

Das Kind in uns unter der Lupe der Isotopie, Allometrie und Pathologie

Zusammenhang zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ als Eiweißproxy und dem Knochenwachstum bei
linienbandkeramischen Individuen aus Stuttgart-Mühlhausen ,Viesenhäuser Hof^c und
Schwetzingen unter Berücksichtigung verschiedener Indikatoren für Nährstoffversorgung

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades des
Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

eingereicht im Fachbereich Biologie, Chemie, Pharmazie
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Alisa Hujic
aus Sarajevo

Berlin

2015

Die vorliegende Dissertation wurde im Zeitraum von Oktober 2011 bis Mai 2015 unter der Leitung von Frau Dr. Eva Rosenstock am Institut für Prähistorische Archäologie der Freien Universität Berlin und Herrn Dr. Alistair W. G. Pike an der Faculty of Humanities der University of Southampton angefertigt.

1. Gutachter: Dr. Eva Rosenstock
2. Gutachter: Prof. Dr. Sigmar Stricker

Disputation am 11.11.2015

Danksagung

Einen großen Dank möchte ich zunächst Frau Dr. Eva Rosenstock aussprechen, die mir sehr viel Vertrauen entgegengebracht und mir die Promotion in ihrem Projekt sowie die mehrwöchigen Auslandsaufenthalte ermöglicht hat. Ebenfalls möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Joachim Wahl für sein Vertrauen bedanken, ohne den ich zu diesem Projekt wahrscheinlich nicht gefunden hätte. Außerdem sei ihm auch für das stets bereite Entgegenkommen und die Unterstützung während und nach der Materialaufnahme von Schwetzingen gedankt. Prof. Dr. Sigmar Stricker sei für sein Interesse am Thema sowie seine Bereitschaft, die Begutachtung der Dissertation zu übernehmen, gedankt. Dr. Alistair W. G. Pike vom Department of Archaeology (University of Southampton) möchte ich für sein Engagement und seine Hilfestellungen während der Laboranalysen danken, sowie Frau Jill Phillips und dem gesamten Doktorandenteam, die immer sehr hilfsbereit waren, und mir die Aufenthalte in Southampton erleichtert und verschönert haben. Ein großer Dank geht auch an Frau Eva Burger-Heinrich (Ludwig-Maximilians-Universität München), die mir ihr unveröffentlichtes Manuskript mit für diese Pilotstudie essentiellen nicht nur metrischen, sondern auch Individualdaten zur Verfügung gestellt hat, sowie an Frau Dr. Corina Knipper (Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie, Mannheim) für das Bereitstellen ihrer unveröffentlichten Daten und ihre Beratung insbesondere bezüglich analysebezogener Fragen. Michael Francken (Universität Tübingen) sei für seine Hilfestellungen während der Materialaufnahme von Stuttgart-Mühlhausen in Tübingen gedankt. Weiterhin möchte ich mich bei Frau Dr. Gunilla Eriksson vom Department of Archaeology and Classical Studies (Stockholm University) für ihre Ratschläge bezüglich methodischer Aspekte, Ken Niel (OEA Laboratories Ltd., Cornwall) für die Messung der stabilen Isotopenverhältnisse im Massenspektrometer und Dr. Clive Trueman (National Oceanography Center, NOC, Southampton) für seine Unterstützung bei der Gefriertrocknung der Proben im NOC bedanken. Darüber hinaus sei Prof. Dr. Gisela Grupe (Ludwig-Maximilians-Universität München), Dr. Zuzana Obertová (University of Auckland), Johanna Morgan (Goethe-Universität Frankfurt a. M.), Dr. Victoria Oelze (Department of Human Evolution, MPI Leipzig), Katarina Köpke (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg), Dr. Claudia Gerling (IPNA, Basel), Beatrix Welte (Universität Tübingen) und Alisa Scheibner (Freie Universität Berlin) für Literaturbeschaffung und die vielen thematischen Hinweise, sowie Marcus Groß (Freie Universität Berlin) für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung gedankt. Der DFG sei für die Finanzierung des Projektes und damit meiner Doktorandenstelle gedankt. Zu besonderem Dank bin ich den Menschen verpflichtet, die mich über die gesamte Zeit während der Erstellung dieser Dissertation mental unterstützt haben und immer für mich da waren, meiner Familie, meinem Freund, Georg Hermanussen, und meinen Freunden, v. a. Marta Abel, Magda Kroll, Ana Gabriela Vizcaino Perez und Katja Strehle.

Inhalt

1.	Einführung.....	5
2.	Wichtigste Einflussfaktoren auf das Körperwachstum und die Endkörperhöhe.....	7
2.1.	Genetik.....	8
2.2.	Umwelt.....	13
2.2.1.	Ökologie und Klima.....	13
2.2.1.1.	Höhenlage	13
2.2.1.2.	Breitengrad und Sonneneinstrahlung.....	15
2.2.1.3.	Saisonalität.....	16
2.2.2.	Sozioökonomische Einflussfaktoren.....	17
2.2.2.1.	Sozialer Status.....	18
2.2.2.2.	Gesundheit	21
2.2.2.3.	Körperliche Aktivitäten	22
2.2.2.4.	Konstitution der Mutter.....	25
2.2.2.5.	Ernährungseffekt.....	28
2.2.2.5.1.	Mangelernährung und chronischer Hungerzustand.....	35
3.	Untersuchungsmöglichkeiten zum Ernährungszustand am adulten, prähistorischen Skelettmaterial.....	40
3.1.	Hinweise auf Ernährung in der Kindheit und Jugend.....	42
3.1.1.	Ernährungsbedingte Pathologien und Mineralisationsstörungen	42
3.1.1.1.	Zahnschmelzhypoplasien an permanenten Zähnen	43
3.1.1.2.	Cribra orbitalia	45
3.1.1.3.	Harris-Linien.....	47
3.1.2.	Stabile Isotopenanalyse ($\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$) an Zähnen.....	49
3.1.2.1.	Stabile Stickstoffisotope als potenzieller Proxy für Hauptproteinquelle der Nahrung - Chemischer Hintergrund	49
3.1.2.2.	Stabile Kohlenstoffisotope als potenzieller Proxy für Hauptkohlenstoffquelle der Nahrung - Chemischer Hintergrund.....	53
3.1.3.	Endkörperhöhe als kumulativer Anzeiger für biologischen Lebensstandard	56
3.2.	Hinweise auf Ernährung im Erwachsenenalter	60
3.2.1.	Ernährungsbedingte Pathologien an Knochen	61

Inhalt

3.2.1.1.	Eisenmangelanämie	61
3.2.1.2.	Chronischer Vitamin C-Mangel.....	63
3.2.1.3.	Vitamin D ₃ -Mangel.....	64
3.2.2.	Ernährungsbedingte Pathologien an Zähnen	65
3.2.2.1.	Karies	66
3.2.2.2.	Parodontopathien	67
3.2.2.3.	Zahnstein.....	68
3.2.2.4.	Zahnabrasion.....	70
3.2.3.	Stabile Isotopenanalyse ($\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$) an Knochen	72
4.	Fragestellungen und Ziele der Dissertation.....	74
5.	Untersuchungsmaterial.....	80
5.1.	Linienbandkeramik	80
5.1.1.	Das Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen ,Viesenhäuser Hof ^c	82
5.1.2.	Das Gräberfeld von Schwetzingen	87
6.	Methodische und biochemische Aspekte der Untersuchung.....	91
6.1.	$\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Isotopenuntersuchung an Zähnen und Knochen.....	91
6.1.1.	Zähne.....	93
6.1.1.1.	Primärdentin.....	99
6.1.2.	Knochen	102
6.1.3.	Laboranalyse	103
6.2.	Allometrische und morphometrische Analyse.....	106
6.2.1.	Allometrische Analyse zur Erfassung der Körperhöhe	106
6.2.2.	Morphometrische Analyse zur Bewertung der Robustizität.....	110
6.3.	Statistische Analyse	113
7.	Ergebnisse	114
7.1.	Das Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen ,Viesenhäuser Hof ^c	114
7.1.1.	$\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der Molaren	114
7.1.1.1.	Zusammenhang zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Zahndentin und der jeweils größten Diaphysenlänge (Maß 1 nach Martin 1928).....	123
7.1.1.2.	Zusammenhang zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Zahndentin und der geschätzten Körperhöhe (nach Pearson 1899).....	145
7.1.1.3.	Einfluss von unspezifischen Stressindikatoren während der Kindheit auf $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Zahndentin sowie auf die Langknochenmaße und die Körperhöhe.....	152

7.1.1.3.1.	Cribra orbitalia.....	153
7.1.1.3.2.	Zahnschmelzhypoplasien.....	159
7.1.1.3.3.	Zahnfehlstellungen	165
7.1.2.	$\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Zahndentin und Knochen im Vergleich	171
7.1.2.1.	Einfluss diagnostizierter Pathologien im Erwachsenenalter auf $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Knochenkollagen.....	182
7.1.2.2.	Zahnerkrankungen an permanenten Zähnen als Proxy für Ernährungsmuster	187
7.1.2.3.	Morphometrische Analyse zur Bewertung der Robustizität.....	192
7.1.2.3.1.	Humerus-Längen-Dicken-Index	192
7.1.2.3.2.	Femur-Robustizitätsindex.....	195
7.1.2.3.3.	Femur-Index platymericus.....	198
7.1.2.4.	Grabbeigaben	203
7.1.3.	$\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ (im Tertiärdentin) beprobter kariöser Molaren	205
7.2.	Das Gräberfeld von Schwetzingen	209
7.2.1.	$\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der Molaren	209
7.2.1.1.	Zusammenhang zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Zahndentin und der jeweils größten Diaphysenlänge (Maß 1 nach Martin 1928).....	216
7.2.1.2.	Zusammenhang zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Zahndentin und der geschätzten Körperhöhe (nach Pearson 1899).....	226
7.2.1.3.	Einfluss von unspezifischen Stressindikatoren während der Kindheit auf $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Zahndentin sowie auf die Langknochenlänge und die Körperhöhe.....	229
7.2.1.3.1.	Cribra orbitalia.....	230
7.2.1.3.2.	Zahnschmelzhypoplasien	235
7.2.1.3.3.	Zahnfehlstellungen	239
7.2.2.	$\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Zahndentin und Knochen im Vergleich	244
7.2.2.1.	Einfluss diagnostizierter Pathologien im Erwachsenenalter auf $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Knochenkollagen.....	249
7.2.2.2.	Zahnerkrankungen an permanenten Zähnen als Proxy für Ernährungsmuster	250
7.2.2.3.	Morphometrische Analyse zur Bewertung der Robustizität.....	254
7.2.2.3.1.	Humerus-Längen-Dicken-Index	254
7.2.2.3.2.	Femur-Robustizitätsindex.....	256

Einführung

7.2.2.3.3. Femur-Index platymericus.....	257
7.2.2.4. Grabbeigaben	260
8. Interpretation und Diskussion	262
9. Zusammenfassung/Summary	284
10. Abbildungsverzeichnis	291
11. Tabellenverzeichnis.....	299
12. Bibliographie.....	307
Anhang	393
Abkürzungsverzeichnis	409

1. Einführung

Ausgehend von gegenwärtigen klinischen Beobachtungen, dass Ernährung, und hier insbesondere die Proteine eine wichtige Rolle bei Längenwachstumsprozessen spielen (Wiley 2009; Orr 1928,1929; Lampl et al. 1978; Floud et al. 1990; Leighton, Clark 1929; Wurm 1982; Malcolm 1970; Grillenberger et al. 2003; Kohn 1947; Hoppe et al. 2006; Howe, Schiller 1952; Widdowson, McCance 1954), und dass die Nettoernährung während der Wachstumsphase einen starken Einfluss auf die Entwicklung der Endkörperhöhe hat, wurde dieser Forschungsansatz seitens der Wirtschaftswissenschaften weiter verfolgt (Komlos 1989, 1987; Floud 1984; Steckel 2003, 1983, 1995; Steckel et al. 2001; Fogel 1982; Baten, Murray 2000; Baten, Boehm 2008; Baten et al. 2013; Guntupalli, Baten 2009; Alter 2004) und schließlich auch auf die Paläoanthropologie und Prähistorische Archäologie (Koepke 2008; Koepke, Baten 2008, 2003; Piontek, Vančata 2012; Rosenstock 2014, 2010; Rosenstock et al. 2014; Formicola, Giannecchini 1999; Gunnell et al. 2001; Klein Goldewijk, Jacobs 2013; Lösch 2009; McGlynn 2007) übertragen. Obwohl neben der Ernährung verschiedene andere Faktoren das longitudinale Wachstum beeinflussen können, bestimmt v. a. der Ernährungsstatus, inwiefern das genetische Potenzial hinsichtlich der Körperhöhe ausgeschöpft werden kann (Komlos 1989).

Die im Rahmen der vorliegenden Dissertation des Projektes ‚Lebensbedingungen und biologischer Lebensstandard in der Vorgeschichte‘ (LiVES) der Emmy-Noether Nachwuchsgruppe unter der Leitung von Eva Rosenstock durchgeführte Untersuchung zum Zusammenhang zwischen den als Eiweißproxy geltenden v. a. Stickstoffisotopenverhältnissen im Primärdentin der Molaren, den erreichten Langknochenmaßen und der Körperhöhe baut auf diesen vorhergehenden Studien auf, auf die in folgenden Kapiteln näher eingegangen wird. Der Zusammenhang zwischen diesen Merkmalen sollte zum ersten Mal unter Anwendung geochemischer und anthropometrischer Untersuchungsmethoden an Individualdaten in einer Retrospektivstudie an Männern und Frauen aus zwei linienbandkeramischen Gräberfeldern, Stuttgart-Mühlhausen ‚Viesenhäuser Hof‘ und Schwetzingen, erforscht werden, um Hinweise auf die Ernährungssituation während ihrer Kindheit bzw. ihrer Wachstumsphase zu gewinnen. Solche Retrospektivstudien haben zwar zum Vorteil, dass sie sich mit individualethischen und rechtspolitischen Fragestellungen nicht auseinandersetzen müssen, sofern solche Untersuchungen nicht zu Protesten gegen die Störung der Totenruhe seitens der Ureinwohner führen, die sich als Nachfahren der ausgegrabenen Skelettindividuen sehen, wie das immer wieder in

den USA, Neuseeland oder Australien der Fall war. Ein Nachteil dieser Studien ist aber neben der schlechteren Datenqualität auch die Tatsache, dass sie nur richtungsweisend sein können, und dass sie nur Hypothesen aufstellen, aber keine gültigen Beweise liefern können. In einem zweiten Schritt wurden die stabilen Isotopenverhältnisse im Knochenkollagen derselben Individuen gemessen, welche Informationen zu ihrer Ernährung im Erwachsenenalter liefern, um beurteilen zu können, ob und inwiefern sich diese von der kindlichen Ernährung unterscheiden hat. Die an Zähnen und Knochen makroskopisch erkennbaren Hinweise zum Gesundheitszustand der untersuchten Individuen sowie die Belastungsmuster der oberen und unteren Extremitäten wurden bei der Auswertung der gewonnenen Isotopendaten ebenfalls berücksichtigt. Zum Schluss sollte getestet werden, welche Rolle das Tertiärdentin, das sich nur als Reaktion auf starken Reiz infolge von Zahnerkrankungen oder Zahnverletzungen bildet, bei der Untersuchung dieser stabilen Isotopenverhältnisse spielt. Weitere Daten, welche zur Klärung bestimmter Trends und für die Interpretation der Daten relevant sein könnten, wurden ebenfalls gesammelt und sind in die Auswertung eingeflossen.

2. Wichtigste Einflussfaktoren auf das Körperwachstum und die Endkörperhöhe

Wissenschaft, die sich mit den physischen und psychischen Wachstums- und Entwicklungsprozessen sowie den Methoden zu deren Erfassung beschäftigt, wird Auxologie genannt. Der Begriff leitet sich aus dem Griechischen *αυξάνειν* ab, was so viel bedeutet wie „vermehrten, hinzufügen“ (Hesse, Siafarikas 2003). Anfang des 20. Jahrhunderts wurde er von Paul Godin eingeführt, 1970 von Tanner aufgegriffen, und später international bekannt gemacht (Hesse, Siafarikas 2003, Spencer 1997)¹. Wissenschaftler und Mediziner beobachten seit einigen Jahrzehnten, dass die Menschen in vielen Regionen der Welt größer wurden und immer noch werden, da bei ihnen das Körperhöhenpotenzial noch nicht vollständig ausgeschöpft ist (Floud et al. 1990; Bach et al. 1985). Wenn man von Wachstum und den Einflussfaktoren auf das Wachstum spricht, dann muss unterschieden werden, ob diese Einflussfaktoren die Wachstumsrate, die Wachstumsgröße, die Skelettproportionen oder die Gewebezusammensetzung betreffen. Wird nur die Wachstumsrate beeinflusst, so muss nicht zwangsläufig auch die Wachstumsgröße beeinflusst werden, und das beispielsweise verzögerte Wachstum kann mit dem sog. *catch-up growth* wieder aufgeholt werden (Tanner 1978, 1978a, 1981, 1986; Miles, Bulman 1994; Kashyap et al. 1988; Valman 1974; Prader et al. 1963). Die Genetik hat v. a. Einfluss auf die beiden Letztgenannten, d. h. auf die Skelettproportionen und die Gewebezusammensetzung (Tanner 1966). Nährstoffmangel und verschiedene erworbene Krankheiten wirken sich hingegen negativ auf die Wachstumsrate und Wachstumsgröße aus, weshalb Hinweisen auf diese beiden Faktoren am Skelettmaterial, insbesondere bei auf das Wachstum bezogenen Untersuchungen, große Bedeutung beigemessen werden muss. Diese Tatsache ermöglicht beim Interpopulationsvergleich Rückschlüsse auf die Quelle der Einflussfaktoren, grob gesprochen Genetik oder Umwelt, und kann damit zum besseren Verständnis der untersuchten Größe, in diesem Fall der Körperhöhe bzw. der einzelnen Langknochenmaße, beitragen. Lebewesen und ihre Umwelt können sich jedoch auch gegenseitig beeinflussen, und diese Wechselbeziehung zwischen den Lebewesen und ihrer Umwelt, die Ökologie, wird in dieser Arbeit ebenfalls diskutiert. Wie und in welchem Ausmaß solche Faktoren auf ein Individuum wirken, hängt jedoch nicht zuletzt von dessen Alter, Geschlecht und dem allgemeinen Gesundheitszustand ab. Die Erfassung solcher anthropologischer Grunddaten ist deshalb von essentieller Bedeutung, und die so gewonnenen Daten müssen bei entsprechenden, metrischen

¹ Kurzer Überblick über die Forschungsanfänge und Denkinhalte zum Längenwachstum und seinen Einflussfaktoren im ersten vor- und nachchristlichen Jahrtausend, sowie allgemein über die historische Entwicklung der Auxologie findet sich in Hesse und Siafarikas (2003).

oder geochemischen, Untersuchungen und bei der Auswertung der Daten berücksichtigt werden, um brauchbare Aussagen bezüglich des Wachstums und der möglichen Einflussfaktoren auf das Wachstum treffen zu können. Die wichtigsten dieser endogenen und exogenen Einflussfaktoren auf das Körperwachstum (Abb. 1), wie in verschiedenen Studien demonstriert, werden im Folgenden einzeln kurz beschrieben.

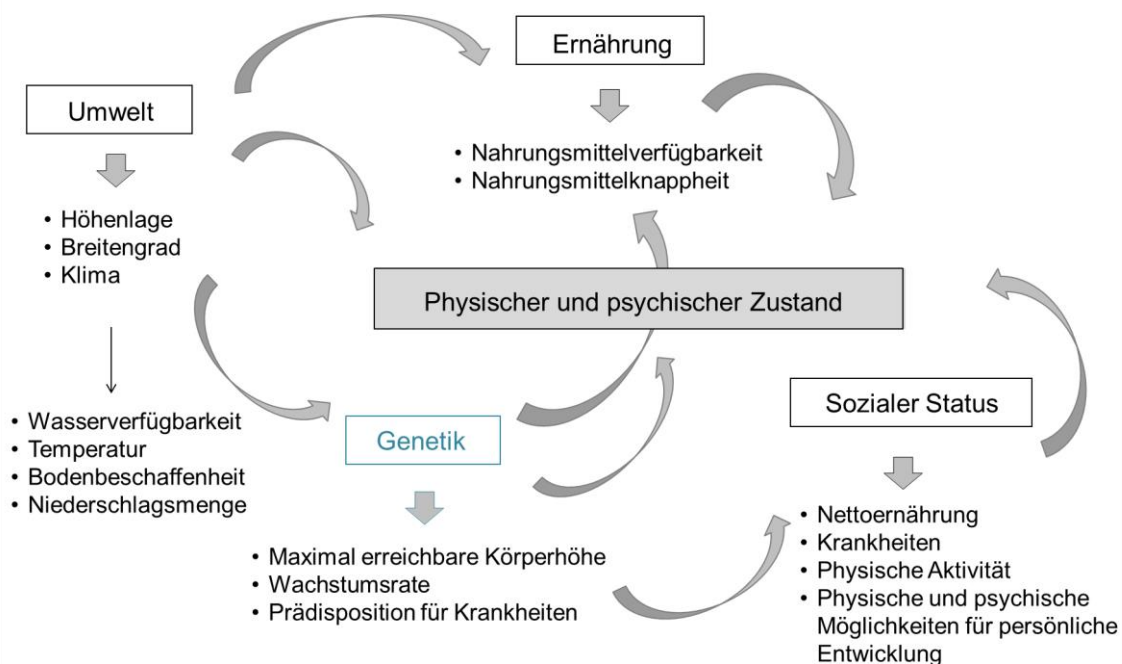


Abb. 1 Stark vereinfachtes Schema der wichtigsten endogenen und exogenen Einflussfaktoren auf das Körperwachstum (Quelle: Hujčić).

2.1. Genetik

Dass die Genetik eine wichtige Rolle bei Fragen zum Körperwachstum spielt, indem sie den Rahmen der maximal erreichbaren Körperhöhe determiniert, ist bekannt (Knußmann 1996; Eveleth, Tanner 1990). Schnabel (2009) gibt einen Wert von 70-90% für den Einfluss der elterlichen Erbanlagen auf die Endkörpergröße ihres gemeinsamen Kindes an. Die meisten anderen Studien kommen auf mehr als 80% (Phillips, Metheny 1990; Preece 1996; Silventoinen et al. 2000), und nach Kromeyer-Hauschild (in Engel 2012) und Brothwell (1981) macht der genetische Einfluss mindestens 90% aus. Durch Studien an ein- und zweieiigen Zwillingen konnte nachgewiesen werden, dass nur 16% der Körpergrößenvariabilität der Neugeborenen auf die genetische Prädisposition zurückgeführt werden kann, und dass im Säuglings- und Kindesalter die sogenannten individuellen Wachstumsgene, die für individuelle Unterschiede zwischen den einzelnen Individuen verantwortlich sind, aktiviert werden (Knußmann 1996; Stuart-Macadam, Dettwyler 1995).

Die Genetik ist auch dann sehr bedeutsam, wenn es um Faktoren genetischen Ursprungs geht, die das Wachstum verlangsamen, hemmen oder allgemein stören können. Dazu zählen zum Beispiel Veränderungen an den Chromosomen des Kindes oder an einzelnen Wachstumsgenen (Schnabel 2009). Genetik soll vor allem während der Pubertät einen starken Einfluss auf das longitudinale Wachstum haben (Frisancho et al. 1970), was mit der besonders starken Aktivierung des Wachstumshormons (*growth hormone* = GH) und des insulinähnlichen Wachstumsfaktors 1 (*insulin-like growth factor* = IGF-1) in dieser Zeit sowie den gonadalen Steroidhormonen und der Interaktion zwischen ihnen zusammenhängt (Rogol et al. 2002)². Die wichtigsten Wachstumsproteine, die das Wachstum beeinflussen, sind das Wachstumshormon (GH) sowie die Insulin ähnlichen Wachstumsfaktoren (IGF-1 und IGF-2) (Bürki 2000; Bernstein 2010; Heyner et al. 1990)³, deren Produktion zu über 90% vom GH in der Leber stimuliert wird (Bürki 2000; Heyner et al. 1990). Das Wachstumshormon ist ein körpereigenes Eiweiß (Polypeptid), welches in der Hypophyse gebildet wird. Vor allem die Proteine aus der Nahrung beeinflussen die Produktion von Wachstumshormonen in der Hirnanhangdrüse, dem Hypothalamus (Thissen et al. 2004)⁴. Das *growth hormone* ist nicht nur für die Regulation des Längenwachstums des Körpers, sondern auch des Muskel- und Fettgewebes sowie verschiedener Stoffwechselfvorgänge wie Blutzuckerbildung, Fettabbau und Muskelaufbau zuständig (Schöfl 2010; Buddecke 1981). Diese lebenswichtigen Funktionen machen es für den Menschen auch nach der Wachstumsphase unentbehrlich.

Für das präpubertäre Wachstum spielen die Thyroidhormone, Triiodthyronin (T3) und Thyroxin (Tetraiodthyronin, T4), neben dem GH, eine wesentliche Rolle. Diese Hormone sorgen für eine normale Entwicklung des zentralen Nervensystems und fördern zusammen mit dem GH die Knorpel- und Knochenbildung (Rogol et al. 2002)^{5,6}. Die Konzentration des GH ist beim Menschen etwa von der Nahrungsaufnahme, vom Stress⁷ und von der körperlichen

² Auch sog. *bone morphogenetic proteins* (BMP) sind eine Familie aus mindestens 15 verschiedenen Wachstumsfaktoren, die u. a. unterschiedliche Schritte der physiologischen Knochenbildung und möglicherweise auch Dentinbildung stimulieren (Palosaari 2003). BMP sind Glycoproteine mit niedrigem Molekulargewicht und Disulfidbindungen. Im Knochen liegen die BMP in einer Menge von etwa 1 µg/kg Kortikalis vor. Trotz dieser geringen Menge sind BMP stark autokrin/parakrin wirkende Lokalhormone, die in ihrer Wirkung auf die induzierte heterotope Knochenbildung zum Ausdruck kommen (Granjeiro et al. 2005).

³ Die insulinähnlichen Wachstumsfaktoren (früher Somatomedin, IGFs = *insulin like growth hormones*) sind Polypeptide im Plasma, die in der Leber, aber auch in verschiedenen anderen Organen, wie seit kurzem angenommen wird, produziert werden (D'Ercole et al. 1980). IGF-1 und IGF-2 sind sich strukturell sehr ähnlich (vier Ketten A-B-C-D), und beide haben 50%ige strukturelle Ähnlichkeit mit dem Insulin in den Regionen der Ketten A und B (Shabanpoor et al. 2009). Eine detaillierte Beschreibung einzelner Hormone von ihrer Entdeckungsgeschichte, über chemische Struktur, Synthese und Wirkung findet sich bei Bürki 2000.

⁴ http://www.creatinemonohydrate.net/creatin_newsletter_20.html (Stand: 11.11.2014).

⁵ Siehe auch Kapitel 2.2.2.5.

⁶ Die beiden Schilddrüsenhormone sind auch für die Bildung von Dentin sowie für das normale Wachstum der Zahnwurzel essentiell (Buddecke 1981).

⁷ Nach Goodman et al. (1988, 171) ist Stress „...*biobehavioral response to environmental conditions*.“ Im selben Aufsatz bieten sie einen näheren Einblick in die Stressforschung.

Aktivität abhängig, die die GH-Werte kurzfristig erhöhen können. Dessen Freisetzung ist damit stark an äußerliche Faktoren gebunden (Schnabel 2009). Auch aus diesem Grund wurden die für die hier interessierende Fragestellung zur Verfügung stehenden Skelette hinsichtlich Nahrungsmangel, Stressmarker und Aktivitätsmuster untersucht. Die Konzentration des IGF-1 wird ebenfalls unter anderem durch den Ernährungszustand reguliert (Bernstein 2010; Thisen et al. 2004). IGF-1 ist der am häufigsten vorkommende Wachstumsfaktor im Knochen, und ist am Calcium- und Phosphat- Stoffwechsel sowie der Proliferation der Osteoblasten, Differentiation und der Matrixbildung beteiligt (Kini, Nandeesh 2012). Dieses IGF-1, früher auch Somatomedin C genannt, wirkt auf den Eiweiß-, Zucker- sowie den Knochen- und Knorpelstoffwechsel, und spielt vor allem, wie oben erwähnt, bei pubertärem Wachstumsschub zusammen mit den Steroiden eine große Rolle (Bernstein 2010; Buddecke 1981). Die physiologische Funktion des IGF-2 hingegen ist noch unbekannt, jedoch wird davon ausgegangen, dass er in erster Linie die undifferenzierten Zellen stimuliert (Heyner et al. 1990). IGF-1 ist ein stabiles Polypeptid, welches im Blut deshalb länger als das GH verweilt und folglich auch über mehrere Wochen, im Vergleich zu wenigen Tagen im Falle von GH, auf den Körper einwirkt (Schöfl 2010). In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob der Konsum von Milch, die u. a. auch das GH und das IGF-1 enthält, Einfluss auf das Wachstum haben könnte, bzw. ob oral (Milchtrinker) eingenommener IGF-1 überhaupt relevante anabole Effekte entfalten kann. Diese Überlegung ist insbesondere deshalb interessant, weil das untersuchte Skelettmaterial aus der Linienbandkeramik stammt, aus der Zeit der in vielen Teilen Mitteleuropas ersten Ackerbauern und Viehzüchtern, und damit der beginnenden Milchwirtschaft.⁸

Die Bedeutung der Wachstumsproteine wurde noch deutlicher, als verschiedene Studien zeigten, dass die Konzentration der IGFs zumindest innerhalb einer Art mit der Körpergröße korreliert. So wurde unter den afrikanischen Pygmäen beobachtet, dass sie trotz normaler GH-Konzentration viel niedrigere IGF-Konzentrationen als Normalwüchsige aufwiesen, und an keiner Mangel- oder Fehlernährung litten (Merimee et al. 1972; Laron 1993). Erklärt wird diese Beobachtung mit einem Defekt am GH-Rezeptor, wodurch v. a. die Produktion des IGF-1 behindert wird (Merimee et al. 1981).⁹ Zum selben Ergebnis kamen Laron et al. (1980),

⁸ Auch Pflanzen besitzen IGFs (Xavier-Filho et al. 2003). Außerdem kann die Aminosäure L-Ornithin, welche in vielen Pflanzen frei enthalten ist, und bei der Abspaltung von Harnstoff aus Arginin entsteht, zusammen mit Arginin die Freisetzung und Produktion des Wachstumshormons, welches Fettabbau und Muskelaufbau bewirkt, erhöhen (Zajac et al. 2010; Pryor, Dean 2013). L-Arginin kommt vor allem in Weizenkeimen und Haselnüssen vor. Des Weiteren regt Ornithin die Insulinausschüttung an und kann so als anaboles Hormon wirken (Gröber 2008; Mindell 2007).

⁹ Migliano et al. (2007) untersuchten die Körperhöhe, Lebenserwartung, Mortalitätsrate und den Reifungszeitpunkt verschiedener Pygmäen-Gruppen in Afrika und Asien, und stellten die Hypothese auf, dass es sich beim Kleinwuchs unter den Pygmäen um ein Nebenprodukt der Selektion für die früh einsetzende Fortpflanzung wegen der geringen Lebenserwartung han-

als sie die Zwergwüchsigkeit (sog. Laron-Syndrom oder auch primäre GH-Resistenz¹⁰) untersuchten. Aufgrund der GH-Resistenz sind die GH-Werte bei diesen Menschen erhöht, aber die IGF-1-Werte ebenfalls sehr niedrig. Obwohl also GH ganz normal an die Rezeptoren in der Leber andocken kann, kann die Leber kein aktives IGF-1 bilden. Und schließlich konnte durch die sogenannte IGF-Injektionstherapie bei diesen Patienten endgültig bewiesen werden, dass IGF-1 große Bedeutung für das Wachstum hat, da sich nach der Therapie ihr Wachstum beschleunigte, und die kleinwüchsigen Kinder tatsächlich größer wurden. Die Tatsache, dass bei solchen Therapiemaßnahmen mit einer höheren Dosierung keine Erfolge verzeichnet werden konnten (Laron 1993), macht noch einmal deutlich, dass die genetische Prädisposition für eine bestimmte Körperhöhe nicht überschritten werden kann. Laut Isaksson et al. (1982) lässt sich die Wirkung von Wachstumshormonen auf die Körperlänge auch in Tierversuchen an Ratten nachweisen. Andere Forscher wie Tannenbaum et al. (1979) und Chakraborty et al. (1993) konnten an Ratten bzw. Hunden jedoch entgegengesetzte Beobachtungen vermerken, sodass bei der Übertragung der Ergebnisse aus Tierversuchen auf den Menschen Vorsicht geboten ist. Auch wenn eine bestimmte Konzentration verschiedener Hormone eine wichtige Voraussetzung für eine normale Entwicklung und ein normales Wachstum ist, sind Wachstumsstörungen nur in seltenen Fällen auf Hormondefizienz zurückzuführen.

Ein anderer wichtiger Aspekt hinsichtlich der Bedeutung der Genetik bei der erreichten Endkörperhöhe ist die Tatsache, dass es unabhängig vom Einfluss der Wachstumshormone zum richtigen Zeitpunkt und bei richtiger Dosierung, wie zu Beginn bereits erwähnt, zunächst einmal eine genetische Grundlage geben muss, die einen Anstieg in der Körperhöhe überhaupt erst möglich macht. Denn, wie bei Marañón (1960) zu lesen ist, lässt sich die genetisch determinierte Körpergröße therapeutisch nur geringfügig beeinflussen. Auch Nold (1958) schreibt, dass die Umweltbedingungen vergleichsweise wenig Einfluss auf die Körperhöhe und die Wachstumsgeschwindigkeit haben können, da die Erbanlagen nur relativ geringen Spielraum lassen. Es muss also für das Individuum möglich sein, über die von den Eltern vererbte Körperhöhe hinaus zu wachsen. Sekundär kommen dann meist externe Faktoren dazu, die weiter unten im Text einzeln besprochen werden, die im günstigsten Fall das neu entstandene Potenzial zum Anstieg der Körperhöhe antreiben. Inspiriert von Tier- und Pflanzenzüchtern hatte Nold (1963) die Idee, dass das beschleunigte Wachstum der Kinder mit dem Herkunftsort ihrer Eltern zusammenhängen könnte. In der Pflanzen- (z. B. Mais) und

delt. Sie erkannten, dass die Ursache für den Wachstumsstopp eher in der späteren Lebensphase zu suchen ist, da sich die Kinder, so etwa die Mädchen bis zum ca. 12.-13. Lebensjahr, normal entwickelten, ihr Wachstum dann aber in der Pubertät abgeschlossen war. Zu dem Zeitpunkt waren sie nach dem Entwicklungsstadium vollständig ausgereifte Personen.

¹⁰ Als Abgrenzung zu den sekundären GH-Resistenz-Syndromen, siehe Laron (1993, Tab. 1).

Tierzucht (z. B. Rinder, Schweine, Hühner) konnte beobachtet werden, dass, wenn sich die elterlichen Erbanlagen stark voneinander unterschieden, nicht nur die Nachkommen deutlich vitaler und größer waren¹¹, sondern auch ihre Entwicklungszeit verkürzt, d. h. ihr Wachstum akzeleriert war. Auf den Menschen übertragen, schreibt Nold, dass dieser verstärkte Körperwuchs vor allem dort zu beobachten ist, wo die Heiratsschranken wegfielen, d. h. dort, wo es mehr Fern- als Nahehen¹² gab. Diese Ursache bezeichnet er als Bruch der Isolate durch die Entwicklung des Transportwesens, und den Vorgang selbst als Luxurieren der Bastarde.

„Kreuzt man zwei reine, ingezüchtete Rassen einer Art, die sich in einer größeren Zahl von Erbanlagen unterscheiden, so kann man bei den Nachkommen und vor allem in der F1-Generation eine bedeutende Steigerung der Vitalität und der Entwicklung gegenüber den Eltern beobachten. Diesen Effekt nennt man Heterosis oder im deutschen Sprachgebiet auch >>Luxurieren der Bastarde<<“. (Nold 1963, 19-20).

Lenz (1961) hat sich ein Schema überlegt, wie man sich die additive Wirkung der heterozygoten Allelenpaare beim dominanten Erbgang vorstellen könnte. Wenn die Gene der Eltern, die zu verschiedenen Bevölkerungsgruppen gehörten, hauptsächlich homozygot, d. h. mit auf beiden Chromosomen des diploiden Satzes identisch, vorkamen, werden die Gene ihrer Kinder durch die Vermischung dieser verschiedenen Allele heterozygot. Die additive Gesamtwirkung der heterozygoten Allelenpaare ist dann stärker als bei den beiden homozygoten Ausgangspaaren (Lenz 1961). Der Grad der Homozygotie steigt mit Verwandtschaftsehen (Nahehen eines Isolats) an, der Grad der Heterozygotie mit Vermischung fremder Erbströme (Fernehen zwischen einzelnen Isolaten) (Nold 1963). Das fortschrittliche Verkehrswesen ermöglichte Ehen zwischen weit voneinander lebenden Individuen, und damit eine Vermischung zwischen erblich stärker verschiedenen Gruppen. Da dies in relativ kurzer Zeit an verschiedenen Orten gleichzeitig einsetzt, kann es sich laut Nold (1963) um keine Mutation handeln, sondern um die sogenannte Heterosis, bei der die Heterozygoten zu stärkerer additiver Gesamtwirkung führen. Schlussendlich kann diese Heterosis dann durch exogene Faktoren bei der Akzeleration entscheidend wirksam werden. Auch weitere Forscher, darunter Dahlberg (1947) oder Tanner (1966), sehen in der Heterosis einen wichtigen Einfluss auf das Akzelerationsgeschehen, wobei zugegeben wird, dass die Akzeleration ein sehr komplexer Vorgang

¹¹ Als Beispiel zeigt Nold (1958, 241) eine Graphik mit Gewichtskurven von Rind, Yak und einem Rind-Yak-Mischling im Vergleich.

¹² Die Graphik zur Herkunftsentfernung der Ehepartner am Beispiel von Einbeck in Niedersachsen bei Nold (1958, 242) zeigt deutlich den Anstieg der Fernehen von 1700 bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts.

ist. Ein weiterer Vorteil des Isolatbruchs ist, wie Dahlberg (1947) schreibt, eine Verringerung des Vorkommens bestimmter Defektanlagen. Tanner und Eveleth (1976) sehen in der Vermischung von Land- und Stadtbevölkerung einen wichtigen Beitrag zur zukünftigen Entwicklung der Körperhöhe, da die ländliche Bevölkerung deutlich heterogener als die urbane ist.

Die Heterosis-Hypothese ließe sich auch auf die Zeit der Linienbandkeramik übertragen, worauf an anderer Stelle näher eingegangen wird. Ob das genetisch determinierte, maximale Wachstumspotenzial letztendlich erreicht wird, hängt auch von externen Faktoren ab, die im Folgenden behandelt werden.

