Thieme.
- Schoeninger MJ. 1985. Trophic level Effects on $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios in bone collagen and strontium levels in bone mineral. *Journal of Human Evolution* 14:515-525.
- Schoeninger MJ, DeNiro MJ, Tauber H. 1983. Stable nitrogen ratios of bone collagen reflects marine and terrestrial components of prehistoric human diet. *Science* 220:1380-1383.
- Schoeninger MJ, Moore KM, Murray ML, Kingston JD. 1989. Detection of bone preservation in archaeological and fossil samples. *Applied Geochemistry* 4 (3):281-292.
- Schroeder HE. 2001. Orale Strukturbilogie. Stuttgart: Thieme.
- Schultz M. 2001. Paleohistopathology of Bone: A New Approach to the Study of Ancient Diseases. *Yearbook of Physical Anthropology* 44:106-147.
- Schurr MR. 1997. Stable nitrogen isotopes as evidence for the age of weaning at the Angel Site: A comparison of isotopic and demographic measures of weaning age. *Journal of Archaeological Science* 24:919-927.
- Schwegler JS. 2002. Der Mensch, Anatomie und Physiologie. Stuttgart: Thieme.
- Schweissing MM, Grupe G. 2000. Local or nonlocal? A research of strontium isotope ratios of teeth and bones on skeletal remains with artificial deformed skulls. *Anthropologischer Anzeiger* 58 (1):99-103.
- Sobotta J. 1988. Atlas der Anatomie des Menschen. München, Wien, Baltimore: Urban & Schwarzenberg.
- Stephan E. 2000. Oxygen Isotope Analysis of Animal Bone Phosphate: Method Refinement, Influence of Consolidants, and Reconstruction of Palaeotemperatures for Holocene Sites. *Journal of Archaeological Science* 27 (6):523-535.
- Taylor RE, Ennis PJ, Slota PJJ, Payen LA. 1989. Non-age-related variations in aspartic acid racemization in bone from a radiocarbon-dated late Holocene archaeological site. *Radiocarbon* 31 (3):1048-1056.

- Tsukii K, Shima N, Shin-ichi S, Higashio K. 1998. Osteoclast Differentiation Factor Mediates an Essential Signal for Bone Resorption Induced by $1\alpha,25$ -Dihydroxyvitamin D₃, Prostaglandin E₂, or Parathyroid Hormone in the Microenvironment of Bone. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 246 (2):337-341.
- Tuross N. 2002. Alterations in fossil collagen. *Archaeometrie* 44 (3):427-434.
- Tuross N, Fogel M, Hare PE. 1988. Variability in the preservation of the isotopic composition of collagen from fossil bone. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52 (4):929-935.
- Veizer J, Compston W. 1974. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ composition of seawater during the Phanerozoic. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 38 (9):1461-1484.
- Waldeyer AJ. 2002. *Anatomie des Menschen* (17. Auflage): de Gruyter.
- Wang X, Puram S. 2004. The Toughness of Cortical Bone and It's Relationship with Age. *Annals of Biomedical Engineering* 32:123-135.
- Weiner S, Wagner HD. 1998. The Material Bone: Structure-Mechanical Function relations. *Annual Review of Material Science* 28:271-298.
- White AA, Panjabi MM. 1990. *Clinical Biomechanics of the Spine*. Philadelphia: JB Lippincott.
- White CD, Spence MW, Stuart-Williams HL, Schwarcz HP. 1998. Oxygen Isotopes and the Identification of Geographical Origins: The Valley of Oaxaca versus the Valley of Mexico. *Journal of Archaeological Science* 25 (7):643-655.
- Windisch A, Reitingner A, Traxler H, Radner H, Neumayer C, Feigl W, Firbas W. 1999. Morphology and histochemistry of myogelosis. *Clinical Anatomy* 12(4):266-271.
- Zoetis T, Tassinari MS, Bagi C, Walthall K, Hurtt ME. 2003. Species Comparision of Postnatal Bone Groth and Development. *Birth Defects Research (Part B)* 68:86-110.

2 Ergänzendes Datenmaterial

2.1 Befundbogen

Bearbeiter: Andrea Czermak
Datum: **Bruckmühl** Grab: **Erhaltungszustand: 1 2 3 4 5**

Alter: (geschätzt am Skelett)
I1 I2 J
A M S
Nicht bestimmbar

Geschlecht: **M♂** eher M
W♀ eher W
Nicht bestimmbar

Schädel:
Oberkiefer:
Unterkiefer:

Maße:
Humerus kleinster Diaphysen Umfang
Humerus größte Länge
Humerus Längen-Dicken-Index
(= $U/L \times 100$)
Femur sagittaler Ø d. Diaphysenmitte
Femur transversaler Ø d. Diaphysenmitte
Femur ganze Länge
Femur Robustitätsindex
(= $[sD+TD]/L \times 100$)
Femur Oberer sagittaler Ø d. Diaphyse
Femur Oberer transversaler Ø d. Diaphyse
Femur Index Platymericus (= $sD/TD \times 100$)
75,0-84,9 platymer 85,0-99,9 eurymer 100-x stenomer

	R	L
Humerus		
Caput humeri		
Diaphyse		
Trochlea		
Condylus humeri		
Ulna		
Olecranon		
Diaphyse		
Circumferentia art.		
Radius		
Caput radii		
Diaphyse		
Facies art. carpalis		

Hande:		
Carpus		
Os scaphoideum		
Os lunatum		
Os triquetrum		
Os pisiforme		
Os trapezium		
Os trapezoidum		
Os capitatum		
Os hamatum		
Ossa metacarpi	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
Phalanges proximales	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
media	2 3 4 5	2 3 4 5
distales	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5

Wirbel	Gelenk- fläche links	Wirbel- körper	Gelenk- fläche rechts
Halswirbel (vertebrae cervicis)			
oben		Fovea dentis	
Atlas			
unten			
oben		Dens axis	
unten			
3			
4			
5			
6			
7			

Clavicula		
Facies artic. acromialis		
Facies artic. sternalis		
Scapula		
Cavitas glenoidalis		
Facies artic. clavicularis		
Sternum		

Pelvis		
Acetabulum		
Facies lunata		
Facies auricularis		
Facies symphysialis		
Costae (12)		

Brustwirbel (vertebrae thoracalis)			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

Lendenwirbel (vertebrae lumbalis)			
1			
2			
3			
4			
5			
Os sacru			

	R	L
Femur		
Caput		
Diaphyse		
Facies patellaris		
Condylen		
Patella		
Tibia		
Condylen		
Diaphyse		
Facies art. malleoli		
Fibula		
Facies art. capitis		
Diaphyse		
Facies art. malleoli later.		

2.2 Einzelergebnisse

2.2.1 Einzelzählergebnisse der Zahndünnschnitte mit Hilfe des TCA-Programmes

Der beiliegenden CD zu entnehmen (enthält die gesamten erhobenen Rohdaten, die daraus erstellten Mittel- und Modalwerte und das berechnete Sterbealter für jedes Individuum)

2.2.2 Liste der Gesamtdaten

Der beiliegenden CD zu entnehmen (enthält die gesamten erhobenen Rohdaten inkl. der morphologischen Untersuchungen, der morphologischen Altersbestimmung und den Zählungen der TCA-Bilder „per Hand“) (Originaldaten Kelheim: Strott 2006).

2.2.3 Katalog der ausgewerteten Bestattungsplätze

Gekürzte Fassung mit den wichtigsten Individualdaten (Sterbealter, Geschlecht, Körperhöhe und Daten der C / N-Isotopenanalyse). Individuen, deren Kollagendaten nach der Qualitätskontrolle nicht verwendet wurden sind mit einem Stern (*) markiert. (Originaldaten Kelheim: Strott 2006).