2.2. Umwelt

2.2.1. Ökologie und Klima

Der Einfluss des Klimas, der geographischen Breite sowie der Höhenlage auf das Körperwachstum wird kontrovers diskutiert. Umweltfaktoren sollen einen stärkeren Einfluss auf die Körperwachstumsintensität als auf die Zahnentwicklungszeit (Cardoso 2007; Villermé 1829), sowie einen stärkeren Einfluss auf Jungen als auf Mädchen haben (Tanner 1966; Kayser 1987). Tanner (1966) nimmt an, dass ursprünglich das Klima und die Höhenlage die Auswahl an wachstumsrelevanten Genen kontrollierten, was zu heute bekannten Unterschieden führte.

2.2.1.1. Höhenlage

Evelett und Tanner (1990) geben bezüglich der Höhenlage als Einflussfaktor 1500m als Grenzhöhe an. Das könnte damit zusammenhängen, dass unterhalb dieser Höhenzone in der Regel keine durch die Höhe bedingten gesundheitsgefährdenden Probleme auftreten (Berghold, Schaffert 2009)¹³. Experimentelle Untersuchungen zum eindeutigen Nachweis vom Zusammenhang zwischen erhöhtem Sauerstoffgehalt (in Luft/Wasser) und dem Riesenwuchs im Tierreich scheiterten jedoch bisher (Woods et al. 2009; Klok 2009). Wurst et al. (1961) setzten das Wachstum der Kinder in Kärnten, Österreich, in Beziehung zur Höhenlage, auf der sie lebten, und fanden eine negative Korrelation zwischen ihrer Körperhöhe und der von ihnen bewohnten Höhenlage. Bei höherer Wohnortlage waren die Dorfbewohner ärmer, die Ernäh-

¹³ Nach Berghold und Schaffert (2009) ist ab 1500m bis 2500 eine Sofortanpassung möglich, und die Sauerstoffversorgung der verschiedenen Gewebe ist hier kaum beeinträchtigt. Am Übergangsbereich zu großen Höhen (ab ca. 2500m) ist eine Akklimatisierung des Körpers notwendig. Die Ausdauerleistungsfähigkeit nimmt schon um ca. 10% pro 1000 Höhenmeter ab, im Gegensatz zu 5% in mittleren Höhen. Da sich der Körper an extreme Höhen (ab etwa 5300m) nicht mehr vollständig akklimatisieren kann, sind diese Höhen von Menschen nicht besiedelt, und deshalb für das hier behandelte Thema irrelevant, weshalb an dieser Stelle nur an die obige Literatur hingewiesen wird.

rung schlechter und der Kalorienverbrauch höher, was sich an der geringen Körperhöhe und der später eintretenden Menarche bei diesen Kindern bemerkbar machte (Wurst et al. 1961). Denkbar ist auch, dass der weite Schulweg oder die anstrengende, möglicherweise bereits im frühen Kindesalter einsetzende körperliche Arbeit¹⁴ das physische Wachstum hemmte. Wenn bedacht wird, dass die Bergvölker meist von einer Subsistenzwirtschaft leben, die mit intensiver körperlicher Arbeit auf dem Feld oder mit Viehhaltung verbunden ist, und dass dabei noch mehr Sauerstoff für die Muskelarbeit benötigt wird, erscheint es plausibel, dass der Sauerstoffgehalt in sauerstoffärmeren Höhenlagen eine doch signifikante Rolle spielen könnte. Da in höheren Lagen der atmosphärische Sauerstoffpartialdruck niedriger ist, und dadurch weniger Sauerstoff in die Lungen aufgenommen wird, was weniger Sauerstoff im Blut zur Folge hat, versucht der Körper, diesen Mangel dadurch auszugleichen, indem er u. a. die Herzfrequenz erhöht und das Atmen beschleunigt, wodurch mehr Luft in die Lungen gelangt (Berghold, Schaffert 2009). Um auch das Gehirn mit Sauerstoff zu versorgen, wird die Durchblutung erhöht. Dafür benötigt der Körper mehr Glucose aus dem Blutkreislauf als Energiequelle, was wiederum dazu führt, dass aus den Muskeln mehr Glykogen benötigt wird. Mit zunehmender Höhe steigt die Stoffwechselrate (Lippl et al. 2010), und der Energiebedarf beträgt das Dreifache des Ruhebedarfes auf der Meereshöhe (Pirnay et al. 1977). Um der Dehydrierung vorzubeugen, wird deutlich mehr getrunken, was das Hungergefühl unterdrückt, und der Mensch automatisch weniger isst. In einer Studie mit 20 übergewichtigen deutschen Männern auf der Zugspitze konnte bestätigt werden, dass allein der Aufenthalt in der Höhe ohne zusätzliche physische Übungen, vor allem aufgrund niedriger Sauerstoffkonzentration bzw. der damit verbundenen hohen Stoffwechselrate und des Appetitverlustes zum Gewichtsverlust dieser Männer geführt hat (Lippl et al. 2010). Die einzelnen physiologischen Mechanismen dabei sind jedoch immer noch nicht ganz geklärt. Da Proteine aus verschiedenen Anteilen an Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff bestehen, kann es bei Sauerstoffmangel zu Störungen bei der Proteinbiosynthese, und damit beim Zellwachstum kommen. Gupta und Basu (1981) berichten jedoch von groß gewachsenen Sherpas im oberen Khumbu in Nepal, die auf einer Höhe zwischen 3500 und 4500m leben, im Vergleich zu den Tieflandbewohnern (100-1500m) in Kalimpong, Westbengalen. Obwohl die Hochlandbewohner schlechteren Ernährungszustand aufweisen, ist die Ausbreitung der Hakenwurmkrankheit im Tiefland so stark, dass sie trotz besserer Ernährungslage das Längenwachstum der Tieflandbewohner negativ beeinflusst. Da die unterschiedliche Höhenlage auch Unterschiede in der Ernährungsweise, im Krankheitsbefall und/oder in physischer Belastung bedingen können, ist es schwer,

¹⁴ Siehe auch Kapitel 2.2.2.3.

die Differenzen bezüglich der Körperhöhe der diese Höhen bewohnenden Menschen auf nur eine Ursache, nämlich mit zunehmender Höhe typischerweise assoziierte, kontinuierlich abfallende Sauerstoffkonzentration in der Luft, zurückzuführen. Dieses Beispiel zeigt, dass nicht nur die Hypoxie für die Unterschiede in der Körpergröße zwischen den unterschiedlichen Höhenlagen bewohnenden Menschen verantwortlich ist, sondern, dass auch andere Faktoren wie Ernährung und Parasitenbefall diesbezüglich berücksichtigt werden müssen, da physische Umweltfaktoren mit ökonomischen, biologischen und kulturellen Faktoren interagieren.

2.2.1.2. Breitengrad und Sonneneinstrahlung

Rosenstock (2014) konnte im Rahmen ihrer Untersuchung zur Eiweißversorgung und Körperhöhe Hinweise darauf finden, dass allein die Breitengrade keinen, zumindest keinen primären, Einfluss auf die Körperhöhe beim Menschen haben, wie bereits auch von Blackburn et al. (1999) bestätigt wurde, wodurch die sogenannte Bergmannsche Regel¹⁵ in Frage gestellt wird. Allerdings ist zu bemerken, dass die Menge an Sonneneinstrahlung in Bezug auf die vom Körper produzierte Menge an Vitamin D, welches zu 90% nur durch UV-Bestrahlung der Haut im Körper gebildet werden kann (Holick 2007), hoch signifikant ist. Nach Koch (1935) kann der Wert des Wachstumshormons bei steigender Exposition zum Sonnenlicht modifiziert werden. Außerdem kann der Körper Calcium, welches für Knochenwachstum unentbehrlich ist, da der Hauptanteil der mineralischen Phase aus Calciumphosphat und Calciumcarbonat besteht, nur aufnehmen und verwerten, wenn genügend Vitamin D zur Verfügung steht. Koch postulierte die sog. ‚Heliogene Theorie‘, die er als Hauptursache für das zunehmende Wachstum ansah, nach der die Kinder in südlichen Breiten, wo es wärmer und heller ist, schneller als die Kinder in nördlichen Breiten ihre Geschlechtsreife erreichen, wo es kälter und dunkler ist. Bennholdt-Thomsen (1942) weist hingegen auf negative Folgen starker UV-Einstrahlung und auf die Unterschiede zwischen Stadt und Land hin, die sich mit heliogener Akzeleration nicht erklären lassen. Diese Vermutungen bleiben weitestgehend ungeklärt und bedürfen weiterer Studien.

¹⁵ Gemäß der Bergmannschen Regel (Bergmann 1848) hängt die Größe der Individuen mit der geographischen Verbreitung zusammen, d. h. größere Individuen leben in höheren Breitengraden und kühleren Klimata, kleinere Individuen in niedrigeren Breitengraden und wärmeren Klimata, was beispielsweise von Schwidetzky (1979) bestätigt wurde und von Foster und Colard (2013) nur bedingt bestätigt werden konnte. Nach Knußmann (1996) lässt sich die Körpergröße aber nur schwer untersuchen, weil viele andere Faktoren innerhalb der Breitengrade ebenfalls bedeutend, und vor allem populationsspezifisch sind, wie etwa Ernährung, Krankheitsbelastung oder allgemeine Lebensumstände.

2.2.1.3. Saisonalität

Da die Ernte in vielen Regionen von der Saisonalität (Regen- und Trockenzeit) abhängig ist, begünstigt dieser Wechsel zwischen den Jahreszeiten das Auftreten von Dürre- und damit Mangelperioden (Chambers et al. 1981). Außerdem stellt die Erntezeit für den Körper eine der anstrengendsten, da arbeitsintensivsten Zeit dar (Eveleth und Tanner 1990; Floud et al 1990; Waterlow 2011). Unabhängig davon, berichtet Tanner (1962, Fig. 41) über den Einfluss der Jahreszeiten auf die Wachstumsgeschwindigkeit, und stellt fest, dass das Längenwachstum im Frühling mit dem Maximum zwischen März und Mai 2-3 Mal so stark ist wie in den Monaten September bis November, was aber individuell stark variieren kann. Tanner (1962) sieht hierbei eine mögliche hormonelle Ursache oder ein endokrines Wechselspiel, das das Wachstum reguliert. Als mögliche Ursachen werden auch länger andauerndes Tageslicht (Nylin 1929; Koch 1935, 1935a) und höhere Temperaturen (McKee, Eichorn 1955) genannt, wobei bei Letzteren auch geschlechtsspezifische Unterschiede gefunden wurden, die die Autoren zumindest teilweise auf den dämmenden Effekt des subkutanen Fettes bei Mädchen zurückführen. In einer zwei Jahre dauernden Untersuchung von Marshall (1975, Fig. 1, Tab. 1) u. a. zum Einfluss der Temperatur und des Lichtes (der Tageslänge) auf die Wachstumsrate von 300 Kindern auf den Orkney Islands konnte hingegen in den Wintermonaten ein stärkeres Wachstum als in den Sommermonaten verzeichnet werden. Da jedoch nur 35% der untersuchten Kinder diesen Wachstumszyklus in beiden Jahren zeigten, folgerte er daraus, dass die jahreszeitlichen Temperatur- und Lichtunterschiede, wenn überhaupt, dann nur einen vergleichsweise geringen Einfluss auf das Wachstum haben. Warum das Wachstum in den Wintermonaten verstärkt und in den Sommermonaten verlangsamt ist, konnte er nicht erklären. Biesalski (2010) schreibt im Zusammenhang mit verringerter Hautpigmentierung, dass zwar die UV-B-Strahlung eine Verbesserung der Vitamin-D-Synthese ermögliche, die Versorgung mit Folsäure jedoch verringert sei. Weil die Folsäure nicht nur für die Entwicklung, sondern auch für das Wachstum wichtig ist, könnte ein Folsäuremangel als eine mögliche Erklärung für diese Beobachtung angeführt werden.

2.2.2. Sozioökonomische Einflussfaktoren

Zu den wichtigsten Umweltfaktoren gehören sozioökonomische Faktoren wie sozialer Status, Gesundheitszustand, physische Aktivitäten und Ernährung, auf die in den nächsten Unterkapiteln näher eingegangen wird, wobei die Rolle der Mutter separat behandelt wird.

Wenn die Genetik der Umwelt einen Spielraum lässt, dann muss den Faktoren wie sozialer Status, und damit oft verbunden auch der Bildungsstatus, medizinische Versorgung und Ernährung eine wichtige Bedeutung bei Wachstumsprozessen zugesprochen werden. So sind beispielsweise Kinder, die mit ihren Familien in ein anderes Land mit höherem Lebensstandard immigriert sind, meist größer und auch intelligenter als Kinder, die in ihrer Heimat geblieben sind (Tanner 1966). Malhotre (1966) schreibt beispielsweise, dass die indischen Kinder, die in Kanada geboren sind, in allen Altersstufen größer sind als ihre Pendanten, die zwar auch in Indien geboren, aber dort auch aufgewachsen sind. Die Mayas, die noch in Zentralamerika leben, sind ebenfalls kleiner als die, deren Eltern zum Beispiel nach Nordamerika ausgewandert, und die somit unter anderen Umweltbedingungen aufgewachsen sind (Kromeyer-Hauschild in Engel 2012). Die Migranten erreichen allerdings nie die Körperhöhe der einheimischen Bevölkerung (Tutkuvienė et al. 2011). Der Grund dafür könnte sein, dass die ethnischen Minderheiten oft einen niedrigeren sozialen Status als die einheimische Bevölkerung haben, oder, dass ihre genetische Prädisposition ein weiteres longitudinales Wachstum nicht ermöglicht. Untersuchungen an Europäern, die in Afrika oder Japan, und Afrikanern, die etwa in Liverpool aufgewachsen sind, konnten dies bestätigen. Weder die Europäer noch die Afrikaner entwickelten die typische Statur der einheimischen Bevölkerung (Tanner 1966). Obwohl zum Beispiel die Niederländer als größte Menschen gelten, gibt es auch in den Niederlanden Unterschiede in der Körpergröße zwischen den verschiedenen dort lebenden Ethnien. Die dort aufgewachsenen Kinder anderer ethnischer Herkunft erreichten, wie Tutkuvienė et al. (2011) in einer Untersuchung zeigen konnten, nicht dieselbe Körperhöhe wie die einheimischen Kinder. Kinder litauischer Mütter waren ebenfalls größer und schwerer als Kinder von Müttern anderer Ethnien in Litauen, beispielsweise von Russinnen, Polinnen, Weißrussinnen, Rumäninnen, auch wenn bei höherer Bildung die ethnische Zugehörigkeit eine geringere Rolle gespielt hat, und die Körperhöhenunterschiede zwischen den Kindern gering waren (Tutkuvienė et al. 2011, Tab. 3). Welche Umweltfaktoren im Einzelnen hierbei eine Rolle spielen, und wie ihre additive Wirkung zu bewerten ist, ist, bedingt durch mehrere, etwa in Verbindung mit der Migration auftretende Veränderungen, kaum zu ermitteln. Für Menschen, die nicht migrieren, sind zwar die Umweltfaktoren, die auf ihre Entwicklung Einfluss ausü-

ben, leichter fassbar, aber ihre individuelle Wirkung ist genauso wenig vorhersehbar und schwer auszuwerten. Im Folgenden sollen dennoch die wichtigsten sozioökonomischen, das Wachstum beeinflussende Faktoren im Einzelnen behandelt werden.

2.2.2.1. Sozialer Status

Zahlreiche Studien an Kindern in Entwicklungsländern in Afrika (Eveleth, Tanner 1976), Asien (Rich-Edwards et al. 2007; Kielmann et al. 1983; Eveleth, Tanner 1976; Chambers et al. 1981; Pacey, Payne 1985; Malcolm 1970), aber auch in Industrieländern v. a. des 19. und 20. Jh. in Amerika und Europa (Eveleth, Tanner 1976, 1990¹⁶; Knußmann 1996; Orr 1936; Cardoso 2007) konnten belegen, dass der soziale Status, welcher die Wohnsitzlage (Stadt-Dorf, urban-peripher), den Beruf, das Einkommen der Eltern, das Milieu, in dem das Kind aufwächst, die Ernährung und die Gesundheit bestimmt, Einfluss auf die physische und psychische Entwicklung insbesondere im frühen Kindesalter und damit auch auf die Körperhöhenentwicklung nimmt (Floud et al. 1990; Malcolm 1970; Wurm 1985; Flügel, Flügel 1978; Howe, Schiller 1952; Young 1986; Bach 1965).

Die Unterschiede in der Körperhöhe, die auf soziale Unterschiede zurückgehen, lassen sich mindestens in die Bronzezeit zurückverfolgen (Flügel et al. 1986; Teschler-Nicola 1989). Teschler-Nicola (1989, Tab. 1) konnte in Gemeinlebarn, Gräberfeld F der Frühbronzezeit, einen Zusammenhang zwischen der nach Breiting (1937) ermittelten durchschnittlichen Körperhöhe, den Robustizitätsindices und dem sozialen Rang, den sie anhand der Grabbeigaben definiert hat, feststellen. Der Unterschied in der Körperhöhe bei Männern betrug dabei 3cm. Bei Frauen gab es, bis auf zwei Ausnahmen, keine Unterschiede in der Körperhöhe und den postcranialen Maßen. Die Frauen der Oberschicht waren sogar im Durchschnitt kleiner als die Frauen der Unterschicht, aber aufgrund der geringen Individuenzahl, die die Beigabenzuordnung zu einer sozialen Schicht problematisch machte, sind diese Beobachtungen statistisch nicht gesichert. Dass die, zumindest archäologisch erkennbaren, sozialen Unterschiede nicht immer mit der Körperhöhe korrelieren, konnte Siegmund (2010, Tab. 46-47, 49-51) durch allometrische Untersuchungen an Individuen aus merowingerzeitlichen Gräberfeldern Mannheim-Vogelstang, Munzingen, Basel-Bernerring und Kirchheim im Ries zeigen, bei denen die Unterschiede in der Körperhöhe weder bei Männern noch bei Frauen verglichen mit

¹⁶ Bei Eveleth und Tanner (1990, Tab. 2) findet sich eine tabellarische Übersicht über alle bis dato durchgeführten Wachstumsstudien in Europa mit entsprechender Autorenzitation.

der Bestattungsart statistisch signifikant waren. Siegmund erklärt diese Beobachtung mit dem Hinweis auf generell gute Lebensbedingungen im frühen Mittelalter, geringere Bevölkerungsdichte, günstiges Klima und flache Hierarchien, die es auch armen Menschen ermöglichten, ihre genetisch festgelegte Körperhöhe erreichen zu können, was die ungewöhnlich hohe Körperstatur bei den frühmittelalterlichen Alamannen, Franken und Romanen nur bestätigt. Dieser Hinweis findet sich auch bei Obertová (2008), die eine frühmittelalterliche, alamannische Bevölkerung aus Horb-Altheim untersuchte, und eine gut repräsentierte senile Gruppe, darunter v. a. Frauen, identifizieren konnte, was ihr zufolge insbesondere mit günstigen Lebensbedingungen in dieser Zeit zusammenhängt. Bei dem Vergleich der Individuen in Nischengräbern mit solchen in einfachen Grabgruben konnte eine größere Körperhöhe der Menschen in Nischengräbern festgestellt werden. Diese Beobachtung wird aber nicht auf soziale Unterschiede zurückgeführt, da die Individuen sonst keine signifikanten Unterschiede beispielsweise bezüglich Pathologien aufweisen, sondern eher auf genetische Zusammengehörigkeit der in Nischengräbern Bestatteten, die möglicherweise einer anderen Kulturgruppe angehörten, womit sich die andersartige Bestattungstradition erklären ließe. Das ist eine wichtige Beobachtung, die bei solchen unter archäologischem Material oft beobachteten Phänomenen zur Vorsicht ermahnen soll, voreilige Schlüsse zu ziehen, die zu unüberlegten Interpretationen führen können.

In der heutigen Zeit lassen sich Körperhöhenunterschiede, die auf die soziale Schicht zurückzuführen sind, ebenfalls beobachten, und sind sogar zwischen Schülern verschiedener Schultypen oder bereits bei Vorschulkindern erkennbar (Knußmann 1996; Baten, Böhm 2008; Bach 1965; Howe, Schiller 1952, Fig. 3 und 4 für Jungen sowie 7 und 8 für Mädchen). So sollen die Kinder, Töchter wie Söhne, von Eltern, die höheren Berufen angehören, am größten sein, gefolgt von Kindern des Mittelstandes, denen der Arbeiter sowie von Kindern aus Bauernfamilien, die am kleinsten zu sein scheinen (Bach 1965, Abb. 1¹⁷; Tanner 1962, Fig. 47; Tanner 1966). Bei Untersuchungen von Pařízková (1976) an über 4000 Vorschulkindern in Böhmen und Mähren, konnte sie zumindest für dieses Gebiet und für die damalige Zeit zeigen, dass die städtischen Kinder größer waren als die Kinder aus kleineren Orten bzw. Dörfern, wobei sich der Unterschied bei den Mädchen stärker bemerkbar machte. Stinson (1998) hat die von verschiedenen Autoren publizierten Körperhöhen von Menschen oberer und unterer sozialer Schichten in Nigeria, Costa Rica, Guatemala, Indien, China und auf Jamaika zusammengetragen. In allen Regionen sind die Kinder aus oberen sozialen Schichten deutlich größer als solche in unteren sozialen Schichten (Fig. 5). Die Untersuchung von Pařízková

¹⁷ Eine Zusammenfassung mit Angaben der Körpergröße und des Körpergewichts ist bei Bach (1965, Tab. 2) zu finden.

(1976) ergab auch, dass die Kinder aus Familien mit dem höchsten Prokopfeinkommen immer größer und schwerer waren, als die Kinder aus Familien mit dem geringsten Prokopfeinkommen, auch wenn in beiden Fällen sowohl die Körpergröße als auch das Körpergewicht noch innerhalb der Norm waren. Laut Tanner lässt sich diese Beobachtung v. a. durch die frühe Reifung der Kinder aus oberen sozialen Schichten aufgrund besserer bzw. gesünderer Ernährung und des allgemein besseren häuslichen Milieus erklären, wobei das Letztere nicht zwangsläufig an die obere soziale Schicht gebunden sein müsse. Im Gegensatz dazu sind laut Tutkuvieni et al. (2011) die Neugeborenen in Litauen und in Bosnien und Herzegowina trotz des großen sozioökonomischen Unterschiedes die größten im Vergleich zu anderen Ländern, für die die entsprechenden Daten zur Verfügung standen. In Japan sind die Neugeborenen dagegen trotz des höchsten BIPs die Kleinsten (Tutkuvieni et al. 2011, Fig. 3 und 4). Dies ist insofern interessant, als dass die meisten Mütter der Kinder aus Bosnien und Herzegowina wahrscheinlich während der Kriegsjahre aufgewachsen sein müssten, und unter Stress und Hungersnot gelitten haben müssten. Darüber hinaus hat das BIP hier den niedrigsten Wert, und liegt insbesondere im Jahr 2002 deutlich unter den Werten anderer Länder. Diese Graphiken zeigen einmal mehr, dass mehrere Faktoren auf die frühkindliche Entwicklung und das Körperwachstum einwirken, die sich durch Rückkopplungsprozesse, auch abhängig von genetischer Prädisposition, gegenseitig beeinflussen und verstärken.

Bei der Auswertung der Daten einer Studie zur Gesundheit der schottischen Schulkinder des Jahrganges 1943, bei der es primär um die Beziehung zwischen der Körperhöhe im Alter von 10 Jahren und dem Wechsel des sozialen Status aufgrund des Schulwechsels ging, konnte Cerneud (1995, Tab. II) beobachten, dass die Kinder aus unteren sozialen Schichten, definiert nach dem Beruf des Vaters, die für höhere Bildung ausgewählt wurden, und damit in die obere soziale Schicht aufstiegen, größer wurden als ihre Gleichaltrigen, die in derselben sozialen Schicht blieben. Das Umgekehrte geschah mit Kindern aus höheren sozialen Schichten, die nur für die Grundschulausbildung ausgewählt wurden. Der durchschnittliche Körperhöhenunterschied zwischen den Jungen betrug 1,3cm und zwischen den Mädchen 0,5 bzw. 0,9cm. Bei Letzteren war er jedoch statistisch nicht signifikant. Nach Cameron (2002) können diese Unterschiede schon in der frühesten Kindheit, bereits im Alter von sechs Monaten, nachgewiesen werden. Cardoso (2007) gibt für die Unterschiede im Körperwachstum in Korrelation zum sozioökonomischen Milieu 0.63-1.17 Jahre, nach Knußmann (1996) und Tanner (1978) können sie sogar 2-3 Jahre betragen. Baten und Böhm (2008) kamen zu dem Ergebnis, dass Kinder unterer sozialer Schichten 1-2cm kleiner wurden. Nach Waterlow (2011, Fig. 1)

können die Körperhöhenunterschiede zwischen Kindern unterschiedlichen sozialen Status in Extremfällen, etwa in Guatemala und Indien, bis zu 12cm betragen.

Auch heute ist weltweit zu beobachten, dass große Menschen als Anführer bzw. für höhere Positionen präferiert werden, was nach Eilert (2012) von den Aka-Pygmäen in Zentralafrika bis zu den Mehinaku-Indianern im Amazonas-Gebiet beobachtet werden kann. Körperliche Größe wird so mit körperlicher Überlegenheit assoziiert. Diese Tatsache erklärt auch die sexuelle Vorliebe insbesondere der weiblichen Individuen für größere Geschlechtspartner, da große Männer einen gewissen Beschützerinstinkt suggerieren würden. Die Bedeutung der Körpergröße im Alltag und für das soziale Umfeld wird immer wieder durch die Tatsache verdeutlicht, dass bei der Befragung nach derselben sowohl die Frauen als auch die Männer ihre Körperhöhe oft überschätzen (Stulp et al. 2013; Wen et al. 2012; Krzyżanowska, Umlawska 2002). Aus diesem Grund muss bei der Arbeit mit allometrischen Angaben zwischen gemeldeten und gemessenen Daten differenziert werden.

2.2.2.2. Gesundheit

Die beobachtete sekuläre Akzeleration seit dem 19. Jahrhundert fällt laut Prader (1981) auch mit verbesserten Gesundheitsbedingungen zusammen, was durch das Absinken des sekulären Trends in Kriegs- und Notzeiten und das Ansteigen desselben in wirtschaftlich günstigen Phasen bestätigt wird (Jürgens 1960, 1960a; Howe, Schiller 1952). Gesunde körperliche Verfassung ist für das gesunde Wachstum sehr wichtig, zumal verschiedene chronische Krankheiten, Knochendysplasien (Prader 1981) oder auch gestörte Funktion des Magen-Darm-Traktes zu Wachstumsstörungen führen können, da der Körper in der Lage sein muss, die aufgenommenen Nährstoffe, sofern sie verfügbar sind, aufzunehmen und zu verwerten (Schnabel 2009). Leichte Erkrankungen oder kurzzeitige Verschlechterungen des Gesundheitszustandes haben keine Auswirkungen auf das Längenwachstum, chronische Erkrankungen, die länger andauern jedoch schon (Tanner 1962). Selbstverständlich spielt das Immunsystem des Betroffenen eine wichtige Rolle, und damit verbunden auch der Ernährungszustand und allgemeine Lebensbedingungen, die für den Kranken im Kampf gegen die Krankheitserreger entscheidend sind. Welche Rolle hierbei die Genetik und ihre Wechselbeziehung mit der Umwelt spielt, ist kaum erforscht. Dennoch existieren bisher nur wenige Arbeiten, in denen die Beziehung zwischen Genen und der Umwelt untersucht wurde (Montgomery 2001; Ferrari 2001).

Hippolyt Guarinoni (1571-1654) war wahrscheinlich der Erste, der emotionalen Stress als Ursache für Wachstumsverzögerung bei Schulkindern beschrieben hat (zitiert bei Tanner 1981). Sämtliche weitere Studien belegen, dass postnataler psychischer Stress das infantile bzw. adoleszente Wachstum beeinträchtigen kann, was auch unter der Bezeichnung 'psychosozialer Kleinwuchs' (*psychosocial short stature*) bekannt wurde (Hopwood, Becker 1979; Skuse et al. 1996; Fierman et al. 1991; Fernald et al. 2002; Widdowson 1951). Infektionskrankheiten haben ebenfalls erhöhten Stress für den Körper zur Folge. In Südamerika lag die Sterblichkeitsrate der Individuen zwischen 0-2 Jahre, die an Infektionskrankheiten starben, noch Mitte des 20. Jh. bei 50% (Baker 1966). Das warme Klima begünstigt die Vermehrung von Parasiten, die Krankheiten verursachen und zu Entwicklungsstörungen und Wachstumsverzögerungen führen können. Die Energie, die für die Erhaltung der Körpertemperatur und die Entwicklung des Körpers gebraucht wird, wird auch für die Bekämpfung der Erreger benötigt (Floud et al. 1990). Die in wärmeren Regionen oft beobachtete geringere Körpergröße und geringe körperliche Aktivität lässt sich möglicherweise damit erklären, dass die aufgenommene Energie nur zu einem kleinen Teil zum Aufbau der Muskelmasse, und zum größten Teil für die Bekämpfung von Krankheiten verbraucht wird.

2.2.2.3. Körperliche Aktivitäten

Dass auch körperliche Aktivität das Wachstum beeinträchtigen kann, wurde Anfang des 19. Jahrhunderts erkannt, und führte zur Gesetzesänderung bezüglich des Mindestalters in Fabriken und Bergwerken, sodass die Schwerstarbeit für Kinder unter neun Jahren mit dem sog. „Factory Regulation Act“ von 1833 untersagt wurde (Douglas et al. 1956). Schwere körperliche Arbeit hat zur Folge, dass der Energieumsatz und damit der Bedarf an Vitaminen, Mineralstoffen und Nährstoffen wie Proteinen, Fetten und Kohlenhydraten, aber auch an Flüssigkeit und Sauerstoff erhöht werden. Bei ausreichender Nährstoffversorgung des Körpers haben physische Aktivitäten allein keine signifikanten oder dauerhaften Folgen für das Wachstum und die Entwicklung (Rogol et al. 2002).

Floud et al. (1990) berichten über den sehr niedrigen Körperwuchs unter den Fabrikarbeitern in Manchester zu Beginn des 19. Jh. sowie unter den Mienenarbeitern im südlichen Wales. Nicht nur bei Krankheiten aufgrund der Immunabwehr (Flügel et al. 1986), sondern auch bei starker körperlicher Aktivität wird, wie oben erwähnt, Energie verbraucht, die dann bei der Nettoernährung (siehe Kapitel 3) fehlen kann. Wie stark der Einfluss der physischen

Aktivität auf das Wachstum ist, hängt nicht zuletzt von der Dauer, Intensität und dem Zeitpunkt ab, in welchem Lebensalter diese aufgenommen wird (Malina 1960). Damit sind nicht die regulären Bewegungen und körperlichen Tätigkeiten gemeint, die Einfluss auf den Gesundheitszustand (Chen 2001; Coyle 2000) und die Knochenmineralisation haben, und die das Wachstum unterstützen. Die Gesundheit der Knochen ist nicht nur von der Knochenmineralisation und der Knochendichte, sondern auch von Umweltfaktoren abhängig, die deren Bewegung bzw. Leistung fördern. Wie der Knochen aber auf bestimmte Aktivitäten reagiert, ist wiederum von der Genetik determiniert. Allgemeine Aussagen über die mindesterforderliche physische Aktivität für die gesunde physische Entwicklung und über ausgedehnte Aktivität lassen sich allerdings kaum treffen, da diese individuell unterschiedlich sind, und nicht nur von der genetischen Prädisposition, sondern auch vom Gesundheitszustand, dem Geschlecht und dem Alter abhängig sind (Malina 1960). Wie wichtig die mechanische Beanspruchung der Knochen dennoch ist, konnte zum ersten Mal vor kurzem von Züricher Forschern durch Tierexperimente an Mäusen demonstriert werden (Schulte et al. 2013). Sie konnten nachweisen, dass Knochenbildung und Knochenabbau zu 80% durch mechanische Reize, zumindest bei untersuchten Mäusen, gesteuert werden.

Miles und Bulman (1994) stellten Wachstumskurven¹⁸ von Jugendlichen aus Schottland vom 16. bis zur Mitte des 19. Jh. dar, und stellten ein verspätetes Wachstum derselben fest. Obwohl keine Spuren von Mangelernährung auf Knochen diagnostiziert wurden, gab es viele Hinweise auf starke körperliche Arbeit, etwa beim Ackerbau, sowie auf erschwerte Lebensverhältnisse wie dunkle, verrauchte, kalte Häuser, in denen sie mit ihren Familien eng beieinander lebten. Oft herrschte in diesen Häusern schlechte Hygiene, die wiederum Infektionskrankheiten zur Folge hatte. Lenz und Kellner (1965) berichten hingegen über das starke Körperwachstum unter den Fabrikarbeitern in der Schweiz. Dies soll in diesem Fall mit der ausreichenden Nahrungsverfügbarkeit zusammenhängen. Der tägliche Nahrungsbedarf konnte wahrscheinlich trotz starker körperlicher Arbeit gedeckt werden, so wie dies unter den Hutu in Ruanda beobachtet wurde (Hiernaux 1964). Die Hutu-Jungen, die in Mienen-Camps im Kongo aufgewachsen sind, sind 2-2,5cm größer gewachsen als die Hutu-Jungen in Ruanda, weil sie dort offenbar besser mit Nahrung versorgt waren. Optimale Nettoernährung kann unter bestimmten Bedingungen also den Einflussfaktor "physische Aktivität" neutralisieren.

Die Kinderarbeit ist heute noch weltweit verbreitet, und es wird geschätzt, dass über 217 Millionen Kinder zwischen 5 und 17 Jahren, davon 69% allein im Agrarsektor, die kör-

¹⁸ Unter einer Wachstumskurve wird die graphische Darstellung des Voranschreitens des Körperwachstums bis zur Schließung der Epiphysenfugen verstanden (Schnabel 2009).

perlich anstrengende Arbeit unter zum Teil sehr gefährlichen Bedingungen ausführen müssen¹⁹. Aber auch aus früherer Geschichte, so beispielsweise aus der frühen Römerzeit, ist bekannt, dass die Kinder zwischen ca. 7 und 10 Jahren arbeiten mussten (Laes 2012). Im Mittelalter haben die Kinder, Jungen wie Mädchen, schon von klein auf ihre Eltern auf den Feldern begleitet und mussten mithelfen sowie auch anderweitig arbeiten und Geld verdienen (Nicholas 1995). In überlieferten Arbeitsverträgen zwischen den Feudalherren und den Leibeigenen aus dieser Zeit finden sich Hinweise auf die Arbeitspflicht der Kinder²⁰. So ist durchaus anzunehmen, dass auch Kinder in der prähistorischen Zeit bereits sehr früh verschiedene Tätigkeiten der Erwachsenen ausgeübt haben.

Bezüglich maximaler Sauerstoffaufnahme²¹ bei körperlich aktiven und nicht-aktiven Frauen sowie Männern konnte im Rahmen einer Untersuchung von Mikaelsson et al. (2011) gezeigt werden, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen diesen beiden Gruppen zu Gunsten der körperlich aktiven Studienteilnehmern gab. Unabhängig von der Intensität der physischen Aktivität konnte in einer anderen Studie demonstriert werden, dass es auch eine altersabhängige Reduktion der maximalen Sauerstoffaufnahme gibt, die ca. 10% pro 10 Jahre beträgt. Die Reduktion der Sauerstoffaufnahme soll zumindest bei jungen Männern und solchen mittleren Alters durch starke körperliche Fitness um bis zu 50% verringert werden können (Hawkins, Wiswell 2003). Die Untersuchungen von Wyndham (1966) an verschiedenen Populationen mit unterschiedlicher körperlicher Aktivität, von sitzend bis stark aktiv, zeigten, dass der Unterschied in maximaler Sauerstoffaufnahme zwischen Menschen mit starker physischer Tätigkeit und solchen mit sitzender Tätigkeit bzw. den moderat Aktiven 40% bzw. 20% beträgt.

Die Anpassungsfähigkeit des menschlichen Körpers auf seine Umwelt und physische Aktivität konnte bereits in einigen Studien demonstriert werden. Der große Rumpf und das große Lungenvolumen der Alacaluf-Ureinwohner Südamerikas sind als Anpassung an die erhöhte Höhenlage zu sehen. Ihre Körperstatur ist außerdem durch lange Arme, aber kurze Beine charakterisiert. Da sie v. a. von marinen Ressourcen leben und ihre Haupttätigkeit Paddeln und Fischen ist, sind lange Beine eher vom Nachteil (Backer 1966). Auch arktische Populationen, Eskimo, Aleuten und Chukchi, sind trotz proteinreicher, mariner Nahrung, klein bis mittelgroß gewachsen. Sie haben einen langen Rumpf, aber ebenfalls kurze Beine und oft

¹⁹ http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_norm/@declaration/documents/publication/wcms_decl_fs_51_en.pdf (Stand: 19.10.2013). Eine Zusammenfassung über die bis dahin erschienenen Arbeiten zu Kinderarbeit weltweit vom 17. bis zum 20. Jahrhundert findet sich bei Rahikainen (2004).

²⁰ <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/535485/serfdom> (Stand: 19.10.2013).

²¹ Aus Sicht der Sportmedizin beschreibt die maximale Sauerstoffaufnahme die Menge an Sauerstoff, die der Körper unter Belastung aufnehmen kann, und damit die maximale Energie, die der Körper erzeugen kann (Hollmann et al. 2006)

auch kurze Unterarme (Laughlin 1966). Obwohl diesen Menschen durch den Fischfang hohe Proteinmengen zur Verfügung stehen, sind sie nicht in die Höhe gewachsen, sondern die Körperproportionen haben sich ihrer Lebensweise, ihrer Ökonomie angepasst. Bei der anthropometrischen Datenerhebung müssen in Frage kommende Anpassungen an die Lebensbedingungen deshalb unbedingt berücksichtigt werden.

Für die prähistorische Zeit wäre, basierend auf Untersuchungen an heutigen Jäger-Sammler-Populationen, anzunehmen, dass die physische Tätigkeit der Kinder u. a. darin bestand, sich um ihre (jüngeren) Geschwister zu kümmern, wenn die Mutter anderweitig beschäftigt war (Hewlett 2008), oder dass sie sogar sehr früh oder ab einem Alter von 7-8 Jahren, wie oben am Beispiel aus der Römerzeit und aus dem Mittelalter erwähnt wurde, bereits viele Aktivitäten der Erwachsenen ausgeübt haben, sofern es ihre körperliche Konstitution erlaubte.