Bestattungs- platz	Grab	Friedhofs- teil	Friedhofs- klasse	Erhaltungs- zustand	Geschl.	Sterbe- alter	Körper- höhe	Kollagen (mg)	C/N (molar)	C %	N %	δ ¹³ C permil/PDB	δ ¹⁵ N permil/air	δ ¹⁵ N Rinder- eichung
Brm	1	W	3	mittel	W	J	157,1	0,47	3,20	39,55	14,43	-20,10	9,02	X
Brm	2	W	3	schlecht	W	fA	X	0,54	3,16	36,52	13,49	-19,98	9,55	X
Brm	3	W	3	sehr gut	M	mA	172,9	0,45	3,14	41,00	15,24	-19,49	9,53	X
Brm	4	O/W?	3	kein Material	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Brm	5	W	3	sehr gut	w	l2	X	0,41	3,17	38,56	14,20	-20,00	9,44	X
Brm	6*	W	3	schlecht	w	fA	X	0,54	3,21	52,85	19,23	-19,96	9,12	X
Brm	7*	W	3	schlecht	W	fM	X	0,51	3,14	62,57	23,25	-19,84	8,16	X
Brm	8	W	3	sehr schlecht	X	l1	X	0,45	3,22	40,59	14,72	-19,32	13,06	X
Brm	9	W	3	sehr schlecht	X	l1	X	0,51	3,22	40,23	14,59	-19,73	9,74	X
Brm	10	W	3	schlecht	w	A	X	0,58	3,23	35,93	12,99	-19,77	10,14	X
Brm	11	W	3	sehr schlecht	X	J	X	0,55	3,29	39,00	13,83	-20,09	9,87	X
Brm	12	W	3	schlecht	W	fA	X	0,53	3,10	39,62	14,89	-19,93	8,70	X
Brm	13	W	3	schlecht	M	mA	17X,8	0,63	3,14	29,20	10,86	-19,78	9,71	X
Brm	14	W	3	schlecht	W	mM	X	0,53	3,18	38,99	14,31	-19,75	8,38	X
Brm	15	W	3	mittel	W	mA	X	0,51	3,19	36,86	13,50	-19,75	9,75	X
Brm	16	W	3	sehr schlecht	m	fA	X	0,40	3,29	36,84	13,07	-20,30	9,11	X
Brm	17	W	3	sehr gut	m	mA	X	0,38	3,25	31,79	11,43	-19,76	10,38	X
Brm	18	W	3	fehlt	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Brm	19	W	3	sehr gut	M	sA	184,9	0,47	3,21	36,92	13,43	-20,17	9,28	X
Brm	20	W	3	mittel	w?	sA	X	X	X	X	X	X	X	X
Brm	21	W	3	mittel	W	fA	166,4	0,45	3,21	37,77	13,74	-20,06	9,54	X
Brm	22	W	3	schlecht	w	fA	X	0,48	3,25	33,05	11,86	-19,86	9,79	X
Brm	23	W	3	mittel	w	A	X	0,52	3,19	37,91	13,86	-19,86	9,38	X
Brm	24	W	3	sehr schlecht	m	fA	X	0,49	3,27	32,99	11,78	-19,79	9,88	X
Brm	26	O	2	sehr gut	w	l2	X	0,50	3,18	46,16	16,96	-20,17	9,42	X
Brm	27	O	2	sehr gut	M	fA	X	0,49	3,24	47,36	17,07	-19,63	9,54	X
Brm	28	W	3	gut	W	fM	161,6	0,33	3,15	35,71	13,22	-19,87	8,96	X
Brm	29	O	2	gut	m	l1	X	X	X	X	X	X	X	X
Brm	30*	O	2	schlecht	X	X	X	0,53	3,27	19,65	7,00	-20,13	7,93	X
Brm	31	O	1	mittel	W	sA	X	0,54	3,19	41,76	15,25	-19,78	9,63	X
Brm	32*	O	1	schlecht	W	fA	X	0,53	X	0,00	0,00	-19,72	10,21	X
Brm	33	O	1	schlecht	W	fA	X	0,54	3,25	35,32	12,67	-19,78	9,07	X
Brm	34*	O	1	schlecht	m	mA	X	0,58	X	0,00	0,00	-19,54	10,35	X
Brm	35*	O	1	sehr schlecht	X	mA	X	0,50	X	0,00	0,00	-19,96	9,83	X
Brm	36	O	2	sehr gut	M	J	X	0,40	3,28	40,07	14,27	-19,97	9,63	X
Brm	(37)	O	2	nicht geborgen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Brm	38	O	2	gut	W	mA	X	0,56	3,16	42,74	15,76	-19,81	9,39	X
Brm	39	O	2	sehr schlecht	w	J	X	0,00	X	0,00	0,00	0,00	0,00	X
Brm	(40)	O	2	nicht geborgen	X	X	X	0,00	X	0,00	0,00	0,00	0,00	X
Brm	41	O	2	schlecht	(m)	A	X	0,54	3,20	47,55	17,34	-19,71	9,27	X
Brm	42	O	2	gut	W	mA	X	0,49	3,28	40,84	14,55	-19,71	9,63	X
Brm	43	O	1	kein Material	w	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Brm	44	O	2	gut	W	fA	169,1	0,45	3,28	41,14	14,62	-19,73	9,45	X
Brm	45	O	2	schlecht	m	J	X	0,44	3,27	35,55	12,70	-20,34	9,02	X
Brm	(46)	O	2	nicht geborgen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Bestattungs- platz	Grab	Friedhofs- teil	Friedhofs- klasse	Erhaltungs- zustand	Geschl.	Sterbe- alter	Körper- höhe	Kollagen (mg)	C/N (molar)	C %	N %	$\delta^{13}\text{C}$ permil/PDB	$\delta^{15}\text{N}$ permil/air	$\delta^{15}\text{N}$ Rinder- eichung
Ett	1	KgrW	2	gut	m	mA	168,4	0,36	3,73	42,98	13,46	-21,44	10,11	4,01
Ett	2	KgrW	2	mittel	m	fM	175,7	0,34	3,66	41,28	13,16	-21,66	10,69	4,59
Ett	3A	KgrZgW	1	gut	m	fM	171,8	0,25	3,69	49,64	15,68	-21,30	10,19	4,09
Ett	3B	KgrZgW	1	gut	m	mA	171,5	0,20	4,15	46,93	13,12	-22,50	10,46	4,36
Ett	3C	KgrZgW	1	gut	m	mA	170,0	0,32	3,49	44,10	14,73	-20,28	10,32	4,22
Ett	4	KgrW	2	gut	w	sA	166,4	0,30	3,47	40,88	13,75	-21,45	9,20	3,10
Ett	5	KgrW	2	gut	w	mM	164,3	0,21	3,95	43,94	12,98	-22,20	9,89	3,79
Ett	6	KgrW	2	gut	w	sM	158,9	0,43	3,71	40,93	12,88	-20,93	9,78	3,68
Ett	7	O	3	schlecht	m	mA	170,0	0,21	3,89	39,07	11,71	-22,43	10,07	3,97
Ett	8	O	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ett	9	O	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ett	10/I*	O	3	gut	w	J	159,6	0,30	3,65	50,05	16,02	-21,33	8,78	2,68
Ett	10/II	O	3	mittel	w	sA	163,2	0,26	4,11	46,65	13,24	-22,75	9,41	3,31
Ett	11	O	3	gut	w	J	X	0,45	3,65	40,05	12,79	-20,93	9,69	3,59
Ett	12	O	3	schlecht	(m)	I2	X	0,31	3,83	44,38	13,53	-21,66	9,46	3,36
Ett	13	O	3	gut	m	fA	169,0	0,39	3,54	36,54	12,05	-21,43	9,24	3,14
Ett	14	O	3	schlecht	nicht best.	I1	X	0,42	3,64	42,66	13,67	-20,73	12,53	6,43
Ett	15	O	3	mittel	nicht best.	I1	X	0,30	3,76	41,47	12,88	-21,54	9,38	3,28
Ett	16	O	3	mittel	w	mA	154,7	0,48	3,87	42,60	12,83	-21,54	9,84	3,74
Ett	17	O	3	mittel	w	fA	162,1	0,22	3,60	42,86	13,87	-22,08	9,80	3,70
Ett	18/I	O	3	gut	m	fM	174,3	0,38	3,46	40,73	13,73	-20,31	9,75	3,65
Ett	18/II	O	3	mittel	m	fM	171,5	0,28	3,61	38,81	12,56	-21,72	8,87	2,77
Ett	19*	O	3	schlecht	m	J	156,8	0,31	4,46	59,20	15,48	-22,41	9,19	3,09
Ett	20	O	3	schlecht	w	mM	164,7	0,24	3,91	46,77	13,96	-22,11	9,50	3,40
Ett	21	O	3	schlecht	nicht best.	I1	X	0,33	3,68	40,38	12,80	-21,48	12,13	6,03
Ett	22	O	3	mittel	m	S	165,9	0,30	3,53	47,58	15,74	-21,08	10,25	4,15
Ett	23	O	3	gut	w	sA	167,1	0,20	3,97	43,81	12,87	-22,59	8,87	2,77
Ett	24/I	O	3	gut	w	I2	X	X	X	X	X	X	X	X
Ett	24/II	O	3	gut	m	I2	X	X	X	X	X	X	X	X
Ett	25*	O	3	gut	m	sM	168,7	0,33	4,25	28,10	7,71	-22,97	9,16	3,06
Ett	26	O	3	gut	w	fA	162,4	0,23	4,13	46,53	13,14	-22,57	9,12	3,02
Ett	27	O	3	gut	m	mA	176,2	0,27	3,84	49,07	14,90	-21,97	9,77	3,67
Ett	28*	O	3	gut	w	fM	163,1	0,34	3,53	21,35	7,06	-23,40	9,05	2,95
Ett	29*	O	3	gut	m	sA	165,5	0,29	3,75	26,84	8,36	-22,93	9,36	3,26
Ett	30	O	3	mittel	w	sA	164,0	0,43	3,89	44,35	13,30	-21,71	10,59	4,49
Ett	31	O	3	mittel	m	J	X	0,41	3,83	37,14	11,30	-22,10	8,18	2,08
Ett	32	O	3	fehlt	fehlt	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ett	33	(O)	3	gut	w	fM	159,1	0,38	3,55	39,46	12,98	-21,41	9,46	3,36
Ett	34	(O)	3	schlecht	w	fM	155,3	0,30	3,63	37,54	12,05	-22,02	10,35	4,25

Bestattungs- platz	Grab	Friedhofs- teil	Friedhofs- klasse	Erhaltungs- zustand	Geschl.	Sterbe- alter	Körper- höhe	Kollagen (mg)	C/N (molar)	C %	N %	$\delta^{13}\text{C}$ permil/PDB	$\delta^{15}\text{N}$ permil/air	$\delta^{15}\text{N}$ Rinder- eichung
GrmB3	24/I*	Kgr2/ZG	1	gut	M	fA	179,0	1,00	3,53	21,21	7,01	-19,35	10,30	4,59
GrmB3	24/II*	Kgr2/ZG	1	schlecht	m	J	X	0,36	3,79	44,32	13,65	-19,66	11,34	5,63
GrmB3	24/III	Kgr2/ZG	1	gut	W	sA	X	1,000	3,26	8,42	3,02	-20,23	10,74	5,03
GrmB3	29	SW	3	gut	W	A+	X	0,34	3,79	43,80	13,48	-20,22	8,73	3,02
GrmB3	31	SW	3	schlecht	W	J	X	0,41	3,73	42,56	13,32	-20,29	10,17	4,46
GrmB3	34/I*	SW	3	sehr gut	W	S	161,1	0,35	3,86	32,47	9,82	-20,47	10,48	4,77
GrmB3	34/II	SW	3	sehr gut	W	A+	162,2	X	X	X	X	X	X	X
GrmB3	35/I*	SW	3	gut	X	I2	X	0,45	3,88	25,00	7,51	-19,82	9,23	3,52
GrmB3	35/II	SW	3	schlecht	W	A+	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB3	36*	SW	3	schlecht	M	sA	X	1,00	3,43	8,82	3,00	-20,80	10,05	4,34
GrmB3	37	SW	3	mittel	w (m)	mM	164,2	0,53	3,58	33,08	10,78	-20,33	9,84	4,13
GrmB3	38	SW	3	sehr gut	w	I2	X	0,26	3,28	34,71	12,34	-20,60	8,22	2,51
GrmB3	43	SW	3	sehr gut	M	mM	169,5	0,28	3,55	39,05	12,85	-19,53	10,98	5,27
GrmB3	44	SW	3	schlecht	m	mA	166,2	0,47	3,82	38,07	11,63	-19,84	9,44	3,73
GrmB3	45	SW	3	schlecht	X	I2	X	0,50	3,85	56,07	17,00	-19,10	13,85	8,14
GrmB3	46	SW	3	sehr gut	w	I2	X	0,38	3,82	39,31	12,02	-20,06	10,13	4,42
GrmB3	47	SW	3	mittel	M	fM	181,0	0,49	3,38	38,79	11,84	-19,90	10,80	5,09
GrmB3	48	SW	3	mittel	M	sA	X	0,52	3,83	46,88	14,27	-20,27	10,23	4,52
GrmB3	49	SW	3	gut	W	fA	168,7	0,40	3,67	45,53	14,49	-19,64	9,86	4,15
GrmB3	50	SW	3	gut	w	I2	X	0,33	3,73	39,94	12,96	-20,00	11,30	5,59
GrmB3	51	SW	3	sehr gut	W	M	160,9	0,39	3,93	45,75	13,60	-20,00	10,14	4,43
GrmB3	52	Kgr1/NO	2	gut	M	fM	175,9	0,33	3,74	47,85	14,91	-20,14	9,61	3,90
GrmB3	53	Kgr1/NO	2	gut	M	sA	171,5	0,59	3,37	41,87	14,51	-20,29	9,26	3,55
GrmB3	54	Kgr1/NO	2	gut	W	mA	164,3	0,42	3,57	37,99	12,28	-19,86	10,47	4,76
GrmB3	55 ZG	Kgr1/NO	1	schlecht	M	fM	X	0,40	3,59	41,77	13,58	-19,66	11,22	5,51
GrmB3	56	Kgr1/NO	2	sehr gut	M	fM	164,6	0,29	3,86	34,93	10,57	-20,40	10,28	4,57
GrmB3	57	Kgr1/NO	2	sehr gut	M	fM	165,0	0,40	3,59	41,77	13,58	-19,66	11,22	5,51
GrmB3	59	Kgr1/NO	2	sehr gut	M	mA	166,7	0,32	3,69	36,31	11,49	-20,22	8,51	2,80
GrmB3	60	SW	3	mittel	W	S	161,7	0,35	3,73	47,03	14,70	-20,34	10,17	4,46
GrmB3	61*	SW	3	sehr gut	m	J	X	0,47	3,95	22,80	6,74	-21,01	8,62	2,91
GrmB3	62	SW	3	sehr gut	m	I2	X	0,54	3,86	40,13	12,13	-20,10	8,50	2,79
GrmB3	63	SW	3	schlecht	M	mM	X	0,30	3,80	43,37	13,32	-20,31	10,26	4,55
GrmB3	64	Kgr1/NO	2	sehr gut	m	I2	X	0,34	3,57	38,34	12,54	-20,09	9,30	3,59
GrmB3	65	Kgr1/NO	2	schlecht	M	mA	X	0,31	3,76	46,25	14,36	-19,89	11,05	5,34
GrmB3	66	SW	3	gut	W	sA	X	0,32	3,56	33,13	10,86	-20,34	10,21	4,50
GrmB3	68	SW	3	sehr gut	M	mM	170,6	0,31	3,79	43,48	13,38	-19,99	9,55	3,84
GrmB3	92	SW	3	gut	w	sA	166,8	0,25	3,61	39,45	12,77	-20,01	10,57	4,86
GrmB3	93	SW	3	schlecht	m	fM	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB3	94*	SW	3	sehr gut	w	mA	184,0	0,33	3,91	53,01	15,80	-20,15	10,59	4,88
GrmB3	95	SW	3	gut	W	mA	173,8	0,34	3,27	37,31	13,33	-19,48	11,10	5,39
GrmB3	96	SW	3	sehr gut	w	sA	169,5	0,42	3,72	43,12	13,53	-20,21	9,74	4,03
GrmB3	97	SW	3	sehr gut	M	mA	180,5	0,50	3,66	40,11	12,80	-20,00	10,92	5,21
GrmB3	98	SW	3	schlecht	m	I1	X	0,36	3,81	47,99	14,71	-20,12	10,17	4,46
GrmB3	99*	SW	3	schlecht	M	mA	X	0,40	3,53	26,39	8,73	-19,79	10,68	4,97

Bestattungs- platz	Grab	Friedhofs- teil	Friedhofs- klasse	Erhaltungs- zustand	Geschl.	Sterbe- alter	Körper- höhe	Kollagen (mg)	C/N (molar)	C %	N %	$\delta^{13}\text{C}$ permil/PDB	$\delta^{15}\text{N}$ permil/air	$\delta^{15}\text{N}$ Rinder- eichung
GrmB3	100	SW	3	sehr gut	W	fA	165,9	0,41	3,66	40,20	12,80	-19,81	10,56	4,85
GrmB3	101*	SW	3	schlecht	m	fM	172,4	0,28	3,90	26,00	7,78	-19,94	10,97	5,26
GrmB3	103	Kgr2/NO	2	schlecht	w	sA	X	0,48	3,85	42,44	12,85	-19,88	11,06	5,35
GrmB3	104	Kgr2/NO	2	sehr gut	M	mM	165,0	0,34	3,63	31,61	10,15	-19,83	10,48	4,77
GrmB3	105	Kgr2/NO	2	sehr gut	W	fM	160,9	0,27	3,76	36,06	11,19	-20,12	9,69	3,98
GrmB3	106	Kgr2/NO	2	gut	W	fM	164,2	0,39	3,60	47,33	15,36	-19,91	9,93	4,22
GrmB3	107	Kgr2/NO	2	gut	m	l1nn	X	0,30	3,70	47,40	14,94	-19,99	10,57	4,86
GrmB3	108	SW	3	schlecht	X	sA	X	0,34	3,69	47,00	14,86	-19,95	9,70	3,99
GrmB3	109	SW	3	sehr gut	M	sA	172,8	0,43	3,39	34,65	11,94	-20,24	8,86	3,15
GrmB3	110/I	SW	3	sehr gut	W	J	X	0,28	3,79	38,49	11,86	-20,23	9,35	3,64
GrmB3	110/I)	SW	3	sehr gut	m	fM	171,5	X	X	X	X	X	X	X
GrmB3	110/III	SW	3	sehr schlecht	X	mA	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB2	11	X	4	sehr gut	m	fA	166,7	0,30	3,68	31,73	10,05	-20,48	9,59	3,88
GrmB2	14	X	4	gut	X	l2	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB2	15/I	X	4	sehr gut	M	mM	169,2	0,27	3,81	38,25	11,10	-19,84	10,08	4,37
GrmB2	15/II	X	4	schlecht	X	J	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB2	16	X	4	sehr gut	W	mA	163,8	0,39	3,66	45,22	14,42	-19,97	8,92	3,21
GrmB2	17*	X	4	mittel	(m)	l1	X	1,00	3,33	15,16	5,31	-20,06	10,85	5,14
GrmB2	19	X	4	sehr gut	m	l1nn	X	1,00	3,50	6,65	2,22	-21,68	9,23	3,52
GrmB2	20*	X	4	sehr gut	W	fA	166,6	1,00	3,57	10,42	3,41	-20,07	10,73	5,02
GrmB2	21	X	4	schlecht	m	A+	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB2	22	X	4	sehr gut	w	l1	X	1,00	3,41	17,27	5,91	-19,63	11,01	5,30
GrmB2	23	X	4	sehr gut	w	l2	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB2	25	X	4	mittel	w	mA	166,8	X	X	X	X	X	X	X
GrmB2	26*	X	4	sehr gut	w	l1	X	1,00	3,46	11,12	3,75	-20,21	11,89	6,18
GrmB2	28	X	4	schlecht	W	A+	X	1,00	3,49	17,91	5,99	-19,60	10,83	5,12
GrmB2	114/I	X	4	mittel	W	J	170,4	0,39	3,59	44,13	14,35	-19,81	10,50	4,79
GrmB2	114/II	X	4	sehr gut	W	J	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB2	115*	X	4	sehr gut	w	l1	X	2,04	3,97	9,44	2,78	-19,69	10,45	4,74
GrmB2	116*	X	4	sehr gut	w	l1	X	2,20	4,00	18,47	5,38	-19,76	11,44	5,73
GrmB2	117/I*	X	4	sehr gut	m	mA	168,3	2,63	4,12	13,88	3,93	-19,87	10,89	5,18
GrmB2	117/II*	X	4	sehr gut	M	fM	168,7	2,42	4,00	16,06	4,68	-19,79	9,58	3,87
GrmB2	117/III	X	4	sehr gut	M	mA	171,8	X	X	X	X	X	X	X
GrmB2	117/IV	X	4	schlecht	W	mA	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB2	118	X	4	sehr gut	m	l1	X	0,22	3,35	58,13	18,59	-20,06	8,59	2,88
GrmB2	119	X	4	sehr gut	M	mA	171,1	0,29	3,74	42,98	13,41	-19,63	9,96	4,25
GrmB2	120/I	X	4	mittel	M	sA	177,5	0,38	3,53	45,64	15,07	-20,01	6,75	1,04
GrmB2	120/II*	X	4	sehr gut	W	mA	163,1	0,37	3,71	28,80	9,07	-19,52	10,34	4,63
GrmB2	121*	X	4	sehr gut	W	sM	171,7	0,31	3,53	21,53	7,12	-19,81	11,96	6,25
GrmB2	122	X	4	schlecht	W	fM	X	0,32	3,80	50,73	15,57	-19,94	10,16	4,45
GrmB2	123	X	4	gut	W	fM	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB2	124	X	4	mittel	M	S	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB2	125*	X	4	sehr gut	W	mA	163,7	2,75	3,82	12,88	3,94	-19,96	10,25	4,54
GrmB2	126	X	4	fehlt	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB2	129	X	4	sehr gut	W	mA	159,9	X	X	X	X	X	X	X
GrmB2	132	X	4	gut	W	sA	162,9	X	X	X	X	X	X	X