2.2.2.4. Konstitution der Mutter

Die stärksten Entwicklungs- und Wachstumsprozesse spielen sich bereits vor der Geburt ab, da während der Schwangerschaft aus einer befruchteten Eizelle durch Zellteilung pro Minute durchschnittlich mehr als 8 Millionen neue Zellen entstehen (Krombholz 1999). Deshalb, obwohl die Wachstum beeinflussenden, externen Faktoren den stärksten Einfluss auf die Individuen während der Kindheit ausüben, können sie über die Mutter die Entwicklung des Neugeborenen bereits vor dessen Geburt beeinflussen. So konnten beispielsweise Crosby et al. (1977, Tab. I-VII) in einer Prospektivstudie an 182 schwangeren Frauen einen Zusammenhang zwischen Protein-Energie (P-E)-Aufnahme bei den Müttern und dem Geburtsgewicht ihrer Neugeborenen, und damit zwischen der maternalen Ernährung und der fetalen Entwicklung feststellen. Das Körperwachstum ist viel stärker von der Konstitution der Mutter betroffen als die Skelettreife (Frisancho et al. 1970), wobei die Körpergröße des Neugeborenen in erster Linie durch die Ernährung der Mutter sowie durch intrauterine und plazentale Faktoren bestimmt wird (Rogol et al. 2002; Metcoff 1978; Stratz 1926).

Die Konstitution der Mutter, insbesondere die physische und gesundheitliche Verfassung der Mutter ist für das Wachstum des Kindes von besonderer Bedeutung, da die Mutter optimale Bedingungen und ein lebensfreundliches Milieu für das Wachstum des Fötus schaffen muss. Schlechte oder mangelhafte Ernährung und ein schlechter Gesundheitszustand der Mutter, Alkoholkonsum, Rauchen und Konsum anderer Drogen sowie Stress können die Ent-

wicklung des Kindes im Uterus beeinträchtigen (Krombholz 1999; Burke et al. 1943; Crosby et al. 1977; Hujic in Vorb.). Neben Tätigkeiten wie Sammeln, Feldarbeit und Haushalt, muss auch das Tragen der Kinder als energieraubende Tätigkeit berücksichtigt werden, wie Lee (1980, Tab. 15.3) am Beispiel der !Kung-Frauen, abhängig vom Alter und Anzahl der Kinder im Verlauf von 10 Jahren unter Annahme eines Vierjahresintervalls zwischen den einzelnen Geburten deutlich zeigen konnte. Die Bildung bzw. der Beruf der Mutter hat einen wichtigen Einfluss auf die Entwicklung und das Wachstum ihres Kindes. In einer Studie von Tutkuvieni et al. (2011) waren die Neonaten von Müttern mit Hochschulausbildung größer und schwerer als die Neonaten von Müttern mit niedrigerem Bildungsstatus.

Es wäre naheliegend zu glauben, dass größere Mütter einen größeren Uterus haben und somit auch größere Neugeborene. Diese Hypothese konnte in einer Studie (Schindler 1971) an 3062 Patienten an der Universitätsfrauenklinik Erlangen in einem Zeitraum von ca. vier Jahren (1966-1970) nicht bestätigt werden. Die Ergebnisse zeigten aber, dass größere Frauen zumindest häufiger größere Kinder zur Welt bringen. Neben der Körpergröße der Mutter wurde auch der Einfluss des Alters sowie der Anzahl der vorangegangenen Geburten untersucht, und in Beziehung zu der Körperlänge des Neugeborenen gesetzt. Alle anderen Faktoren, die die Länge des Neugeborenen beeinflussen könnten, wurden bewusst nicht berücksichtigt. Es konnte nachgewiesen werden, dass mit zunehmender Geburtenzahl einerseits sowie mit höherem Alter der Mutter andererseits die Länge der Neugeborenen steigt, was oft im Zusammenhang mit einer durch mehrere Geburten vergrößerten Gebärmutter gebracht wird. Das Oxytocin ruft aber nicht nur die Milchausscheidung aus der Mutterbrust hervor, sondern führt auch dazu, dass sich die Muskulatur der Gebärmutter zusammenzieht sowie, dass sich die Gebärmutter wieder zurückbildet und schneller ihre normale Größe erreicht (Tahara et al. 2000), was gegen diese Hypothese spricht. Die Fehlgeburten scheinen ebenfalls eine Rolle zu spielen, zumal mit zunehmender Anzahl der Fehlgeburten die Neugeborenen häufiger entweder zu klein oder zu groß waren, und die Häufigkeit der Normallänge sank. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass die Addition mehrerer Faktoren, wie Alter, Körpergröße der Mutter und die Geburtenzahl, die Häufigkeit einer Überlänge beim Neugeborenen um ca. 3% steigert. Prader (1981) schreibt, dass Unterernährung der Mutter zum verzögerten Wachstum des Fötus führen kann, welches postnatal nicht immer vollständig aufgeholt wird. Das Stillen und die Dauer der Stillzeit wirken sich positiv auf die Gesundheit des Neugeborenen und seine physische Entwicklung und Reifung aus, da die Muttermilch verschiedene Hormone, Fette, Aminosäuren und Glykoproteine beinhaltet. Außerdem bilden die Eiweiße der Muttermilch Antikörper zur Immunabwehr. Das könnte erklären, warum Kinder, die nicht gestillt

werden, anfälliger auf Allergien und chronische Darmerkrankungen sind, als Kinder, die gestillt werden. Die Kindersterblichkeit unter den nicht gestillten Kindern war deutlich höher als unter Kindern, die Kolostrum und reife Muttermilch getrunken haben (Lawrence, Lawrence 2011; Langstein 1989). Außerdem ist Eisen aus der Muttermilch zu ca. 50% resorbierbar für Säuglinge, im Vergleich zu 10% aus der Kuhmilch (Saarinen et al. 1977; Dallman 1988). Hoher Calciumgehalt der Kuhmilch kann zusätzlich die Eisenaufnahme, auch in anderen Lebensmitteln, hemmen. Darüber hinaus enthält die Muttermilch Wachstumshormone, sog. IGFs (*insulin-like growth factors*) (siehe Kapitel 2.1), die während der Schwangerschaft in der Plazenta synthetisiert werden, und die bereits zu diesem Zeitpunkt beim Wachstum des Fötus eine wichtige Rolle spielen. Beim Embryo ist es v. a. IGF-2, ab dem ca. vierten Monat dann IGF-1, der eine signifikante Rolle für das Wachstum spielt (Bernstein 2010). Stillende Mütter, die sich fettreich ernähren, haben höhere IGF-1-Werte in der Muttermilch. Ein Zusammenhang zwischen der IGF-Konzentration in der Muttermilch und der postnatalen Wachstumsgeschwindigkeit konnte bereits nachgewiesen werden (Bernstein 2010). Das erklärt, warum Neugeborene einen starken Wachstumsschub durchmachen, obwohl sie bei der Geburt niedrige IGF-Konzentration aufwiesen.

Stinson (1998, Fig. 2) hat Daten zur Körperhöhe der Neugeborenen und Kleinkindern in der Türkei, in Mali, Peru, Nigeria und in Pakistan mit leichter bis moderater Unterernährung zusammengetragen. Das Ergebnis zeigte, dass ihre Körperhöhen den internationalen Standarddaten (amerikanischer Kinder) im ersten Lebensjahr am meisten ähnelten, und dass danach aber eine Körperhöhenabnahme zu verzeichnen war, sodass die meisten Kinder deutlich kleiner als ihre gleichaltrigen Amerikaner/-innen waren. Das deutet erneut darauf hin, dass Kolostrum, die Frühmilch, sowie die reife Muttermilch alle lebensnotwendigen Nährstoffe, die das Kind braucht, enthalten, und sich deshalb alle Neugeborenen und Säuglinge, die gestillt werden, nahezu gleichartig entwickeln. Die geringen Unterschiede sind wahrscheinlich mit der gesundheitlichen Konstitution der Mutter, der genetischen Prädisposition, dem sozialen Milieu und der Umwelt zu erklären. Nach dem Abstillen und mit der Einführung der festen Nahrung werden die Unterschiede deutlicher, und die Faktoren, die anfänglich eine sekundäre Rolle gespielt haben, beeinflussen nun primär die Entwicklung und das Wachstum des Kindes. Nach Stinson lässt sich das gleiche Muster auch bei den heutigen Jäger-Sammler-Gesellschaften beobachten, wie den Ache und !Kung. Obwohl ihre Kinder sehr klein sind, weisen sie bei der Geburt sowie bis zum ca. ersten Lebensjahr ähnliche Körperhöhen auf wie die amerikanischen Kinder im selben Alter.

Auch wenn es befremdlich und außergewöhnlich klingt, sollte in diesem Zusammenhang nicht unerwähnt bleiben, dass auch Berichte über stillende Väter existieren. Der Anthropologe Barry Hewlett, der über 10 Jahre unter den Aka-Pygmäen im südlichen Zentralafrika und im nördlichen Teil der Republik Kongo gelebt hat, berichtete über sehr fürsorgliche Aka-Väter, die die Kinder gelegentlich an die Brust gelassen haben (Fouts, Hewlett 2012). Dies muss jedoch nicht bedeuten, dass die Väter dabei ihre Kinder gestillt haben. Die Autoren weisen richtigerweise darauf hin, dass die körperliche Nähe der Kinder zu ihren Eltern einerseits, und der Saugreflex andererseits eine beruhigende Wirkung auf das Kind haben, und dieser Vorgang nicht immer mit der Nahrungsaufnahme in Verbindung gebracht werden sollte. Neu ist diese Beobachtung nicht, zumal auch von Müttern bekannt ist, dass die Säuglinge und Kleinkinder zwar nach der Brust verlangen, aber dabei nicht immer Milch trinken. Sein Kind jedoch tatsächlich gestillt haben, soll ein Mann aus Sri Lanka, nachdem seine Frau während der Geburt gestorben war (Swaminathan 2007). Das wirft die Frage auf, ob es anatomisch überhaupt möglich ist, dass die Brüste eines Mannes Milch absondern. Bisher wurde die Milchabsonderung bei Männern nur unter extremen Bedingungen beobachtet, wie hormonelle Produktionsstörungen u. a. des Prolaktins, das für die Absonderung der Milch nötig ist, etwa im Falle eines Tumors an der Hypophyse (Swaminathan 2007). Auch Nahrungsmittelmangel, der die Funktion der Hormone produzierenden Drüsen sowie der Hormone absorbierenden Leber hemmt, soll eine spontane Laktation zur Folge haben können (Diamond 1995). Einige der Fälle von stillenden Männern wurden von George Gould und Walter Pylein ihrem Buch *Anomalies and Curiosities of Medicin* aus dem Jahr 1900 zusammengetragen.

2.2.2.5. Ernährungseffekt

Für den Aufbau der knöchernen Masse wird viel Energie benötigt, die vor allem in Form von Nahrung in den Körper aufgenommen wird. Aus diesem Grund wird insbesondere der Ernährung eine ausschlaggebende Rolle bei den Wachstumsprozessen und damit der Körperhöhenentwicklung zugesprochen (Knußmann 1996; Eveleth, Tanner 1990; Floud et al. 1990; Lampl et al. 1978; Wurm 1982; 1985; Prader 1981; Steckel 1995; Howe, Schiller 1952; Lenz 1961; Haidle 1997; Uauy, Alvear 1992; Schwekendiek 2008). Nach Johnston (1980) sollte hierbei jedoch zwischen Nährstoffaufnahme, die zur Gewebeerhaltung beisteuert, und der Nährstoffaufnahme, die das Wachstum fördert, unterschieden werden. Diese Unterscheidung ist deshalb wichtig, da zuerst ausreichend Nahrung für die Gewährleistung der Gewebeerhaltung

aufgenommen werden muss, und danach müssen noch genügend Nährstoffe für das Wachstum und die körperliche Aktivität übrig bleiben²². Diese Tatsache macht das heranwachsende Individuum anfällig auf Wachstumsstörungen.

Nicht nur die Nahrungsquantität, sondern auch ihre Qualität ist dabei entscheidend, zumal bekannt ist, dass Eiweiß wegen seines hohen Anteils an essentiellen Aminosäuren, besonders am wachstumsfördernden Lysin, mehr als Fett und Kohlenhydrate das Wachstum fördert (Martorell, Habicht 1986). Die Qualität der Proteine wird durch ihre Fähigkeit bestimmt, körperspezifische Proteine zu bilden. Eiweiß besteht aus 21 lebenswichtigen Aminosäuren, von denen der Körper acht nicht selbst herstellen kann. Diese acht essentiellen Aminosäuren müssen deshalb von außen mit der Nahrung zugeführt werden (Barnes 2005). Die Tatsache, dass höhere Tiere, einschließlich des Menschen, die Fähigkeit verloren haben, die essentiellen Aminosäuren zu synthetisieren, deutet darauf hin, dass diese Stoffe reichlich in der Nahrung zu finden sind, und der Körper auf deren komplexe Herstellung verzichten kann. Eiweiß ist ein unentbehrlicher Bau- und Reparaturstoff der menschlichen Zellen, darüber hinaus ist es auf unterschiedlichste Art und Weise an den zahlreichen Stoffwechselfvorgängen beteiligt. Eiweiße kommen in pflanzlichen und tierischen Lebensmitteln vor, jedoch gelten tierische Proteine als „biologisch hochwertiger“, da sie ohne große Veränderung der chemischen Struktur in den menschlichen Organismus eingebaut werden können. So liegt beim tierischen Protein die Verdauungs- und Absorptionsrate i. d. R. bei 90-99%, dagegen beim pflanzlichen Protein bei 70-90% (Gropper, Smith 2013). Allerdings kann biologische Wertigkeit der Proteine durch Kombination verschiedener, auch nur rein pflanzlicher Proteinquellen erheblich erhöht werden (Löffler et al. 2007). Durch wissenschaftliche Versuche konnte nachgewiesen werden, dass beispielsweise dem Milcheiweiß nur das Eiweiß der grünen Blätter in seiner biologischen Wertigkeit gleichkommt (Antonov, Tolstoguzov 1990; Heupke 1958). Einige Proteine agieren als Immunglobuline (Antikörper) bei der Erkennung und Abwehr von Krankheitserregern und Fremdstoffen, oder als Signalstoffe (Hormone, Wachstumsfaktoren) bei der Steuerung von Lebensprozessen. Das Eiweiß bestimmt dadurch in entscheidendem Maße die Funktion und Struktur des menschlichen Körpers, worauf bereits die ursprüngliche Bedeutung des Wortes (gr. *proteios*) „das Erste“ bzw. „das Wichtigste“ (Seager, Slabaugh 2010) hindeutet.

Da nicht alle Proteine an der Proteinsynthese, am Aufbau struktureller Proteine wie Muskeln oder Bindegewebe, beteiligt sind, ist es wichtig zu wissen, mit welchen Proteinen

²² Einen kurzen Überblick über den täglichen Nährstoff-, Vitamin- und Mineralstoffbedarf für verschiedene Altersklassen, für Kranke, Schwangere sowie stillende Mütter gibt Mason (2001).

der Körper eventuell nicht ausreichend versorgt ist, um die darauf basierenden Auswirkungen im Körper besser verstehen zu können. Taurin ist beispielsweise keine essentielle Aminosäure, und kann somit vom Körper aus Cystein²³ und Methionin (Ripps, Shen 2012) selbst synthetisiert werden. Dennoch kann es beim Verzicht oder Mangel an tierischen Produkten, in denen Taurin hauptsächlich vorkommt, zu einer Unterversorgung mit dieser Aminosäure kommen. Taurin-Mangel hätte dann zwar Auswirkungen auf die Funktionalität der Netzhaut der Augen und des Gehirns, aber nicht auf das Wachstum (Uauy et al. 2001), was gerade bei Studien zum longitudinalen Wachstum von Bedeutung ist.

Dass die Proteine eine bedeutende Rolle bei Wachstumsprozessen einnehmen, resultiert auch aus der Tatsache, dass sie das sogenannte hyperplastische Wachstum beeinflussen, während die Kohlenhydrate und Fette nur das hypertrophische Wachstum beeinflussen (Uauy, Alvear 1992). Während Proteine also die Vergrößerung der Organe und des Gewebes durch Zellvermehrung fördern, fördern die Kohlenhydrate und Fette dasselbe nur durch Zellvergrößerung, wobei die Zellanzahl gleich bleibt. Die Proteine auf der einen Seite und die Kohlenhydrate und Fette auf der anderen Seite stehen jedoch in enger Wechselbeziehung zueinander, und diese sogenannte Protein-Energie-Wechselbeziehung (P-E) beeinflusst nicht nur die Qualität sondern auch die Quantität von Aminosäuren (Denne et al. 1991). Für die Regulation des Einflusses der P-E-Wechselbeziehung auf das Wachstum sorgen die Hormone, darunter Insulin und das Wachstumshormon sowie die Wachstumsfaktoren (IGF-1, IGF-2 und EGF²⁴). Es wird vermutet, dass Insulin das Wachstum bei Kindern begünstigt, die sich proteinreich ernähren, weil Proteine und Aminosäuren den Insulin-Ausstoß stimulieren. Deshalb liegt es nahe, dass auch die insulinähnlichen Wachstumsfaktoren die gleiche Wirkung haben, was bereits in verschiedenen Studien nachgewiesen werden konnte (siehe Kapitel 2.1).

Eine erste Studie an sehr kleinen Kindern zwischen 24-59 Monaten zum Zusammenhang zwischen Milchkonsum und dem Längenwachstum wurde von Wiley (2009) durchgeführt. Die Kinder in dieser Phase reagieren besonders empfindlich auf die Qualität und Quantität der assimilierten Nahrung, da sie im Gegensatz zu späteren Altersphasen sehr schnell wachsen. Deshalb überrascht es nicht, dass Wiley einen Zusammenhang zwischen dem Milchkonsum und der Körperhöhe finden konnte. Allerdings geht sie davon aus, dass dieser Effekt weniger auf die Gesamtproteinmenge, sondern viel mehr auf Calcium oder auf IGF-1

²³ <http://www.hmdb.ca/metabolites/HMDB00251> (Stand: 27.06.2013).

²⁴ Die Rolle des EGF (*epidermal growth factor*) ist noch nicht gänzlich verstanden. Höhere EGF-Werte in der Brustmilch der Mütter von Frühchen lassen vermuten, dass er eine wichtige Funktion bei der Entwicklung der Neugeborenen hat (Dvorak et al. 2003).

aus der Milch zurückzuführen ist, da andere Milchprodukte keinen Einfluss auf die Entwicklung der Körperhöhe hatten.

In anderen experimentellen Untersuchungen an Vor- und Schulkindern waren die Autoren dagegen der Meinung, dass gerade die zusätzliche Proteinmenge aus der Milch das Körperwachstum und die Wachstumsrate positiv beeinflussen (Orr 1928,1929; Lampl et al. 1978; Floud et al. 1990; Leighton, Clark 1929; Floud et al. 1990; Wurm 1982; Malcolm 1970; Grillenberger et al. 2003). Hierbei ist jedoch, wie einige Autoren richtig bemerken (Kohn 1947; Hoppe et al. 2006; Grimmberger et al. 2003), zu beachten, dass sich der durch das Experiment hervorgerufene, positive Effekt der zusätzlichen Protein- bzw. Kalorienmenge desto stärker bemerkbar macht, je nährstoffärmer die Ernährung der Kinder vor dem Experiment war. So hat Zusatznahrung bei Kindern, die aus unteren sozialen Schichten stammen bzw. unter Mangelernährung litten, stärkeren Einfluss auf ihr Körperwachstum, als auf Kinder, die vor der Untersuchung mit Nährstoffen gut versorgt waren (siehe auch Howe, Schiller 1952; Widdowson, McCance 1954). Weitere Studien an Schulkindern (Orr 1928; Leighton, Clark 1929) demonstrierten ebenfalls die Bedeutung insbesondere der Proteine, aber nicht der gesamten Kalorienzufuhr für das Wachstum. So wurde den Schulkindern in schottischen Städten zusätzlich Milch bzw. Zwieback verabreicht, mit dem Ergebnis, dass nur die Kinder an Größe zunahmen, die täglich Milch tranken, und die, die Zwieback gegessen haben, trotz identischer Kalorienzufuhr, kein gesteigertes Wachstum zeigten. Bei Experimenten von Lampl et al. (1978) an Schulkindern in Neu Guinea, die täglich mit zusätzlichen Proteinen versorgt wurden, sind die Kinder um ca. 2cm mehr gewachsen als ihre Altersgenossen, die keine Zusatznahrung erhielten. Das Alter, in welchem die Kinder mit zusätzlichen Proteinmengen versorgt werden, spielt ebenfalls eine wichtige Rolle. Wenn die Kinder während eines Wachstumsschubs Zusatznahrung verabreicht bekommen, wird diese einen stärkeren Einfluss auf ihr Wachstum haben, als in Zeiten zwischen den Wachstumsschüben (siehe auch Johnson 1980, Tab. 6). Bei fast allen Experimenten an Kindern war allerdings die Milch als einziges proteintragendes Nahrungsergänzungsmittel verwendet worden, sodass eine Beurteilung über die Bedeutung der Milch als Kalorienquelle oder Milch als Proteinquelle hier nicht möglich ist. Fuller et al. (2006) konnten in ihrer Untersuchung an Fingernägeln und Haaren von Müttern und ihren Kleinkindern zeigen, dass die Kinder, wenn sie nach dem Abstillen Sojabohnen oder Erbsen zu essen bekamen, höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aufwiesen, und dass ihre $\delta^{15}\text{N}$ -Werte fielen, sobald sie Reis oder Früchte konsumiert haben. Da also pflanzliche, proteinreiche Lebensmittel die Proteinsynthese ebenfalls erhöhen, und damit zur normalen Entwicklung des Körpers beitragen können, sind weitere Experimente mit anderen proteinreichen Nahrungs-

mitteln hierfür notwendig, bevor Aussagen allein über den Zusammenhang zwischen Milch und dem Längenwachstum gemacht werden können.²⁵

Wie wichtig eine kontinuierliche Proteinverfügbarkeit für das Wachstum ist, konnte an einer Studie von Wyndham (1966) an Buschmännern und Bantu gezeigt werden. Die Buschmänner als nomadische Jäger ernähren sich vorwiegend von Wurzeln, Beeren und Jagdtieren. Das bedeutet, dass das Protein immer nur für wenige Tage in bestimmten Abständen verfügbar ist. Ungeachtet der Tatsache, dass die Kinder drei Jahre lang gestillt wurden, und bei ihnen keine gravierende Unterernährung festgestellt werden konnte, waren die Buschmänner in ihrer Körperstatur vergleichsweise klein gewachsen. Obwohl die Bantu, die als Hirten leben und keine harte körperliche Arbeit verrichten, nur geringe Mengen an tierischem Protein und an tierischem Fett zu sich nehmen, sind sie dennoch größer als die Buschmänner, weil ihnen laut Wyndham durch ihre Lebensweise Proteine kontinuierlich zur Verfügung stehen. Das insgesamt 48 Wochen dauernde Minnesota-Experiment an Kriegsdienstverweigerern, bei dem die Probanden in der ersten 12-wöchigen Phase ausreichend mit Nahrung versorgt wurden, in der zweiten 24-wöchigen Phase gezielt einer Unterversorgung ausgesetzt waren, und in der abschließenden wieder 12-wöchigen Phase zum normalen Ernährungszustand zurückkehrten, konnte dies auch bestätigen. Da die Probanden in der zweiten Phase zwar weniger zu essen bekamen, dieses Essen jedoch sehr abwechslungsreich und ausgewogen war, verloren sie nur an Gewicht, aber ihre Knochendichte änderte sich nicht, und es trat keine Demineralisation von Knochen auf (aus Haidle 1997). Möglicherweise waren die Probanden kontinuierlich mit Proteinen versorgt, auch wenn die Gesamtkalorienmenge nicht ausreichend war. Im Gegensatz dazu berichtet Stinson (1998) über die !Kung-Kinder aus den 1960er Jahren, als die !Kung noch einer Jäger- und Sammlergesellschaft angehörten, dass sie zwar kleiner als die internationale Referenzpopulation (Amerikaner) waren, aber dass in den 1970ern, nachdem die !Kung zur Mischwirtschaft übergingen, und damit sowohl domestizierte als auch weiterhin wilde Tiere konsumierten, ihre Körperhöhe weiter drastisch absank (Stinson 1998, Fig. 6). Über die Ursachen für die Reduktion der Körperhöhe am Übergang zur Landwirtschaft, sei es die Mangelernährung (einseitige Ernährung, eventuell Schwerpunkt auf Getreide), verschlechterte Gesundheitslage, schwere körperliche Arbeit auf dem Ackerfeld o. ä., kann nur spekuliert werden.

²⁵ Dasselbe gilt auch für Fleisch, da gezeigt werden konnte (Grillenberger et al. 2003), dass das Fleisch stärkeren Einfluss auf das Wachstum hat als Milch, weil es laut Autoren höhere Mengen am Spurenelement Zink enthält und Zink bekanntlich die Proteinsynthese begünstigt. Da Zink aber auch in pflanzlichen Lebensmitteln vorkommt, müsste auch der Einfluss anderer zinkhaltiger Lebensmittel auf das Wachstum geprüft werden.

Malhotra (1966) setzte die Körperhöhe der Menschen in Indien, insbesondere der Eingeborenen in Beziehung zum Proteingehalt ihrer täglichen Nahrung. Die Inder gehören generell zu den klein gewachsenen Menschen, zumal ihre Gesamtkalorienmenge zu 70-90% aus Getreide besteht (Malhotra 1966, Fig. 3). Da die meisten ihren täglichen Kalorienbedarf nicht decken können, leben sie in einem halb verhungerten Zustand. Vor allem bei den Eingeborenen ist die Menge an tierischem Protein aus Fleisch und Milch so gering, dass diese als Quelle vernachlässigbar ist. Die einzige Ausnahme bilden die Todas, die zwar viel Milch trinken, aber kein Fleisch verzehren. Trotzdem ist ihre Gesamtproteinmenge nicht ausreichend. Nach Malhotra nimmt somit insbesondere aufgrund der Ernährungsunterschiede die Körpergröße der Menschen in Indien von Punjab, wo die am besten genährten Menschen leben, nach Madras ab.²⁶ Malhotra führt noch ein weiteres Beispiel mit den Rekruten für die Indian Arm Forces an, die zwischen 15 und 17 Jahren alt waren, sich also noch im Wachstum befanden. Anthropometrische Untersuchungen bei dieser Menschengruppe haben ergeben, dass sie alle größere Körperhöhe aufwiesen als der Durchschnitt der Zivilbevölkerung. Das lag wahrscheinlich daran, dass die Rekruten bei den Indian Arm Forces besser mit Nahrung versorgt wurden als Zuhause. Das ist vor allem im Falle von Madras auffällig, wo der Ernährungsstandard sehr niedrig ist. An diesem Beispiel wird erneut deutlich, dass vor allem die Ernährung bezüglich der Körperhöhe eine wichtige Rolle spielt sowie, dass eine schlechtere Ausgangslage, wie schon von Prader et al. (1963) betont, das Endergebnis verstärkt.

Die niedrige Körperhöhe, die für die Urwaldpopulationen in Südamerika charakteristisch ist, kann mit verschiedenen Umweltfaktoren wie Temperatur und Höhenlage in Verbindung mit physischer Arbeit und kultureller Anpassung zusammenhängen, jedoch vermutet Baker (1966), der diese Indianerpopulationen erforscht hat, dass ihre niedrige Körperhöhe aus kalorienarmer oder proteinarmer Ernährung resultiert. Bei einer Studie von Frisancho et al. (1970) an sechs mittelamerikanischen Populationen zum Zusammenhang zwischen dem Körperwachstum und der proteinarmer sowie kalorienarmer Ernährung halten die Autoren eine gewisse genetische Anpassung für möglich, und zwar einerseits als Folge dieser Ernährungsweise und andererseits als Ursache für das bei diesen Kindern beobachtete verlangsamte Wachstum während der Pubertät. Es sei denkbar, dass diese durch Mangelernährung induzierte natürliche Selektion Individuen ausselektiert haben könnte, die schneller wuchsen, und höheren Kalorienbedarf hatten.

²⁶ Täglich aufgenommene Proteinmenge in Punjab beträgt 91g und 3330kcal, in Madras dagegen nur 53g und 2068kcal. Die Menschen in Punjab (Delhi) sind im Durchschnitt 168,4cm, in Madras 163,74cm groß.

Uauy et al. (2001) betonen in diesem Zusammenhang die Bedeutung einer optimalen plazentalen Versorgung des Fötus auch mit essentiellen Fettsäuren, beispielsweise Arachidon- und Docosahexaensäure, die für sein Wachstum und seine Entwicklung wichtig sind. Auch ein Mangel an Linolsäure kann laut Forschern zu Wachstumsstörungen führen. In zwei anderen Studien konnte ebenfalls ein direkter Zusammenhang zwischen der Menge an Arachidonsäure (AA) (Carlson 1993) einerseits und an Eicosapentaensäure (EPA) und LCPUFA (*long-chain polyunsaturated fatty acid*) andererseits (Carlson 1996) und dem Wachstum nachgewiesen werden. Dieser Effekt konnte jedoch nicht in allen Untersuchungen zum Einfluss der essentiellen Fettsäuren auf das Wachstum nachgewiesen werden (Uauy et al. 2001, Tab.1).

Auch Jod ist notwendig für das Wachstum, insbesondere zwischen dem 3. und 18. Lebensjahr (EFSA 2009). Die enorme Bedeutung des Jods beruht darauf, dass es für die Synthese der Thyroidhormone, Thyroxin T4 (besteht zu ca. 65% aus Jod) und Thyronin T3 (besteht zu ca. 59% aus Jod) benötigt wird, welche für die Regulation und Stimulation bedeutender physiologischer Prozesse wie Thermoregulierung, Metabolismus und Proteinsynthese unentbehrlich sind (EFSA 2009). Ein Jodmangel kann also ebenfalls gravierende Folgen auf das sowohl pränatale als auch postnatale Wachstum und die Entwicklung haben (*iodine deficiency disorders, IDD*), abhängig vom Alter, in dem ein Jodmangel eintritt. Das Fehlen dieser beiden Hormone kann zum Wachstumsstillstand führen, sodass kein neuer Knochen an den Knochenepiphysen gebildet wird (Buddecke 1981). Die schwerwiegendste Form des Jodmangels ist der Kretinismus (Zimmermann 2011; Hetzel 1999; Houston 1999).

Bezüglich der sogenannten sekulären Akzeleration der Moderne, bei der in allen sozialen Schichten eine Zunahme in Körpergröße zu beobachten ist, obwohl die soziale Ungleichheit immer noch deutlich sichtbar ist, wird ebenfalls insbesondere der Ernährung eine wichtige Rolle zugesprochen. Dies wird jedoch nicht auf die Menge der verzehrten Nahrung, sondern auf die Qualität, also die Zusammensetzung ihrer einzelnen Bestandteile, zurückgeführt. In diesem Zusammenhang ist v. a. die Vielfalt der Ernährung zu erwähnen sowie die in vielen Lebensmitteln zugesetzten Vitamine und Mineralstoffe. Die Tatsache, dass seit den 1980er Jahren zumindest in Deutschland kein weiteres Wachstum mehr zu verzeichnen ist, hängt laut Kromeyer-Hauschild (Engel 2012²⁷) damit zusammen, dass aufgrund der hohen Proteinverfügbarkeit und des hohen Proteinkonsums eine gewisse Sättigung bereits erreicht ist, und die

²⁷ Zeitungsartikel, Engel im Interview mit Kromeyer-Hauschild, siehe Literaturverzeichnis.

ca. 10% des Erbguts, die durch Umwelteinflüsse modifizierbar sind, bereits ausgeschöpft sind.²⁸

2.2.2.5.1. Mangelernährung und chronischer Hungerzustand

Die Nahrungsverfügbarkeit und die damit einhergehende Ernährungslage hängen von mehreren Faktoren ab, deren Einfluss auf das Körperwachstum vor dem 5. Lebensjahr bzw. in der frühen Kindheit am stärksten und für die körperliche Entwicklung am ausschlaggebendsten ist. Deshalb reagieren Kinder in diesem Alter besonders sensibel auf Mangelernährung, also unzureichende Energie- und Nährstoffversorgung (Eveleth, Tanner 1976, 1990; Hoppe et al. 2006; Scheuer, Black 2000).²⁹

Eine Form von Mangelernährung, unter der hauptsächlich quantitative Mangelernährung zu verstehen ist, ist die Unterernährung, die intrauterin und frühpostnatal zu einer hypoplastischen Entwicklung führt, sowie in der Zeit vor dem Zahndurchbruch Einfluss auf die Reifung des Zahnschmelzes, die chemische Zusammensetzung und die physikalischen Eigenschaften des Zahnes sowie die Zahngröße und Zahnform haben kann (Rao 1985). Eine extremere Form von Unterernährung, wie sie bei fast vollständigem bzw. vollständigem Nahrungsentzug vorkommt, führt zu Wachstumsstörungen, indem sie eine verringerte IGF-1-Aktivität trotz hohem Wachstumshormon (GH)-Spiegel bewirkt. Das liegt daran, dass ausreichend Nahrung und Insulin notwendig sind, um das GH dazu zu stimulieren, IGF-1 zu produzieren (Rogol et al. 2002; Bürki 2000). Der IGF-1-Spiegel ist beim Menschen deshalb ein guter Marker für den Ernährungszustand.³⁰ Der IGF-2 ist hingegen, wie bereits erwähnt, weniger abhängig vom GH oder dem Ernährungszustand.

Neben der Unterernährung ist auch eine einseitige Ernährung oder eine Fehlernährung, unter der in erster Linie qualitative Mangelernährung verstanden wird, eine wesentliche Ursache für Wachstumsverzögerung, und kann zu Mangelerscheinungen und damit zu verschiedenen Krankheiten wie Osteopenie, Anämie oder zu Syndromen führen, die im Zusammenhang mit Unterversorgung mit Vitaminen, Mineralstoffen, essentiellen Fettsäuren, Aminosäuren und Spurenelementen stehen (Rogol et al. 2002). Dabei sind das Wachstum und die Entwick-

²⁸ Nach Ansicht von Trautwein (1996) kann der Mensch bis zu 14cm innerhalb eines Jahrhunderts an Körpergröße zunehmen. Ist diese Größenzunahme erreicht, stoppt das Wachstum, womit der Autor die momentane Wachstumsstagnation erklärt. Anders sieht es in Entwicklungsländern aus, in denen das Längenwachstum noch nicht gänzlich ausgeschöpft ist.

²⁹ Die Entwicklung des Kleinhirns ist um die Zeit der Geburt am stärksten durch die Mangelernährung beeinflusst (Uauy et al. 2001), und auch die Verbindungen zwischen den Synapsen können dann besonders negativ beeinflusst werden, wenn die Mangelerscheinungen nach der Geburt und vor dem 3. Lebensjahr auftreten (Uauy et al. 2001).

³⁰ Bei fastenden Beagle-Hunden konnte bereits nach 19 Tagen eine starke Abnahme der IGF-1-Werte festgestellt werden, welche sich dann nach 9-tägiger Standardfütterung wieder normalisiert haben (Eigenmann et al. 1985).

lung der Muskel stärker betroffen als das Wachstum und die Entwicklung der Knochen, welche wiederum stärker betroffen sind als die Entwicklung der Zähne.

Tanner (1966) unterscheidet zwischen akutem, temporärem und chronischem Hungerzustand.³¹ Bei temporären Hungerperioden, wie sie zu Kriegszeiten, während einer ökonomischen Krise oder unter psychischem Stress auftreten können, ist ein *catch-up growth* möglich, vorausgesetzt die Heranwachsenden werden danach ausreichend mit der ihrem Alter und ihren Bedürfnissen entsprechenden Nahrungsmenge bzw. den Nährstoffen versorgt (siehe auch Johnston 1980; Prader et al. 1963).³² Bei solchem kurzzeitigen Nahrungsmangel werden in erster Linie Muskelproteine abgebaut. Die Muskeln setzen vermehrt Aminosäuren frei, und fördern damit die Gluconeogenese (Neusynthese von Glucose) für die Versorgung des Gehirns mit Glucose. Sobald Glucose dem Betroffenen verabreicht wird, geht diese direkt ins Gehirn, und die Freisetzung der Aminosäuren aus den Muskeln stoppt. Damit geht auch der Stickstoffgehalt im Urin zurück. Um die Freisetzung der Aminosäuren und damit des Stickstoffs aus den Muskeln zu verhindern, reichen 25-50g Glucose aus (Cahill, Aoki 1971). Trotzdem treten bereits beim kurzfristigen Eiweißmangel Einschränkungen auf, so beispielsweise bei der Leberfunktion, der Immunität und bei der Wundheilung (Haidle 1997). Bei chronischen Hungerperioden ist noch nicht bekannt, wie schwerwiegend sie sein müssen, und wie lang sie andauern müssen, um dauerhafte physische Veränderungen nach sich zu ziehen, wie zum Beispiel eine niedrige Endkörpergröße. Nicht unwesentlich ist hierbei das Alter, in welchem der Nahrungsmangel einsetzt, zumal er in Zeiten der Wachstumsschübe gravierendere Folgen haben wird als in Ruhewachstumsphasen³³. Ebenso wichtig ist auch die körperliche Tätigkeit, die allgemeine körperliche Verfassung und vor allem die Qualität der Proteine (Löffler et al. 2007). Bei längeren Hungerperioden würde die Körpermuskulatur innerhalb von 2-3 Wochen stark zurückgehen und ausgeschöpft sein, wenn der Körper keine andere Möglichkeit finden würde, um Stickstoff zu sparen. Um diesem Problem zu begegnen, fängt das Gehirn an, indirekt Fett zu verstoffwechseln, indem Fett zuerst in der Leber oxidiert und flüssig gemacht wird, und dann in Form von Ketosäuren, sogenannten Ketonen, ins Gehirn

³¹ Haidle (1997) unterscheidet in diesem Zusammenhang zwischen Nahrungsmittelverknappung, Mangel, Krise und Hungersnot. Da die ersten drei im archäologischen Kontext nicht auseinander gehalten werden können, können sie nach Tanner unter temporärem Hungerzustand zusammengefasst werden. Hungersnot, unter der Haidle die stärkste Form der Ernährungskrise versteht, bei der die Nahrungsmittel fast kaum mehr verfügbar sind, würde Tanner's chronischem Hungerzustand entsprechen. Akuter Hungerzustand wird auch bei Haidle als die schwächste Form der Ernährungskrise bezeichnet, und beschreibt lediglich das Hungergefühl.

³² Nach Kalkulationen von Whitehead (1977, Tab. 3) wird in diesem Fall die doppelte Menge an Proteinen, aber auch mehr Energie benötigt, bzw. das Protein-Energie-Verhältnis muss höher sein, damit das Aufholwachstum überhaupt erst möglich ist.

³³ Siehe auch die tierexperimentelle Analyse an männlichen und weiblichen Ratten unterschiedlichen Alters von Williams (1981), bei der untersucht wurde, welchen Effekt die Nahrungsrestriktion bzw. darauffolgende Wiederaufnahme von Nahrung zu unterschiedlichen Zeitpunkten des Wachstums auf die Wachstumsrate hat, und wie lange es dauert, bis das Wachstum nach einer dreiwöchigen Phase des Nahrungsentzugs aufgeholt wird.

gelangt. In solchen Situationen gewinnt das Gehirn die Energie nicht aus Glucose, sondern aus Ketosäuren. Dies ermöglicht ein Überleben über Monate ohne Nahrung, und führt zu minimaler Verwendung von Stickstoffquellen aus dem Körper und maximaler Verwendung von zahlreichen Fettreserven (Cahill, Aoki 1971). Das bedeutet, dass sich, je nach Ausgangslage und Zustand des Körpers, ein Nahrungsmangel erst nach einigen Monaten an der Stickstoffmenge im Körpergewebe, und an der isotopischen Zusammensetzung des untersuchten Körpergewebes bemerkbar machen würde.