Bestattungs- platz	Grab	Friedhofs- teil	Friedhofs- klasse	Erhaltungs- zustand	Geschl.	Sterbe- alter	Körper- höhe	Kollagen (mg)	C/N (molar)	C %	N %	$\delta^{13}\text{C}$ permil/PDB	$\delta^{15}\text{N}$ permil/air	$\delta^{15}\text{N}$ Rinder- eichung
GrmB2	133/I	X	4	schlecht	w	J	X	0,24	3,57	53,37	17,42	-19,62	9,54	3,83
GrmB2	133/II	X	4	schlecht	X	I1	X	0,37	3,31	39,04	13,77	-20,30	10,07	4,36
GrmB2	134*	X	4	sehr gut	(m)	I1	X	2,63	3,82	16,15	4,94	-18,74	13,22	7,51
GrmB2	135	X	4	sehr gut	(w)	I2	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB2	136*	X	4	sehr gut	(w)	I1	X	2,60	3,81	7,31	2,24	-20,12	10,54	4,83
GrmB2	143*	X	4	schlecht	M	sA	X	2,32	3,78	14,02	4,33	-20,22	9,07	3,36
GrmB2	144	X	4	sehr gut	M	I1	X	0,42	3,67	38,70	12,37	-19,39	13,29	7,58
GrmB2	153	X	4	schlecht	W	mM	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB2	154	X	4	sehr gut	M	sA	177,7	0,34	3,81	41,13	12,58	-20,06	10,75	5,04
GrmB2	156	X	4	schlecht	X	I1	X	0,58	3,16	44,82	16,57	-18,80	14,17	8,46
GrmB2	157	X	4	gut	M	mM	171,6	0,38	3,67	56,96	18,10	-19,51	10,91	5,20
GrmB1	5*	X	4	sehr schlecht	W	M	X	0,60	2,13	12,11	6,62	-20,82	16,26	10,55
GrmB1	6	X	4	fehlt	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB1	7	X	4	schlecht	W	mA	X	0,45	3,85	46,80	14,18	-19,90	8,72	3,01
GrmB1	bei 7	X	4	schlecht	X	I1	X	0,27	3,36	30,45	10,58	-20,19	9,59	3,88
GrmB1	8*	X	4	sehr gut	w	J	X	0,40	3,56	21,13	6,92	-20,34	11,18	5,47
GrmB1	71	X	4	sehr gut	M	mA	172,0	0,35	3,72	38,13	11,97	-19,67	10,66	4,95
GrmB1	72/I	X	4	sehr gut	W	mA	159,1	X	X	X	X	X	X	X
GrmB1	72/II	X	4	schlecht	m	I2	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB1	76	X	4	sehr gut	W	mM	163,8	0,35	3,69	44,20	13,97	-20,17	9,46	3,75
GrmB1	78*	X	4	sehr schlecht	M	fM	X	0,23	3,34	22,89	8,00	-20,61	9,67	3,96
GrmB1	79	X	4	sehr gut	M	mA	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB1	80*	X	4	sehr schlecht	X	I2	X	1,00	3,66	16,99	5,41	-21,01	9,39	3,68
GrmB1	81	X	4	sehr gut	M	sA	177,1	0,52	3,72	42,78	13,41	-19,68	10,60	4,89
GrmB1	82	X	4	sehr gut	m	I2	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB1	83	X	4	fehlt	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB1	112*	X	4	sehr gut	M	fM	169,1	2,91	4,13	11,97	3,38	-20,00	10,62	4,91
GrmB1	113/I*	X	4	mittel	W	mA	X	2,33	3,94	4,42	1,31	-21,02	8,91	3,20
GrmB1	113/II	X	4	mittel	X	I1	X	2,33	3,94	4,42	1,31	-21,02	8,91	3,20
GrmB1	146	X	4	gut	W	fM	158,6	X	X	X	X	X	X	X
GrmB4	2	X	4	sehr gut	M	mM	169,2	0,29	3,91	34,69	10,36	-20,35	9,66	3,95
GrmB4	3	X	4	gut	W	A+	164,7	0,52	3,45	38,12	12,90	-20,00	9,95	4,24
GrmB4	4	X	4	schlecht	W	sA	X	0,45	3,65	39,51	12,63	-20,08	9,98	4,27
GrmB4	39	X	4	sehr gut	W	J	X	1,00	X	X	X	X	X	X
GrmB4	40	X	4	mittel	W	fM	169,6	1,00	3,67	38,77	12,32	-20,12	10,71	5
GrmB4	41	X	4	fehlt	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB4	73	X	4	mittel	(m)	I1	X	0,24	3,60	38,88	12,61	-20,00	12,31	6,6
GrmB4	74	X	4	schlecht	X	I1nn	X	0,45	3,77	39,07	12,08	-19,76	10,88	5,17
GrmB4	75	X	4	sehr gut	W	fM	161,8	0,23	3,57	38,28	12,52	-19,81	10,48	4,77
GrmB4	84	X	4	mittel	W	sA	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB4	85*	X	4	schlecht	w	sA	X	3,32	3,78	7,13	2,20	-20,05	10,74	5,03
GrmB4	86	X	4	mittel	W	S	167,0	X	X	X	X	X	X	X
GrmB4	87*	X	4	mittel	m	sA	X	1,26	3,82	23,55	7,19	-21,15	7,61	1,9
GrmB4	88*	X	4	schlecht	M	mA	X	0,29	4,80	15,50	3,76	-18,48	10,37	4,66
GrmB4	89*	X	4	schlecht	w	fM	X	3,16	3,82	8,59	2,62	-20,33	10,18	4,47
GrmB4	90	X	4	sehr gut	m	I1nn	X		0,71	29,40	3,85	-19,99	8,90	12,98

Bestattungs- platz	Grab	Friedhofs- teil	Friedhofs- klasse	Erhaltungs- zustand	Geschl.	Sterbe- alter	Körper- höhe	Kollagen (mg)	C/N (molar)	C %	N %	$\delta^{13}\text{C}$ permil/PDB	$\delta^{15}\text{N}$ permil/air	$\delta^{15}\text{N}$ Rinder- eichung
GrmB4	91	X	4	schlecht	w	l2	X	0,21	3,51	39,65	13,18	-20,19	9,07	3,36
GrmB4	111*	X	4	schlecht	W	sA	X	2,06	3,79	8,31	2,56	-20,90	8,78	3,07
GrmB4	127	X	4	gut	w	l1	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB4	128	X	4	sehr gut	M	sA	177,1	X	X	X	X	X	X	X
GrmB4	131	X	4	mittel	W	fM	X	0,33	3,64	44,06	14,11	-20,36	9,46	3,75
GrmB4	137	X	4	sehr gut	W	mA	165,8	0,37	3,72	28,21	8,86	-19,33	10,38	4,67
GrmB4	138	X	4	schlecht	W	sM	171,3	0,51	3,39	39,39	13,56	-20,66	8,34	2,63
GrmB4	139	X	4	mittel	W	mA	165,4	0,80	3,73	31,01	9,69	-20,56	11,03	5,32
GrmB4	140	X	4	sehr gut	W	fA	165,2	0,87	3,87	38,17	11,50	-20,23	10,12	4,41
GrmB4	141 Kgr	X	4	schlecht	(m)	l1	X	0,82	3,78	37,20	11,48	-20,78	8,81	3,1
GrmB4	142	X	4	gut	M	fM	168,3	0,40	3,70	46,76	14,74	-20,10	9,56	3,85
GrmB4	147	X	4	sehr gut	M	sM	175,2	0,34	3,72	40,44	12,67	-19,87	10,07	4,36
GrmB4	148	X	4	mittel	w	sM	165,9	0,26	3,84	40,64	12,36	-21,05	9,67	3,96
GrmB4	149	X	4	sehr gut	M	mM	171,5	X	X	X	X	X	X	X
GrmB4	150	X	4	gut	(m)	l1	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB4	151*	X	4	mittel	X	l1nn	X	0,40	3,69	28,07	8,88	-19,45	10,53	4,82
GrmB4	152	X	4	schlecht	X	l1	X	0,42	3,80	47,62	14,62	-20,02	11,06	5,35
GrmB4	155	X	4	sehr gut	w	l2	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB4	158	X	4	fehlt	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
GrmB4	159	X	4	fehlt	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
KehZG	200	W	1	mittel	M	fA	X	X	X	X	X	-20,63	10,23	3,07
Keh1	201	W	2	schlecht	M	mM	X	X	X	X	X	-19,73	9,64	2,48
Keh2	202	W	2	gut	M	mM	172,0	X	X	X	X	-20,66	9,05	1,89
Keh3	203*	W	2	mittel	M	sM	170,0	X	X	X	X	-20,87	13,03	5,87
Keh4	204	W	2	sehr schlecht	m	S	X	X	X	X	X	-19,98	9,66	2,5
Keh5	205	W	2	sehr schlecht	m	mM	X	X	X	X	X	X	X	X
Keh6	206	W	2	schlecht	W	sA	161,0	X	X	X	X	-20,08	10,47	3,31
Keh7	207	W	2	mittel	W	sA	168,0	X	X	X	X	-20,33	10,35	3,19
Keh8	208	W	2	mittel	W	fM	160,0	X	X	X	X	-20,19	9,7	2,54
Keh	38	O	3	gut	M	J	170,0	X	X	X	X	X	X	X
Keh	39	O	3	mittel	W	mM	164,0	X	X	X	X	-20,22	9,05	1,89
Keh	40	O	3	gut	M	sM	177,0	X	X	X	X	-20,15	11,06	3,9
Keh	45	O	3	gut	w	l2	X	X	X	X	X	-20,45	10,11	2,95
Keh	46	O	3	gut	m	l1	X	X	X	X	X	X	X	X
Keh	47	O	3	mittel	m	l2	X	X	X	X	X	X	X	X
Keh	48	O	3	sehr gut	M	fM	178,0	X	X	X	X	-20,62	10,32	3,16
Keh	49	O	3	gut	W	J	X	X	X	X	X	-20,36	10,53	3,37
Keh	50	O	3	gut	m	l2	X	X	X	X	X	X	X	X
Keh	51	O	3	sehr gut	W	fM	161,0	X	X	X	X	X	X	X
Keh	53	O	3	schlecht	X	l1	X	X	X	X	X	X	X	X
Keh	54	O	3	gut	M	mA	173,0	X	X	X	X	X	X	X
Keh	55	O	3	gut	w	mA	173,0	X	X	X	X	-19,96	11,39	4,23
Keh	56	O	3	gut	w	l1	X	X	X	X	X	-19,99	12,72	5,56
Keh	58	O	3	mittel	m	mA	172,0	X	X	X	X	-20,25	10,43	3,27
Keh	59	O	3	gut	w	l1	X	X	X	X	X	-20,34	9,59	2,43
Keh	60	O	3	mittel	w	l2	X	X	X	X	X	-20,14	9,96	2,8