Deschner et al. (2012, Fig. 2 und 3) untersuchten den Einfluss der reduzierten Nahrungsaufnahme auf die $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{15}\text{N}$ -Werte und auf die totale C- und N-Menge (in %) im Urin an in Gefangenschaft lebenden Bonobos (*Pan paniscus*) während eines Zeitraums von 31 Tagen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Elementzusammensetzung und das Isotopenverhältnis nicht nur von der isotopischen Zusammensetzung der Nahrung abhängig waren, sondern auch von der aufgenommenen Energiemenge am vorigen Tag, die den Bonobos für die Verdauung zur Verfügung stand. Wurden Bonobos mit energiearmer Nahrung gefüttert, so stiegen ihre $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{15}\text{N}$ -Werte im Urin an, und der totale C-Spiegel im Urin sank, was unabhängig von der isotopischen Zusammensetzung und dem C-Spiegel der assimilierten Nahrung war. In diesen Phasen stieg der Glucocorticoid-Spiegel, was zur Mobilisierung von Energiereserven führte. In der Zeit, als die Bonobos wieder mit hochenergetischer Nahrung gefüttert wurden, sanken beide Werte auf die ursprünglichen Werte zurück. In Stressphasen überwiegen die katabolischen über den synthetischen Prozessen, was zu einer negativen Bilanz zwischen dem, was über die Nahrung aufgenommen wird, und dem, was über katabolische Prozesse verloren geht, führt.³⁴ Aus diesem Grund steigt in Hungerperioden $\delta^{15}\text{N}$ im Urin an, wie in diesem Tierexperiment an adulten Bonobos sowohl bei Weibchen als auch bei Männchen gezeigt werden konnte, wobei die Werte für Weibchen etwas undeutlicher waren und stärker streuten (Oelze et al. 2011).

Die negative Stickstoffbilanz aufgrund der erhöhten Glucocorticoid-Absonderung, die zur Mobilisierung eigener Körperproteine führt („*living on its own meat*“ Waterlow 1968, 61) (siehe auch Hobson et al. 1993), konnte bei Menschen, die unter Anorexie oder Bulimie lei-

³⁴ Stickstoff, welcher mit der Nahrung aufgenommen wird, ist aufgespalten in Aminosäuren, die an der Synthese des Gesamtkörperproteins beteiligt sind, und in Aminosäuren, die über katabolische Stoffwechselfvorgänge vor allem im Urin abgebaut werden (Klein, Klein 1987). Proteine aus der Nahrung mischen sich zuerst mit 70g Proteinen in Form von verdauten Enzymen und intestinalem Zellabrieb. Aminosäuren und kurze Polypeptide werden dann aufgenommen und zur Leber transportiert. Die Leber nimmt etwa 75% der Aminosäuren auf, der Überschuss wird katabolisiert. Dabei entsteht Ammoniak, welcher hauptsächlich zu Urea umgebaut wird. Da beide wasserlöslich sind, verteilen sie sich auf das gesamte Körperwasser. Das meiste ist gereinigt, nachdem es die Nieren passiert ist, sodass etwa 88% der gesamten Stickstoffausscheidung im Urin zu finden sind. Das bedeutet, dass das meiste Stickstoff als Urea vorliegt, und nur etwa 7% als Ammoniak und 10% als Kreatin und andere Moleküle (Linder 1985, Fig. 4-2; Schoeller 1999).

den, beobachtet werden. Der Körper versucht immer zuerst die Aminosäuren aus der Nahrung zu verwerten. Die energieaufwändige Synthese von Aminosäuren aus Kohlenhydraten und Fetten beginnt erst dann, wenn der Nachschub aus der Nahrung fehlt (Ambrose et al. 1997; Buddecke 1981). Da für die Gluconeogenese sehr viel Energie benötigt wird, wird der Körper zusätzlich geschwächt. Der Abbau der Proteine im Kollagen führt zur Entmineralisierung des Knochens (Buddecke 1981). Der Stickstoff-Pool ist dann mit ^{15}N angereichert, weil in diesem Fall Krankheit und Proteinkatabolismus zusammentreffen, wodurch Stickstoff, welcher an ^{15}N abgereichert ist, über Urin verloren geht (Ambrose, DeNiro 1986, 1987; Hobson et al. 1993; Katzenberg, Lovell 1999; Olsen 2013; Reitsema 2013). McCue und Pollock (2008) untersuchten den Einfluss der Hungersituation auf die isotopische Zusammensetzung in verschiedenen Gewebearten und Exkrementen von Reptilien. Die isotopische Zusammensetzung des Kadavers war nach 168 Tagen Hunger unverändert. In Exkrementen dagegen war in dieser Zeit eine Anreicherung des ^{15}N und eine Abreicherung des ^{13}C nachweisbar. Schuppen und Klauen zeigten ebenfalls isotopische Veränderungen, waren aber nicht aussagekräftig genug. Der Zusammenhang zwischen Nahrungsstress und ^{15}N -Anreicherung wurde bisher nur in Haar-, Nagel-, Feder-, Muskel-, Blut- und neuerdings auch in Urinproben untersucht. So konnte im Urin auch nur moderater Nahrungsstress nachgewiesen werden, wohingegen dies im Gewebe nur bei extremen Hungerperioden oder bei fastenden Tieren der Fall war. Die Elementanalyse von Knochen, Haaren und Muskeln ist aufgrund ihrer relativ konstanten chemischen Elementzusammensetzung anscheinend unzureichend, um Episoden von Nahrungsstress aufzuspüren (Deschner et al. 2012), sodass sich kurzzeitige Hungerperioden nur in Exkrementen, und nicht im Körpergewebe nachweisen lassen. Positive Stickstoff-Bilanz auf der anderen Seite tritt auf, wenn mehr Stickstoff assimiliert als ausgeschieden wird, was insbesondere dann eintritt, wenn sich ein Individuum beispielsweise von einer Krankheit erholt, oder während des Wachstums sowie während der Schwangerschaft (Vasudevan et al. 2013; Bender 2012). Zusammenfassend lässt sich schlussfolgern, dass alle aufgeführten Faktoren, die auf möglichen akuten oder chronischen Hungerzustand in der Vorgeschichte hinweisen könnten, auch für epidemische Krankheiten repräsentativ sind. Aufgrund dieser Unsicherheiten ist es nach Morgan (2013) nicht möglich, den chronischen Hungerzustand in der Vorgeschichte zu identifizieren.

All diese Überlegungen zu den möglichen das Wachstum beeinflussenden Faktoren zeigen deutlich, wie schwierig es ist, einzelne Faktoren für den stark oder schwach entwickelten Körper verantwortlich zu machen. Oft sind es viele, sich gegenseitig beeinflussende Faktoren, sei es genetischer, sozialer oder ökologischer Natur, die nicht alle in einem einzigen

kausalen Modell untersucht werden können. Die Ursachen für Wachstumsstörungen sind in den meisten Fällen in einer multifaktoriellen Genese zu suchen. Entscheidend dabei ist der, wie Marañón (1960,148) feststellte, ‚individuelle Wachstumsfaktor‘, der vom Zusammenwirken aller Faktoren abhängt, „...die in jedem Individuum nach einer anderen und nur begrenzt erfassbaren Formel kombiniert sind.“.

Einige dieser Einflussfaktoren auf das Körperwachstum, wie der Gesundheitszustand, die körperliche Aktivitäten, die Ernährung und der soziale Status, wenn auch nur eingeschränkt und, besonders beim Letzteren mit äußerster Vorsicht, lassen sich am adulten Skelett untersuchen, und werden bei der Auswertung der Daten berücksichtigt. Da der Schwerpunkt dieser Arbeit auf der Ernährung liegt, wird im nächsten Kapitel auf die Möglichkeiten eingegangen, am prähistorischen Skelettmaterial Hinweise auf Ernährung sowohl in der Kindheit als auch im Erwachsenenalter zu gewinnen.

3. Untersuchungsmöglichkeiten zum Ernährungszustand am adulten, prähistorischen Skelettmaterial

Neben der Ernährung können verschiedene andere endogene und exogene Faktoren das Wachstum, den Wachstumsverlauf, den Wachstumsabschluss und somit auch die Endkörpergröße beeinflussen, weshalb bei lebenden bzw. rezenten Personen zahlreiche, individuelle Daten aufgenommen werden, um diese Wachstumsgrößen sinngemäß beurteilen zu können. Dazu gehören etwa Informationen über die Körpergröße der Eltern, Größe und Gewicht bei der Geburt, Vorerkrankungen, soziale und ökonomische Umstände, Erziehung, Bildungsweg der Eltern u. v. m.. Bei Untersuchungen von prähistorischen Individuen wird sich für die meisten dieser Fragen jedoch keine Antwort finden, und der Forscher ist gezwungen, sich aus den sterblichen Überresten, der Bestattungsart, dem Bestattungsort, günstigstenfalls auch aus den Siedlungsresten ein Bild über die einzelnen Individuen sowie ein Gesamtbild über die dort Bestatteten und möglicherweise auch über die zu der gegebenen Zeit dort lebende Bevölkerungsgruppe zu machen. Als sehr wichtig erweisen sich dabei die von Archäologen und physischen Anthropologen erhobenen Daten zum Grabungsareal, den Grabumständen und den Skelettindividuen, da sie wichtige Informationen über Alters- und Geschlechtsverteilung, besondere Behandlung bestimmter Individuen, Krankheiten, Aktivitätsmuster, Zusammengehörigkeit einzelner Skelette, oder auch über potenzielle Todesursache, Traumata, gewaltige Auseinandersetzungen, Ernährung, und damit Informationen über die Lebensumstände der dort vorgefundenen Individuen liefern können. Aus Grabbeigaben können in manchen Fällen Rückschlüsse auf den sozialen Status der jeweiligen Individuen gezogen werden, auch wenn dieser Zusammenhang nicht immer gegeben ist (Teschler-Nicola 1989; Siegmund 2010; Obertová 2008). Die meisten der im vorherigen Kapitel behandelten, das Wachstum beeinflussenden Faktoren können am prähistorischen Material, wenn überhaupt, nur indirekt mittels verschiedener naturwissenschaftlicher Methoden beurteilt werden, und müssen deshalb mit großer Vorsicht in die Interpretation der Daten einfließen. Da keine direkten Informationen zum sozioökonomischen Status dieser Individuen aus der vorgeschichtlichen, schriftlosen Zeit vorhanden, und folglich keine Daten zu ihren Löhnen, dem Pro-Kopf-Einkommen oder dem Bruttosozialprodukt verfügbar sind, ist es schwer, Aussagen über ihren biologischen Lebensstandard zu treffen.

Zwei amerikanische Wirtschaftswissenschaftler, Robert Fogel und Richard Steckel, haben den Grundstein für anthropometrische Geschichtsforschung gelegt, als sie die wirtschaftliche Entwicklung mit der Entwicklung der Körpergröße in Verbindung brachten (Fogel

1982; Steckel 1979, 1983, 1995)³⁵. Ein weiterer Begründer des Forschungsgebietes 'Anthropometric history', John Komlos, hat dabei die Begriffe "anthropometrische Geschichte" (Komlos 1992) und "biologischer Lebensstandard" (Komlos, Baten 1998) geprägt. Nach ihm gibt die Körpergröße noch präziser als die oben genannten sozioökonomischen Daten den biologischen Lebensstandard wieder, da sie besseren Aufschluss über das Wohlbefinden jedes einzelnen Individuums geben kann³⁶. Die Individualdaten zu Langknochenmaßen von Skelettindividuen, aus denen sich die Körperhöhe schätzen³⁷ lässt (siehe Kapitel 6.2), können so zur Untersuchung des biologischen Lebensstandards dieser Individuen genutzt werden. Es wird von einer positiven Korrelation zwischen der Körpergröße und dem Ernährungszustand ausgegangen. Nach der sog. *Barker's hypothesis* (Barker, Osmond 1986; Barker 1990, 1995) ist der Ursprung des Gesundheitszustandes und der Krankheiten im Erwachsenenalter in der frühen Entwicklung eines Individuums zu suchen. Das trifft auch auf den kumulativen Charakter der Körpergröße zu. Da die Körpergröße eines Individuums eine kumulative Größe ist, die das Resultat verschiedener, komplexer biologischer Prozesse und der jeweiligen sozioökonomischen Lebensumstände ist (Komlos 2000), kann sie als Maß für die Nettoernährung innerhalb eines bestimmten genetischen Potentials gelten (Steckel 1995). Unter dem Begriff Nettoernährung wird dabei die Ernährung verstanden, die dem Körper für den Aufbau und den Erhalt des Körpergewebes zur Verfügung steht, nachdem alle energieverbrauchenden Faktoren wie Erhaltung der Körpertemperatur, physische Aktivität und Bekämpfung von Krankheiten bereits abgezogen wurden (Komlos 1989; 1994; Steckel 1995).

Das Individuum reagiert während der Kindheit und der Jugend besonders sensibel auf Nahrungs- bzw. Proteinmangel, weil es sich noch in der Wachstumsphase befindet. Vor allem in Zeiten der Wachstumsschübe (*sensitive periods*, Eveleth, Tanner 1976, 222) sind die Kinder und Jugendlichen sehr anfällig für Umweltveränderungen. Die Untersuchung einiger spezifischer, ernährungsbedingter Krankheiten kann wesentliche Hinweise zum Gesundheits- und Ernährungsstatus liefern. Ob, wann und welche Krankheiten auftreten, hängt neben den genetischen Faktoren v. a. von individuellen Verhaltensweisen, individueller Ernährung, vom Klima und den Umwelteinflüssen ab. Die geographische Verbreitung, Häufigkeit und die In-

³⁵ Einen kurzen historischen Überblick über die Entwicklung der Idee vom Zusammenhang zwischen Körperhöhe und Gesundheit bzw. Ernährung, und die ersten Versuche, diesen Zusammenhang zu belegen, gibt Steckel (1995).

³⁶ Im von Steckel geleiteten Projekt *Global History of Health*, in dem Dutzende Mitarbeiter aus verschiedenen Ländern involviert sind, soll die Gesundheit und der Wohlstand der Menschen in Europa vom Paläolithikum bis zum Beginn des 20. Jh., u. a. auch unter Berücksichtigung der Entwicklung der Körperhöhe, untersucht werden. Bei der Deutung der beobachteten Veränderungen des Gesundheitszustandes und der Körperhöhe sollen u. a. auch Faktoren wie Arbeitsbedingungen, Wohnverhältnisse, Industrialisierung und Urbanisierung beachtet werden. Für die Untersuchung werden ca. 40 000 archäologische Skelette aus über 500 Lokalitäten herangezogen. <http://global.sbs.ohio-state.edu/global.php> (Stand: 24.12.2014).

³⁷ In diesem Zusammenhang wird in der Literatur fälschlicherweise oft von Körperhöhenrekonstruktion gesprochen. Da keine Körperhöhe rekonstruiert, sondern nur geschätzt werden kann, wird in dieser Arbeit nur von Körperhöhenschätzung die Rede sein.

tensität der auftretenden Krankheiten kann ebenfalls Aussagen über den Gesundheits- und Ernährungszustand oder ganz allgemein über die Lebensumstände einzelner Individuen oder gar ganzer Bevölkerungsgruppen ermöglichen.

Im Folgenden werden einige Möglichkeiten, etwas über den Ernährungszustand prähistorischer Skelettindividuen und ihren Lebensstandard sowohl in der Kindheit als auch im Erwachsenenalter zu erfahren, einzeln diskutiert. Dadurch wird deutlich, dass die anthropologische Untersuchung der Skelettindividuen einen querschnittlichen Einblick in verschiedene Lebensphasen des zu untersuchenden Individuums möglich macht.

3.1. Hinweise auf Ernährung in der Kindheit und Jugend

Alle Irritationen und Schwankungen bei der Mineralisation und Entwicklung vom Bindegewebe während des Wachstums, die sich an diesem manifestieren und im archäologischen Material an Zähnen und Knochen erhalten bleiben, geben Hinweise auf die Ernährungssituation in der Zeit, in der sich das Zahn- und Knochengewebe gebildet hat. Da sich das Knochenmaterial je nach Knochentyp und der Intensität der Knochenbeanspruchung in bestimmten zeitlichen Abständen immer wieder erneuert, kann es nur bedingt, etwa bei Fragen zu ernährungsbedingten Pathologien während der Kindheit, sofern sich solche bis in das Erwachsenenalter erhalten haben, oder zu Auxologie, da das longitudinale Wachstum nicht direkt vom Knochenumbau beeinflusst wird³⁸, für solche Untersuchungen herangezogen werden. Permanente Zähne hingegen, deren Entwicklung sich ebenfalls während der gesamten Kindheit und Jugend vollzieht, werden nicht umgebaut, und speichern so die in ihnen eingelagerten Mineralien während des gesamten Menschen- bzw. Zahnlebens, sofern es die Zahngesundheit und die Zahnerhaltung erlauben.

3.1.1. Ernährungsbedingte Pathologien und Mineralisationsstörungen

Am archäologischen Material ist es meist sehr schwierig, den Gesundheitszustand der zu untersuchenden Individuen zu bewerten. Die Identifizierung von Pathologien ist insofern erschwert, weil am Skelett makroskopisch nur Krankheiten sichtbar und damit diagnostizierbar sind, die sich am Knochen oder am Zahn auch manifestiert haben. Krankheiten, die nur das

³⁸ Starke und dauerhafte Beanspruchung des Knochens durch hohe physische Belastung führt zum stärkeren Knochenumbau, was durch hohen Energieverbrauch zu Wachstumsstörungen führen kann, weil diese Energie dann für Wachstumsprozesse fehlt.

Weichgewebe befallen, oder solche, die die menschliche Psyche betreffen, bleiben für den Anthropologen verborgen. Sie können jedoch manchmal indirekt, etwa in Form einer Wachstumsstörung oder Mineralisationsstörung "sichtbar" werden, wobei hierfür auch mögliche genetische Ursachen nicht ohne weiteres ausgeschlossen werden dürfen.

3.1.1.1. Zahnschmelzhypoplasien an permanenten Zähnen

Aufgrund der Tatsache, dass der Zahnschmelz, der die Zähne umgibt, das chemisch härteste Material im Körper ist (Honda, Hata 2010; Pfretzschner 1997), sind die Zähne häufig und manchmal das einzig erhaltene Skelettmaterial im archäologischen Kontext. Das liegt nicht nur an dem hohen mineralischen Anteil von 85-95% (Robinson et al. 1995, Tab. 7; Smith, Tafforeau 2008) im Zahnschmelz, sondern auch an einer sogenannten Sperrholzstruktur, die den Zahn vor dem Zerschlagen schützt (Pfretzschner 1997). Weil die Zähne nach ihrer Entwicklung nicht mehr umgebaut werden (Fearne et al. 1994; Humphrey et al. 2007; Weiner 2010), sind sie weniger anfällig für Umweltveränderungen, unterschiedliche Lagerungsbedingungen und Krankheiten im Laufe eines Menschenlebens als Knochen, die lebenslang diesen Einflüssen ausgesetzt sind. Darüber hinaus reagieren die Zähne weniger empfindlich auf endokrin-funktionelle Störungen (Scheuer, Black 2000). Aus diesem Grund, und weil sie sich aufgrund der individuellen Bildungszeiten einzelner Zahngruppen (Hillson 1986) zeitlich besser eingrenzen lassen, sind die aus Zähnen gewonnenen Informationen oft zuverlässiger als solche aus Knochen.

Mineralisationsstörungen, die auf Verlangsamung oder Unterbrechung der Ameloblastentätigkeit zurückgeführt werden, sog. Zahnschmelzhypoplasien, können bei makroskopischen Untersuchungen des Zahnschmelzes der jeweiligen Zähne durch verringerte Schmelzdicke auf der labialen bzw. buccalen Seite der Zahnkrone erkennbar gemacht werden (Obertová 2008; Haidle 1997; Aufderheide 2011; Aufderheide, Rodríguez-Martín 1998). Die Ätiologie der Zahnschmelzhypoplasien ist vielfältig. 1978 wurden von Small und Murray über 90 ätiologische Faktoren mit den Zahnschmelzhypoplasien im Zusammenhang gebracht, die sie in lokale und generalisierte (systemische) Faktoren eingeteilt haben. Schmelzhypoplasien, die auf lokale Traumata oder lokale Infektionen zurückgehen, sind sehr selten, und lassen sich gut von den durch physiologischen Stress verursachten Schmelzhypoplasien abgrenzen, da sie oft nur einen Zahn oder mehrere benachbarte Zähne betreffen (Wong 2014; Small, Murray 1978). Beim generalisierten Auftreten von Zahnschmelzhypoplasien können ver-

schiedene genetische Störungen oder Umwelteinflüsse als Ursache in Frage kommen (Wong 2014, Tab. 2; Small, Murray 1978, Tab. III), bei denen alle bzw. viele, auch nicht benachbarte, Zähne betroffen sind.

Zahnschmelzhypoplasien werden am häufigsten mit unspezifischem, physiologischem Stress³⁹ in Zusammenhang gebracht (Cunha et al. 2004; Goodman, Rose 1990; Pechenkina et al. 2002), und hier zumeist mit Mangelernährung (Aufderheide 2011; Goodman et al. 1984, 1988, 1991; Ibraheem 2013; Haidle 1997; Hillson 1979; DeLong, Burkhart 2008; Brothwell 1981) wie Vitamin-D₃- und/oder Calciummangel⁴⁰ und Proteinmangel assoziiert⁴¹. Neben der Mangelernährung konnten Rugg-Gunn et al. (1997) auch den sozioökonomischen Status der von ihnen untersuchten 14-jährigen Jungen aus drei Regionen in Saudi-Arabien und den Fluorid-Level im Trinkwasser in diesen Regionen als statistisch signifikante Ursachen für das Auftreten von Zahnschmelzhypoplasien feststellen. Zahnschmelzdefekte, die auf unspezifischen, physiologischen Stress zurückgehen, treten nach der Überwindung der Stressphase in Form von linearen, horizontalen Vertiefungen auf (Buikstra, Ubelaker 1994; Grupe et al. 2012). Kleinere, lokale Defekte weisen eher auf akute Krankheiten bzw. auf kurzzeitige und schwache Stressphasen hin, wohingegen größere, generalisierte Defekte eher auf chronische Krankheiten bzw. länger andauernde und intensivere Stressphasen hindeuten (Sarnat, Schour 1941, 1942). Der genaue Mechanismus, der hinter der Entstehung von Zahnschmelzhypoplasien steht, ist noch nicht gänzlich verstanden (Hillson 2003), und so werden, wie oben erwähnt, verschiedene Ursachen für die Entstehung der hypomineralisierten Schmelzoberflächen diskutiert.

Transversale Zahnschmelzhypoplasien sind am häufigsten im Frontzahnbereich vorzufinden, und hier v. a. am Caninus (Hujjić 2009; Martin et al. 2008; Mays 1998), was sich wahrscheinlich mit der längsten Entwicklungsphase dieses Zahnes erklären lässt. Je nachdem, in welchem Bereich des Zahnes sie sich gebildet haben, lassen sie aufgrund der bekannten Zahnentwicklungszeiten Rückschlüsse auf das Alter zu, in dem es zu dieser Störung gekommen ist (Goodman, Rose 1990; Schultz 1988; Grupe, Christiansen 2005). Nach bisherigen Beobachtungen bilden sich die meisten Zahnschmelzhypoplasien im Alter zwischen 3-5 Jahren (Lewis 2007; Schultz et al. 1998; Haidle 1997; Hujjić 2009; Goodman et al. 1984, 1988),

³⁹ Eine tabellarische Übersicht über Stressindikatoren am menschlichen Skelett findet sich bei Goodman et al. (1988, Tab.1).

⁴⁰ An permanenten Zähnen, vor allem Schneidezähnen und Molaren, kann der Vitamin D-Mangel und die damit einhergehende, verringerte, intestinale Calciumresorption im Säuglingsalter Zahnschmelzhypoplasien sowie verzögerte Dentinbildung zur Folge haben (Buddecke 1981).

⁴¹ Auch auf Dünnschliffpräparaten von Zahnwurzeln (TCA, *tooth cementum annulation*-Analyse) können u. U. helle, hypomineralisierte Ringe sichtbar werden, die auf Zeiten erhöhten Calciumbedarfs, etwa während der Schwangerschaft, oder bestimmter Krankheiten sowie der Mangelernährung hinweisen (Lösch 2009). Solche Zahnanalysen hätten jedoch den Rahmen dieser Doktorarbeit überschritten, weshalb darauf verzichtet werden musste.

was für die Kinder im archäologischen Fundmaterial häufig mit Abstillzeiten erklärt wird. Und je nach Ausprägungsstärke lässt sich der Schweregrad der Krise einschätzen. Die Bestimmung des Alters, in dem sich lineare Zahnschmelzhypoplasien ausgebildet haben, erweist sich insofern als nicht sehr einfach, da davon ausgegangen werden muss, dass die Entwicklung des Zahnschmelzes sowohl bei modernen als auch bei prähistorischen Populationen identisch war, weil inter- und intrapopulationsspezifische Variationen nicht bekannt sind (Reid, Dean 2006) und deshalb außer Acht gelassen werden müssen.

Das quantitative und qualitative Auftreten von Zahnschmelzhypoplasien kann somit wichtige Erkenntnisse über die Gesundheit und Stressphasen bei heranwachsenden Individuen liefern, auch wenn die genaue Ursache kaum exakt zu erfassen ist, und sogar von Kombinationen verschiedener ursächlicher Faktoren ausgegangen werden muss.

3.1.1.2. Cribrā orbitalia

Ein weiterer Hinweis auf Mangelernährung ist das Vorhandensein von Cribrā orbitalia. Darunter werden feinporöse Perforationen im Orbitaldach infolge einer Hypertrophie des Knochenmarks verstanden (Walker et al. 2009; Strott 2007; Grupe 1995; Herrmann et al. 1990; Obertová, Thurzo 2004; Wapler et al. 2004)⁴². Bei einer Untersuchung von 451 frühmittelalterlichen, subadulten und adulten Frauen und Männern eines Gräberfeldes in der Slowakei (Obertová, Thurzo 2004) gehörten Subadulte unter 14 Jahren zu der Gruppe, bei der Cribrā orbitalia am häufigsten beobachtet wurde⁴³. Dabei zeigten 10-14-jährige die stärkste Ausprägung. Stuart-Macadam (1991) und Mittler und Van Gerven (1994) konnten bei dieser Altersgruppe ebenfalls ein häufiges Auftreten sowie stärkere Ausprägung der Cribrā orbitalia beobachten. Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern konnte nicht festgestellt werden. Bei einer späteren Studie von Stuart-Macadam (1998) waren hingegen die Männer bis zum Mittelalter häufiger von diesen Oberflächenveränderungen im Bereich der

⁴² Porotische Hyperostosen sind ebenfalls porotische Auflagerungen von Knochen auf dem Schädel, vorwiegend auf dem Parietal- und Occipitalknochen, die nach neuesten Studien auf andere Ursachen als die Cribrā orbitalia zurückgeführt werden (Walker et al. 2009). Weil Pathologien der für diese Studie zur Verfügung stehenden Individuen vom Viesenhäuser Hof von Eva Burger-Heinrich aufgenommen wurden, die die anthropologische Aufnahme dieses Materials durchgeführt hat, und dabei porotische Hyperostosen entweder nicht aufgenommen oder nicht beobachtet hat, und weil dieselben auch am hier interessierten Skelettmaterial aus Schwetzingen von Wahl nicht beobachtet wurden, wird auf diese in der vorliegenden Arbeit nicht näher eingegangen.

⁴³ In der Studie von Obertová und Thurzo (2004) wurde Cribrā orbitalia von beiden Autorinnen unabhängig voneinander aufgenommen, und es konnte nur eine knapp 70%-ige Übereinstimmung bezüglich der Einschätzung des Auftretens und des Ausprägungsgrades von Cribrā orbitalia erreicht werden. Dadurch wird deutlich, wie schwierig es ist, Vergleiche zwischen verschiedenen Studien zu ziehen, die teilweise auf subjektiven Einschätzungen beruhen. Selbst die wiederholte Beobachtung des gleichen Bearbeiters kann zu leichten Abweichungen führen.

Augendächer betroffen. Larsen (1997) konnte außerdem beobachten, dass *Cribra orbitalia* seltener bei Individuen höheren sozialen Status auftrat, was möglicherweise mit besseren Lebensbedingungen, besserer Ernährung und geringerer Gefahr, an einer Infektionskrankheit zu erkranken, zusammenhängt.

Auch wenn *Cribra orbitalia* oft mit Eisenmangelanämie in Verbindung gebracht wird (Herrmann et al. 1990; Stuart-Macadam 1985, 1998; Goodman, Martin 2002; Schultz 1988, 2001; Schutkowski, Grupe 1997; Jungklaus 2010), schließen Walker et al. (2009) Eisenmangel als Ursache für die für *Cribra orbitalia* typische Hypertrophie des Knochenmarkes aus. Ihnen zufolge, reagiert der menschliche Körper auf Eisenmangel eher mit einer einschränken- den als mit einer ansteigenden Produktion von roten Blutkörperchen. Als mögliche Ursachen werden subperiostale Blutungen (Hämorrhagien) im Zusammenhang mit Skorbut und chronischen Infektionen genannt (Walker et al. 2009, Abb. 4; siehe auch Ortner et al. 1999). Auch von anderen Autoren werden neben eisenarmer Ernährung weitere mögliche Ursachen wie etwa schlechte Hygiene, Krankheitserreger bzw. Infektionskrankheiten sowie Entzündungen oder Osteoporosis, aber auch genetische Ursachen sowie Traumata in Erwägung gezogen (Stuart-Macadam 1991; Ortner 2003; Schultz 2001; Obertová, Thurzo 2004; Wapler et al. 2004; Aster 2004). Nach Wapler et al. (2004), die eine Skelettserie von Nubiern aus Missimi- nia im Nordsudan mikroskopisch untersucht haben, zeigt *Cribra orbitalia*, die auf Infektionen zurückgeht, meistens bilaterale Läsionen auf dem Schädel und kann Konjunktivitis oder Dac- ryoadenitis als Ursache haben, was sich dann auf die Orbitaldächer überträgt. In ihrem Mate- rial konnten in über 50% der Fälle mit *Cribra orbitalia* keine histologischen Anzeichen auf Anämie gefunden werden. Schultz (2001) nennt u. a. auch chronische Unterernährung durch chronischen Mangel an Aminosäuren als einen möglichen Grund für die Entstehung von po- rösen, oberflächigen Läsionen auf Orbitaldächern. Lösch (2009, Abb. 78), in deren Unters- chungsmaterial über 60% der Individuen zwischen 6 und 20 Jahren *Cribra orbitalia* aufwie- sen, führt neben Knochenmark-Hypotrophie und Osteoporose auch postmortale Deformatio- nen und Pseudopathologien als weitere mögliche Ursachen für *Cribra orbitalia* auf, da bei manchen Menschen die Diploe im Orbitaldach nicht ausgebildet ist, und der Knochen hier einfacher und schneller porös wird, weshalb sie häufiger postmortale *Cribra orbitalia* ausbil- den.

Hinweise auf Anämie häufen sich am Übergang von einer Jäger-Sammlergemeinschaft zu einer sesshaften Kultur der Ackerbauern, wie bereits in einigen archäologischen Fundorten nachgewiesen wurde (Cohen, Armelagos 1984; Roberts, Cox 2003). Das ist nicht weiter über- raschend, zumal das Getreide nur wenig Eisen enthält, Eisen aus rotem Fleisch deutlich besser

als aus Pflanzen resorbiert werden kann, und Nüsse, Getreide und Hülsenfrüchte, die Phytate enthalten, die Eisenresorption hemmen können (Roberts, Manchester 2010). Auch Vitamin C wird als mögliche Ursache für Cribra orbitalia diskutiert (Schutkowski, Grupe 1997). Carli-Thiele und Schultz (1999) konnten bei einer paläopathologischen Untersuchung der Individuen zweier linienbandkeramischer Gräberfelder in Wanderleben (Thüringen) und Aiterhofen (Niederbayern) bei 34,9% bzw. 6,7% der Individuen subperiostale Hämatome nachweisen, die durch chronischen Vitamin C-Mangel verursacht werden. Skorbut, wie diese durch schweren Mangel an Vitamin C hervorgerufene Krankheit genannt wird, konnte bisher trotzdem nur selten bei Kindern im archäologischen Kontext nachgewiesen werden (Carli-Thiele, Schultz 1999; Ortner 1984; Roberts 1987; Lewis 2002; Jungklaus 2010), was damit zusammenhängen könnte, dass diese Krankheit oft nicht erkannt oder möglicherweise falsch diagnostiziert wurde. Vitamin C ist nicht nur wichtig für das Immunsystem, damit der Körper gegen Infektionen ankämpfen kann sowie für die Kollagenbildung, sondern auch für Eisenresorption (ESFA 2009). Es ist möglich, dass die sesshaft gewordenen Ackerbauern weniger frisches Obst und Gemüse gegessen haben, bzw. die nur saisonale Verfügbarkeit von Frischkost zu längerer Lagerung dieser Lebensmittel geführt hat, was starke Vitamin C-Verluste bewirkt haben könnte (Roberts, Manchester 2010; Carli-Thiele, Schultz 1999).

Aufgrund der unsicheren Ätiologie sollte Cribra orbitalia, sofern keine Möglichkeit einer Differenzialdiagnostik besteht, nach Meinung einiger Autoren, nur, wie im Falle der Zahnschmelzhypoplasien, als unspezifischer Stressindikator in der Kindheit gedeutet werden (Pinhasi et al. 2013; Pfeiffer, Harrington 2014; Lewis 2002; Gilde 2013), der allgemein als Proxy für schlechte Gesundheit sowie schlechte Ernährung, schlechte sanitäre Bedingungen und Infektionskrankheiten dienen kann (Cohen, Armelagos 1984).

3.1.1.3. Harris-Linien

Harris-Linien sind transversale, röntgendichte Linien auf Langknochen, insbesondere auf der Tibia, die im Röntgenbild sichtbar werden, und die kurzzeitigen Stressperioden anzeigen, in denen es zum Stillstand des longitudinalen Wachstums kommt (Papageorgopoulou et al. 2011; Roberts, Manchester 2010; Harris 1933; Webb 1995). Ausgehend vom Wachstumszentrum kann der Abstand zu einer Harris-Linie gemessen (Jungklaus 2010) und so der Zeitpunkt bestimmt werden, wann das Ereignis eingetreten ist, das zu dieser verstärkten Knochendichte geführt hat.

Harris-Linien wurden bisher als Proxys für die Gesundheit, den Ernährungsstatus sowie allgemein für Lebensumstände der untersuchten Individuen genutzt, weil Mangelernährung, Krankheiten und psychischer Stress als mögliche Ursachen für deren Entstehung diskutiert wurden. Da jedoch nicht in allen Studien der Zusammenhang zwischen Harris-Linien und den oben genannten Stressfaktoren nachgewiesen werden konnte (z. B. González-Reimers et al. 2007; Alfonso et al. 2005), und da die Harris-Linien aufgrund des Knochenumbaus nicht immer vollständig oder gar nicht erhalten bleiben (Mays 1995), ist die Verwendung derselben als Stressindikator bei der Interpretation vergangener Lebensumstände erwachsener Individuen fraglich, auch deshalb, weil ihre Gesamtzahl nicht mehr mit Sicherheit angegeben werden kann. Alfonso et al. (2005) schlagen sogar vor, dass Harris-Linien nicht als Hinweis auf Wachstumsstörungen, sondern als Teil des normalen Wachstumsprozesses betrachtet werden sollten. In einigen Studien konnte gezeigt werden, dass die Wachstumskurven und die Wachstumsmuster nicht linear verlaufen, und dass in ihnen kurze Perioden schnellen Wachstums und kurze Perioden verlangsamten Wachstums beobachten werden können (Hermanussen et al. 1988; Lampl et al. 1992). Beim Vergleich dieser Wachstumskurven und den GH-Sekretionskurven für Kinder und Jugendliche mit dem Alter, in welchem sich Harris-Linien gebildet haben, konnten Papageorgopoulou et al. (2011) starke Ähnlichkeiten feststellen. Diese Erkenntnis führte die Autoren zu der Vermutung, dass die Harris-Linien mit Wachstumsschüben und Wachstumsstillständen zusammenhängen, und dass die Peaks beim Bildungsalter der Harris-Linien die Wachstumsschübe reflektieren, welche mit der verstärkten Sekretion von GH verbunden sind. Nach Meinung der Autoren würde dies auch erklären, warum in den meisten Studien kein Zusammenhang zwischen Harris-Linien und anderen Stressindikatoren, der Körperhöhe oder auch der Knochenlänge besteht, oder warum Harris-Linien auch bei gesunden Kindern diagnostiziert werden (Tanner 1962). Deshalb bedürfe es weiterer Überprüfung, ob Harris-Linien überhaupt als Indikatoren für Ernährungsstress dienen können, oder ob sie nur als auf Wachstumsschwankungen zurückführende Manifestationen auf dem Knochen verstanden werden dürften.

Eine röntgenologische Analyse der Langknochen bzw. der Tibiae wurde für die vorliegende Arbeit nicht durchgeführt, und angesichts der oben besprochenen Unsicherheiten bezüglich des Aussagewertes der Harris-Linien nach dem momentanen Stand der Forschung nicht als sinnvoll und nützlich erachtet.

3.1.2. Stabile Isotopenanalyse ($\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$) an Zähnen

Eine jüngere Methode, die aufgrund direkter Erfassung stabiler Isotopenverhältnisse der assimilierten Nahrung sowohl während der Kindheit als auch im Erwachsenenalter etwas genauer ist, ist die stabile Stickstoff (N)- und Kohlenstoff (C)-Isotopenanalyse. Isotope sind Atome desselben chemischen Elements, die die gleiche Protonenzahl aber unterschiedliche Neutronenzahl im Atomkern enthalten (Tykot 2006). Die Isotope eines Elements unterscheiden sich folglich in ihrem Atomgewicht. Aufgrund dieser Massendifferenz besitzen sie unterschiedliche physikalische Eigenschaften, die wiederum zu Unterschieden bei biologischen und chemischen Vorgängen führen. Aufgrund von Fraktionierungsprozessen, die beispielsweise auf Unterschiede in der Reaktionsgeschwindigkeit zwischen dem schweren und dem leichten Isotop zurückgehen, lassen sich durch das Messen des Isotopenverhältnisses je nach chemischem Element Aussagen über Klima, Umwelt, Ernährung, Abstillalter oder Herkunft ableiten⁴⁴. Alt und Röder (2009, 102) beschreiben dies treffend wie folgt: "Isotopensignaturen können als Proxysignale (= indirekte Anzeiger) für biologisch gesteuerte Prozesse eingesetzt werden und dokumentieren als biogeochemische Fingerprints die Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Hydrosphäre, Biosphäre und Lithosphäre."