Bestattungs- platz	Grab	Friedhofs- teil	Friedhofs- klasse	Erhaltungs- zustand	Geschl.	Sterbe- alter	Körper- höhe	Kollagen (mg)	C/N (molar)	C %	N %	$\delta^{13}\text{C}$ permil/PDB	$\delta^{15}\text{N}$ permil/air	$\delta^{15}\text{N}$ Rinder- eichung
Keh	61	O	3	sehr gut	M	fM	171,0	X	X	X	X	X	X	X
Keh	62	O	3	gut	W	mA	159,0	X	X	X	X	-19,49	10,81	3,65
Keh	63	O	3	schlecht	W	mA	160,0	X	X	X	X	X	X	X
Keh	65	O	3	mittel	W	sA	156,0	X	X	X	X	-20,56	10,37	3,21
Keh	66	O	3	mittel	W	fM	159,0	X	X	X	X	-20,16	10,62	3,46
Keh	67	O	3	schlecht	M	sM	170,0	X	X	X	X	X	X	X
Keh	68	O	3	mittel	M	mA	166,0	X	X	X	X	-20,13	10,61	3,45
Keh	69	O	3	schlecht	M	sA	155,0	X	X	X	X	X	X	X
Keh	70	O	3	sehr schlecht	w	l2	X	X	X	X	X	X	X	X
Keh	71*	O	3	sehr gut	M	sA	169,0	X	X	X	X	-20,58	13,51	6,35
Keh	72	O	3	sehr gut	W	sA	159,0	X	X	X	X	-19,75	9,34	2,18
Keh	73	O	3	sehr schlecht	w	mA	X	X	X	X	X	-19,89	9,81	2,65
Keh	74	O	3	sehr gut	M	sM	169,0	X	X	X	X	X	X	X
Keh	75	O	3	schlecht	w	J	X	X	X	X	X	-20,71	9,5	2,34
Keh	76	O	3	FEHLT	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Keh	77	O	3	sehr gut	W	sA	160,0	X	X	X	X	-20,28	10,64	3,48
Keh	78	O	3	mittel	W	sA	170,0	X	X	X	X	-20,26	10,59	3,43
Keh	79	O	3	mittel	M	fM	164,0	X	X	X	X	X	X	X
Keh	80	O	3	mittel	M	mA	171,0	X	X	X	X	-20,2	9,88	2,72
Keh	82	O	3	gut	W	mA	162,0	X	X	X	X	-20,34	10,38	3,22
Keh	83	O	3	sehr schlecht	w	S	X	X	X	X	X	-19,83	10,22	XX
Keh	84	O	3	FEHLT	X	X	X	X	X	X	X	X	X	3,06
Keh	85	O	3	sehr schlecht	w	mA	X	X	X	X	X	-20,13	9,99	2,83
Keh	86	O	3	gut	w	l2	X	X	X	X	X	-20,12	11,23	4,07

Enk	1	X	1	sehr gut	W	sA	165,9	1,00	3,79	20,13	6,19	-19,95	10,33	X
Enk	2	X	1	sehr gut	M	fM	167,3	1,00	3,32	10,57	3,71	-20,40	9,57	X
Enk	3	X	1	gut	W	mA	164,9	X	X	X	X	X	X	X
Enk	4	X	2	sehr gut	m	l2	X	X	X	X	X	X	X	X
Enk	5	X	2	schlecht	m	A+	X	X	X	X	X	X	X	X
Enk	6	X	2	gut	W	sM	176,6	X	X	X	X	X	X	X
Enk	7	X	2	fehlt	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Enk	8	X	2	fehlt	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Enk	9	X	2	fehlt	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Enk	10	X	2	gut	X	l1	X	X	X	X	X	X	X	X

2.2.4 Liste der untersuchten Tierknochen

	Grab	Tier	Friedhofs- klasse	Kollagen t (mg)	C/N (molar)	C %	N %	$\delta^{13}\text{C}$ permil/PDB	$\delta^{15}\text{N}$ permil/air
Ett	10/1	Rind	3	0,36	3,726	42,98	13,46	-23,35	6,1
Keh	BV12/08 7711534	Rind	X	X	X	X	X	-21,89	8,46
Keh	BL14/42 771602	Rind	X	X	X	X	X	-21,02	4,06
Keh	BV12/08 1535	Rind	X	X	X	X	X	-20,96	8,25
Keh	BX13/27 77139	Rind	X	X	X	X	X	-27,71	6,98
Keh	BT12/27 771128	Rind	X	X	X	X	X	-22,89	6,07
GrmB2	11	Rind	4	0,38	15,13	46,74	3,61	-20,73	6,20
GrmB4	155	Rind	4	0,50	11,33	36,21	3,73	-21,11	5,71
GrmB2	117	Rind	4	0,30	9,02	28,99	3,748	-21,01	5,65
GrmB1	8	Pferd	4	0,23	11,57	33,35	3,36	-22,35	6,49
GrmB2	114	Pferd	4	0,28	10,07	29,57	3,43	-21,84	5,78
GrmB2	114	Schaf/Ziege	4	0,28	8,99	26,78	3,47	-21,59	7,45
GrmB2	133	Schaf/Ziege	4	0,26	13,15	39,01	3,47	-21,65	7,00
GrmB4	155	Schwein	4	0,30	9,86	28,52	3,38	-20,98	8,00
GrmB1	8	Schwein	4	0,20	8,46	25,61	3,53	-22,05	7,64
Ett	35	Hund	3	0,35	13,85	45,69	3,85	-21,48	9,41
GrmB3	51	Katze	3	0,55	10,34	29,15	3,29	-19,20	10,51

2.2.5 Sterbetafeln

Ettig Sterbetafel Männer

Altersklassen	Absterbeordnung						Mortalitätsrate				
x	a	Dx	dx	lx	qx	px	Lx	Tx	eox	Qx	m
I1 (0-6)	7	1,0	60,6	1000,0	0,1	0,9	6787,9	27030,3	27,0	6,1%	3,70%
I2 (7-12)	6	2,5	151,5	939,4	0,2	0,8	5181,8	20242,4	21,5	16,1%	4,64%
J (13-20)	8	2,0	121,2	787,9	0,2	0,8	5818,2	15060,6	19,1	15,4%	5,23%
fA (20-24)	5	3,0	181,8	666,7	0,3	0,7	2878,8	9242,4	13,9	27,3%	7,21%
mA (25-31)	7	2,0	121,2	484,8	0,3	0,8	2969,7	6363,6	13,1	25,0%	7,62%
sA (32-38)	7	2,0	121,2	363,6	0,3	0,7	2121,2	3393,9	9,3	33,3%	10,71%
fM (39-45)	7	3,0	181,8	242,4	0,8	0,3	1060,6	1272,7	5,3	75,0%	19,05%
mM (46-52)	7	1,0	60,6	60,6	1,0	0,0	212,1	212,1	3,5	100,0%	28,57%
sM (53-59)	7	0,0	0,0	0,0	/	/	0,0	0,0	/	/	/
S (60-)		0,0	0,0	0,0	/	/	0,0	0,0	/	/	/
Individuen		16,5					27030,3				

Enkering Sterbetafel Männer

Altersklassen	Absterbeordnung						Mortalitätsrate				
x	a	Dx	dx	lx	qx	px	Lx	Tx	eox	Qx	m
I1 (0-6)	7	0,5	142,9	1000,0	0,1	0,9	6500,0	22500,0	22,5	14,3%	4,44%
I2 (7-12)	6	1,0	285,7	857,1	0,3	0,7	4285,7	16000,0	18,7	33,3%	5,36%
J (13-20)	8	0,0	0,0	571,4	0,0	1,0	4571,4	11714,3	20,5	0,0%	4,88%
fA (20-24)	5	1,0	285,7	571,4	0,5	0,5	2142,9	7142,9	12,5	50,0%	8,00%
mA (25-31)	7	0,0	0,0	285,7	0,0	1,0	2000,0	5000,0	17,5	0,0%	5,71%
sA (32-38)	7	0,0	0,0	285,7	0,0	1,0	2000,0	3000,0	10,5	0,0%	9,52%
fM (39-45)	7	1,0	285,7	285,7	1,0	0,0	1000,0	1000,0	3,5	100,0%	28,57%
mM (46-52)	7	0,0	0,0	0,0	0,0	/	0,0	0,0	/	/	/
sM (53-59)	7	0,0	0,0	0,0	/	/	0,0	0,0	/	/	/
S (60-)		0,0	0,0	0,0	/	/	0,0	0,0	/	/	/
Individuen		3,5					22500,0				

Grmb3 Sterbetafel Männer

Altersklassen	Absterbeordnung						Mortalitätsrate				
x	a	Dx	dx	lx	qx	px	Lx	Tx	eox	Qx	m
I1 (0-6)	7	2,0	71,4	1000,0	0,1	0,9	6750,0	30696,4	30,7	7,1%	3,26%
I2 (7-12)	6	3,0	107,1	928,6	0,1	0,9	5250,0	23946,4	25,8	11,5%	3,88%
J (13-20)	8	2,0	71,4	821,4	0,1	0,9	6285,7	18696,4	22,8	8,7%	4,39%
fA (20-24)	5	1,0	35,7	750,0	0,0	1,0	3660,7	12410,7	16,5	4,8%	6,04%
mA (25-31)	7	5,0	178,6	714,3	0,3	0,8	4375,0	8750,0	12,3	25,0%	8,16%
sA (32-38)	7	7,0	250,0	535,7	0,5	0,5	2875,0	4375,0	8,2	46,7%	12,24%
fM (39-45)	7	6,0	214,3	285,7	0,8	0,3	1250,0	1500,0	5,3	75,0%	19,05%
mM (46-52)	7	2,0	71,4	71,4	1,0	0,0	250,0	250,0	3,5	100,0%	28,57%
sM (53-59)	7	0,0	0,0	0,0	/	/	0,0	0,0	/	/	/
S (60-)		0,0	0,0	0,0	/	/	0,0	0,0	/	/	/
Individuen		28,0					30696,4				