In den beiden folgenden Unterkapiteln wird auf den chemischen Hintergrund der N- und C- Isotopenanalyse eingegangen, um zu klären, warum beide Elemente für die biochemische Untersuchung am Skelettmaterial und zur Gewinnung von Individualdaten zur Schätzung⁴⁵ der Ernährungslage der Skelettindividuen überhaupt prädisponiert sind und dafür genutzt werden können.

3.1.2.1. Stabile Stickstoffisotope als potenzieller Proxy für Hauptproteinquelle der Nahrung - Chemischer Hintergrund

Die Methode der stabilen Stickstoffisotopenanalyse wurde in den 1980er Jahren mit dem Schwerpunkt auf der Erforschung der Trophiestufen, v. a. in marinen Ökosystemen, entwickelt (Tykot 2006). Später kamen terrestrische Ökosystemen sowie Erfassung der Abstillzeit

⁴⁴ Zu den Anfängen und zur Geschichte der Isotopenforschung siehe Tykot (2006,132-135).

⁴⁵ Wie bei der Körperhöhe wird auch in diesem Kontext unkorrekterweise häufig von Ernährungsrekonstruktion gesprochen. Auch in diesem Fall wird jedoch in dieser Arbeit nur von einer Schätzung der Ernährungslage die Rede sein.

bei prähistorischen Populationen (Eerkens et al. 2011; Schurr 1997; Palomäki 2009; Jay et al. 2008; Wright, Schwarcz 1998; Williams et al. 2005; Ingvarsson-Sundström et al. 2009) und des anthropogenen Einflusses auf den Stickstoffkreislauf (Galloway et al. 1995; Martinelli, Howarth 2006; Woodmansee, Wallach 1981) hinzu. Die Stickstoffisotopenanalyse hat zur Grundlage, dass Stickstoff (N) in der Natur in zwei stabilen Isotopen, ^{15}N (0,37%) und ^{14}N (99,63%), vorkommt (Rosman, Taylor 1998), und über Luft, Wasser und Boden in den Stickstoffkreislauf⁴⁶ und somit in den Nahrungskreislauf gelangt.

Obwohl die Luft zu über 78% aus Stickstoff (N_2) besteht, kann dieser Luftstickstoff von den meisten Organismen nicht genutzt werden (Mariotti 1983; Forbes, Watson 1996). Nur einige Bakterien, die frei lebenden Stickstoff-Fixierer wie die Cyanobakterien und solche, die in Symbiose mit Pflanzen leben, wie die Rhizobia, sind in der Lage die inerte Dreifachbindung zwischen den Stickstoffatomen natürlich zu brechen, und den Luftstickstoff in reaktive Verbindungen, Ammonium (NH_4) oder Nitrate (NO_3) umzuwandeln, die von Pflanzen für ihre Proteinsynthese aufgenommen werden können (Fields 2004). Alle anderen Organismen müssen Stickstoff über eiweißhaltige Nahrung, pflanzliche oder tierische, aufnehmen, weil Stickstoff essentiell für den Aufbau von Aminosäuren und damit von Proteinen ist.

Das wichtigste Strukturprotein und das am weitesten verbreitete Eiweiß bei allen Vielzellern ist das Kollagen. Kollagen, hauptsächlich Typ I, macht einen wesentlichen Bestandteil von Bindegeweben wie Knochen und Zähnen aus, und bestimmt somit den Aufbau der Zellen und die Beschaffenheit des gesamten Körperbaus (Buchta, Sönnichsen 2003). Fehlt der Stickstoff, so wird die Proteinbiosynthese gestört, und damit das Körperwachstum. Anders ausgedrückt, nur wenn genügend Stickstoff vorhanden ist, können Aminosäuren und Proteine gebildet werden, einschließlich solcher, die für das Wachstum der Knochen- und Zahnschmelze unentbehrlich sind. Durch Extraktion von Kollagen aus Knochen und Zähnen können in einem Massenspektrometer die darin gespeicherten Stickstoffisotopenverhältnisse als relativer Unterschied zu dem internationalen Standard von Stickstoff, dem Luftstickstoff ($\delta^{15}\text{N}=0\text{‰}$), gemessen werden (Schoeninger, Moore 1992). Auf dieser sog. Fraktionierung beruhen die Abweichungen in stabilen Isotopenverhältnissen in biologischen und geochemischen Ökosystemen (Katzenberg 2008) (siehe auch Kapitel 6). Veränderungen der Stickstoffisotopenzusammensetzung gehen auf den Proteinmetabolismus und Stickstoffhomöostase zurück (Olsen 2013). Da Stickstoff, anders als Kohlenstoff oder Sauerstoff, fast nur in Proteinen und nicht in Kohlenhydraten und Fetten vorkommt (Müldner, Richards 2005, 2007), eignet er sich

⁴⁶ Der gesamte Stickstoffkreislauf ist z. B. bei Pardo und Nadelhoffer (2010,222-228) detailliert beschrieben.

sehr gut als Proxy für die hauptsächliche Proteinquelle der assimilierten Nahrung für stabile Stickstoffisotopenanalyse (Müldner, Richards 2005, 2007).⁴⁷

Da Organismen das leichtere ^{14}N bevorzugen (McCue, Pollock 2008; Ambrose 1991; Millard 2000; Müldner, Richards 2005), konnte in mehreren Studien eine Anreicherung des schweren Isotops von ca. 2-5‰ von einer Trophiestufe⁴⁸ zur nächst höheren Trophiestufe festgestellt werden (DeNiro, Epstein 1978, 1981; Schoeninger, DeNiro 1984; Schoeninger 1985; Tykot 2006; Fuller et al. 2003; Hedges, Reynard 2007, Tab. 1; Ambrose 1993; Schoeninger, Moore 1992, Fig. 1). Zwischen marinen und terrestrischen Nahrungsquellen kann besonders gut unterschieden werden, weil in marinen Ökosystemen die Nahrungsketten länger sind, und die Organismen deshalb höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aufweisen (Schwarz, Schoeninger 1991; Lillie, Richards 2000; Lilien et al. 2003; Papathanasiou 2003; Polet, Katzenberg 2003; Schubert, Calvert 2001; Ambrose 1993, Fig. 2; Wainright et al. 1998; Stevens et al. 2006). Je höher die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte, umso höher ist die Trophiestufe der assimilierten Nahrung. Die Position des untersuchten Individuums innerhalb einer Nahrungskette, d. h. seine Trophiestufe, sowie die potenzielle Nahrungsquelle⁴⁹ lassen sich mittels der stabilen Stickstoffisotopenanalyse dennoch nur unter bestimmten Voraussetzungen ermitteln. Die Bestimmung der Trophiestufe ist nur dann möglich, wenn Vergleichsproben von Tieren und idealerweise auch von Pflanzen verschiedener Arten, aus derselben Region und Zeit vorliegen, aus der die untersuchten Menschenknochen stammen, die demselben Nahrungsnetz angehörten. In diesem Zusammenhang sind auch Aussagen über die Stilldauer bzw. Abstillzeit der Säuglinge möglich (Dupras et al. 2001), sofern Vergleichsdaten von im Idealfall ihren Müttern oder suboptimalerweise von erwachsenen Individuen aus demselben archäologischen Kontext zur Verfügung stehen. Da bei der Produktion der Muttermilch ein Trophiestufeneffekt im Organismus der Mütter erzeugt wird, und weil Säuglinge beim Stillen ausschließlich die Proteine der dadurch in ^{15}N angereicherten Muttermilch aufnehmen, sind ihre $\delta^{15}\text{N}$ -Werte im Vergleich zu denen ihrer Mütter relativ erhöht (Hujčić in Vorb.; Fuller et al. 2006; Richards et al. 2002; Schurr 1997; Tsutaya, Yoneda 2013). Wenn die Kinder abgestillt werden, sinken diese Werte wieder ab, bis die Kinder vollständig entwöhnt werden, und sich ihre Stickstoffisotopenverhältnisse denen

⁴⁷ Fast 98% des Stickstoffs sind in Proteinen und Aminosäuren gebunden, und nur zu einem sehr geringen Teil ist er auch in Nukleinsäuren, Urea und Ammoniak zu finden (Schoeller 1999).

⁴⁸ Trophiestufe beschreibt die Position eines Organismus innerhalb einer Nahrungskette oder eines Nahrungsnetzes, wobei zwischen den einzelnen Trophieebenen Energie weitergegeben wird. Die Basis einer Nahrungskette, sprich die erste Trophiestufe, bilden die Primärproduzenten, auf die Konsumenten verschiedener Ordnungen folgen. Die Schätzung der Trophiestufe beim Menschen basiert auf dem Unterschied zwischen den gemessenen Stickstoffisotopenwerten von Menschen und solchen von Tieren und Pflanzen aus derselben Umgebung. Der Unterschied zeigt auf, wie hoch der tierische bzw. pflanzliche Anteil in der menschlichen Ernährung jeweils war.

⁴⁹ Referenzwerte sowohl für terrestrische als auch für marine Nahrung bei Schoeninger und DeNiro (1984).

ihrer Mütter bzw. im archäologischen Fundmaterial, wo sich die Zuordnung eines Kindes zu seiner Mutter als besonders schwierig erweist und sehr selten gelingt (Katzenberg 2008), den Stickstoffisotopenverhältnissen der anderen Erwachsenen angleichen. Erst wenn die Stickstoffzusammensetzung der potenziellen Nahrungsquellen bekannt ist, können Interpretationen über mögliche Essgewohnheiten der für die Untersuchung verfügbaren menschlichen Skelettindividuen postuliert werden.

Die Stickstoffbilanz, d. h. die Aufnahme und Abgabe von Stickstoff, wird direkt durch die Menge und Qualität der Eiweiß- und Kalorienzufuhr sowie durch Hormone und indirekt durch chronische Krankheiten, Fieber und Stress, insbesondere Nahrungsstress beeinflusst (Deschner et al. 2012; McCue, Pollock 2008). Dabei werden bei einem chronischen Proteinmangel körpereigene Stickstoffverbindungen wiederverwertet, was sich als Erhöhung der Trophiestufe in den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten zeigt (Deschner et al. 2012). Obwohl dieser Zusammenhang zwischen Ernährungsstress und Anreicherung des ^{15}N bisher nur an Haaren, Nägeln, Federn, Muskeln, im Blut und im Urin nachgewiesen werden konnte (Deschner et al. 2012; McCue, Pollock 2008), sollte dies bei der Interpretation erhöhter $\delta^{15}\text{N}$ -Werte im Kollagen der Knochen und Zähne dennoch im Hinterkopf behalten werden. In diesem Zusammenhang sollte auch auf mögliche, am Skelett makroskopisch sichtbare Krankheiten geachtet werden. Daneben sind auch weitere, die Stickstoffisotopenzusammensetzung im Gewebe beeinflussende Faktoren zu berücksichtigen, wie variierende Klimabedingungen, Temperatur, Höhenlage, Niederschlagsmenge oder Salzgehalt des Bodens (Ambrose 1991; Schoeninger, DeNiro 1984; Männel et al. 2007).

Für die Untersuchung adulter Skelettindividuen bezüglich der Ernährungssituation während ihrer Kindheit kann für die Stickstoffisotopenanalyse das Kollagen aus Zahndentin, das sich während der Kindheit gebildet hat und die Stickstoffisotopenverhältnisse der kindlichen Nahrung gespeichert hat, herangezogen werden.

3.1.2.2. Stabile Kohlenstoffisotope als potenzieller Proxy für Hauptkohlenstoffquelle der Nahrung - Chemischer Hintergrund

Die stabile Kohlenstoffisotopenanalyse war die erste, bei der die Variation in stabilen Isotopenverhältnissen Anwendung in der Archäologie fand (Katzenberg 2008). Die Analyse der stabilen Kohlenstoffisotope basiert auf unterschiedlichen biochemischen Photosynthesewegen bei Pflanzen (Smith, Epstein 1971; Starr et al. 2010, Fig. 6.11), die im Folgenden kurz beschrieben werden.

Der Kohlenstoff in terrestrischen Pflanzen stammt aus dem atmosphärischen Kohlenstoff in Kohlenstoffdioxid, der einen $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von ca. -8‰ aufweist (Brown, Brown 2011). Der Kohlenstoff wird durch die Stomata der Pflanzenblätter aufgenommen und im Laufe der Photosynthese in energiereiche organische Verbindungen umgewandelt (Hoefs 2009). Etwa 85% der Pflanzen fixieren Kohlenstoff im sog. Calvin-Benson-Zyklus durch Rubisco, das mengenmäßig häufigste Protein. Diese Pflanzen werden C_3 -Pflanzen genannt, weil das erste Produkt ihrer Kohlenstoff-Fixierung die Phosphoglycerinsäure (PGS) mit drei Kohlenstoffatomen ist (Starr et al. 2010). Zu den landwirtschaftlich wichtigsten C_3 -Pflanzen gehören Bohnen, Weizen, Reis und Kartoffeln. Sie kommen hauptsächlich in gemäßigten Klimazonen vor (Boutton 1991). C_4 -Pflanzen fixieren Kohlendioxid mit Oxallessigsäure, die vier Kohlenstoffatome enthält, und die nicht nur im Calvin-Benson-, sondern auch im sog. Citratzyklus entsteht (Raven et al. 2006). Zu den C_4 -Pflanzen zählen z. B. Mais, Zuckerrohr und Hirse, die an trocken-heiße Standorte mit hohem Lichtangebot angepasst sind. CAM (*crassulacean acid metabolism*)-Pflanzen schließlich, zu denen viele Wüstenpflanzen gehören, nutzen beide Wege, also sowohl den C_3 - als auch den C_4 -Photosyntheseweg, zu unterschiedlichen Zeiten innerhalb derselben Zelle (Berg 2008). Während der heißen Tagesstunden schließen sie ihre Stomata und öffnen sie erst während der kühleren Nachtstunden, um CO_2 zu fixieren. Auf diesem Weg können sie den Wasserverlust minimieren. Durch Respiration der Lebewesen gelangt der Kohlenstoff wieder in die Atmosphäre und somit zurück in den Stoffkreislauf. Die gleichen Prozesse laufen auch im aquatischen Ökosystem ab, nur dass marine Organismen gelöste Carbonate als Hauptkohlenstoffquelle mit einem $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von -7‰ nutzen. Somit kann auch beim Kohlenstoff, wie bereits in vielen Studien demonstriert wurde (Katzenberg 2008; Walker, DeNiro 1986; Chisholm et al. 1982; Arneborg 1999; Schoeninger, DeNiro 1984), zwischen terrestrischen und marinen Nahrungsquellen unterschieden werden.

Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre besteht zu 98,889% aus dem leichteren Molekül $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$, und zu nur 1,111% aus dem schwereren $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$ (NOAA 2011; Schoeller 1999, Tab. 1), das sich aufgrund seiner höheren Masse bei gleicher Temperatur langsamer bewegt und deshalb seltener fixiert wird. Das leichtere CO_2 -Molekül wird von den meisten Pflanzen, d. h. den C_3 -Pflanzen, bevorzugt, weshalb ihre $\delta^{13}\text{C}$ -Werte negativer als bei C_4 - oder CAM-Pflanzen sind (Ambrose 1987). C_3 -Pflanzen fixieren Kohlenstoff bei ca. -26‰, und überlappen sich damit nicht mit den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten der C_4 -Pflanzen, die bei ca. -12‰ den Kohlenstoff fixieren (Ambrose 1993; Bender et al. 1981; Bender 1971). Dagegen decken die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der CAM-Pflanzen, entsprechend ihrem besonderen Stoffwechsel, den gesamten Bereich der C_3 - und C_4 -Pflanzen ab. In Europa ist die isotopische Variation von Kohlenstoff am Anfang der Nahrungskette fast nicht vorhanden, weil in Europa aufgrund klimatischer Aspekte keine CAM-Pflanzen wachsen, und im Neolithikum bis auf Hirse (Scheibner 2014) auch keine C_4 -Pflanzen nachgewiesen sind.

Im Gegensatz zu Stickstoff, der nur in Proteinen vorkommt, ist Kohlenstoff in allen Makronährstoffen (Proteinen, Kohlenhydraten und Fetten) vorhanden. Kohlenstoff in Proteinen macht im Normalfall nur einen geringen Anteil aus, und ist hier v. a. in essentiellen Aminosäuren zu finden, die mit der Nahrung aufgenommen werden müssen. Werden die Kohlenstoffisotopenverhältnisse nur im Kollagen gemessen, repräsentieren sie somit nur den Kohlenstoff aus den Proteinen der assimilierten Nahrung (Ambrose, Norr 1993; Crisholm 1982, 1989). Kohlenstoffatome in nicht-essentiellen Aminosäuren können vom Körper resynthetisiert werden, und können auch aus Kohlenhydraten und Fetten stammen. Kohlenstoff aus Kohlenhydraten und Fetten wird jedoch nur dann in signifikanten Mengen eingebaut, wenn die Ernährung extrem proteinarm ist (Ambrose 1987,1993). Wann genau diese Situation eintritt, bzw. wo der Grenzwert liegt, ist noch nicht bekannt. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, wenn möglich, auch die mineralische Fraktion, und zwar den Carbonatapatit, der Knochen bzw. der Zähne in die Untersuchung einzubeziehen und die Kohlenstoffisotopie im Carbonat ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Carbonat}}$) zu messen. Da die Kohlenstoffatome hier aus dem im Blut gelösten Carbonat stammen, lässt ihre Isotopenzusammensetzung Aussagen über das gesamte Nahrungsspektrum, also den Kohlenstoff aus Proteinen, Kohlenhydraten und Fetten, zu (Jim et al. 2004; Ambrose, Norr 1993). Es ist bekannt, dass ^{13}C in diesen Makronährstoffen variiert und vor allem die Fette in ^{13}C im Vergleich zu den anderen Photosyntheseprodukten stark anreichert sind (Park, Epstein 1960). Je kleiner die Differenz zwischen $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{Carbonat}}$ ist, umso mehr Fleisch wurde konsumiert, weil die Tiere wesentlich mehr Fett enthalten als Pflanzen, und diese Fette zur Anreicherung des $\delta^{13}\text{C}$ -Wertes führen (Lee-Thorp et

al. 1989). Fizet et al. (1995) und Lee-Thorp et al. (1989) geben 0,5-1‰ für die Trophiestufenwerte für Kohlenstoff an (siehe auch Schoeninger 1985). Da für die Tiere deutlich stärkere Variationen in $\delta^{13}\text{C}$ für verschiedene Körpergewebe, u. a. Muskel (-23‰), Kollagen (-20‰), Unterhautfett (-28‰) und für Milch (-26‰), als bei Pflanzen publiziert wurden (z. B. Huebner 1985), sollte laut Van Klinken et al. (2000, 47) nicht von *carbon trophic level effect*, sondern von *carnivore effect* gesprochen werden, obwohl es nach Heaton et al. (1999) erhebliche Unterschiede auch zwischen den Pflanzen am selben Standort geben kann.

Abhängig davon, ob es sich um terrestrische oder aquatische Ökosysteme handelt, wird die Fixierung von ^{13}C von mehreren Faktoren beeinflusst, darunter Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit, Licht, pH-Wert des Wassers und Sauerstoffverfügbarkeit, Temperatur, CO_2 -Partialdruck, CO_2 -Verfügbarkeit (Deines 1980). So kann der Wasserstress nach Ambrose (1987, 1993) bei C_3 -Pflanzen zu höheren $\delta^{13}\text{C}$ -Werten führen. Außerdem kann es in dichter Vegetation aufgrund des erschwerten oder vollständig ausbleibenden Austauschs mit dem atmosphärischen CO_2 zu Wiederverwertung des von C_3 -Pflanzen fraktionierten, respiratorischen CO_2 kommen. Die Aufnahme des abgereicherten CO_2 seitens der C_3 -Pflanzen im Unterholz kann zu negativen $\delta^{13}\text{C}$ -Werten im Vergleich zu Pflanzenblättern in den Baumkronen führen. Dies wird als *canopy effect* (Bonafini et al. 2013; Van der Merwe, Medina 1991; Medina, Cuevas 1991; Vogel 1978) oder als "Baldachin-Effekt" (Ambrose 1993; Van Klinken et al. 2000) bezeichnet. Aus demselben Grund haben herbivore Tiere, die am Waldboden leben, und sich von solchen an CO_2 abgereicherten Pflanzen ernähren die negativsten $\delta^{13}\text{C}$ -Werte unter den Tieren im terrestrischen Ökosystem.

Da Kohlenstoffisotope eine Unterscheidung zwischen C_3 -, C_4 - und CAM-Pflanzen in terrestrischen Ökosystemen erlauben, kann deren Messung im organischen Teil der Zähne adulter Individuen Hinweise auf die Hauptkomponente der pflanzlichen Ernährung liefern⁵⁰. Mittels Analyse der $\delta^{13}\text{C}_{\text{Carbonate}}$ kann die Trophiestufe bzw. der Karnivoren-Effekt bestimmt werden, und durch den Vergleich mit dem $\delta^{13}\text{C}_{\text{Kollagen}}$ lassen sich Rückschlüsse auf möglichen Fleisch- bzw. Fettanteil in der Nahrung schließen. Leider wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit aufgrund eines anderen Schwerpunktes des Themas, aber auch zeitlicher und zusätzlicher auf das Material bezogener destruktiver Aspekte nur $\delta^{13}\text{C}$ -Verhältnisse im Kollagen, und nicht im Carbonat durchgeführt.

⁵⁰ Referenzwerte für terrestrische, aber auch marine Nahrung sind bekannt (Schoeninger, DeNiro 1984).

3.1.3. Endkörperhöhe als kumulativer Anzeiger für biologischen Lebensstandard

Allometrische Untersuchungen der Langknochen ausgewachsener Individuen können Informationen über die Wachstumsbedingungen während der Kindheit liefern, und ermöglichen eine Schätzung der anhand dieser Knochen berechneten, im erwachsenen Alter erreichten Endkörperhöhe. Die geschätzte Endkörperhöhe kann deshalb, wie bereits im dritten Kapitel erwähnt, als kumulativer Anzeiger für biologischen Lebensstandard, insbesondere für den Ernährungsstatus genutzt werden. So sind die Menschen "physiologically and psychologically [...] more or less a function of the food they eat." (Orr et al. 1935, 476).

Dieser informative Wert der berechneten bzw. geschätzten Körperhöhe wurde auch in der Archäologie erkannt und genutzt, um Erkenntnisse über die Lebensbedingungen der untersuchten Skelettindividuen während ihrer Wachstumsphase zu gewinnen (u. a. Steckel 2008; Haidle 1997; Koepke 2008; Jaeger et al. 1998; Steckel, Rose 2002). Nichtsdestotrotz gibt es für die vor- und frühgeschichtliche Zeit in Europa bisher nur wenige vergleichbare Studien, die regional und zeitlich weitumfassend sind, und eine große Individuenzahl einbeziehen. Koepke (2008) beispielsweise untersuchte 18502 vor- sowie frühgeschichtliche und frühmoderne Männer und Frauen vom 8. Jh. v. Chr. bis einschließlich 18. Jh. n. Chr., um zu klären, wie sich die Ernährungslage über ca. 2500 Jahre aus verschiedenen Regionen Europas entwickelt hat. In dieser bisher umfangreichsten Studie konnte sie u. a. einen positiven Effekt der Rinderhaltung als Anzeiger für Proteinverfügbarkeit und damit Proteinkonsum, auf die Körperhöhe feststellen. Bei Untersuchungen von Rosenstock (2014) an 1348 männlichen und weiblichen Individuen aus der Zeit vom Paläolithikum bis zur Urnenfelderzeit deutet sich ebenfalls ein Zusammenhang zwischen der anhand der Längenmaße des Oberschenkelknochens geschätzten Körperhöhe und der proteinhaltigen Nahrung bei den paläolithischen Jäger- und Sammlergesellschaften einerseits, und den neolithischen, Milchwirtschaft betreibenden Bauerngesellschaften andererseits an (vgl. auch Beja-Pereira et al. 2003)^{51,52}.

Die Schätzung der Endkörperhöhe bei erwachsenen Skelettindividuen basiert in der Regel auf Berechnungen aus Längenmaßen von oberen und unteren Extremitätenknochen

⁵¹ In der Emmy-Noether-Nachwuchsgruppe ‚Lebensbedingungen und biologischer Lebensstandard in der Vorgeschichte‘ (LiVES) an der Freien Universität Berlin wird derzeit unter der Leitung von Eva Rosenstock aufbauend auf die „Mainzer Datenbank“ eine große Datenmenge, die prähistorische Langknochenmaße umfasst, zusammengetragen, und mittels multivariater statistischer Analyseverfahren ausgewertet.

⁵² Seit etwa 2001 existiert das *Global History of Health Project*, vorangetrieben von Richard Steckel und Jerome Rose, zur Geschichte der menschlichen Gesundheit in Europa vom späten Paläolithikum bis zum Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts. Bisher sind jedoch nur wenige Ergebnisse publik geworden, darunter Ergebnisse zu Stickstoffanalyse an Knochen von Skelettindividuen aus dem frühen Mittelalter sowie Körperhöhenschätzung anhand von Femurlänge von Frühmittelalter bis Rezent, welche aber nicht in Bezug zueinander gesetzt wurden. (http://global.sbs.ohio-state.edu/AAPA_Symposium_2009.pdf) (Stand: 08.10.2014).

nach Martin (1928). Mittlerweile gibt es viele Formeln zur Schätzung der Körperhöhe, die sowohl nach für die Berechnung herangezogenen Knochen als auch nach Geschlecht differenzieren (Pearson 1899; Breitinger 1937; Bach 1965; Trotter, Gleser 1952; Olivier et al. 1978; Telkkä 1950; Manouvrier 1893). Die Berechnungen basieren auf der Annahme, dass die Knochenlänge und die Körperhöhe linear proportional sind. Deshalb wird mittels linearer Regressionsgleichungen in der Regel von der Gesamtlänge des Langknochens auf die Körperhöhe geschlossen⁵³.

Bei der Verwendung der Körperhöhe als kumulativen Proxy für den Ernährungsstatus sowie bei deren Vergleich können erhebliche Schwierigkeiten auftreten. Gerade der kumulative Charakter der Körperhöhe könnte sich als ein Problem erweisen, da die Körperhöhe in der Regel nicht aus allen vorhandenen Knochen geschätzt, sondern jeweils aus einzelnen, vorwiegend Langknochen berechnet wird. Die einzelnen Knochen können bestimmten Schwankungen unterliegen. Zum Beispiel können sie je nach Krankheiten oder physiologischer Beanspruchung und damit verbundener Umbaurate unterschiedlich schnell wachsen, und besser oder schlechter für die Körperhöhen-schätzung geeignet sein.⁵⁴ Lorke et al. (1953) konnten mittels statistischer Tests feststellen, dass es nicht notwendig ist, mehr als zwei Knochen zur Schätzung der Körperhöhe heranzuziehen, und dass auch das Femur allein verwertbare Ergebnisse liefern kann. Angesichts der selten vollständigen Erhaltung der Knochen im archäologischen Material kann es durchaus vorkommen, dass die Körperhöhe auch aus Knochenfragmenten berechnet wird (Rother et al. 1980; Holland 1992; Chibba, Bidmos 2007). Dabei wird entweder direkt vom erhaltenen Knochenfragment auf die Körperhöhe geschlossen (direkte Körperhöhen-schätzung), oder es wird zunächst die Gesamtlänge des entsprechenden Langknochens aus diesem Knochenfragment geschätzt (z. B. Salles et al. 2009), die dann zur Schätzung der Körperhöhe herangezogen wird (indirekte Körperhöhen-schätzung). Schmidt et al. (2007) konnten zeigen, dass die indirekte Körperhöhen-schätzung ähnliche Ergebnisse liefert wie die Schätzmethode anhand von gemessenen, vollständigen Langknochenlängen, und dass sie sich somit besser zur Körperhöhen-schätzung eignet als die direkte Methode. Selten wird die Körperhöhe auch aus der Summe verschiedener Skelettelemente, nicht nur Langknochen, berechnet (Fully, Pineau 1960).

⁵³ Diese Beziehung zwischen den Langknochenmaßen und der Körperhöhe wurde bereits 1831 von Orfila und Lesueur (1831, zitiert nach Breul 1974) erkannt und dargestellt, doch erst Pearson (1899) beschrieb diese Beziehung mit einer Regressionsgleichung ($y=ax+b$). Später konnten andere Forscher nachweisen, dass es sich um eine lineare Regressionsgleichung handelt (z. B. Breitinger 1937; Trotter, Gleser 1952).

⁵⁴ Sind die Epiphysenfugen geschlossen, und ist somit das Wachstum abgeschlossen, ändert sich mit dem Umbau der Knochensubstanz zwar die chemische Zusammensetzung der Knochen, aber die Knochenlänge, mit Ausnahme der gelenkverschleißenden Krankheiten, ändert sich nicht.

Unabhängig von der Anzahl der für die Berechnung der Körperhöhe herangezogenen Langknochen ist bereits die Langknochenlänge eine kumulative Größe, weil sie das Ergebnis persönlicher Lebensumstände während der Kindheit ist. Dabei muss berücksichtigt werden, dass akute Stressphasen wegen des Aufholwachstums (*catch-up growth*)⁵⁵ (Tanner 1978, 1978a; Whitehead 1977; Prader et al. 1963) das longitudinale Knochenwachstum nicht messbar beeinflussen wird, weil sich der Körper von diesem kurzzeitigen Stress erholen kann, und diese Phasen des gestörten oder verlangsamten Knochenwachstums sozusagen überwachsen werden, und später, wenn der Knochen sein Endwachstum erreicht hat, allein anhand der Knochenlänge nicht mehr zu erfassen sind.⁵⁶ Auch nach Goodman et al. (1988) kann sich nur ernsthafter und lang andauernder Stress auf dem Skelett in Form von sichtbaren Veränderungen manifestieren. So kann es beispielsweise bei chronischer Unterernährung zu verzögerter Ossifikation der Knochen kommen. Die betroffenen Kinder wachsen langsamer und ihre Epiphysenfugen verwachsen bis zu 10% später. Das führt zur Verlängerung ihrer Wachstumszeit um bis zu 10%, wobei ihre Körperhöhe folglich ebenfalls bis zu 10% unter der liegt, die für die gut ernährten Gleichaltrigen zu erwarten wäre (Frisancho 1978, zitiert aus Haidle 1997). Da die Wachstumshemmung mit der geringeren Menge und Qualität der Nahrung während der Kindheit und Jugendzeit zusammenhängt, sollte man sie eher als *adaptation* auf Umweltstress verstehen, allerdings nur solange die auftretende Unterernährung oder Mangelernährung nicht ernsthaft und chronisch ist (Beaton 1989; Scrimshaw, Young 1989).

Auch Seitenunterschiede, die etwa auf Traumata, Krankheiten oder mechanische Belastung der Knochen zurückgehen können, sind bekannt (Battles 2009; Čuk et al. 2001; Papaloucas et al. 2008; Hiramoto 1993; Strecker 1997), welche zu einer Verfälschung der Ergebnisse und damit zu Fehlinterpretationen führen können. Angesicht dieser Schwierigkeiten auch bezüglich der Proportionsunterschiede zwischen den einzelnen Knochen müsste man sich fragen, ob die Berücksichtigung mehrerer Langknochenmaße nicht doch zu genaueren Schätzungen der Körperhöhe führen würde. In einer erst vor kurzem erschienenen Arbeit von Klein Goldewijk und Jacobs (2013) appellieren die Autoren auf die alleinige Verwendung der Rohdaten, also

⁵⁵ Tanner (1978) unterscheidet zwei Wege, auf welchen das *catch-up growth* erreicht werden kann. Steigt die Wachstumsgeschwindigkeit kontinuierlich an, bis die ursprüngliche Wachstumskurve erreicht ist, wird von *true catch-up growth* gesprochen. Die andere Möglichkeit ist, dass das Wachstum nur verzögert wird, ohne dass eine abnormale Wachstumsgeschwindigkeit eintritt.

⁵⁶ Prader et al. (1963) vermuten, dass es von der Dauer der Wachstumsverlangsamung abhängt, ob durch das Aufholwachstum die ursprüngliche Wachstumskurve erreicht wird oder nicht. Wenn die Phase zu lange dauert, oder bis in die Pubertät andauert, wird das Wachstum nicht vollständig aufgeholt.

nur der Langknochenmaßen, da die Ergebnisse der aus ihnen geschätzten Körperhöhe sehr stark vom in die Berechnung einbezogenen Einzelknochen variieren können.⁵⁷

Ein weiteres Problem stellen die verschiedenen, bereits oben erwähnten, Formeln zur Berechnung der Körperhöhe dar. Je nachdem, welche Formel für die Berechnung der Körperhöhe Verwendung findet, können die so gewonnenen Körperhöhenwerte erheblich voneinander abweichen, weil ihnen unterschiedliche Referenzpopulationen⁵⁸ zugrunde liegen. Wurm (1986, Tabelle 3a-f) hat dies für alle Extremitäten nachgewiesen, und dabei gezeigt, dass die Unterschiede beispielsweise beim Femur mehr als 10cm betragen können. Da die berechneten Körperhöhen auf unterschiedlichen Referenzpopulationen basieren, denen die untersuchten Skelettindividuen keinesfalls angehörten, und deren Daten wiederum auf unterschiedliche Art und Weise erhoben wurden, können sie nur ein annäherndes Bild wiedergeben und sind gar nicht oder nur bedingt miteinander vergleichbar.

Die Tatsache, dass wir nicht wissen, welche Endkörpergröße bei einzelnen Individuen zu erwarten ist, birgt zusätzliche Herausforderung, weil man nicht genau sagen kann, ob ein Individuum seine genetische, potenziell mögliche Körperhöhe bereits erreicht hat, oder ob er noch weiter hätte wachsen können. An dieser Stelle sei auch der sogenannte *community effect*⁵⁹ erwähnt, den Hermanussen et al. (2014) nach ihrer longitudinalen Wachstumsstudie an Schweizer Wehrpflichtigen als wichtigen sozialen Faktor für das Wachstum postulieren. Darunter wird die Anpassung der Wachstumsgeschwindigkeit von Heranwachsenden an die durchschnittliche Körperhöhe ihrer Gleichaltrigen innerhalb einer sozialen Gemeinschaft verstanden, wodurch die Streuung der Körperhöhe innerhalb des entsprechenden Habitats reduziert wird (siehe auch Bogin et al. 2015; Hermanussen, Bogin 2014; Aßmann, Hermanussen 2013; Hermanussen 2013). Diese Streuung der Körperhöhe bzw. die normale Variationsbreite der Körperhöhen innerhalb einer prähistorischen Bevölkerungsgruppe kennen wir jedoch nicht.

Um die anthropometrischen Daten dennoch weitestgehend sinngemäß auswerten zu können, würde sich anbieten, aus derselben Kultur- oder Zeitepoche desselben geographi-

⁵⁷ Es kommt äußerst selten vor, dass von allen Skelettindividuen vollständige, gut erhaltene und gleichartige Knochen adulter Individuen zur Verfügung stehen, sodass dadurch die auf ihnen (immer demselben Knochen) basierende Körperhöhenschätzung unter den Individuen vergleichbar wird. Da für die statistische Analyse eine Mindestzahl an Individuen benötigt wird, um überhaupt statistisch relevante Aussagen machen zu können, muss man sich oft von der analysebezogenen Ideallage etwas entfernen und mit dem Arbeiten, was vorhanden ist (siehe Kapitel 6).

⁵⁸ Eine Übersicht über ausgewählte Regressionen mit Angabe der diesen zugrunde liegenden Referenzpopulation findet sich bei Wurm und Leimeister (1986, Tab. 2) (siehe auch Siegmund 2010)

⁵⁹ Der Begriff *community effect* ist bereits aus der Biologie bekannt, und beschreibt einen Entwicklungsmechanismus, bei dem die Zellverbände, die sich in unmittelbarer Nähe zueinander befinden, miteinander ‚kommunizieren‘ und sich zwecks einer Homogenitätserhöhung gegenseitig beeinflussen (Saka et al. 2011; Gurdon et al. 1993).

schen Raumes dokumentierte Individuen mit bekannten Langknochendaten als Referenzpopulation heranzuziehen, sofern es deren Individuenzahl erlaubt. Einen ähnlichen Versuch unternahmen bereits Fully und Pineau (1960), jedoch stammten ihre neolithischen Individuen aus sieben verschiedenen europäischen Ländern. Inwiefern allerdings eine archäologische Population, die nur einen Teil der ehemaligen Gemeinschaft repräsentiert, zumal deren Individuen nicht immer zur selben Zeit gelebt haben müssen, und die einer gewissen Selektion⁶⁰ unterliegen, als Referenzpopulation dienen kann, ist ebenfalls fraglich. Als problematisch erweist sich an dieser Stelle deshalb das derzeitige Fehlen einer oder mehrerer entsprechend verlässlicher Referenzpopulationen für prähistorische Individuen, wodurch die Beurteilung der Daten zu ihrer Körperhöhe erschwert wird.

Aufgrund der Fülle der das Wachstum und damit die Entwicklung der Körperhöhe positiv oder negativ beeinflussenden Faktoren, wie sie zu Beginn dieser Arbeit kurz beschrieben wurden, wird es nicht möglich sein, eine, wie Wurm (1986, 70) schreibt "Universalformel" zu schaffen, mit der sich die Körperhöhe aller Individuen schätzen ließe.

3.2. Hinweise auf Ernährung im Erwachsenenalter

Die Ernährungslage der erwachsenen Skelettindividuen schriftloser Kulturen, für die keine schriftlichen Überlieferungen über verfügbare und genutzte Nahrungsmittel und allgemeinen Versorgungszustände oder Notlagen existieren, kann indirekt anhand von Überresten der Fauna und Flora vor allem aus Siedlungs- bzw. Abfallgruben, Koproolithen sowie anhand von mit der Verarbeitung von Nahrung assoziierten Artefakten erforscht werden. Dies setzt voraus, dass zu den aus Gräberfeldern stammenden Skelettindividuen eine zugehörige Siedlung mit entsprechender Fundfülle gefunden werden konnte, was nicht immer der Fall ist. Die Analyse der Siedlungs- und Abfallgruben ermöglicht nur eine Schätzung und keine sichere Aussage über die Ressourcenverfügbarkeit und damit die Versorgungslage der entsprechenden Population. Die makro- und mikroskopische anthropologische Untersuchung von Skeletten ermöglicht hingegen nicht nur direkte und inhaltsträchtige Aussagen auf Populations-, sondern auch auf Individualebene. Welche Untersuchungen hierfür besonders geeignet sind, und wo sich Schwierigkeiten ergeben können, bzw. wo interpretatorische Grenzen liegen, soll im nächsten Kapitel behandelt werden.

⁶⁰ Beispielsweise schwache, kranke Individuen, die frühzeitig gestorben sind, oder Individuen, die sich im archäologischen Befund nicht erhalten haben bzw. an einem anderen Ort bestattet wurden.

3.2.1. Ernährungsbedingte Pathologien an Knochen

Krankheiten, die auf Fehl- oder Mangelernährung zurückgehen, können an Skeletten nur dann festgestellt werden, wenn diese den Skelettstoffwechsel direkt beeinflussen. Unterernährung und Hunger werden mit dem von Jelliffe (1959) eingeführten Begriff *protein calorie malnutrition* (PCM) gekennzeichnet, unter dem die unzureichende Aufnahme von Nahrung zu verstehen ist, sodass der Protein- und Energiebedarf des betroffenen Individuums nicht gedeckt werden kann. Wie im vorangegangenen Kapitel erwähnt, hinterlassen Hungerperioden während der Wachstumsphase deutliche Spuren an Knochen. Auch akute Stressphasen können sich in Form von Zahnschmelzhypoplasien am Skelett manifestieren. Beim erwachsenen Skelettindividuum sind aufgrund der geringeren Knochenumbaurate die Veränderungen am Knochen nicht immer charakteristisch, und können nicht immer eindeutig ohne differenzialdiagnostische Überlegungen auf eine bestimmte Erkrankung bzw. auf Unterernährung zurückgeführt werden.

3.2.1.1. Eisenmangelanämie

Die Mehrheit der Blutzellen besteht aus roten Blutkörperchen, den Erythrozyten, die eine der wichtigsten Aufgaben im Körper übernehmen, nämlich den Sauerstoff- und Kohlenstoffdioxidtransport. Da die Erythrozyten nur kurzlebig sind, werden sie im Knochenmark ständig neu produziert, und nach etwa einer Woche sind sie so weit entwickelt, dass sie ihre Arbeit im Blut aufnehmen können (MDS-Foundation 2012). Für die Entwicklung und Reifung der roten Blutkörperchen im Knochenmark sind einige Nährstoffe notwendig, darunter vor allem Eisen. Ist zu wenig von diesen Nährstoffen im Blut vorhanden, entsteht eine Blutarmut, auch bekannt als Anämie. Wenn die Ursache auf Eisenmangel zurückgeht, spricht man von Eisenmangelanämie.

Eisenmangelanämie ist nicht nur heute, sondern war wahrscheinlich auch in der Vergangenheit die häufigste Anämieform (Roberts, Manchester 2010). Eisen aus Getreide kann vom Körper aufgrund der Phytate, die die Aufnahme von Eisen hemmen, schlechter absorbiert werden als Eisen aus rotem Fleisch. So kann beispielsweise nur 1,4% des Eisens aus dem Spinat im Vergleich zu 20% aus rotem Fleisch aufgenommen werden (Scrimshaw 1991). Deshalb ist es naheliegend anzunehmen, dass der Übergang vom Jagen und Sammeln zum Ackerbau zu Eisenmangel bei den Menschen geführt haben könnte, die auf das Getreide an-

gewiesen waren. Ein Zusammenhang zwischen Ackerbau und Eisenanämie konnte bereits an verschiedenen Fundorten nachgewiesen bzw. zumindest vermutet werden (Cohen, Armelagos 1984; Roberts, Cox 2003; Steckel, Rose 2002).

Die sicherste und zuverlässigste Methode zur Diagnosestellung einer Eisenmangelanämie am Skelett ist die radiologische Untersuchung des Schädels. Dabei sind insbesondere die sog. *hair-on-end*-Erscheinung und die Verdickung der Diploe zwischen der Tabula interna und der Tabula externa zu nennen, die durch Stimulation zur verstärkten Produktion von roten Blutkörperchen im Knochenmark entstehen (Roberts, Manchester 2010). Neben dieser sog. porotischen Hyperostosis (El-Najjar et al. 1975) auf dem Os parietale und dem Os occipitale können auch die Orbitaldächer betroffen sein (Cribra orbitalia), wie bereits an anderer Stelle beschrieben wurde.⁶¹ Stuart-Macadam (1989) vermutete beim Vergleich von mikroskopischen, makroskopischen und radiologischen Daten sowohl aus klinischen als auch aus anthropologischen Studien, dass die Läsionen auf dem Schädeldgewölbe stärkere Form von Anämie repräsentieren als die Cribra orbitalia. Drei Jahre später revidierte sie ihre Meinung, porotische Hyperostosis und Cribra orbitalia würden die gleiche Ätiologie haben, und führte den Eisenmangel bei porotischer Hyperostosis nicht auf die eisenarme Ernährung, sondern auf die Reaktion des Körpers auf Pathogenbefall zurück (Stuart-Macadam 1992).

Eisenmangelanämie ist neben beispielsweise Vitamin C- und Vitamin D₃-Mangel nur eine von vielen Formen von Anämie ist, die nicht nur durch eisenarme Ernährung, sondern beispielsweise auch durch Infektionskrankheiten (Stuart-Macadam 1992; Ortner 2003; Steckel, Rose 2002) hervorgerufen werden kann. Deshalb und aufgrund der Tatsache, dass sie mit dem Aufkommen der produzierenden Wirtschaftsweise und der damit verbundenen Sesshaftigkeit, unzureichenden Hygienebedingungen, aber auch dem Bevölkerungsanstieg verstärkt nachgewiesen wurde (z. B. Cohen, Armelagos 1984), lässt sie sich allein mittels makroskopischer Untersuchungen am Skelett, ohne histologische oder radiologische Untersuchungen, nicht von anderen Anämien differenzieren, und daher auch nicht sicher diagnostizieren.

⁶¹ Zwei Formen angeborener Anämie, Thalassämie und Sichelzellanämie, können gleiche Läsionen am Schädel hervorrufen, weshalb für die Differenzialdiagnostik auch das postcraniale Skelett herangezogen werden sollte. So kann es etwa bei Sichelzellanämie zu frühzeitiger Schließung der Epiphysenfugen, zu einer Vergrößerung der Markhöhle von Langknochen und Mittelhand- und Mittelfußknochen mit gleichzeitiger Verdünnung ihrer Kortikalis sowie zu Osteoporosis im Bereich der Wirbelsäule kommen (Hershkovitz et al. 1997; Roberts, Manchester 2010).

3.2.1.2. Chronischer Vitamin C-Mangel

Vitamin C (Ascorbinsäure) ist für die Hydroxylierung der Aminosäure Prolin (Hydroxyprolin) essentiell, und sorgt für die Stabilität des Kollagens (Barnes 1975). Bei einem Mangel an Vitamin C wird deshalb ein weniger elastisches Kollagen gebildet, und es kommt zu Blutungen insbesondere unter dem Periost, sodass poröse Knochenauflagerungen in erster Linie an Stellen hoher mechanischer Belastung, bevorzugt in Gelenknähe, aber auch am Schädel, an den Orbitaldächern und Langknochendiaphysen, entstehen (Roberts, Manchester 2010; Grupe et al. 2005; Herrmann et al. 1990).⁶² Das Zahnfleisch kann sich ebenfalls entzünden und bluten, was zu periodontischen Krankheiten und zum Zahnausfall führen kann (Buddecke 1981; Hirschmann, Raugi 1999). Am Skelett kann sich dies durch poröse Oberflächen am Alveolarrand sowie an den Innenflächen des Ramus mandibulae manifestieren. Die klinische Manifestation von Vitamin C-Mangel ist Skorbut, der zu den sog. Hypovitaminosen zählt, und der als eine durch schwersten, über mehrere Monate andauernden Mangel an Vitamin C verursachte Erkrankung beschrieben wird.

Der Vitamin C-Mangel tritt häufig bei Kindern auf, weshalb er bei dieser Altersgruppe auch gut dokumentiert ist (Ortner, Ericksen 1997; Brickley, Ives 2006; Stuart-Macadam 1989; Halcrowe et al. 2014). Über pathologische Knochenveränderungen am erwachsenen Skelett existieren nur wenige Arbeiten (Maat 2004; Van der Merwe 2007). Van der Merwe et al. (2010) haben 107 Skelettindividuen von südafrikanischen Minenarbeitern untersucht, und konnten an 16 von ihnen ossifizierte Hämatome, subperiostale Knochenauflagerungen sowie Periodontalerkrankungen feststellen. Histologische Untersuchungen bestätigten die Verknöcherung der Hämatome. Ohne diese zusätzliche Untersuchung ist die Differenzialdiagnostik äußerst wichtig, weil solche Läsionen u. a. mit Traumata, unspezifischer Osteomyelitis und Infektionen mit *Treponema pallidum* verwechselt werden können (Van der Merwe et al. 2010; Ortner, Puschar 1981). Maat (2004) konnte bei seiner Untersuchung von 50 Walfängern aus dem 17. und 18. Jahrhundert von einer Insel des Spitzbergen-Archipels Skorbut als auf denaturiertes Hämoglobin zurückgehende schwarze Verfärbungen u. a. der Zahnwurzelspitze sowie beidseitiger Gelenkoberflächen der unteren Extremitäten dokumentieren.

Anders als viele andere Tiere, können die Primaten die Ascorbinsäure nicht aus Glucose verstoffwechseln, sondern müssen sie mit der Nahrung aufnehmen. Da Vitamin C v. a. in

⁶² In einer tierexperimentellen Untersuchung haben Murray und Kodicek (1949) beobachtet, dass es nach vollständigem Entzug von Vitamin C zu Heilungs- bzw. Reparationsprozessen kommt, sobald den Tieren wieder Vitamin C verabreicht wurde.

frischem Obst und Gemüse vorkommt, und licht-, sauerstoff- und temperaturempfindlich ist, kann angenommen werden, dass am Übergang zum Ackerbau, als die Verfügbarkeit von frischem Obst und Gemüse zurückging, Vitamin C-Gehalt in Lebensmitteln durch Nahrungszubereitung und lange Lagerung derselben niedriger war, bzw. vollständig verloren ging.

3.2.1.3. Vitamin D₃-Mangel

Da Vitamin D kein Vitamin im eigentlichen Sinne ist⁶³, weil es der Körper selbst herstellen kann, sondern ein Hormon (Kodicek 1974; Loomis 1970; DeLuca, Cantorna 2001) bzw. ein Steroid mit hormonähnlicher Aktivität (Naeem 2010), sollte korrekterweise von Vitamin D-Hormon die Rede sein, wie dies in der Endokrinologie üblich ist (Hausler et al. 1997), oder von Provitamin D (Norman 2008) bzw. von Prohormon (Roberts, Manchester 2010).

Aus dem Provitamin D wird mit Hilfe des Sonnenlichtes endogen in der Epidermis höherer Tiere Vitamin D₃ produziert. Vitamin D₃ spielt beim Knochenstoffwechsel eine Schlüsselrolle, und wird somit für die Entwicklung der Knochen benötigt. 50-90% des Vitamin D₃ werden photochemisch durch Sonnenexposition produziert (Norman 2008, Fig. 1) und nur ein kleiner Teil wird mit Nahrung aufgenommen, weshalb "*Traditionally the human vitamin D system begins in the skin, not in the mouth*" (Naeem 2010, V). Vitamin D₃ reguliert den Calcium- und Phosphatstoffwechsel, wodurch Mineralisation und damit die Härte des Knochens gewährleistet wird. Fehlt Vitamin D₃ oder das Calcium, kann es zu Mineralisationsstörungen kommen. Aufgrund der verzögerten oder fehlenden Mineralisierung der Osteoide können die Knochen dann erweichen und deformieren (Waldron 2009; Flohr, Protsch von Zieten 2003). Diese nicht mineralisierten Osteoide lassen sich im Röntgenbild sehr gut erfassen, und erscheinen bilateral und symmetrisch (Griffin 1982).

Rachitis ist eine Kinderkrankheit, die während der Wachstumsphase auftreten kann und in erster Linie durch Vitamin D₃-Mangel verursacht wird (Waldron 2009; Schamall 2008; Roberts, Manchester 2010; Strott 2007). Dabei kann es zu einer unphysiologischen Verbiegung der Langknochen infolge unzureichender Mineralisierung kommen. Sie tritt an knorpeligen Wachstumszonen auf, und kann deshalb das longitudinale Wachstum beeinträchtigen und zu Wachstumsrückständen führen (Ortner, Puschar 1985). Davon sind oft Kinder betroffen, welche gerade abgestillt wurden, und welche in dieser Phase besonders anfällig für Affektionen des Verdauungstraktes (*weanling diarrhea*) sind (Dittmann, Grupe 2000, 346). Tritt

⁶³ Vieth (2004) hat hingegen Argumente darlegt, warum Vitamin D doch als Vitamin und nicht als Hormon gelten sollte.

diese Erkrankung nach der Wachstumsphase bei erwachsenen Individuen auf, die in dieser Arbeit in erster Linie interessieren, manifestiert sie sich v. a. an Skelettregionen, die mechanisch belastet werden, und man spricht nicht mehr von Rachitis, sondern von Osteomalazie. Die osteomalazischen Deformationen beschränken sich v. a. auf das Stammskelett, also auf die Knochen des Kopfes und des Rumpfes. Es kommt zur Verdünnung des trabekulären und zur Porosierung des kortikalen Knochens (Ortner, Putschar 1985). Ist die Erkrankung nicht so weit fortgeschritten, dass es zu makroskopisch sichtbaren Knochendeformationen kommt, ist Osteomalazie ohne röntgenologische Untersuchung nicht diagnostizierbar (Waldron 2009). Außerdem können die Knochendeformationen an stark beanspruchten Skelettregionen zumindest phänotypisch eine Mischform zwischen Osteomalazie und Osteoporose aufweisen. Das bedeutet, dass sie sowohl genügend, allerdings nur geringfügig mineralisierte Knochensubstanz (Osteomalazie), als auch weniger, dafür aber ausreichend mineralisierte Knochensubstanz (Osteoporose) aufweisen können (Schamall 2008). Die hypophosphatämische Rachitis kann zu Hypomineralisation der Zähne führen, in die Bakterien sehr leicht eindringen und Abszesse verursachen können (Vital et al. 2012).

Mittlerweile gibt es über 60 verschiedene Formen rachitischer und osteomalazischer Erkrankungen⁶⁴. Reginato und Coquia (2003) konnten an 26 Patienten mit sicher diagnostizierter Osteomalazie zeigen, dass diese Krankheit auch als Folge anderer Erkrankungen entstehen kann. So ging die Osteomalazie nur bei 5 Patienten auf Hypovitaminose D zurück, aber bei der Hälfte der Patienten wurde sie auf Magen-Darm-, und bei zwei auf Nierenerkrankung zurückgeführt. Allgemeine Mangelernährung, insbesondere Protein- und Fettmangel, sowie nicht ausreichende Versorgung mit Calcium und Phosphor können ebenfalls zu Osteomalazie führen. Am häufigsten betroffen sind Frauen zwischen dem 20. und 40. Lebensjahr. Die am häufigsten betroffenen Knochen sind spongiöse Knochen mit hoher Umbaurate wie Rippen, Sternum, Wirbelkörper und das Becken (Ortner, Putschar 1985)⁶⁵.

3.2.2. Ernährungsbedingte Pathologien an Zähnen

Durch die Aufnahme des Zahnstatus bei einem adulten Skelett ist es beispielsweise mittels des sog. *dental pathology profile* (İşcan, Kennedy 1989, Tab. 2) möglich, etwa Ackerwirt-

⁶⁴ Eine Übersicht der wichtigsten rachitischen und osteomalazischen Knochenveränderungen findet sich bei Schamall (2008, 20-34).

⁶⁵ Pathologisches Erscheinungsbild von Osteomalazie am erwachsenen Skelett ist ausführlich beschrieben bei Ortner und Putschar (1985, 280-282).

schaft betreibende und Vieh haltende Bevölkerungsgruppen zumindest tendenziell voneinander zu unterscheiden. Im Folgenden werden die wichtigsten mit der einen oder anderen Wirtschaftsform assoziierten Zahnerkrankungen kurz vorgestellt.

3.2.2.1. Karies

Karies (lat. *caries* = Fäule) gehört zu den häufigsten Infektionskrankheiten der Zähne und des Zahnhalteapparates. Der Konsum von niedermolekularen Kohlenhydraten führt dazu, dass Bakterien in der dentalen Plaque⁶⁶ wie *Streptococcus mutans*, die die Mehrheit der Bakterien in der Mundhöhle ausmachen, organische Säuren produzieren, die den Zahnschmelz demineralisieren und zu Karies führen können (Meyer-Lückel et al. 2012; Humphrey et al. 2014; Law et al. 2007; Metwalli et al. 2013; Strott 2007; Büchting 2013, Abb. 4-1). Die Prädilektionsstellen der Karies bei erwachsenen Individuen im bleibenden Gebiss sind Okklusalflächen, Foramina caeca und im späteren Alter auch Approximalflächen und Wurzeloberflächen (Meyer-Lückel et al. 2012). Obwohl es immer noch unklar ist, ob Karies nur von einem Pathogen oder durch ein Zusammenspiel mehrerer Pathogene verursacht wird (Meyer-Lückel et al. 2012; Metwalli et al. 2013), gilt Karies als eine multifaktorell bedingte Krankheit, weil sie von vielen unterschiedlichen Faktoren, pathogenen und protektiven, darunter auch individuellen, verhaltensbedingten sowie sozialen Faktoren, abhängt. Wird Karies nicht behandelt, wovon in der Vorgeschichte größtenteils⁶⁷ ausgegangen werden darf, führt sie zum Zahnverlust (Grupe et al. 2005; Herrmann et al. 1990). Sie lässt sich auf Populations- (Kariesfrequenz) oder Individualebene (Kariesintensität) untersuchen und statistisch erfassen (Wahl 2007).

Eine hohe Kariesrate wird mit sesshaften Gesellschaften assoziiert, die auf kohlenhydratreiche Nahrung angewiesen sind, sowie mit der Zubereitung der Nahrung⁶⁸ (Gibbons 2002; Hillson 2008), wobei hier v. a. die Kohlenhydrate entscheidend sind, die für Mikroorganismen leicht abbaubar sind (Buddecke 1981). Das erklärt, warum die Häufigkeit kariöser Läsionen bei Ackerbau betreibenden Gesellschaften höher ist (2,14-26,9%) als bei Jägern und Sammlern (0–5.3%) (Turner 1979, Tab. 3; siehe auch Caselitz 1998; Hillson 2001 und Lukacs 1992). Frauen weisen am Übergang zum Ackerbau häufiger Kariesläsionen auf als Männer, was etwa von Lukacs (2008) mit der Fruchtbarkeit, die mit dem Beginn der produzierenden

⁶⁶ Mit dem Begriff 'dentale Plaque' wird in der Zahnmedizin eine "makroskopisch sichtbare Ansammlung von Mikroorganismen" beschrieben (Meyer-Lückel et al. 2012,14).

⁶⁷ Siehe z. B. Coppa et al. 2006.

⁶⁸ Zur Bedeutung der Keramikgefäße bei der Gelatinierung der Stärke, die in dieser Form besonders kariogen ist, siehe Lanfranco, Eggers (2007).

Wirtschaftsweise zunimmt, und der Veränderung des Mengenverhältnisses weiblicher Geschlechtshormone erklärt wird, was wiederum die Zusammensetzung des Speichels beeinflusst (siehe auch Lanfranco, Eggers 2007). Fleisch und Milchprodukte können jedoch die Entstehung von Karies verhindern oder zumindest erschweren. So reduziert proteinreiche Nahrung die Säure im Speichel und neutralisiert damit die demineralisierenden Säuren, die von kariogenen Bakterien produziert werden (Walker, Erlandson 1986; Lanfranco, Eggers 2007). Untersuchungen von Rao (1985) an Kindern haben gezeigt, dass kariesfreie Kinder höhere Proteinmenge konsumiert haben als Kinder, bei denen Karies diagnostiziert wurde. Fettige Lebensmittel wie Fleisch und Fisch können ebenfalls die Kariogenität anderer Lebensmittel reduzieren, indem sie einen Fettfilm auf der Schmelzoberfläche bilden, wodurch verhindert wird, dass Säuren in den Zahn eindringen (Giacaman et al. 2014; Lanfranco, Eggers 2007). Nicht nur die Art und die Menge, sondern auch die Häufigkeit der aufgenommenen kariogenen Nahrung spielt bei der Entstehung der Karies eine wichtige Rolle. Außerdem soll nach Rao (1985) in Gegenden, in denen Fluoridsalze im Trinkwasser nachgewiesen wurden, seltener Karies vorkommen. Beim Vergleich von 20 Studien zum Einfluss von Fluorid auf die Karieshäufigkeit bei Erwachsenen konnten Griffin et al. (2007) zeigen, dass Karies häufiger bei Teilnehmern aus der Kontrollgruppe diagnostiziert wurde, die Fluorid nicht zusätzlich eingenommen haben. Laut Autoren geht aus den Studien hervor, dass Fluorid Karies um 25% reduzieren kann. Ob Fluorid jedoch tatsächlich Karies reduzieren kann, wird kontrovers diskutiert, und von einigen Wissenschaftlern auch abgelehnt (Komárek et al. 2005; Connett 2012).

3.2.2.2. Parodontopathien

Als Parodontopathien werden die Erkrankungen des Zahnhalteapparates bezeichnet. Sie werden in erster Linie durch schlechte Mundhygiene verursacht. Die Parodontitis ist die entzündliche Form der Parodontopathien, und wird meist durch Bakterien hervorgerufen. Ein frühes Stadium der Parodontitis ist die Gingivitis, die Zahnfleischentzündung, die sich dann weiter auf das Zahnzement, das parodontale Ligament und schließlich auf den Alveolarknochen ausbreiten kann (Strohm, Alt 1998; Molnar, Molnar 1985). Am Skelettmaterial wird sie nur in diesem letzten Stadium durch unterschiedlich starke Porosität am Alveolarknochen der betroffenen Zähne erkennbar, die das Ausmaß der Entzündung anzeigt. Die Parodontose hingegen ist eine nicht-entzündliche Degeneration des Zahnhalteapparates und entsteht als Folge

hoher physikalischer Belastungen des Gebisses (Grupe et al. 2005). Beide Formen führen zur Resorption des Alveolarknochens (Ortner, Putschar 1985). Auch metabolische Krankheiten wie Skorbut, aber auch Proteinmangel, können zur Schwächung des Zahnhalteapparates und zu Parodontopathien führen (Ortner, Putschar 1985). Im fortgeschrittenen Stadium können parodontale Abszesse außerhalb der Pulpa und zwischen den Wurzeln mehrwurzeliger Zähne entstehen. Es konnte bereits nachgewiesen werden, dass schlecht ernährte Populationen mehr parodontale Krankheiten als Karies aufweisen (Rao 1985). Allerdings sollten Parodontopathien nicht nur mit der Ernährung, sondern auch mit allgemeinem Gesundheitszustand in Verbindung gebracht werden, zumal bekannt ist, dass ein geschwächtes Immunsystem das Individuum etwa für Parodontitis anfälliger machen kann.

Obwohl die Gingivitis auch zu den Parodontopathien zählt, wird aufgrund der Tatsache, dass wir es im archäologischen Material ausschließlich mit Skelettindividuen zu tun haben, auf sie an dieser Stelle nicht näher eingegangen.

3.2.2.3. Zahnstein

Alkalisches Milieu in der Mundhöhle, das zur Ausfällung von Mineralien im Speichel führt, fördert die Bildung von Zahnstein (Strott 2007; Mueller 2005). Zahnstein ist mineralisierte mikrobielle Plaque (Zahnbelag) (Ortner, Putschar 1985), welche deshalb vorwiegend aus anorganischen (ca. 70-90%) und nur zu einem geringeren Teil aus organischen (ca. 10-30%) Bestandteilen besteht. Der anorganische Teil besteht vor allem aus Calciumphosphaten, aber auch Calciumcarbonaten und Magnesiumphosphaten, der organische hingegen aus Mikroorganismen, mikrobiellen Polysacchariden und Speichelproteinen bzw. Glykoproteinen (Singh 2006; Jenkins, Heasman 2003). Die Zusammensetzung des Zahnsteins hängt jedoch von seiner Lokalität sowie von seinem Alter ab (Grøn et al. 1967; Guthmiller, Novak 2002). Die Entstehung der Plaque setzt schon nach 2-6 Stunden an (Dhir 2013), und beginnt innerhalb von 24-72 Stunden zu mineralisieren. Nach ca. 12 Tagen ist der Zahnbelag vollständig mineralisiert (Marya 2011). Durch appositionelles Wachstum kann Zahnstein eine erhebliche Größe erreichen. Es wird zwischen zwei Zahnsteintypen unterschieden, nämlich zwischen supra- und subgingivalem Zahnstein. Supragingivaler Zahnstein ist häufiger und entsteht oberhalb des Zahnfleisches. Er wird aus Mineralien aus dem Speichel gebildet. Subgingivaler Zahnstein entsteht oft auf freigelegten Zahnwurzeln, also unterhalb des Zahnfleischsaums (Roberts, Manchester 2010). Da proteinreiche Nahrung die Alkalität der Mundhöhle erhöht,

wird diese mit starkem Zahnsteinbefall in Verbindung gebracht (Hillson 1979). Deshalb kommt Zahnstein bei Menschen, die beispielsweise viel proteinreiches Fleisch verzehren, besonders häufig vor. Auch Mangelernährung kann zu einer verringerten Agglutination von Bakterien führen, weil die dafür benötigten Bestandteile im Speichel fehlen (Marsh, Martin 2003). Dadurch wird ihre Entfernung im Mund durch Verschlucken erschwert, und die Bildung von Zahnstein verstärkt (Enwonwu 1995). Zahnstein kann außerdem die Entstehung von parodontalen Erkrankungen begünstigen (Harman 2001). Nach Untersuchungen von Ahrensburg (1996) hat Zahnstein wie die Parodontopathien eine multifaktorielle Ätiologie.

Aufgrund seines hohen anorganischen Anteils bleiben Zahnstein und mit ihm auch Bakteriengemeinschaften und Nahrungsreste im archäologischen Material oft erhalten. Mit verschiedenen Untersuchungen lassen sich somit Informationen über den Gesundheitszustand und die Lebensumstände des untersuchten Individuums gewinnen, sowie Hinweise auf eventuelle Veränderungen der oralen Bakteriengemeinschaften im Laufe der menschlichen Evolution. Mittlerweile werden nicht nur makroskopische Untersuchungen am Zahnstein durchgeführt, die nur eine grobe Einschätzung der Nahrungsvorlieben, in diesem Fall der Proteine, erlauben, sondern auch molekulargenetische und mikrofossile Analysen, die Rückschlüsse auf den Krankheitserreger ermöglichen, oder die genaue Zusammensetzung der Proteine liefern können. So können Proteine oder Phytolithen aus dem Zahnstein isoliert und untersucht (Warinner et al. 2014; Piperno 2006; Fox et al. 1996; Dudgeon, Tromp 2014; Henry, Piperno 2008) sowie aDNA analysiert werden (Preus et al. 2011; Adler et al. 2013)⁶⁹. Ebenfalls wurden Versuche unternommen, stabile $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopenanalysen am Zahnstein durchzuführen (Scott, Poulson 2012), allerdings wurde diese Methode von Salazar-García et al. (2014) stark kritisiert, zumal noch keine Klarheit darüber besteht, welchen Teil der Nahrung die analysierten Isotope repräsentieren, zumal Zahnstein eine Mischung aus verschiedenen Biomolekülen enthält. Es wäre möglich, dass in diesem Fall beispielsweise Kohlenstoff in Lipiden von Bakterien, oder Stickstoff in Proteinen der konsumierten Nahrung oder in menschlichen Immunproteinen gemessen wird⁷⁰. Da die entsprechenden Fraktionierungsprozesse noch nicht ausreichend erforscht sind, ist es nicht möglich, die gewonnenen Ergebnisse der jeweiligen Stickstoff- oder Kohlenstoffquelle zuzuordnen. Außerdem ist Zahnplaque ein Biofilm, sodass auch Probleme mit Fraktionierungen von Bakterien zu erwarten sind⁷¹. Dar-

⁶⁹ Entsprechende Untersuchungen sind an einigen Individuen aus dem vorliegenden Material ebenfalls geplant. Da sie im Rahmen dieser Dissertation aus zeitlichen und organisatorischen Gründen leider nicht durchgeführt werden konnten, werden sie an anderer Stelle publiziert. Aus oben genannten Gründen wurde dabei auf die stabile Isotopenanalyse am Zahnstein verzichtet.

⁷⁰ Persönliche Mitteilung von Jessica Hendy, University of York (11.11.2013).

⁷¹ Persönliche Mitteilung von Jessica Hendy, University of York (11.11.2013).

über hinaus ist es ebenfalls unklar, welchen Zeitraum im Leben des untersuchten Individuums der erhaltene Zahnstein repräsentiert und welchen Einfluss diagenetische Prozesse auf die Zusammensetzung des Zahnsteins haben.

3.2.2.4. Zahnabrasion

Zahnabrasion (lat. *abrasio* = Abnutzung) ist ein übergeordneter Begriff, der jegliche Art von Verlust der Zahnhartsubstanz durch Reibung bezeichnet⁷². Die zwei wichtigsten Unterformen sind Attrition und Demastikation. Attrition bezeichnet den Kontaktabrieb zwischen den Ober- und Unterkieferzähnen (okklusal), bzw. zwischen den benachbarten Zähnen (approximal). Unter der Demastikation wird hingegen der Verlust von Zahnhartsubstanz durch abrasive Partikel in der Nahrung, wie Phytolithe der Pflanzen, Fischgräte oder auch Grus von Mahlsteinen im Getreidemehl verstanden (Brothwell 1981; Scott 1997; Teaford, Lytle 1996). Da beide Formen am archäologischen Material nicht voneinander unterschieden werden können, werden sie im Folgenden unter der Bezeichnung Zahnabrasion zusammengefasst behandelt. Stark säurehaltige Lebensmittel oder die Nutzung der Zähne als dritte Hand können den Zahnabrieb verstärken. Zahnabnutzung ist ein natürlicher physiologischer Prozess, welcher erst dann pathologisch wird, wenn er als primäre Ursache für die Pulpaeröffnung oder für den vorzeitigen Zahnverlust angesehen werden kann (Rose, Ungar 1998).

Der Abrasionsgrad der Zähne, der oft nach dem Schema von Brothwell (1981) bestimmt wird, kann wichtige Hinweise auf die Ernährung der untersuchten Bevölkerungsgruppe liefern. Bei Jägern und Sammlern scheint die Abrasion der Zähne nicht so stark wie bei Ackerbauern zu sein (Scheuer et al. 2000), und mit der intensiveren Nutzung von Hilfsmittel zur Nahrungszubereitung nahm der Zahnabrieb immer weiter ab (Campbell 1925). Nach der Untersuchung von Smith (1984, Fig. 9A und 9B) von jeweils fünf Jäger-Sammler- und frühen Ackerbauer-Gruppen hinsichtlich ihrer Zahnabrasion, war die Zahnabnutzung bei Jägern und Sammlern auf den Molaren gleichmäßig verteilt, was bei starker Abnutzung in ebenen Winkeln resultierte. Im Gegensatz dazu zeigten die Molaren bei Ackerbauern eher begrenzte Abnutzungserscheinungen und geneigte Winkel. Aus diesem Grund eignet sich laut Autorin eher dieser Abnutzungswinkel als der Grad der Abrasion dafür, die verschiedenen Subsistenzwirtschaften ehemaliger Populationen zu unterscheiden.

⁷² <http://www.enzyklo.de/Begriff/Abrasio%20dentium> (Stand: 02.11.2014).

Die Art und Weise der Nahrungszubereitung in prähistorischen Zeiten ist in den meisten Fällen nicht bekannt. Die Nahrungszubereitung kann allerdings großen Einfluss auf die Abrasion der Zähne haben, weshalb leicht abradierte Zähne nicht zwangsläufig mit weicherer Nahrung in Verbindung gebracht werden sollten, zumal harte Lebensmittel weich gekocht oder anderweitig zubereitet worden sein könnten. Nach ihrer metrischen Untersuchung der Variationsform der Mandibulae und Palatomaxillae von sechs bäuerlichen und fünf Jäger-Sammler-Populationen vermutete Cramon-Taubadel (2011, Fig. 3), dass die Unterkiefer am Übergang von Jäger-Sammler- zu Ackerbau betreibenden Kulturen deshalb kleiner wurden, weil der Mastikationsdruck mit dem beginnenden Ackerbau nachgelassen hat. Allein der Unterkiefer zeigte immer signifikante Korrelation mit der Subsistenzwirtschaft, auch wenn andere Faktoren wie Klima, Geographie oder Genetik berücksichtigt wurden. So sind die Unterkiefer von Jägern und Sammlern laut Autorin konsistent länger und schmaler, und die Rami und Processus coronoidei sind kürzer und gerader im Vergleich zu den Unterkieferformen der Ackerbauern, die kleiner und breiter sind und längere und eckige Rami und Processus coronoidei aufweisen.

Beim Erstellen eines *dental pathology profile* ist zu berücksichtigen, dass nicht nachvollzogen werden kann, ob beispielsweise ein beobachteter Zahnverlust auf Karies oder Abnutzung zurückzuführen ist, oder ob parodontale Krankheiten infektiöse oder degenerative Ursachen haben. Nach Lukacs (1989) wäre es deshalb sinnvoll, zwischen primären und sekundären Zahnerkrankungen zu unterscheiden, wobei Karies zum Beispiel eine primäre und Zahnverlust, der auf verschiedenen primären Zahnerkrankungen basieren kann, eine sekundäre Zahnerkrankung wäre⁷³. Dies ist besonders wichtig, wenn es um die Kariesfrequenz geht oder um die Frage, wie abrasiv die aufgenommene Nahrung war. Eshed et al. (2006) konnten zeigen, dass ein *dental pathology profile*, oder wie diese Autoren ihn nennen *dental picture*, multifaktorieller Natur ist, und nicht immer alleine mit Nahrungsvorlieben, sondern auch mit Nahrungszubereitung, Nutzung der Zähne als Werkzeug, aber auch mit dem Alter zusammenhängen können (siehe auch Ahrensburg 1996). So mögen sich die Jäger und Sammler und die Ackerbauern und Viehzüchter zwar bezüglich ihrer Subsistenzwirtschaft voneinander unterscheiden, unterschiedliche Nahrung müssen sie jedoch nicht unbedingt konsumieren. Das Gleiche gilt für beobachtete Unterschiede innerhalb der Populationen mit gleicher Subsistenzwirtschaft.⁷⁴

⁷³ Diesen komplexen Zusammenhang zwischen Zahnerkrankungen und ihren möglichen Ursachen hat Lukacs (1989, Fig. 1) in einem Diagramm anschaulich dargestellt.

⁷⁴ Siehe z. B. Fashing (2008) für Unterschiede zwischen einzelnen Jäger-Sammler-Populationen.

3.2.3. Stabile Isotopenanalyse ($\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$) an Knochen

Stabile Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenanalysen^{75,76} am Knochen können wichtige Hinweise auf Ernährung untersuchter Individuen sowie auf ihre Umgebung, in der sie gelebt haben, liefern. Im Gegensatz zu Zähnen, die sich in den frühen Lebensjahren eines Individuums bilden und ihre isotopische Zusammensetzung nicht mehr verändern, muss bei der Analyse von Knochen auch die Umbaurate für die jeweiligen Knochen berücksichtigt werden, da sich der Knochen zeitlebens umbildet, und die Isotopenzusammensetzung der letzten Jahre bis Jahrzehnte, je nach Knochenart bzw. Umbauintensität der Knochen, speichert.

Für kleine Kinder existieren nur sehr wenige Studien zur Aufbaurrate der knöchernen Matrix. Parfitt et al. (2000) und Kini und Nandeesh (2012) weisen zumindest auf eine sehr schnelle Aufbaurrate bzw. sehr schnellen Stoffwechsel bei dieser Altersklasse hin. Die Untersuchungen von Hedges et al. (2007) zeigten, dass die Kollagenumbaurate im kompakten Femurknochen zwischen dem 10.-15. Lebensjahr bei beiden Geschlechtern höher ist, und 5-15% pro Jahr beträgt, wobei Jungen deutlich höhere Umbauraten aufweisen als Mädchen. Hingegen beträgt die Kollagenumbaurate bei 20-jährigen Frauen 4%/Jahr und fällt bis zum 80. Lebensjahr auf 3%/Jahr. Bei Männern werden 3% der Knochenmasse pro Jahr im Alter von 25 Jahren umgebaut, und bis zum Alter von 80 Jahren fällt dieser Wert auf 1,5% pro Jahr ab. Das bedeutet, dass Männer eine langsamere Umbaurate im höheren Alter, aber eine schnellere Umbaurate im jüngeren Alter haben als Frauen. Beprobte Rippen von Kindern im Alter von 4-6 Jahren müssten nach Williams et al. (2005) bereits im isotopischen Gleichgewicht mit Entwöhnungsnahrung sein, da der neu gebildete Knochen den früher gebildeten Knochen dominiert, und somit das Brustmilch-Signal nicht mehr im Knochen isotopisch nachweisbar sein dürfte. Isotopenwerte der Individuen, die älter als 18 Jahre sind, müssten wiederum die Erwachsenenahrung reflektieren, da ihre Rippenproben kein Isotopensignal der Kindheitsnahrung mehr enthalten sollte⁷⁷.

⁷⁵ Zum chemischen Hintergrund siehe Kapitel 3.1.2.1 und 3.1.2.2.

⁷⁶ Eine weitere Möglichkeit zum Nachweis proteinreicher Nahrung mittels Isotopenanalyse ist die Messung von Strontium (Sr) im Knochen, da sich diese u. a. in niedrigen Strontiumwerten widerspiegelt (Price et al. 1985). Das ist deshalb möglich, weil die Einlagerung von Sr mit der Menge an verfügbarem Ca aus der Nahrung zusammenhängt. Je mehr Ca die Knochen enthalten, desto weniger Sr wird im Knochen eingelagert. Dies könnte insbesondere dann interessant sein, wenn es darum geht, die Proteinquelle zu identifizieren, zumindest, ob sie pflanzlichen oder tierischen Ursprungs ist. Problematisch könnten taphonomische Prozesse sein, die die Konzentration solcher Spurenelemente ändern können (Tütken 2003 2010), sofern sie nicht ausgeschlossen werden können. Da für die Strontiumisotopenanalyse der Apatit, die anorganische Mineralfraktion des Knochens/Zahnes, extrahiert werden muss, und in dieser Pilotstudie der organische Teil, das Kollagen, untersucht wurde, konnte die Strontiumisotopenanalyse im Rahmen dieser Dissertation nicht durchgeführt werden.

⁷⁷ Für die vorliegende Arbeit wurden aus diesem Grund nur die Rippen von adulten Individuen in die Untersuchung aufgenommen, und es wurde der Bereich des ersten Backenzahnes beprobt, der sich nach der Entwöhnungsphase gebildet hat. Siehe hierzu Kapitel 6 zu methodischen Aspekten der Untersuchung.