Ettig Sterbetafel Frauen

Altersklassen	Absterbeordnung						Mortalitätsrate				
x	a	Dx	dx	lx	qx	px	Lx	Tx	eox	Qx	m
I1 (0-6)	7	1,0	57,1	1000,0	0,1	0,9	6800,0	29914,3	29,9	5,7%	3,34%
I2 (7-12)	6	1,5	85,7	942,9	0,1	0,9	5400,0	23114,3	24,5	9,1%	4,08%
J (13-20)	8	3,0	171,4	857,1	0,2	0,8	6171,4	17714,3	20,7	20,0%	4,84%
fA (20-24)	5	2,0	114,3	685,7	0,2	0,8	3142,9	11542,9	16,8	16,7%	5,94%
mA (25-31)	7	3,0	171,4	571,4	0,3	0,7	3400,0	8400,0	14,7	30,0%	6,80%
sA (32-38)	7	2,0	114,3	400,0	0,3	0,7	2400,0	5000,0	12,5	28,6%	8,00%
fM (39-45)	7	1,0	57,1	285,7	0,2	0,8	1800,0	2600,0	9,1	20,0%	10,99%
mM (46-52)	7	4,0	228,6	228,6	1,0	0,0	800,0	800,0	3,5	100,0%	28,57%
sM (53-59)	7	0,0	0,0	0,0	/	/	0,0	0,0	/	/	/
S (60-)		0,0	0,0	0,0	/	/	0,0	0,0	/	/	/
Individuen		17,5					29914,3				

Enkering Sterbetafel Frauen

Altersklassen	Absterbeordnung						Mortalitätsrate				
x	a	Dx	dx	lx	qx	px	Lx	Tx	eox	Qx	m
I1 (0-6)	7	0,5	142,9	1000,0	0,1	0,9	6500,0	24071,4	24,1	14,3%	4,15%
I2 (7-12)	6	0,0	0,0	857,1	0,0	1,0	5142,9	17571,4	20,5	0,0%	4,88%
J (13-20)	8	0,0	0,0	857,1	0,0	1,0	6857,1	12428,6	14,5	0,0%	6,90%
fA (20-24)	5	1,0	285,7	857,1	0,3	0,7	3571,4	5571,4	6,5	33,3%	15,38%
mA (25-31)	7	2,0	571,4	571,4	1,0	0,0	2000,0	2000,0	3,5	100,0%	28,57%
sA (32-38)	7	0,0	0,0	0,0	/	/	0,0	0,0	/	/	/
fM (39-45)	7	0,0	0,0	0,0	/	/	0,0	0,0	/	/	/
mM (46-52)	7	0,0	0,0	0,0	/	/	0,0	0,0	/	/	/
sM (53-59)	7	0,0	0,0	0,0	/	/	0,0	0,0	/	/	/
S (60-)		0,0	0,0	0,0	/	/	0,0	0,0	/	/	/
Individuen		3,5					24071,4				

Grmb3 Sterbetafel Frauen

Altersklassen	Absterbeordnung						Mortalitätsrate				
x	a	Dx	dx	lx	qx	px	Lx	Tx	eox	Qx	m
I1 (0-6)	7	0,0	0,0	1000,0	0,0	1,0	7000,0	29800,0	29,8	0,0%	3,36%
I2 (7-12)	6	4,0	160,0	1000,0	0,2	0,8	5520,0	22800,0	22,8	16,0%	4,39%
J (13-20)	8	2,0	80,0	840,0	0,1	0,9	6400,0	17280,0	20,6	9,5%	4,86%
fA (20-24)	5	2,0	80,0	760,0	0,1	0,9	3600,0	10880,0	14,3	10,5%	6,99%
mA (25-31)	7	10,0	400,0	680,0	0,6	0,4	3360,0	7280,0	10,7	58,8%	9,34%
sA (32-38)	7	2,0	80,0	280,0	0,3	0,7	1680,0	3920,0	14,0	28,6%	7,14%
fM (39-45)	7	2,0	80,0	200,0	0,4	0,6	1120,0	2240,0	11,2	40,0%	8,93%
mM (46-52)	7	1,0	40,0	120,0	0,3	0,7	700,0	1120,0	9,3	33,3%	10,71%
sM (53-59)	7	1,0	40,0	80,0	/	/	420,0	420,0	/	/	/
S (60-)		1,0	40,0	40,0	/	/	0,0	0,0	/	/	/
Individuen		25,0					29800,0				

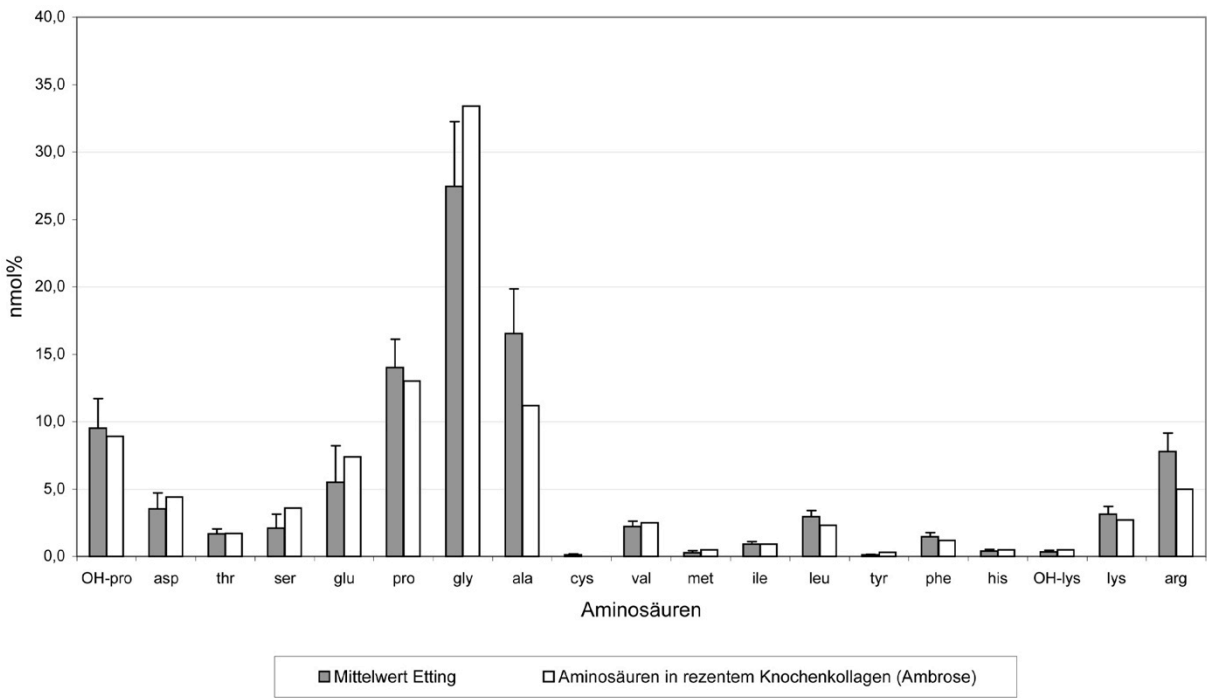
2.2.6 Ergebnisse der Aminosäureanalyse (Separatgrablege Etting)

Einzelergebnisse der ASA (Czermak 2003)

ASA Etting		%Konzentration recent bone collagen (Ambröse)																		
		Grab 1	Grab 2	Grab3A	Grab3B	Grab 3/2	Grab 4	Grab 5	Grab 6	Grab 7	Grab 10/1	Grab 10/2	Grab 11	Grab 12	Grab 13	Grab 14	Grab 15	Grab 16	Grab 17	
OH-pro	8.9	7.6	7.9	8.2	8.4	9.4	7.5	7.8	12.6	8.4	7.7	7.7	9.8	12.2	11.6	14.7	9.7	7.6	13.3	
asp	4.4	2.7	2.2	2.2	3.5	3.3	2.2	2.4	4.8	3.7	2.2	2.5	3.6	4.9	5.0	5.5	3.9	3.0	5.4	
thr	1.7	1.6	1.0	1.5	1.6	1.6	1.5	1.5	1.9	1.5	1.5	1.6	1.4	1.8	2.1	2.4	1.4	1.3	2.1	
ser	3.6	1.4	1.1	0.9	2.2	1.7	0.9	1.2	3.3	2.6	1.0	1.1	2.2	3.3	3.5	3.7	2.6	1.9	3.7	
glu	7.4	3.9	3.8	1.9	8.4	5.2	1.9	2.7	7.6	8.8	2.6	2.3	8.1	7.5	8.0	7.0	9.0	5.8	8.1	
pro	13.0	13.0	13.6	13.6	11.2	17.7	13.4	13.6	14.9	11.4	14.0	13.4	11.2	14.9	14.7	17.4	11.3	12.9	14.8	
gly	33.4	31.5	30.9	32.9	27.2	24.6	31.1	29.9	21.6	30.2	31.8	32.3	27.7	21.9	22.1	17.5	29.5	32.4	20.9	
ala	11.2	19.9	18.9	21.1	16.1	15.0	20.2	19.1	12.6	16.8	20.1	20.4	16.3	12.8	12.7	10.7	16.5	18.5	12.1	
cys	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
val	2.5	2.3	2.1	1.9	2.0	2.8	2.1	2.2	2.3	1.7	2.4	2.2	1.8	2.3	2.4	2.7	1.7	1.9	2.6	
met	0.5	0.0	0.1	0.3	0.3	0.6	0.4	0.5	0.2	0.1	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	
ile	0.9	0.8	0.7	0.6	0.8	1.2	0.9	0.9	1.0	0.7	0.9	0.9	0.7	1.0	1.1	1.0	0.6	0.8	1.0	
leu	2.3	2.6	2.6	2.8	2.6	3.5	3.0	2.9	3.2	2.4	3.0	3.0	2.5	3.2	3.1	3.6	2.3	2.5	3.2	
tyr	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	
phe	1.2	1.3	0.8	1.4	1.4	1.6	1.4	1.3	1.8	1.3	1.3	1.4	1.3	1.7	1.6	2.0	1.3	1.2	1.7	
his	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.3	0.5	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.3	0.4	0.6	
OH-lys	0.5	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.5	0.3	0.3	0.2	0.3	0.5	0.4	0.6	0.4	0.3	0.4	
lys	2.7	3.8	2.7	3.5	3.9	2.3	2.9	2.8	3.5	2.9	3.8	3.0	3.9	3.4	3.4	3.4	3.4	2.2	3.5	
arg	5.0	6.9	11.1	6.3	10.0	8.4	9.7	10.4	7.5	6.7	6.5	7.1	8.5	7.6	7.4	6.8	5.6	6.7	6.2	
nmolAS/40µl		427.7	396.3	394.6	652.1	296.6	404.6	434.2	347.8	458.2	429.0	394.0	593.6	344.9	310.6	341.1	486.1	355.9	365.2	
Qualitätskontrolle																				
gly	31.5	30.9	32.9	27.2	24.6	24.6	31.1	29.9	21.6	30.2	31.8	32.3	27.7	21.9	22.1	17.5	29.5	32.4	20.9	
pro+OH-pro+ala	40.5	40.3	42.8	35.7	42.1	42.1	41.1	40.5	40.0	36.5	41.8	41.6	37.3	39.9	39.0	42.9	37.6	39.0	40.1	
gly/glu	8.1	8.1	17.5	3.2	4.8	4.8	16.4	11.1	2.9	3.4	12.1	14.2	3.4	2.9	2.8	2.5	3.3	5.6	2.6	
asp/pro	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.4	
Oh-pro/pro	0.6	0.6	0.6	0.7	0.5	0.5	0.6	0.6	0.8	0.7	0.6	0.6	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	0.6	0.9	
asp	2.7	2.2	2.2	3.5	3.3	3.3	2.2	2.4	4.8	3.7	2.2	2.5	3.6	4.9	5.0	5.5	3.9	3.0	5.4	
ser	1.4	1.1	0.9	2.2	1.7	1.7	0.9	1.2	3.3	2.6	1.0	1.1	2.2	3.3	3.5	3.7	2.6	1.9	3.7	

recent bone collagen (Ambrose)		Grab 18/1	Grab 18/2	Grab 19	Grab 20	Grab 21	Grab 22	Grab 23	Grab 26	Grab 27	Grab 28	Grab 29	Grab 30	Grab 31	Grab 33	Grab 34	Hund	Mittelwert
OH-pro	8.9	11.1	7.1	7.5	12.7	11.8	8.2	7.2	9.2	7.2	9.5	11.0	10.5	7.3	7.3	7.7	9.7	9.1
asp	4.4	2.6	2.5	2.5	5.4	4.9	2.4	1.9	3.6	2.0	3.7	4.9	4.4	4.2	2.1	2.8	2.5	3.3
thr	1.7	2.0	1.4	1.6	2.1	2.0	1.4	1.2	1.5	1.4	1.3	1.9	2.0	1.4	1.4	1.4	2.3	1.6
ser	3.6	1.0	1.3	1.3	3.2	3.4	1.1	0.9	2.3	0.8	2.5	3.3	3.2	2.7	0.9	1.6	1.0	1.9
glu	7.4	1.9	2.6	2.9	7.6	7.6	2.1	2.4	8.3	1.9	8.6	7.8	7.6	9.4	2.2	3.3	2.5	5.1
pro	13.0	18.5	13.0	13.3	15.3	15.1	12.9	14.3	11.2	13.8	10.8	14.5	15.7	11.0	13.8	12.9	18.6	13.7
gly	33.4	25.3	34.2	32.5	20.5	21.7	31.2	34.0	28.5	32.2	29.0	23.3	22.0	29.4	32.8	33.8	24.8	28.5
ala	11.2	16.5	21.0	20.1	12.1	12.7	19.5	21.1	16.4	21.1	16.4	13.0	12.9	16.1	20.7	20.4	15.9	17.3
cys	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.1
val	2.5	2.7	1.8	2.1	2.9	2.3	2.0	2.1	1.9	2.5	1.6	2.3	2.5	1.8	2.2	1.8	2.8	2.2
met	0.5	0.1	0.6	0.5	0.5	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.5	0.3	0.2	0.6	0.5	1.7
ile	0.9	0.9	0.8	0.8	1.2	1.0	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	1.0	1.1	0.7	0.9	0.8	1.4	2.3
leu	2.3	3.8	2.7	2.8	3.4	3.2	2.7	2.7	2.5	2.8	2.4	3.0	3.2	2.3	3.0	2.6	3.8	2.7
tyr	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.7
phe	1.2	1.8	1.2	1.4	1.8	1.7	1.3	1.2	1.3	1.4	1.3	0.7	1.7	1.2	1.4	1.3	1.8	2.0
his	0.5	0.6	0.3	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.4	0.3	0.3	0.4	0.7	0.2	0.4	0.4	0.6	3.1
OH-lys	0.5	0.2	0.3	0.2	0.4	0.5	0.2	0.1	0.3	0.2	0.5	0.5	0.4	0.4	0.2	0.3	0.4	6.5
lys	2.7	2.5	1.9	3.4	3.5	3.4	2.0	2.6	3.7	4.1	3.3	3.2	3.5	2.5	3.6	2.0	2.3	8.9
arg	5.0	8.3	6.9	6.4	6.6	7.9	11.5	7.3	7.7	7.3	7.8	7.8	8.0	8.7	6.7	6.3	8.6	8.2
nmolIAS/40µl	298.6	351.0	402.1	383.7	336.4	366.0	356.4	540.7	406.8	509.9	274.3	341.8	466.3	404.9	357.9	310.9		
Qualitätskontrolle																		
gly	25.3	34.2	32.5	20.5	21.7	31.2	34.0	28.5	32.2	29.0	23.3	22.0	29.4	32.8	33.8	24.8	21.1	
pro+OH-pro+ala	46.2	41.1	41.0	40.1	39.6	40.6	42.5	36.8	42.1	36.7	38.6	39.0	34.4	41.8	40.9	44.2	40.1	
gly/glu	13.7	13.1	11.1	2.7	2.9	14.7	14.4	3.4	16.9	3.4	3.0	2.9	3.1	15.1	10.4	9.8	5.6	
asp/pro	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.1	0.3	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.1	0.2	
OH-pro/pro	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.6	0.5	0.8	0.5	0.9	0.8	0.7	0.7	0.5	0.6	0.5	0.7	
asp	2.6	2.5	2.5	5.4	4.9	2.4	1.9	3.6	2.0	3.7	4.9	4.4	4.2	2.1	2.8	2.5	3.3	
ser	1.0	1.3	1.3	3.2	3.4	1.1	0.9	2.3	0.8	2.5	3.3	3.2	3.5	2.7	0.9	1.6	1.0	

Vergleich der Mittelwerte der ASA mit rezentem Kollagen (Czermak 2003)



Lebenslauf

Name: Andrea Maria Czermak
 Geburtsdatum: 11.02.1975
 Geburtsort: Rosenheim / Deutschland
 Familienstand: verheiratet (seit 2005), 1 Kind.
 Kontakt: czermak_andrea@web.de

Ausbildung

05/2003 -	Promotion , LMU München
10/2004 - 03/2006	Promotionsstipendium der Hanns-Seidel-Stiftung, München
08/2005 - 08/2007	Elternzeit
08/2007 - 08/2008	<i>Kinderkrippenplatz halbtags</i>
seit 09/2008	<i>Kindergartenplatz ganztags</i>
05/1999 - 04/2003	Diplomstudiengang der Biologie, LMU-München (Hauptstudium)
04/2003	Diplom der Biologie
05/2001 - 02/2003	Anfertigung der Diplomarbeit
10/1996 - 04/1999	Diplomstudiengang der Biologie, TU München (Grundstudium)
04/1999	Vordiplom
06/1996	Abitur am Ignaz-Günther-Gymnasium Rosenheim

Stipendien

Promotionsstipendium der Hanns-Seidel-Stiftung, München

Auszeichnungen

1. Nachwuchspreis Vortrag. 18th European meeting of the Palaeopathological Association (PPA) 2010; Wien, 22.-26.08.2010

1. Nachwuchspreis Vortrag. 8. Kongresses der Gesellschaft für Anthropologie (GfA); München, 15.-18.09.2009; Teilnahme am Wettbewerb für Nachwuchswissenschaftler.

1. Nachwuchspreis Poster. 6. Kongresses der Gesellschaft für Anthropologie (GfA); München, 12.-16.09.2005; Teilnahme am Wettbewerb für Nachwuchswissenschaftler.

Publikationen

Beiträge in Fachzeitschriften

Czermak A., Gairhos, A.; Fehr, H. (2009): Goldohring und Bajuwarenschwert – Anthropologische Analyse des frühmittelalterlichen Separatfriedhofs Bruckmühl. *Metalla, Archäometrie und Denkmalpflege*, Sonderheft 2, 56-58.

Strott N.; **Czermak A.**; Grupe G.; (2007). Are there biological correlates to social stratification? Investigation of early medieval separated burial grounds in Bavaria. *Documenta Archaeobiologiae* 5, 68-86.

Czermak, A.; Ledderose, A.; Strott, N.; Meier, Th.; Grupe G. (2006): Social Structures and Social Relations - An Archaeological and Anthropological Examination of three Early Medieval Separate burial sites in Bavaria. *Anthropologischer Anzeiger* 64 (3), 297-310.

Czermak, A.; Czermak, A.M.; Ernst, H.; Grupe G. (2006): A New Method for the Automated Age-at-Death Evaluation by Tooth-Cementum Annulation (TCA). *Anthropologischer Anzeiger* 64 (1), 25-40.

Czermak, A.; Ledderose, A. (2004): Getrennt und Gemeinsam - Zur gesellschaftlichen Gliederung eines frühmittelalterlichen Separatfriedhofs. *Documenta Archaeobiologiae* 2, 71-95.

Walter, U. I.; **Czermak, A.**; Mückter, H. (2003): Decreased GSSG reductase activity enhances cellular zinc toxicity in three human lung cell lines. *Archives of Toxicology* 77, 131-137.

Poster

Czermak, A.; Ledderose, A.; Strott, N.; Meier, T; Grupe G. (2005): Social Structures and Social Relations - An Archaeological and Anthropological Examination of Three Early Medieval Separate Burial Sites in Bavaria. Poster, 6. Kongress der Gesellschaft für Anthropologie (GfA); München, 12.-16.09.2005 (1. **Nachwuchspreis**).

Vorträge

Czermak, A. (2010): Soziale Stratifizierung im frühen Mittelalter – Aussage- und Nachweismöglichkeiten anhand von Demographie, physischer Belastung und Ernährung: Eine anthropologische Untersuchung von vier Separatgräblagen und einem Reihengräberfeld. Gastvortrag, Montagskolloquium am Institut für Archäologische Wissenschaften Frühgeschichtliche Archäologie und Archäologie des Mittelalters, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg; Freiburg, 15.11.2010.