Schlechte Ernährung sowie Mangel an einigen Mineralstoffen, wie Phosphor, Magnesium oder Vitamin D₃ können negativen Einfluss auf die Knochenumbaurate haben (Robins, New 1997). Biomechanische Belastung (Rubin, Lanyon 1984), und proteinreiche Nahrung können die Knochenumbaurate erhöhen (Ambrose et al. 1993). Knochenbildung und Knochenneubildung beeinflussen die Geschwindigkeit, mit welcher das neue Gewebe isotopisch erkennbar ist.⁷⁸ Ist ein isotopisches Gleichgewicht zwischen dem Körpergewebe und der neuen Nahrung erreicht, wird das neu gebildete Körpergewebe die isotopische Zusammensetzung der neuen Nahrung reflektieren. Häufige Veränderung des Nahrungsverhaltens können jedoch die Interpretation dieser Daten erschweren, sowie die Tatsache, dass auch pathologische Knochen das Isotopensignal verfälschen können, weshalb Katzenberg und Lovell (1999) vor Beprobung derselben warnen.

⁷⁸ Wie lange es dauert, bis das Gewebe neue Nahrung isotopisch reflektieren kann, wurde von mehreren Autoren an unterschiedlichen Gewebearten untersucht. So ist bekannt, dass das Kollagen in infantilen Nägeln 3-5 Monaten braucht, um gleiche isotopische Zusammensetzung wie die assimilierte Nahrung zu erreichen (Fogel et al. 1989). Beim adulten menschlichen Haar sind es 7-12 Monate (O'Connell, Hedges 1999), bei infantilen Knochen und beim Zahndentin 3-8 Monate (Herrscher 2003).

4. Fragestellungen und Ziele der Dissertation

Im Rahmen des Projektes ‚Lebensbedingungen und biologischer Lebensstandard in der Vorgeschichte‘ (LiVES) der Emmy-Noether Nachwuchsgruppe sollte zum ersten Mal retrospektiv an Individualdaten unter Anwendung geochemischer und anthropometrischer Untersuchungsmethoden primär der Zusammenhang zwischen dem als Eiweißproxy geltendem Stickstoffisotopenverhältnis im Primärdentin der Backenzähne und den erreichten Langknochenmaßen von adulten, nach Geschlecht separierten, bandkeramischen Individuen geprüft werden, um Hinweise auf die Ernährungssituation während ihrer Kindheit, Jugend und während der letzten Jahren vor ihrem Tod zu gewinnen. Für archäologische Individuen bzw. schriftlose Kulturen ist dies eine der wenigen Möglichkeiten, die über einen längeren Zeitraum herrschenden Lebensbedingungen direkt am Skelett zu untersuchen. Dabei wurde großer Wert auf Interdisziplinarität gelegt, da nur diese optimale Bedingungen für eine zuverlässige und den realen Umständen am nächsten entsprechende Auswertung und Interpretation der gewonnenen Daten schaffen kann.

Die Hauptfragestellung der vorliegenden Arbeit lautet:

1. Gibt es eine positive Korrelation zwischen den drei „Kindheitsernährungsproxys“, $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin, der jeweils größten Diaphysenlänge sowie der geschätzten Körperhöhe und dem Auftreten unspezifischer Stressindikatoren?

Darüber hinaus sollten auch folgende Fragen beantwortet werden:

2. Spiegelt sich die Ernährung der Kinder in der Ernährung der Erwachsenen, bzw. gibt es eine Korrelation zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der Molare und den $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Knochen, sowie den am Erwachsenenskelett diagnostizierten Pathologien, den Robustizitätsindices und den Grabbeigaben?
3. Wie wirkt sich die Beprobung des Tertiärdentins kariöser Zähne auf die Isotopenergebnisse aus?

Wie aus dem vorherigen Kapitel ersichtlich wurde, hat neben der Genetik vor allem die Ernährung, und hier insbesondere das Eiweiß, einen starken Einfluss auf das Knochenwachstum

während der Kindheit und Jugend, und damit die Endkörperhöhe im Erwachsenenalter. Aus diesem Grund war es naheliegend, eine theoretische Grundüberlegung anzustellen, nämlich, dass die gemessenen stabilen Isotopenverhältnisse im Zahndentin, welche Hinweise auf die Ernährung im Wachstumsalter liefern, sowie die Aufnahme anderer makroskopisch sichtbarer Indizien auf metabolische Krankheiten und Stress, mit den Langknochenlängen bzw. den anhand dieser geschätzten, im erwachsenen Alter erreichten Endkörperhöhen positiv korrelieren müssten. Vordergründig sollten im Rahmen der vorliegenden Pilotstudie die $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin von Unterkiefermolaren adulter Individuen mit den dazugehörigen Langknochenmaßen von oberen und unteren Extremitäten sowie den daraus ermittelten Körperhöhen korreliert werden, um zu prüfen, ob v. a. mit höheren Stickstoffisotopenverhältnissen im Zahndentin auch die Langknochenlänge bzw. die Körperhöhe zunimmt, weil diese die aus der Nahrung assimilierten Proteine aufgrund stärkerer Anreicherung des schweren Isotops mit jeder Trophiestufe stärker reflektieren.⁷⁹ Die gewonnenen Ergebnisse sollten dann mit hierfür relevanten, makroskopisch erfassten Pathologien an Zähnen und Knochen ergänzt werden.

Da die Bildungszeit des beprobten Abschnittes an dritten Molaren in die Phasen des verstärkten Wachstums der Gliedmaßen zumindest bei Jungen fällt⁸⁰, soll darüber hinaus geprüft werden, ob die Stickstoffisotopenverhältnisse im Zahndentin dieser Molaren auf eine intensivere Phase der Proteinbiosynthese signalisieren. Roth und Hobson (2000) vermuteten bei Untersuchungen der Stickstofffraktionierung in verschiedenen Gewebearten beim roten Fuchs, dass erhöhte Stickstoffwerte bei subadulten Individuen im Vergleich zu adulten Tieren auf die höhere Proteinsyntheserate und den Katabolismus während der Wachstumsphase zurückzuführen sind, wobei es zu einem stärkeren Verlust vom leichteren Stickstoffisotop im Urin kommt.⁸¹ Auf Nahrungsstress ließen sich die Ergebnisse bei den jungen Tieren nicht zurückführen, da diese Tiere schwerer waren als die adulten Tiere. Beruhend auf dieser Überlegung, wäre zu erwarten, dass die Kinder während der Wachstumsschübe höhere Stickstoffisotopenwerte aufweisen. Hinsichtlich des ersten Molars ist zu erwarten, dass die Stickstoffisotopenwerte aus diesem Zahn am niedrigsten sind, da sich der beprobte Zahnabschnitt nach

⁷⁹ Methodische Fragen wie, warum die Isotopenanalyse am primären Dentin durchgeführt wurde, warum die Probenentnahme an Molaren erfolgte und warum nur adulte Individuen untersucht wurden, werden im Kapitel 6 diskutiert.

⁸⁰ Siehe Welte und Wahl (2010) für subadulte Individuen u. a. aus den zwei hier untersuchten Fundstellen, Stuttgart-Mühlhausen und Schwetzingen.

⁸¹ Höhere Proteinsynthese führt zu höheren Plasmakonzentrationen von Harn und Harnsäure, wodurch mehr Abfallprodukte entstehen, die typischerweise abgereichert an ^{15}N im Gegensatz zu Körperproteinen sind. Dies führt zu höherem Verlust vom isotopisch leichteren Stickstoff, sodass höhere Konzentrationen von isotopisch schwerem Stickstoff im wachsenden Gewebe zu finden sind.

dem Abstillen gebildet hat, und das Kind in dieser Zeit wegen des Übergangs zu fester Nahrung unter dem sog. *weaning stress* steht (Bentley 1996; Lewis 2007; Eveleth, Tanner 1990).

Bisher existieren nur wenige Studien an Menschen, die einen ähnlichen Ansatz verfolgten. Herold (2008) beispielsweise konnte keine Korrelation zwischen dem Stressmarker Zahnschmelzhypoplasien und den Stickstoffisotopenwerten in Knochen feststellen. Lösch (2009, Abb. 87 und 88) hat im Rahmen ihrer Untersuchung bei einigen Individuen vom Petersberger-Friedhof die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte im Knochenkollagen mit der größten Länge des Femurs korreliert, allerdings ohne das Alter dieser Individuen anzugeben, sodass unklar ist, ob es sich bei allen Proben um ausgewachsenen Individuen handelt. Dabei zeigten die Männer eine geringe, die Frauen eine mittlere Korrelation. Da sie aufgrund ihres offenbar unterschiedlichen Alters verschiedene Knochenumbauraten aufweisen können, können die Korrelationen leider nur als wenig nützlich und aussagekräftig betrachtet werden. Dasselbe gilt auch für die Studie von McGlynn (2007, Fig. 10.4 und 10.5), in der er adulte Individuen einer Skelettpopulation aus Volders untersuchte, und dabei eine positive Korrelation, zumindest bei den Männern, zwischen der Körperhöhe und $\delta^{15}\text{N}$ feststellen konnte, zumal nicht angegeben wurde, welchen Langknochen er für die Körperhöhenberechnung herangezogen hat, bzw. ob er aus erhaltenen Langknochen einen Mittelwert gebildet, und aus diesem die Körperhöhe ermittelt hat. Gilde (2013) verglich die Körperhöhe von nachmittelalterlichen Skelettindividuen aus Middenbeemster mit verschiedenen unspezifischen Stressindikatoren wie Zahnschmelzhypoplasien, Cribra orbitalia und Harris-Linien. Weil die Probenzahl sehr klein war, war eine statistische Untersuchung nur bedingt möglich, sodass eine Wiederholung dieser Studie mit höherer Probenzahl erforderlich ist. Fuller et al. (2003) untersuchten im Rahmen einer Pilotstudie u. a. Canini, dritte Molaren und Rippen von adulten Individuen, um mögliche Änderungen im Ernährungsverhalten aufzuspüren, und konnten von der Zahnkrone über den cervikalen bis zum apikalen Wurzelbereich eine Anreicherung der $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{15}\text{N}$ -Werte im Zahndentin beobachten. Die Autoren erklären diese Beobachtung mit der Stillzeit und dem Abstillen, allerdings lassen sich damit nur die erhöhten Werte im Kronendentin des Eckzahns erklären, die laut ihnen in die Zeit zwischen 5 Monate und 6 Jahre fallen. Andere Zahnabschnitte des Eckzahns sowie alle Zahnabschnitte des dritten Molars sind eindeutig lange nach dem Abstillen gebildet worden, sodass sich damit nicht die unterschiedlichen Werte in den einzelnen Zahnabschnitten dieser Zähne erklären lassen.⁸² Drews (1988) konnte im Rahmen seiner Dissertation keine oder eine nur sehr schwache Korrelation zwischen der täglichen Eiweißzufuhr und der Kör-

⁸² Die signifikant höhere Anzahl von Dentintubuli im cervikalen im Vergleich zum mittleren und apikalen Wurzelbereich innerhalb des Wurzeldentins könnte eventuell die unterschiedliche isotopische Zusammensetzung erklären. Außerdem weist das Wurzelentin höheren Mineralisationsgrad und auch geringere Permeabilität als das Kronendentin auf (Winterfeld 2009).

pergröße von Jungen und Mädchen zwischen vier und fünf Jahren aus Wiesloch bei Heidelberg feststellen. Hierbei zeigt sich erneut, wie wichtig möglicherweise der gewählte Zeitpunkt für Eiweißzufuhr in Bezug auf die Wachstumsschübe ist, aufgrund der individuellen, geschlechtsspezifischen und das Wachstum beeinflussenden Faktoren. Obwohl mittels der DNA- an modernen (Weedon et al. 2007; Liu et al. 2014)) aber auch aDNA-Analyse an prähistorischen Menschen (Mathieson et al. 2015) bereits Gene für Körperhöhe nachgewiesen wurden, soll es in dieser Arbeit vor allem um Faktoren gehen, die das genetisch determinierte Potential zum Erreichen der jeweiligen Körperhöhe beeinflussen können, und um die 10% Unterschied in der Körperhöhe, für die nicht die Genetik, sondern andere Faktoren verantwortlich sind, wobei hier primär die Rolle der aus der Nahrung aufgenommenen Proteine untersucht wird.

In einem zweiten Schritt werden stabile Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenverhältnisse im Knochenkollagen derselben Individuen gemessen, für die Isotopenwerte aus dem Zahndentin zu Verfügung stehen, welche Informationen zu ihrer Ernährung im erwachsenen Alter liefern, um beurteilen zu können, ob und inwiefern sich diese von der kindlichen Ernährung unterscheidet. Die Ergebnisse könnten Hinweise auf alters- und geschlechtsabhängiges Ernährungsverhalten sowie soziale Ungleichheiten liefern. Da die Isotopenverhältnisse im Knochenkollagen variieren können (DeNiro, Scheoninger 1983, Olsen et al. 2014), müssen die Isotopenwerte der den untersuchten Individuen zu ihren Lebzeiten verfügbaren Nahrung bekannt sein, um Rückschlüsse auf mögliche Haupteisweißquelle zu erlauben. Dabei muss gewährleistet sein, dass die untersuchten Menschen sowie Tiere und Pflanzen unter gleichen klimatischen und ökologischen Umweltbedingungen gleichzeitig existiert haben, und eine Nahrungskette gebildet haben, damit die Trophiestufen ermittelt werden können. Aus diesem Grund war es für diese Fragestellung wichtig, die verfügbaren Daten der Stickstoffisotopenanalyse aus Tierknochen, nach Möglichkeit von beiden hier interessierenden Gräberfeldern, heranzuziehen, sodass Aussagen über die Haupteisweißquelle und seine biologische Wertigkeit möglich sind.

Zum Schluss soll getestet werden, welche Rolle das Tertiärdentin bei der Untersuchung der Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenverhältnisse spielt. Tertiärdentin, auch Reizdentin genannt, bildet sich, wie sein Name erahnen lässt, nur als Reaktion auf starken Reiz, der auf die Zähne ausgeübt wird, sei es aufgrund einer Verletzung oder Zahnkrankheit, wie Karies, Parodontopathien, Abszesse, oder auch einer starken Abrasion (Hillson 1986; Klimm 2003), um die Freilegung der Pulpa zu verhindern. Dieses Tertiärdentin schützt die Pulpa und verlangsamt das weitere Durchdringen der Karies in das Zahninnere (Rekate 1975). Es ist zu

erwarten, dass die Menge an Tertiärdentin in entsprechenden Zähnen mit dem Alter steigt, zumal davon ausgegangen werden kann, dass die Zähne nicht angemessen medizinisch behandelt wurden, und die Krankheiten des Periodontiums mit dem Alter somit kontinuierlich fortschritten. Solche Veränderungen im Dentin und der Pulpa, die durch sog. *Caries profunda* (tiefgreifende Karies) hervorgerufen werden, wurden von ReKate (1975) untersucht und elektronenoptisch dargestellt. Ergebnisse seiner Untersuchung, die für die vorliegende Arbeit interessant sind, sind einerseits die starke Reduktion des mineralischen Anteils im Dentin, und gleichzeitig die vermehrte Anzahl an Mikroorganismen. Die Abnahme des anorganischen Anteils im Zahn macht die Zähne anfälliger auf postmortal auftretende diagenetische Prozesse, und das dichte Vorkommen der Mikroorganismen kann das Dentin einerseits ebenfalls postmortal schädigen, aber andererseits auch die Stickstoffisotopenwerte möglicherweise beeinflussen. Die Forscher vom Max Planck Institut für Marine Mikrobiologie fanden zusammen mit amerikanischen und belgischen Wissenschaftlern heraus, dass die Bakterien in der menschlichen Zahnplaque bei der Atmung Nitrat als Oxidationsmittel nutzen (Schreiber et al. 2010) (Abb. 2). Die Denitrifikation, Umwandlung von NO_3^- zu N_2 , wurde damit zum ersten Mal im menschlichen Zahnbelag nachgewiesen. Die dabei entstehenden gasförmigen Endprodukte sind neben Lachgas (N_2O) und Stickoxiden (NO) auch der Stickstoff. Lachgas und Stickoxide werden in die Atemluft wieder freigesetzt, aber da sehr viele Stickoxide produziert werden, gelangt ein Teil auch in das vaskuläre System. Bei den von Karies befallenen Zähnen wären höhere Stickstoffisotopenwerte zu erwarten, da die vermehrt vorkommenden Mikroorganismen in diesen Zähnen bevorzugt das leichte Stickstoffisotop ^{14}N für die Atmung aufnehmen, wodurch es zu einer Anreicherung des schweren ^{15}N kommen müsste (Schreiber et al. 2010). Die Autoren betonen allerdings, dass vor allem die Parodontopathien von diesem Stickstoffmetabolismus im Zahnbelag betroffen sein könnten, und dass kariogener Zahnbelag niedrigen pH-Wert hat und zu höheren Konzentrationen von Stickoxiden führen würde.

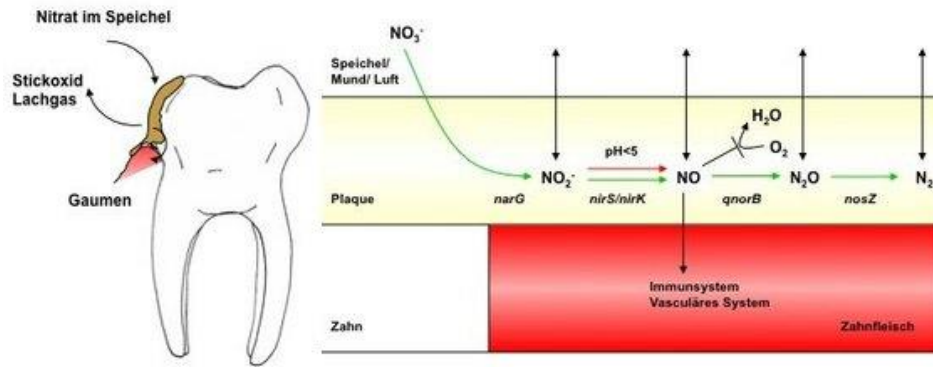


Abb. 2 Schema für die Umwandlung von im Speichel enthaltenem Nitrat (NO_3^-) in Stickoxid (NO) und Lachgas (N_2O) durch Denitrifikation im Zahnbelag.⁸³

Diese methodische Arbeit ist für die Erforschung der Ernährungssituation prähistorischer Individuen insofern bedeutend, weil oft nicht das komplette Gebiss erhalten ist, oder weil der Erhaltungsgrad eine Isotopenanalyse nur an pathologischen Zähnen zulässt. Deshalb soll geprüft werden, ob das Tertiärdentin in von in diesem Fall Karies befallenen Zähnen ein anderes $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ hat als das Primärdentin, und ob das Mitbeiproben desselben somit die ursprünglichen Isotopenverhältnisse im Primärdentin, und wenn ja, in welchem Ausmaß, beeinflussen würde, was sich letztendlich auf die Ergebnisse und die Auswertung der Daten auswirken würde.

Weitere Daten, welche zur Klärung bestimmter Trends und zur Interpretation der hier gewonnenen Daten relevant sein könnten, zum Beispiel $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ der Fauna von denselben Fundstellen, sowie die an Zähnen und Knochen makroskopisch erkennbaren Hinweise auf den Gesundheitszustand der untersuchten Individuen, Robustizität sowie geologische und klimatische Daten aus der entsprechenden Zeit und Region werden gesammelt und in die Auswertung einfließen.

⁸³ https://www.mpi-bremen.de/en/Nitrous_oxide_and_nitric_oxide_from_the_human_mouth.html (Stand: 18.11.2014).

5. Untersuchungsmaterial

Im Rahmen dieser Pilotstudien sollte das Skelettmaterial anfänglich aus zwei linienbandkeramischen und zwei endneolithischen/frühbronzezeitlichen Gräberfeldern in die Untersuchung einfließen, wobei insgesamt ca. 120 Individuen der Untersuchung unterzogen werden sollten. Aus organisatorischen und zeitlichen Gründen konnten jedoch nur die zwei linienbandkeramischen Gräberfelder, Stuttgart-Mühlhausen ‚Viesenhäuser Hof‘ und Schwetzingen, im Rahmen dieser Dissertation untersucht werden. Da die Menschen der sinnvollen Vergleichbarkeit wegen gleichen ökologischen und klimatischen Umweltbedingungen ausgesetzt gewesen sein sollten, wurde versucht, eine für die statistische Analyse mindestens benötigte Individuenzahl aus diesen beiden nah beieinanderliegenden Fundstellen zu bekommen. Das erwies sich als nicht einfach, zumal für die Untersuchung nur ausgewachsene Individuen in Frage kamen, bei denen das Wachstum abgeschlossen war⁸⁴, die Extremitätenknochen nach Möglichkeit vollständig und gut erhalten⁸⁵ sowie möglichst alle drei Backenzähne vorhanden waren, was die geeignete Materialquantität enorm einschränkte. Insgesamt wurden 49 Individuen aus der Linienbandkeramik beprobt, davon 29 aus Stuttgart-Mühlhausen und 20 aus Schwetzingen.

Im Folgenden wird zunächst kurz auf die frühneolithische Kultur der Linienbandkeramik eingegangen, bevor dann die jeweiligen Gräberfelder näher beschrieben werden, und das dazugehörige Untersuchungsmaterial vorgestellt wird.

5.1. Linienbandkeramik

Linienbandkeramik (LBK) ist bekannt als die erste, frühneolithische Kultur Mitteleuropas, deren Name auf die mit Linien versehte Bandmusterung ihrer Keramik hindeutet. Es wird vermutet, dass sich die LBK hauptsächlich aus der Starčevo-Kultur im Gebiet des nördlichen Balkans und südlich des Plattensees um 8100-7500 BP entwickelt hat (Pavúk 2005; Bentley et al. 2002). Von dort aus hat sich diese erste Kultur mit großen Gräberfeldern und mehr oder weniger regulären Bestattungspraktiken nach Mittel- und Westeuropa ausgebreitet, und ist in

⁸⁴ Für die anthropometrische Untersuchung der Langknochen ist hierbei die Verwachsung der Epiphysenfugen von Bedeutung. Die meisten verwachsen bis zum 20. Lebensjahr, Ausnahmen können proximale Epiphysenfuge am Femur und distale Epiphysenfuge an der Tibia und Fibula bilden, die erst mit dem 23. Lebensjahr verwachsen können, sowie die Epiphysenfuge am proximalen Humerus, die spätestens bis zum 25. Lebensjahr verwächst (Brothwell 1972, Fig. 3.4; Tanner 1962; Buikstra, Ubelaker 1994; McKern, Stewart 1957; White, Folkens 2005).

⁸⁵ Die Qualität und Dauer der Knochenerhaltung hängen stärker von der Bodenbeschaffenheit als vom Alter der Knochen ab. So führt kalkhaltiger Boden zu einem schnelleren Verlust der organischen Matrix, wohingegen Ton sehr gute Erhaltungsbedingungen für Knochen bietet. Brothwell (1981,7-8) beschreibt einige Bodentypen, darunter Sand, Salzböden, Ton und Kalkböden, und ihren Einfluss auf die Erhaltung der Knochen.

Mitteleuropa im Zeitraum zwischen ca. 5700 v. Chr. und 4900 v. Chr. anzutreffen (Schreg, Schenk 2008; Price et al. 2003; Bánffy 2004; Oelze et al. 2011a; Trautmann 2006).⁸⁶ Die Linienbandkeramik wird in ältere und jüngere Periode, basierend auf den beiden Hauptausbreitungswellen, unterteilt. Die ältere oder frühe LBK, mit der auch die La Hoguette- und die Limburg-Kultur assoziiert werden, datiert in Mitteleuropa auf ca. 5500 - 5200 calBC (Stäuble 1995; Bentley 2004), die jüngere LBK auf ca. 5300 BC (Stäuble 2005), und überlappt sich somit zum Teil mit der älteren Phase.

Die an zahlreichen Individuen dieser Zeitepoche durchgeführten Strontiumisotopenanalysen weisen auf häufige Migrationsbewegungen hin. In manchen Gräberfeldern beträgt der Anteil an Individuen anderer ethnischer Herkunft bis zu 60% (Bentley et al. 2002, 2004; Price et al. 2001). Da die mtDNA-Analyse von 24 neolithischen Skelettindividuen aus verschiedenen Fundstellen in Deutschland, Österreich und Ungarn zeigte, dass 85% der Gene dieser Neolithiker ihren Ursprung im Jungpaläolithikum und nicht im Neolithikum haben (Haak et al. 2005; Burger et al. 2006), scheinen die indigenen mesolithischen Gruppen, wie die der Ertebølle-Kultur, neben den neuen Ankömmlingen, den Linienbandkeramikern, weiterhin existiert und mit diesen interagiert zu haben.

Anhand verkohlter Pflanzenreste konnten für die LBK an Kulturpflanzen vor allem Spelzweizen, Emmer und Einkorn, aber auch Gerste, unter den Ölpflanzen Lein und Mohn, und unter den Hülsenfrüchten Linsen und Erbsen sicher nachgewiesen werden (Haak 2006). Bezüglich der gehaltenen Tiere sind Rind, Schwein, Schaf und Ziege unter den Tierknochenresten sicher nachgewiesen. Haselnüsse, Brombeere und Himbeere sowie weitere Sammelpflanzen wie Holunder, Hagebutte und Waldbeeren trugen ebenfalls zu Ernährung der Linienbandkeramiker bei (siehe auch Haidle 1997, Tab.1). Bei den Linienbandkeramikern handelt es sich also hauptsächlich um Bauerngesellschaften, die von Viehzucht und Ackerbau lebten, aber gelegentlich auch mit Wildfleisch und Sammelfrüchten ihre Ernährung ergänzten.

Obwohl viele Gräberfelder aus dieser Zeit bekannt sind, gibt es nur wenige, die groß und sehr gut dokumentiert sind. Zwei der bedeutendsten von ihnen, das Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen sowie das Gräberfeld von Schwetzingen (Abb. 3), wurden in dieser Arbeit untersucht, und werden in den zwei nachstehenden Unterkapiteln ausführlicher behandelt⁸⁷.

⁸⁶ Zu den Anfängen des Neolithikums in Europa bzw. dessen Verbreitung existieren verschiedene Modelle und Überlegungen, die Haak (2006) zusammengefasst hat.

⁸⁷ Ein Überblick über alle Körperbestattungen und Feuerbestattungen aus linienbandkeramischen Gräberfeldern, Siedlungen sowie aus zwei Massengräbern, Talheim und Asperrn-Schletz, findet sich bei Trautmann (2006).



Abb. 3 Lage der beiden im Rahmen dieser Pilotstudie untersuchten Gräberfelder von Stuttgart-Mühlhausen und Schwetzingen. Dunkelgraue Fläche markiert die geographische Ausbreitung der LBK in Mitteleuropa (aus Price et al. 2003, Abb. 1).

5.1.1. Das Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen ‚Viesenhäuser Hof‘

Das zweigeteilte Gräberfeld vom ‚Viesenhäuser Hof‘ (Abb. 4) liegt in Stuttgart-Mühlhausen, etwa 20km nördlich von Stuttgart, und umfasst insgesamt 247 Bestattungen, von denen 177 allein aus der linienbandkeramischen Zeit stammen (Price et al. 2003)⁸⁸. Die zeitliche Einordnung ist jedoch aufgrund nur weniger Beigaben nicht bei allen Gräbern gesichert.

Die Fundstelle wurde in drei Grabungskampagnen (1977, 1982 und 1991-1993) ausgegraben, wobei die Letzte, die unter der Leitung von Kurz (1992, 1993, 1994) durchgeführt wurde, die flächenmäßig ausgedehnteste ist. Das Material aus den ersten beiden Grabungen (Areal I) wurde 1989 im Rahmen einer Magisterarbeit (siehe Zusammenfassung in Seitz 1987) sowie zweier Dissertationen (Reith 1990; Starp 1990) bearbeitet. Die anthropologische Auswertung der Skelettreste von 157 Individuen aus der letzten Grabungskampagne der Jahre 1991 bis 1993 (Areal II) sowie eine vergleichende Zusammenfassung der Funde aus beiden Arealen erfolgte durch Eva Burger-Heinrich⁸⁹. Das Skelettmaterial befindet sich derzeit in Tübingen. Das unveröffentlichte Manuskript von Burger-Heinrich mit archäologischen und anthropologischen Daten aus dem gesamten Komplex, einschließlich der von ihr aufgenommenen Langknochenmaße wurde der Autorin für diese Doktorarbeit freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

⁸⁸ Da nach einer gründlichen Untersuchung des Grabungsareals festgestellt werden konnte, dass ein Teil des Gräberfeldes durch Erosion zerstört worden ist, wird es sich nicht um das vollständige Grabinventar handeln dürfen (Kurz 1994).

⁸⁹ Ludwig-Maximilians-Universität München.

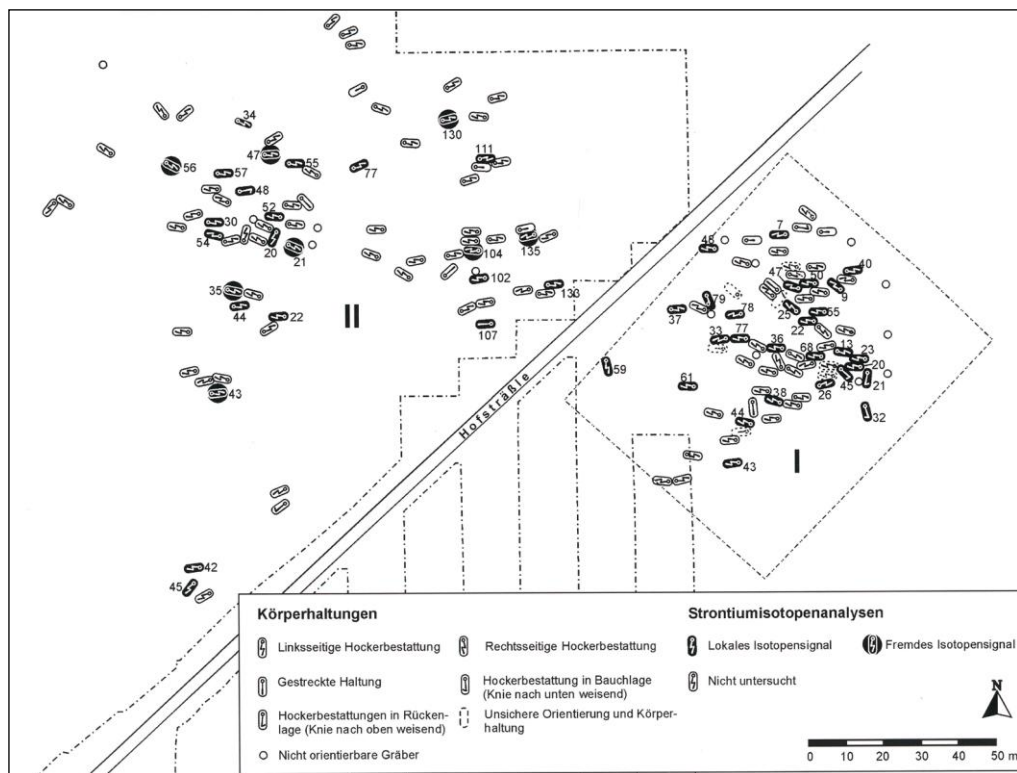


Abb. 4 Übersichtsplan vom ‚Viesenhäuser Hof‘ in Stuttgart-Mühlhausen mit den beiden Arealen der älteren (II) und der mittleren und jüngeren (I) Linienbandkeramik (aus Price et al. 2003, Abb. 3).

Die meisten Gräber des südlichen Grabungsareals (Areal I) datieren in die mittlere bis jüngere LBK, die des nördlichen Grabungsareals (Areal II) werden hauptsächlich der ältesten und der älteren LBK⁹⁰ zugeordnet (Price et al. 2003), sodass das Gräberfeld nachweislich die gesamte LBK hindurch genutzt wurde. Für das Areal I existieren ¹⁴C-Daten⁹¹, die von Michel Francken⁹² mittels CALPAL-Programmes kalibriert und auf 5313-4706 cal. BC festgelegt wurden. Für Areal II existieren noch keine ¹⁴C-Daten. Die Siedlungsreste, die freigesetzt wurden, sind jedoch nur mit dem Areal I zeitlich vergleichbar und lassen keine große Siedlung, sondern eher eine kleine Hofstelle erkennen (Kurz 1991, Seitz 1987). Siedlungsfunde der ältesten LBK wurden offenbar nicht entdeckt (Paulus, Knipper 2009). Die Auswertung der botanischen Reste durch Rösch (1992; 2014) erbrachte Hinweise einerseits auf Standortverschlechterung auf den Lössböden infolge oberflächlicher Versauerung nach intensiver landwirtschaftlicher Nutzung, und andererseits auf die stark basischen Böden in der ältesten LBK

⁹⁰ Der Einfachheit halber wurden die Gräber in dieser Arbeit entsprechend dem jeweiligen Areal, in dem sie entdeckt wurden, zusätzlich mit der römischen Zahl I bzw. II versehen.

⁹¹ <http://radon.ufg.uni-kiel.de> (Stand: 22.03.2015).

⁹² Institut für Naturwissenschaftliche Archäologie, Abt. Paläoanthropologie, Eberhard-Karls Universität Tübingen. Persönliche Mitteilung am 21.05.2015.

und im Mittelneolithikum. Die meisten neolithischen Proben aus Stuttgart-Mühlhausen datieren in die jüngere LBK. Die älteste LBK ist schwach, die mittlere noch schwächer und die ältere überhaupt nicht vertreten⁹³. Die Tierreste wurden bisher noch nicht vollständig bearbeitet, jedoch werden die Ergebnisse der Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenanalyse an einigen ausgewählten Tierproben (Knipper, im Druck) in die Auswertung der hier vorgestellten Daten einfließen.

Die anthropologischen Untersuchungsergebnisse seitens Burger-Heinrich, die bei der Auswertung der Daten berücksichtigt werden, lassen bereits erkennen, dass es sowohl morphologische als auch ernährungsphysiologische Unterschiede zwischen den beiden räumlich und zeitlich getrennten Grabungsarealen gibt. Die bereits erfolgte Untersuchung des Zahnstatus dieser Individuen liefert wichtige Informationen bezüglich möglicher Ernährungsdifferenzen während der zwei Belegungszeiträume. So sollen die Individuen der älteren Linienbandkeramik mehr kariöse Zähne und häufigeren intravitalen Zahnverlust und Zahnschmelzhyoplasien aufweisen (Price et al. 2003) (Tab. 1). Hingegen sollen die Menschen in der mittleren und jüngeren LBK mehr an Wirbelsäulenerkrankungen gelitten haben, sowie häufiger Cribra orbitalia und Traumata aufweisen (Burger-Heinrich, unveröff. Manuskript)⁹⁴. Nach Price et al. (2003) fallen einige männliche Individuen aus der älteren LBK durch besonders lange Extremitätenknochen bzw. ihre geschätzte Körperhöhe auf, deren Gräber auffällig reich ausgestattet waren. Auch bei Kurz (1993, 1994) finden sich Hinweise auf einige mit dicken Rötelpackungen, Dechsel, mit verzierten Flaschen und Kumpfen sowie Spodylusperlen reich ausgestattete Männergräber. So scheint es, zumindest in diesen Fällen, einen Zusammenhang zwischen den Grabbeigaben und der sozialen Stellung des Toten zu geben. Die Gräber der älteren LBK weisen höhere Beigabenfülle, wobei die Beigaben auch größer und stärker verziert waren als in der darauffolgenden Phase. Nach der von Burger-Heinrich geschätzten Körperhöhe waren sowohl die Männer als auch die Frauen in der älteren LBK größer als die Menschen der mittleren und jüngeren LBK. An einigen Skelettindividuen aus beiden Arealen dieses Gräberfeldes wurde auch die Strontiumisotopenanalyse durchgeführt (Abb. 4) (Price et al. 2003). Dabei konnte bei mehreren männlichen Individuen aus der älteren Phase, Areal II, ein nicht-lokales Strontiumsignal nachgewiesen werden. Die Werte für die Zuwanderer liegen deutlich über denen der Einheimischen, und lassen vermuten, dass diese Zuwanderer ihre Kindheit in Mittelgebirgsregionen verbrachten. Auch die dem lokalen Löss entsprechenden

⁹³ http://dna.fuerstentzettel.de/dna_media/MR_Vorgesc41fe2f6637790.htm

⁹⁴ Burger-Heinrich weist darauf hin, dass aufgrund des Erhaltungszustandes des Materials, wahrscheinlich nicht alle Pathologien erfasst werden konnten, sodass keine endgültigen Aussagen über den tatsächlichen Krankheitsbefall und deren Häufigkeit gemacht werden können.

Strontiumwerte aus Knochen von Individuen aus Areal II lassen eine sichtbare Variation dieser Werte erkennen, die auf eine individuelle und vor allem abwechslungsreiche Ernährung hindeuten könnten. Im Gegensatz dazu streuten die Strontiumisotopenwerte bei den beprobten Individuen aus Areal I kaum, sodass es sich hierbei wahrscheinlich ausschließlich um Einheimische handelt.⁹⁵ Die stärkere Homogenität der Menschen aus der mittleren und jüngeren LBK wird auch durch das stärkere Vorkommen der epigenetischen Merkmale in diesem Bereich bekräftigt (Tab. 1).

Es ist anzunehmen, dass die Menschen der älteren Phase der LBK nicht nur die Jagd weiterhin praktizierten, sondern dass sie Nahrung von unterschiedlichem geologischem Untergrund konsumierten, was sich in der Streuung ihrer Strontiumisotopenwerte widerspiegelt, und dass sie möglicherweise einen größeren Aktionsradius hatten. Das ist ein interessantes Indiz, das mit der Stickstoffisotopenanalyse an Zähnen und Knochen in dieser Doktorarbeit geprüft werden kann, zumal Jäger bekanntlich deutlich proteinreichere, da auf Fleisch basierende, Nahrung verzehrt haben. Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass es Hinweise auf Unterschiede zwischen den beiden Gräberfeldarealen, auf unterschiedliche Gruppen vor allem innerhalb des nördlichen Areals, auf bessere Lebensbedingungen sowie auf höhere Lebenserwartung in der älteren Phase gibt.

Um stabile N- und C-Isotope zur Erkenntnisgewinnung über die Ernährungssituation der zur Untersuchung stehenden Skelettindividuen während ihrer Kindheit zu nutzen, wurden für diese Pilotstudie Zähne erwachsener Individuen herangezogen, da sich das Zahnmaterial seit der Bildung und Mineralisierung (Ausnahmen bilden Sekundär- und Tertiärdentin) nicht mehr verändert (Avery 2002), und die chemische Information aus der Kindheitszeit somit bis ins Erwachsenenalter erhalten bleibt. So lassen sich rückwirkend Rückschlüsse auf die durchschnittliche chemische Zusammensetzung der Hauptnahrungskomponente der untersuchten Individuen aus dieser Zeit ziehen. Aus Stuttgart-Mühlhausen wurden insgesamt 32 (12 erste, 10 zweite und 10 dritte) Molaren von 12 Individuen, jeweils sechs Frauen und sechs Männer, aus dem Gräberfeldareal I, 43 (16 erste, 15 zweite und 12 dritte) Molaren von 17 Individuen, acht Frauen und neuen Männer, aus dem Gräberfeldareal II sowie jeweils eine Rippe von jedem Individuum der stabilen Isotopenuntersuchung unterzogen (Tab. 2). Einige Rippenproben, wie der Tabelle 2 zu entnehmen ist, wurden bereits von Corina Knipper isotopisch untersucht. Der zu diesem Zeitpunkt noch unveröffentlichte Aufsatz von Knipper mit entsprechen-

⁹⁵ Siehe hierzu auch Bentley (2004, Fig. 4). An fünf neolithischen Fundstellen in Süddeutschland, darunter auch Stuttgart-Mühlhausen, Viesenhäuser Hof und Schwetzingen, konnte er anhand der Strontiumisotope viele nicht lokale Individuen um 5500 BC zu Beginn des Ackerbaus nachweisen, und nur noch sehr weniger nicht lokale Individuen um 5000 BC, darunter vor allem Frauen.

den Isotopendaten wurde mir freundlicherweise für diese Doktorarbeit zur Verfügung gestellt. Die genaue labortechnische Arbeitsmethode zur Methodik und den biochemischen Aspekten der Untersuchung wird im Kapitel 6 beschrieben.