Czermak, A.; Gairhos A.; Grupe, G. (2010): Social Stratification in the Early Middle Ages - Evidence by Demography, Physical Stress and Nutrition. Vortrag, 18th European meeting of the Palaeopathological Association (PPA) 2010; Wien, 22.-26.08.2010 (1. **Nachwuchspreis**).

Czermak, A.; Gairhos A. (2009): Social Stratification in the Early Middle Ages -Evidence by Demography, Physical Stress and Nutrition. Anthropological Examination of Four Separate Burial Sites. Vortrag, 8. Kongresses der Gesellschaft für Anthropologie (GfA) 2009; München, 15.-18.09.2009 (1. **Nachwuchspreis**).

Czermak, A.; Gairhos A.; Fehr, H.; Grupe, G. (2009): Goldohrring und Bajuwarenschwert. Anthropologische Analyse des frühmittelalterlichen Separatfriedhofs Bruckmühl. Vortrag Tagung Archäometrie und Denkmalpflege 2009; München, 25.-28.03.2009.

Czermak, A.; Gairhos A. (2008): Gräber erzählen - Neues zum frühmittelalterlichen Bestattungsort Bruckmühl. Vortrag zur Ausstellung „Goldohrring und Bajuwarenschwert“; Gemeinde Bruckmühl, 17./25.01.2008.

Czermak, A.; Gairhos A. (2008): Separatfriedhöfe im frühen Mittelalter. Eine anthropologisch-archäologische Synthese. Vortrag in der Übung „Archäologie und Anthropologie“ am Institut für Vor- und Frühgeschichtliche Archäologie und Provinzialrömische Archäologie; München, 01/2008.

Czermak, A. (2006): „Lasst Knochen sprechen?“ Was können Skelettfunde erzählen? - Anthropologische Analyse frühmittelalterlicher Skelettfunde. Vortrag, Tagung der Promotionsstipendiaten der Hanns-Seidel-Stiftung; Wildbad Kreuth, 17.-19.05.2006.

Czermak, A.; Ledderose, A. (2004): Getrennt und Gemeinsam. Die gesellschaftliche Struktur spätmerowingerzeitlicher Bestattungsorte im Ingolstädter Raum aus archäologischer und anthropologischer Sicht - Eine Zwischenbilanz. Vortrag, 74. Kolloquium der Arbeitsgemeinschaft Frühgeschichtliche Archäologie 2004 (Gesellschaft der Freunde Mannheims und der ehemaligen Kurpfalz) in den Reiss-Engelhorn Museen; Mannheim, 25.11.2004.

Czermak, A.; Ledderose, A. (2004): Die Neuorganisation einer früheuropäischen Gesellschaft: Separatfriedhöfe im frühen Mittelalter - Eine anthropologisch-archäologische Synthese. Vortrag, APPA-Tagung (AG Paläoanthropologie und Prähistorische Anthropologie der Gesellschaft für Anthropologie GfA), 30.09.-02.10.2004, Göttingen.

Czermak, A.; Ledderose, A.; Grupe, G. (2003): Anthropologische Analyse der Skelettfunde aus der Separatgrablege von Etting, Landkreis Ingolstadt. Vortrag, 5. Kongresses der Gesellschaft für Anthropologie (GfA); Potsdam, 17.-20.09.2003.

Zeitplan der Arbeit

Mai 2003 bis September 2003	Waschen des Skelettmaterials (Großmehring & Enkering).
Oktober 2003	Entnahme der Knochen- und Zahnproben.
Oktober 2003 bis Februar 2004	Anfertigung der histologischen Präparate für die Sterbealtersbestimmung anhand der Zuwachsringe im Zahnzement.
Februar 2004 bis Juni 2004	Kollagen / Gelatine Extraktion für die C / N-Isotopenanalyse (Großmehring & Enkering).
Juni 2004 bis September 2004	Waschen und Präparieren des restlichen Skelettmaterials.
Ab Juli 2004	Entwicklung einer Software zur computergestützten Bearbeitung und Auswertung mikroskopischer Zahnzement Bilder für die Bestimmung des Sterbealters bei Skelettfunden (Zusammenarbeit mit der FH-Rosenheim).
Oktober 2004 bis März 2005	Verfassen des Manuskriptes Czermak, A. ; Czermak, A.M.; Ernst, H.; Grupe G. (2006): A New Method for the Automated Age-at-Death Evaluation by Tooth-Cementum Annulation (TCA). Anthropologischer Anzeiger 64 (1), 25-40.
März und April 2005	Bestimmung des Sterbealters der Individuen mit Hilfe des erstellten Computerprogramms (Großmehring).
Mai 2005 bis Juli 2005	Versuch einer aDNA-Extraktion zur Untersuchung möglicher Verwandtschaftsverhältnisse.
Oktober bis Dezember 2005	Verfassen des Manuskriptes zu Veröffentlichung des Posterbeitrages: Czermak, A. ; Ledderose, A.; Strott, N.; Meier, Th.; Grupe G. (2006): Social Structures and Social Relations - An Archaeological and Anthropological Examination of three Early Medieval Separate burial sites in Bavaria. Anthropologischer Anzeiger 64 (3), 297-310.
Oktober 2006 bis März 2007	Verfassen eines weiteren Manuskriptes (Co-Autor): Strott N, Czermak A , Grupe G, 2007. Are there biological correlates to social stratification? Investigation of early medieval separated burial grounds in Bavaria. Documenta Archaeobiologiae 5, 68-86.
August 2005 bis September 2007	Erziehungszeit.
Oktober 2007 bis Juni 2008	Morphologische Untersuchung des Skelettmaterials (Großmehring und Enkering).
Juni 2008 bis September 2008	Waschen und Präparieren des Skelettmaterials (Bruckmühl).

September 2008 bis November 2008	Kollagen / Gelatine Extraktion für die C / N-Isotopenanalyse (Bruckmühl).
November 2008 bis Januar 2009	Anfertigung und Auswertung der histologischen Präparate für die Sterbealtersbestimmung anhand der Zuwachsringe im Zahnzement (Bruckmühl).
Februar 2009 bis April 2009	Morphologische Untersuchung des Skelettmaterials (Bruckmühl).
Ab Mai 2009	Erste Auswertung und Zusammenfassung der Ergebnisse und Vergleich mit den archäologischen Befunden.
Ab Juli 2009	Neuauswertung der Daten des Separatfriedhofs Kelheim (Strott 2006).
Ab November 2009	Auswertung aller Daten und Niederschrift der Dissertation.
Juni 2010	Neuauswertung der Daten aus den Strontium-Analysen der untersuchten Gräberfelder (Gaugler 2006).
Ab Juli 2010	Finale Auswertung aller verwendeten Daten und Niederschrift der Dissertation.

Danksagung

Mein Dank gilt Frau **Prof. Dr. Gisela Grupe** für die Möglichkeit, eine Doktorarbeit mit archäologischer Fragestellung durchzuführen und dabei alle zur Verfügung stehenden Methoden anwenden zu dürfen und diese selbstständig durchzuführen zu können.

Ein besonderer Dank gilt **Prof. Dr. Thomas Cremer**, der nicht nur das Zweitgutachten bei der Dissertation und für das Promotionsstipendium der Hanns-Seidel-Stiftung übernahm, sondern sich auch stets sowohl für meine Arbeit als auch für familiäre Belange interessierte.

Für die finanzielle Unterstützung gilt mein Dank der **Hanns-Seidel-Stiftung** für das Promotionsstipendium und der **Marktgemeinde Bruckmühl** für die Übernahme der Kosten für Isotopenanalysen.

Besonders möchte ich **Prof. Dr. Heinrich Leonhardt** danken, der mir für die Auswertung der Daten und die Niederschrift der Doktorarbeit freundlicherweise ein Notebook mit der nötigen Software aus seiner Arbeitsgruppe zu Verfügung gestellt hat.

Weiter danken möchte ich:

Prof. Dr. Benedikt Grothe und **Carsten Röhrentropp**, die meinem Sohn Leopold einen Kinderkrippenplatz bei den „Biokids“ ermöglicht haben.

Dr. Anja Gairhos, **Prof. Dr. Thomas Meier**, **Dr. Hubert Fehr**, **Prof. Dr. Hartmut Ernst** und **Adrian Czermak** für die aussergewöhnlich gute Zusammenarbeit.

Ben Ernest Fischer für den abenteuerlichen Knochentransport.

Manfred und Gertrud Czermak für den Knochenwaschplatz, die Trockengitter, den Keller, der 5 Jahre von Knochenkisten blockiert wurde und für die Überbrückung finanzieller „Engpässe“.

Allen Mitarbeitern von **Connys Schreibwaren** und besonders der „Chefin“ Cornelia Schermelleh für die „flexiblen Arbeitszeiten“.

Den **Mitgliedern der AG Cremer**, die mir die letzten Monate im Biozentrum erträglich gemacht haben.

Dr. Stefanie Doppler für die Motivation, die wissenschaftlichen Diskussionen, die „on-brain-library“, die mentale Unterstützung und das Korrekturlesen der Doktorarbeit.

Dr. Lothar Schermelleh, von dem ich wissenschaftliches Arbeiten gelernt habe und der nicht nur geduldig mein Machwerk korrekturgelesen hat, sondern auch mit stoischer Ruhe alle Höhen und besonders Tiefen ertragen hat.

Allen weiteren Personen, die mich im Laufe meines Lebens vorbehaltlos unterstützt haben.

Erklärung

Diese Dissertation wurde von Frau Professor Dr. Gisela Grupe betreut.

Ich erkläre hiermit, dass die Dissertation weder ganz noch in wesentlichen Teilen einer anderen Prüfungskommission vorgelegt worden ist und dass ich weder anderweitig eine Dissertation erfolglos eingereicht, noch mich einer Doktorprüfung ohne Erfolg unterzogen habe.

Ehrenwörtliche Versicherung

Ich versichere hiermit ehrenwörtlich, dass die vorgelegte Dissertation von mir selbständig und ohne (unerlaubte) Hilfe angefertigt wurde.

München, den 15.03.2011

Andrea Czermak