	Areal II		Areal I
Demographie			
Bevölkerungszahl	42		54
Besiedlungsraum	100-150 J.		135 J.
Geschlecht		<	Männer
Lebenserwartung		>	
Grabbeigaben		>	
Verkleinerung der Steinartefakte, Gefäße		→	
Verzierungsarmut		→	
Männergräber		<	
Frauengräber	43%		16%
Kindergräber		=	
Spodylusbeigaben und Rötelstreuungen	Jungen	>	Mädchen
		>	
Morphologie			
Neurocranium			
Ausprägung der Prot. occ. ex., Männer		>	
Ausprägung der Prot. occ. ex., Frauen		<	
Körperhöhe			
Männer		>	
Frauen		>	
Diskreta			
Sutura metopica			2,5x häufiger
Sutura mendosa	nein		ja
Suturenknochen in der Coronalnaht	nein		ja
Suturenknochen in der Sagittalnaht			12x häufiger
Suturenknochen in der Lambdanaht		<	
Suturenknochen im Asterionbereich		<	
Os epiptericum	nein		ja
Foramen mastoideum extrasuturale	2xhäufiger		
zweigeteiltes Foramen zygomaticofacial	1,5x häufiger		
Torus mandibularis internus	doppelt so groß		
Trema	nein		25%
Diastema	2%		12%
Pathologien			
Karies		>	
Intravitaler Zahnverlust		>	
Zahnschmelzhypoplasien		>	
Zahnstein und Parodontose		=	
ausgeprägter Abschleiß vor allem an Palatinalfläche		>	
Zahnengstand		>	
degenerative Wirbelsäuleveränderungen		<	
Cribra orbitalia		<	
andere Krankheiten (TB, Tumore etc.)		<	
Traumatische Veränderungen	4,30%	=	18%
Ernährung			
große Bedeutung der Jagd		>	
große Bandbreite bezüglich der Nahrungsbeschaffung		>	
Lebensstandard		>	

Tab. 1 Vergleich zwischen der älteren (Areal II) und der mittleren-jüngeren (Areal I) LBK von Stuttgart-Mühlhausen, Viesenhäuser Hof. TB = Tuberkulose. Prot. occ. ex. = Protuberancia occipitalis externa (Daten zusammengestellt aus Burger-Heinrich, unveröff. Manuskript, und Price et al. 2003).

Fundort	Grab-Nr.	Grabungsjahr	Areal	Alter	Geschlecht	Zähne	Knochen
Stuttgart-Mühlhausen	20	1982	I	30-40	m	M ₁ , M ₂	Hujić
Stuttgart-Mühlhausen	21	1982	I	20-25	w	M ₁ , M ₂	Hujić
Stuttgart-Mühlhausen	25	1982	I	20-30	m	M ₁ , M ₂ , M ₃	Knipper
Stuttgart-Mühlhausen	33	1982	I	30-40	w	M ₁ , M ₂ , M ₃	Knipper
Stuttgart-Mühlhausen	34	1982	I	20-30	w	M ₁ , M ₃	Hujić
Stuttgart-Mühlhausen	36	1982	I	20-30	m	M ₁ , M ₂ , M ₃	Knipper
Stuttgart-Mühlhausen	37	1982	I	30-40	w	M ₁ , M ₂ , M ₃	Knipper
Stuttgart-Mühlhausen	43	1982	I	20-30	m	M ₁ , M ₂ , M ₃	Knipper
Stuttgart-Mühlhausen	47	1982	I	30-40	m	M ₁ , M ₂ , M ₃	Knipper
Stuttgart-Mühlhausen	48	1982	I	30-40	m	M ₁ , M ₂ , M ₃	Knipper
Stuttgart-Mühlhausen	55	1982	I	20-30	w	M ₁ , M ₂ , M ₃	Hujić
Stuttgart-Mühlhausen	61	1982	I	30-40	w	M ₁ , M ₃	Knipper
Stuttgart-Mühlhausen	21	1991-1993	II	30-40	m	M ₁ , M ₃	Knipper
Stuttgart-Mühlhausen	22	1991-1993	II	20-25	w	M ₁ , M ₂	Knipper
Stuttgart-Mühlhausen	27	1991-1993	II	20-25	m	M ₁ , M ₂	Hujić
Stuttgart-Mühlhausen	30	1991-1993	II	20-30	m	M ₁ , M ₂ , M ₃	Knipper
Stuttgart-Mühlhausen	35	1991-1993	II	20-25	w	M ₁ , M ₂	Knipper
Stuttgart-Mühlhausen	42	1991-1993	II	18-24	w	M ₃	Knipper
Stuttgart-Mühlhausen	43	1991-1993	II	22-25	w	M ₁ , M ₂ , M ₃	Knipper
Stuttgart-Mühlhausen	44	1991-1993	II	25-30	m	M ₁ , M ₂	Knipper
Stuttgart-Mühlhausen	45	1991-1993	II	22-27	w	M ₁ , M ₂ , M ₃	Knipper
Stuttgart-Mühlhausen	54	1991-1993	II	25-35	w	M ₁ , M ₂ , M ₃	Knipper
Stuttgart-Mühlhausen	57	1991-1993	II	25-40	m	M ₁ , M ₂ , M ₃	Knipper
Stuttgart-Mühlhausen	58	1991-1993	II	22-27	w	M ₁ , M ₂ , M ₃	Hujić
Stuttgart-Mühlhausen	78	1991-1993	II	22-30	m	M ₁ , M ₂ , M ₃	Hujić
Stuttgart-Mühlhausen	83	1991-1993	II	20-30	m	M ₁ , M ₂ , M ₃	Hujić
Stuttgart-Mühlhausen	107	1991-1993	II	30-40	m	M ₁ , M ₂ , M ₃	Hujić
Stuttgart-Mühlhausen	111	1991-1993	II	30-40	m	M ₁ , M ₂ , M ₃	Knipper
Stuttgart-Mühlhausen	133	1991-1993	II	22-25	w	M ₁ , M ₂	Knipper

Tab. 2 Zahn- und Knochenproben von adulten Skelettindividuen aus Areal I und Areal II aus Stuttgart-Mühlhausen ‚Viesenhäuser Hof‘, für die stabile Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenanalyse im Rahmen der vorliegenden Pilotstudie durchgeführt wurde. Knochenproben (Rippen), die bereits von Knipper isotopisch untersucht wurden, wurden entsprechend gekennzeichnet, und werden in die Auswertung der Daten einfließen. m = männlich, w = weiblich.

5.1.2. Das Gräberfeld von Schwetzingen

Das Gräberfeld von Schwetzingen bei Heidelberg zählt zu einem der größten soweit bekannten Grabstätten der Linienbandkeramik, und liegt am westlichen Stadtrand und südlich der

Parkanlage des Schwetzingen Schlosses (Abb. 5)⁹⁶. Die Hauptbelegungsphase fällt in die jüngere Linienbandkeramik (5200-5000 v. Chr.) (Gerling 2012; Gerling, Francken 2007), und kann somit mit dem Areal I aus Stuttgart-Mühlhausen zeitlich gleichgesetzt werden. Nach den neu verfügbaren ¹⁴C-Daten beginnt die Belegungsphase des Gräberfeldes höchstwahrscheinlich zwischen 5260 und 5080cal BC und endet zwischen 5170 und 5010 cal BC (Bentley et al. 2013). Es konnten 202 Bestattungen in 194 Körpergräbern, 9 Brandgräber sowie 15 grabähnliche Gruben (Gerling 2012; Haak 2006) geborgen werden. Unter den Brandgräbern waren doppelt so viele Frauen- als Männergräber (Trautmann 2006). Auch bei der Auswertung der Körperbestattungen fiel vor allem der Frauenanteil (36%) gegenüber dem der Männer (26%) auf, sowie die für diese Zeitepoche ungewöhnlich hohe Anzahl, nämlich ein Drittel, der auf diesem Gräberfeldbestatteten subadulten Individuen (36,5%) (Gerling 2012⁹⁷; siehe auch Gerling, Francken 2007, Tab. 1 und Abb. 6). Keramikgefäße und Keramikscherben finden sich in mehr als der Hälfte der beigabenführenden Gräber, und zählen somit zu den häufigsten Grabbeigaben (Gerling, Francken 2007, Abb. 3). Anhand von Beigabekategorienzahl und Beigabenzahl konnten 12 Gräber als reich ausgestattet bestimmt werden. Eine soziale Struktur ließ sich aber nicht erkennen, und die Identifizierung einer bestimmten Bevölkerungsgruppe war ebenfalls nicht möglich. Nach Gerling und Francken (2007, 47) spiegelt das Gräberfeld von Schwetzingen "...eine Gesellschaft wieder, die nicht als egalitär zu bezeichnen ist, sondern, aus der sich einzelne Individuen hervorheben.". Interessant sind auch die Ergebnisse der Strontiumisotopenanalyse (Bentley et al. 2002), die zwar nur für wenige Individuen Hinweise auf Immigration lieferten, unter welchen jedoch vor allem Frauen waren, was sich in unterschiedlicher Ernährungsweise insbesondere dieser Individuen niederschlagen könnte. Nach Price et al. (2003) könnte es sich bei diesen Frauen um eingeheiratete Frauen aus Jäger-Sammler-Gemeinschaften handeln, die in Mittelgebirgslagen beiderseits des Rheingraben lebten. In Schwetzingen wurden außerdem Beziehungen zwischen der Ausrichtung der Bestattungen und dem postulierten Herkunftsgebiet vermutet, da die meisten Individuen mit nicht-lokalem Strontiumsignal mit Blickrichtung zwischen Norden und Osten bestattet wurden. Anhand von bandkeramischer Keramik konnten zwar zwei Siedlungen, jeweils ca. 2km südöstlich und nordöstlich des Gräberfeldes, entdeckt werden, allerdings erbrachte die Datierung der Siedlungen ein älteres Alter als das Gräberfeld selbst, sodass davon ausgegangen werden muss, dass die zugehörige Siedlung entweder noch nicht gefunden, oder im Laufe der Ausgrabungen unbemerkt abgegraben wurde (Gerling 2007; Veit 1996).

⁹⁶ Ausführliche Informationen zur Forschungsgeschichte und zum Bearbeitungsstand finden sich bei Gerling (2012).

⁹⁷ Eine erste Alters- und Geschlechtsbestimmung erfolgte durch Wahl (Regierungspräsidium Stuttgart, Landesamt für Denkmalpflege, Arbeitsstelle Konstanz, Osteologie), die Prozentangaben stammen aus Gerling (2012).



Abb. 5 Lage des Gräberfeldes südlich des Schwetzingener Schlossgartens (Ref. 26 Denkmalpflege, RP Karlsruhe, aus Gerling 2007).

Angesichts der Tatsache, dass ein Drittel der Verstorbenen jünger als 20 Jahre ist, und nur etwa die Hälfte der Gräber Grabbeigaben enthält, stellt sich die Frage, ob die Individuen möglicherweise schlechten Lebensbedingungen ausgesetzt waren? Die vorliegende Doktorarbeit wird zur Beantwortung dieser Frage einen wichtigen Beitrag leisten können. Da die endgültige Auswertung und Interpretation des Materials aus Schwetzingen noch aussteht, wird diese Arbeit, neben der geringen Probenanzahl, auch deshalb nur vorläufige Ergebnisse und provisorische Schlussfolgerungen liefern können. Das Skelettmaterial befindet sich derzeit in Konstanz. Die noch unpublizierten osteometrischen sowie die pathologischen Daten wurden der Autorin für diese Pilotstudie von Joachim Wahl freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Insgesamt wurden 48 (16 erste, 18 zweite und 14 dritte) Molaren von 18 adulten Individuen, 10 Frauen und 8 Männern, sowie jeweils eine Rippe beprobt und der stabilen N- und C-Isotopenanalyse unterzogen (Tab. 3).

Fundort	Grab-Nr.	Grabungsjahr	Alter	Geschlecht	Zahnmaterial	Knochen
Schwetzingen	9	1989	(20)-30	w	M ₁ , M ₂ , M ₃	Rippe
Schwetzingen	14	1989	25-30	m	M ₁ , M ₂	Rippe
Schwetzingen	26	1989	~30	m	M ₂ , M ₃	Rippe
Schwetzingen	33	1989	~25-30	w	M ₁ , M ₂ , M ₃	Rippe
Schwetzingen	39	1989	25-30	w	M ₁ , M ₂	Rippe
Schwetzingen	70	1989	30-40	m	M ₁ , M ₂ , M ₃	Rippe
Schwetzingen	71	1989	25-35	w	M ₁ , M ₂ , M ₃	Rippe
Schwetzingen	93	1989	30-40	m	M ₁ , M ₂ , M ₃	Rippe
Schwetzingen	99	1989	30-40	w	M ₂ , M ₃	Rippe
Schwetzingen	100	1989	~30	w	M ₁ , M ₂ , M ₃	Rippe
Schwetzingen	107	1989	30-40	m	M ₁ , M ₂	Rippe
Schwetzingen	109	1989	20-30	w	M ₁ , M ₂ , M ₃	Rippe
Schwetzingen	114	1989	adult	w	M ₁ , M ₂ , M ₃	Rippe
Schwetzingen	122	1989	adult	w	M ₁ , M ₂ , M ₃	Rippe
Schwetzingen	131	1989	adult	w	M ₁ , M ₂ , M ₃	Rippe
Schwetzingen	133	1989	adult	m	M ₁ , M ₂ , M ₃	Rippe
Schwetzingen	169	1989	20-30	m	M ₁ , M ₂ , M ₃	Rippe
Schwetzingen	220	1989	20-30	m	M ₁ , M ₂	Rippe

Tab. 3 Zahn- und Knochenproben von adulten Skelettindividuen aus Schwetzingen (Kreis Heidelberg), für die stabile Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenanalyse im Rahmen der vorliegenden Pilotstudie durchgeführt wurde.

6. Methodische und biochemische Aspekte der Untersuchung

6.1. $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Isotopenuntersuchung an Zähnen und Knochen

Nur frühadulte-adulte, geschlechtsbestimmte Individuen sollten in die Untersuchungen eingehen, weil bei ihnen einerseits das Wachstum bereits abgeschlossen ist, und sie trotz möglicher Wachstumsverzögerungen bzw. -störungen, zu denen es in der Wachstumsphase kommen kann (Knußmann 1996; Eveleth, Tanner 1990; Marshall 1981), ihre normale Körpergröße durch das Aufholwachstum noch erreichen konnten, und weil andererseits die Längenwachstumsschübe geschlechtsspezifisch sind (Greil 2002; Flügel, Flügel 1978⁹⁸; Prader 1981). Darüber hinaus wachsen verschiedene Knochen in unterschiedlichem Tempo (Jürgens 1960), sodass je nach Zeitpunkt des Todes die postmortale, anthropometrische Erfassung eines subadulten Individuums nur eine Momentaufnahme wäre, die einen interindividuellen Vergleich innerhalb einer Bevölkerungsgruppe aber auch zwischen verschiedenen Populationen erschweren, wenn nicht gar unmöglich machen würde.⁹⁹ Die Proteinbiosynthese sinkt mit zunehmendem Alter, und damit auch der Bedarf an Nahrungsproteinen und essentiellen Aminosäuren (Löffler et al. 2007)¹⁰⁰. Die Produktion vom Kollagen geht ab dem 25. Lebensjahr zurück, nämlich zwischen 25-30 Jahren um 3%, zwischen 30-40 Jahre um ca. 15% und zwischen 40-50 Jahren sind es schon 30% weniger Kollagen als in der Jugend. Des Weiteren beginnen laut Miles (1978) ab einem Alter von ca. 30 Jahren die Dentintubulae an der Wurzelspitze zu mineralisieren. Da sich die Mineralisierung graduell in Richtung Zahnkrone ausbreitet, kann sie in sehr hohem Alter den Großteil der Zahnwurzel einbeziehen.¹⁰¹ Das bedeutet, dass weniger Kollagen im organischen Anteil in Knochen und Zähnen vorhanden ist, und dass die Beprobung derselben eine geringere Ausbeute an Kollagen im höheren Alter zur Folge hätte. Daneben erhöht sich mit dem Alter auch die Menge an Sekundärdentin (siehe Kapitel 6.1.1).

Es sind ausschließlich Molaren in die Stickstoffanalyse eingeflossen, da sie mit ihren Mineralisationszeiten die gesamte Kindheit und Jugend, je nach untersuchtem Zahnabschnitt,

⁹⁸ Laut Flügel und Flügel (1978) und Tanner et al. (1966, Fig. 17 und 18) erreichen Mädchen zwei Jahre früher den pubertären Wachstumsschub als Jungen, was sich mit dem früheren Einsetzen der Geschlechtsreife bei den Mädchen erklären lässt.

⁹⁹ Beispielsweise sind die Japaner in der Pubertät etwa gleich groß wie die gleichaltrigen amerikanischen Jugendlichen, wohingegen die erwachsenen Japaner um bis zu 6cm kleiner sind als die adulten Amerikaner (Eveleth, Tanner 1990). Die Ursache hierfür wird im verlangsamten Wachstumstempo der amerikanischen Jugendlichen gesehen. Siehe auch Tanner (1976).

¹⁰⁰ Die Studie von Cloos und Jensen (2000) konnte zeigen, dass es verschiedene altersabhängige Abbauprozesse von Aminosäuren und damit von Proteinen im Dentin gibt. Auch wenn das Dentin mit fortschreitendem Alter dabei nur geringfügige Veränderungen in der Aminosäurezusammensetzung erfährt, kann dies laut Autoren für die Altersbestimmung in forensischen Studien genutzt werden.

¹⁰¹ Da die Mineralisierung der Dentintubulae zur Durchsichtigkeit des Dentins führt, kann diese sog. Wurzelidentintransparenz auch zur Altersbestimmung bei adulten Individuen eingesetzt werden (Schramm 2002).

abdecken, und weil sich ihre Mineralisationszeiten mit den Phasen verstärkten Wachstums gut zu decken scheinen (siehe Kapitel 6.1.1). Außerdem sind die Molaren aufgrund ihrer auf mehrwurzelige Verankerung im Kieferknochen und der größeren Kaufläche basierenden Robustizität im archäologischen Material häufiger erhalten. Das Ziel war es, alle drei Molaren (M_1 , M_2 und M_3) bei allen für die Pilotstudie ausgewählten Individuen zu beproben. Dies war nicht immer möglich, da entweder der dritte Molar gar nicht durchgebrochen bzw. nicht angelegt war, einer der Zähne intravital ausgefallen oder stark kariös war, oder weil die Zahnwurzel aus dem Alveolenrand nicht herausragte, sodass nur eine Extraktion des betreffenden Zahnes dessen Beprobung möglich gemacht hätte, was jedoch nicht erwünscht war. Diese Individuen wurden dennoch ausgewählt, da die meisten anderen Anforderungen, wie das Alter, Geschlechtsbestimmung und metrische Daten erfüllt waren. Generell erwies es sich als sehr schwierig, Individuen zu finden, die allen Anforderungen entsprachen. Alle Molaren stammen aus dem Unterkiefer, auch wenn, zumindest für den ersten Molar, gezeigt werden konnte, dass es keinen signifikanten Unterschied im Dentinstickstoff zwischen Ober- und Unterkiefer gibt (Wright, Schwarcz 1998, 1999). Außerdem sollen die dritten Molaren bei der rezenten Bevölkerung häufiger im Oberkiefer retiniert sein (Jakse 2011; Keene 1965), und überhaupt ist der Oberkiefer im archäologischen Material aufgrund des dünneren und zerbrechlichen Knochens oft schlechter erhalten als der Unterkiefer. Auf Seitenunterscheidung wurde verzichtet.¹⁰²

Bezüglich der Knochenproben für die stabile Isotopenanalyse wurden bewusst ausschließlich Rippen ausgewählt. Das Knochenkollagen von Erwachsenen spiegelt die durchschnittlichen Werte der Isotopenzusammensetzung der Nahrung der letzten 5-20 Jahre (Tütken et al. 2008; Tykot 2006; Libby et al. 1964; Schurr 1998) vor dem Tod des untersuchten Individuums. Diese große Zeitspanne lässt sich jedoch mit der richtigen Auswahl der zu untersuchenden Knochen eingrenzen, zumal die Umbaurate einzelner Knochen unterschiedlich ist. Da der spongiöse Knochen schneller als der kompakte Knochen umgebaut wird, zum Beispiel der Schädel oder der Oberschenkelknochen, und damit Ernährungsinformationen aus späterer Lebensphase liefert (Stenhouse, Baxter 1976; Fuller et al. 2006a; Cox, Sealy 1997), sollte bei der Isotopenanalyse darauf geachtet werden, dass entweder spongiöser oder kompakter Knochen beprobt wird, da unterschiedliche Knochen und Knochenabschnitte unterschiedliche Lebenszeitspannen reflektieren. Aus diesem Grund, und weil sie im archäologischen Material oft erhalten sind und einen nur geringen diagnostischen Wert haben, wurden für die Isotopenanalyse im Knochenkollagen die Proben aus Rippen entnommen. Für einen

¹⁰² Der zeitliche Verlauf der Zahnmineralisation ist im Ober- und Unterkiefer sowie bei beiden Geschlechtern gleich (Olze 2001). Auch ein Seitenunterschied bezüglich der Mineralisationsstadien konnte nicht festgestellt werden (Olze 2003).

spongiösen Knochen wie die Rippen werden in der Regel 3-4 Jahre für einen kompletten Umbau angegeben (Martin et al. 1998; Jastrow 2012; Hollinger 2005). Weil im Rahmen dieser Arbeit u. a. die Ernährung während der Kindheit (stabile Isotopenanalyse an Zähnen) mit der Erwachsenenernährung wenige Jahre vor dem Tod des untersuchten Individuums verglichen werden soll, sind die Rippen mit ihrer schnelleren Knochenumbaurate hierfür gut geeignet.

Die Isotopenanalyse verschiedener Skelettelemente, zum Beispiel der Zähne und Knochen, wie es in der vorliegenden Untersuchung der Fall war, ermöglicht die Untersuchung unterschiedlicher Lebensphasen, und so auch das Erkennen eventueller Veränderungen im Ernährungsverhalten eines Individuums (siehe auch Lamb et al. 2014 und Richards et al. 2002). Im Folgenden wird ausführlicher auf die jeweiligen Arbeitsmethoden, sowohl bezüglich der Beprobung der Zähne und Rippen als auch der anschließenden Laboranalyse eingegangen.

6.1.1. Zähne

Im Gegensatz zum Zahnschmelz (86-90 Vol.-%), welcher größtenteils aus Hydroxylapatit besteht und nur sehr wenige Proteine enthält (LeGeros 1983), besteht Zahndentin zu 45-50% aus anorganischen, zu 30% aus organischen Komponenten und zu 20% aus Wasser (Pashley et al. 1994). Die organischen Komponenten teilen sich zu ca. 92% Kollagen Typ I und ca. 8% nichtkollagene Proteine und Glykoproteine (Schneider 1995; Buddecke 1981; Vital et al. 2012). Kollagen ist in allen Binde- und Stützgeweben im menschlichen Körper zu finden, und macht $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ aller Proteine aus. Typisch für die Kollagenstruktur sind die drei helixförmigen Polypeptidketten, die um eine gemeinsame Achse miteinander verdreht sind, und somit eine Tripelhelix bilden (Kollar 1978).¹⁰³ Die Dentinbildung verläuft im Wesentlichen analog zur Knochenbildung, mit dem Unterschied, dass beim Dentin die Matrixsynthese (Prädentinbildung) und die Kalzifizierung miteinander zusammenhängen, und kein Knorpel wie beim Knochen gebildet wird (Buddecke 1981). Das Dentin eines Menschen stellt nach seiner endgültigen Bildung im Gegensatz zum Knochen nahezu zellfreies und damit nicht stoffwechselaktives Gewebe dar, das im weiteren Lebensverlauf unverändert bleibt (Cloos, Jensen 2000). Die Tatsache, dass diese Stoffwechselprozesse einer Regulation durch Hormone, Vitamine und andere Wirkstoffe sowie durch das Nervensystem unterliegen, macht die wechselseitige Beziehung zwischen Zähnen und dem Gesamtorganismus sehr deutlich. Aus diesem Grund

¹⁰³ Eine detaillierte Beschreibung des Kollagenstoffwechsels ist z. B. bei Buddecke (1981, 19-30) zu finden.

können sich Ernährungssituationen und Krankheiten, die den Gesamtorganismus betreffen, auch an den Zähnen manifestieren.

Da sich die Zähne und damit auch das proteinhaltige Dentin während der Kindheit bilden und nicht umgebaut werden, speichern sie die isotopische Zusammensetzung der kindlichen Nahrung (Smith et al. 2012; Sealy et al. 1995; Schurr 1998; Fuller et al. 2003) und damit auch die Informationen über die Ernährungssituation in der frühen und späten Kindheit sowie in der Pubertät, je nach Mineralisationszeitpunkt¹⁰⁴ des untersuchten Zahnes. Durch die Tatsache, dass bei der Zahnentwicklung zuerst die Zahnkrone in mehreren Stadien ausgebildet wird, gefolgt von der Zahnwurzel, und ganz zum Schluss von der Zahnapex (Scheuer, Black 2000, Fig. 5.77), lässt sich die Zeit, in der sich das für die Analyse entnommene Dentin gebildet hat, je nach Lokalisation am Zahn, noch weiter einschränken. Angaben zu Durchbruchs¹⁰⁵- und Mineralisationszeiten wurden bisher oft nur anhand röntgenologischer Aufnahmen festgelegt (u. a. Moorrees et al. 1963; Schour, Massler 1941; Ubelaker 1978, Demirjian et al. 1973). Die Geschwindigkeit der Zahnentwicklung sowohl bei Milch- als auch bei permanenten Zähnen sowie deren Mineralisationsreihenfolge sind genetisch festgelegt (Tanner 1962; Garn, Smith 1980), und im Gegensatz zum Zahndurchbruch von äußeren Faktoren weitgehend nicht beeinflussbar (Demirjian 1986).

Die Probenentnahme aus Zahndentin erfolgte mittels eines Dremels der Firma KOMET mit einem Bohrerkopfdurchmesser von 1,2mm¹⁰⁶ (Abb. 6) unmittelbar unter der Zahn-

¹⁰⁴ Unterschiede bezüglich der Mineralisationszeit konnten zumindest im Milchgebiss auch innerhalb der einzelnen Zähne nachgewiesen werden. Die einzelnen Zahnbereiche mineralisieren nicht gleichzeitig, sondern, es mineralisiert zuerst die mesiobuccale, dann mesiolinguale, gefolgt von distobuccaler und schließlich distolingualer Fläche sowohl im Unter- als auch im Oberkiefer (Turner 1963; Kraus, Jordan 1965). Es ist jedoch anzunehmen, dass diese so minimal sind, dass sie keinen Einfluss auf die Ergebnisse der vorliegenden Studie haben sollten.

¹⁰⁵ Von Smith und Garn (1987) wurde beobachtet, dass v. a. bei weißen, männlichen Amerikanern zuerst der Durchbruch des zweiten Incisivus und danach des ersten Molars häufiger zu beobachten war. Dass der erste Molar erst nach dem Durchbruch des zweiten Prämolars durchbrach, konnte nur bei 5% der untersuchten Kinder festgestellt werden. Das Gleiche gilt für den vorzeitigen Durchbruch des zweiten Molars vor dem zweiten Prämolare. Polymorphismus bei der Durchbruchsequenz ist nach Smith und Garn (1987) so häufig, dass, das, was als übliche Reihenfolge gilt, nur bei einem Viertel der von ihnen untersuchten Kinder auftrat, und damit eher die Abweichung von der Regelsequenz die Regel darstellt. Auch bei Untersuchungen von Kochhar und Richardson (1998, Tab. 6 und 7) zeigten nur 7% der Kinder im Oberkiefer die übliche Durchbruchreihenfolge, und nur 8% der Kinder dieselbe im Unterkiefer. Im Oberkiefer war der verspätete Durchbruch des Caninus, nach dem P¹ (16%) bzw. nach dem P² (9%), und im Unterkiefer war der frühere Durchbruch von I₁ vor dem M₁ (13%) häufiger. Kochhar und Richardson (1998) konnten an von ihnen untersuchten Jungen ebenfalls am häufigsten beobachten, dass der M₁ im Unterkiefer erst nach dem I₁ durchbrach (17%). Der frühere Durchbruch des ersten Incisivus vor dem ersten Molar wurde allerdings in heutigen Populationen nur sehr selten, und bei frühen Hominiden gar nicht dokumentiert (Jaswal 1983). Die Reihenfolge des Zahndurchbruchs kann zwar also variieren, jedoch fast ausnahmslos nur innerhalb der Bildungsphasen, Phase I (M₁, I₁, I₂), Phase II (C, P₁, P₂, M₂) und Phase III (M₃), aber nicht zwischen den einzelnen Phasen. Damit wird garantiert, dass die drei Molaren auf jeden Fall nacheinander durchbrechen. Die Durchbruchszeiten der Zähne können zwar u. a. auch von der Ernährung beeinflusst werden (Ulijaszek 1996; Almonaitiene et al. 2010), dies ist jedoch für die vorliegende Untersuchung irrelevant, da hier v. a. die Mineralisationszeiten der entsprechenden Zähne bzw. der beprobten Zahnabschnitte von Bedeutung sind, weshalb auf die Durchbruchszeiten an dieser Stelle nicht näher eingegangen wird.

¹⁰⁶ Allgemein sollte das Gerät in der Lage sein, materialschonend und präzise wie möglich kleine Probenmengen aus fossilem Material (Knochen, Zähne) herauszubohren, und dabei die für die unterschiedlichen Isotopenmessungen typischen Mindestpräzisionen aufzuweisen, welche modernsten bohrtechnischen Standards entsprechen. Obwohl die verschiedenen Untersuchungsmaterialien, Knochen und Zähne, unterschiedliche Charakteristika aufweisen, können von einem Gerät alle erforderlichen Präzisionsvoraussetzungen erfüllt werden. Aufgrund der Tatsache, dass ein Teil des Materials, welches für die Teststu-

krone auf der Initialwurzel (Abb. 7 und Abb. 8)¹⁰⁷. Die Molaren wurden jeweils entweder lingual oder buccal beprobt, je nachdem, auf welcher Seite der Zahn aus der Alveole herausragte, und kein Zahnstein vorhanden war.



Abb. 6 Dremel der Firma KOMET für die Probenentnahme¹⁰⁸.

Abb. 7 Probenentnahme an der Initialwurzel des ersten und zweiten Molars (Quelle: Hujic).

Für das hier behandelte Themenfeld wurde das Mineralisationsschema nach Moorrees et al. (1963) für Mädchen und Jungen verwendet (Abb. 9 und Abb. 10)¹⁰⁹. Einige Autoren wählen das Schema nach Demirjian et al. (1973) (z. B. Oelze et al. 2003; Lavesque et al. 1981), allerdings fehlen in ihrem Schema die Angaben für die dritten Molaren. Die neueste Untersuchung zum Vergleich der Schätzgenauigkeit von Zahnbildungsschemata von Schour und Massler (1941), Ubelaker (1978) und dem sog. London Atlas (Schema nach Moorrees et al. 1963) brachte hervor, dass bezüglich des Alters zwischen 1-18 Jahren der London Atlas, also das Schema von Moorrees et al., für die Altersschätzung anhand von Zahnbildungszeiten am besten geeignet ist (AlQahtani et al. 2014)¹¹⁰.

die ausgewählt war, am Department of Anthropology der University of Bristol, mit den dort verfügbaren Bohrern der Firma Kommet beprobt wurde, war auch die Beprobung vom Restmaterial mit gleichen Bohrern wegen der Vereinheitlichung des Untersuchungsverfahrens wünschenswert. Die runde Form mit ihrer scharfen Übergangsschneide ermöglicht ein schnelles und schonendes Exkavieren. Gleichzeitig sorgt die Kreuzverzahnung auf der Mantelfläche des Instrumentes für deutlich reduzierte Vibrationen gegenüber herkömmlichen Rundbohrern. Weiterhin wird ein schonender Materialabtrag durch druckloses Exkavieren und den niedrigtourigen Einsatz im entsprechenden Handstück ermöglicht. Maßgeblich für die Arbeit mit wertvollem, archäologischem Material ist außerdem die mit diesen Bohrern realisierbare minimale Invasivität und damit nur geringfügige Zerstörung des fossilen Materials.

¹⁰⁷ Die Probenentnahme an immer derselben Stelle am Zahn war wichtig, weil, wie bereits im Kapitel 4 erwähnt, Fuller et al. (2003) unterschiedliche isotopische Zusammensetzung im Dentin der Zahnkrone, der zervikalen Wurzel sowie der Wurzelapex beobachtet haben.

¹⁰⁸ <https://shop.dremeleurope.com/de/de/produktbeschreibung/dremel-4000--396#survey>; Kommetdental, 07/2011-03/2012.

¹⁰⁹ Bei dieser longitudinalen Studie zur Gesundheit und Entwicklung der weißen, nordamerikanischen Kinder, die an der School of Public Health der Harvard University durchgeführt wurde, wurden Röntgenaufnahmen von Kiefern von 136 Jungen und 110 Mädchen in Halbjahresintervallen gemacht. Die Kinder wiesen laut Autoren eine gute Zahngesundheit auf, und stammten aus mittlerer sozioökonomischer Schicht.

¹¹⁰ Da im London Atlas keine Geschlechtsunterscheidung vorgenommen wurde, wurden die Abbildungen aus dem Originalaufsatz von Moorrees et al. (1963) für diesen Zweck berücksichtigt. Die entsprechenden Schemata des London Atlas' sind zu finden unter: https://atlas.dentistry.qmul.ac.uk/content/english/atlas_of_tooth_development_in_English.pdf

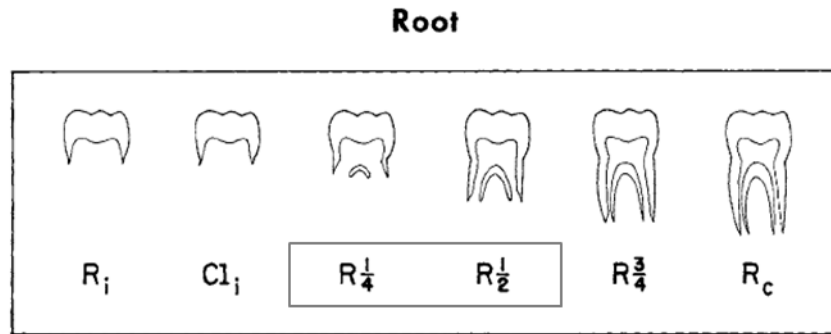


Abb. 8 Zahnbildungsphasen für die Dauermolaren im Unterkiefer. Eingerahmt ist der Abschnitt des Zahnes, aus dem die Dentineproben für die vorliegende Studie entnommen wurden (nach Moorrees et al. 1963, Fig. 2, modifiziert).

So können nach dem Schema von Moorrees et al. (1963) die Mineralisationszeiten für den beprobten Abschnitt der Initialwurzel¹¹¹ der Molaren (M_1 , M_2 , M_3) für Jungen wie folgt eingegrenzt werden: $M_1 \approx 3,5-6$ Jahre (Durchschnitt 4,75 J.), $M_2 \approx 7-12$ Jahre (Durchschnitt 9,5 J.), $M_3 \approx 11-17,5$ Jahre (Durchschnitt 14,25 J.). Für die Mädchen sind es folgende Mineralisationszeiten: $M_1 \approx 4-6,5$ Jahre (Durchschnitt 5,25 J.), $M_2 \approx 7,5-12$ Jahre (Durchschnitt 9,75 J.), $M_3 \approx 12-18,5$ Jahre (Durchschnitt 15,25 J.).

Aufgrund der aufeinanderfolgenden Bildungszeiten der Backenzähne eignen sie sich für die chronologische Untersuchung der Ernährung und der gesamten Wachstumsperiode von Kindern und Jugendlichen am besten (Dean 2010). Bei der Untersuchung aller drei Molaren ist es möglich, eventuelle Änderungen im Konsumverhalten zwischen der frühen und späten Kindheit sowie in der Pubertät zu erkennen. Da die Zeit des Heranwachsens (*adolescence*) ebenfalls eine Zeitperiode ist, in der die Jugendlichen sehr anfällig auf Unterernährung sind, lässt sich durch die Untersuchung des dritten Molars auch diese Zeit relativ gut abdecken. Relativ gut, da der dritte Molar bekanntlich bei vielen Menschen nicht durchbricht, oder gar nicht erst angelegt wird (Ramamurthy et al. 2012; Sidlauskas, Trakinienė 2006; Pankaj et al. 2014; Byahatti, Ingafou 2012; Kaur et al. 2012; McKern, Stewart 1957; Thompson et al. 1974; Dahlberg 1951; Gängler et al. 2005).¹¹² Ohne röntgenologische Untersuchungen ist es sehr schwer zu entscheiden, ob ein Zahn zwar angelegt aber nicht durchgebrochen oder kongenital überhaupt nicht angelegt ist.¹¹³

¹¹¹ Weil nicht immer sicher gewährleistet werden konnte, dass nur der Abschnitt unmittelbar an der Grenze zwischen Zahnkrone und Zahnwurzel beprobt wurde, wurde sicherheitshalber auch der darunterliegende Abschnitt der Initialwurzel ebenfalls berücksichtigt, um den Schätzfehler bei der Altersangabe zu minimieren.

¹¹² Mincer et al. (1993) konnten keine Unterschiede hinsichtlich der Mineralisation der dritten Molaren feststellen.

¹¹³ Die fehlende Anlage der dritten Molaren variiert in verschiedenen Populationen und ist stark assoziiert mit der Nichtanlage anderer Zähne und mit dem enger werdenden Unterkiefer, und hängt mit dem Platzmangel für diese als letzte im Kiefer durchbrechende Zähne zusammen (Thompson et al. 1974, Tab. 1; Miles 1978). Welche Rolle die ethnische Zugehörigkeit bei der Zahnentwicklung spielt, scheint noch nicht ausreichend erforscht zu sein. Auch innerhalb derselben ethnischen Gruppe

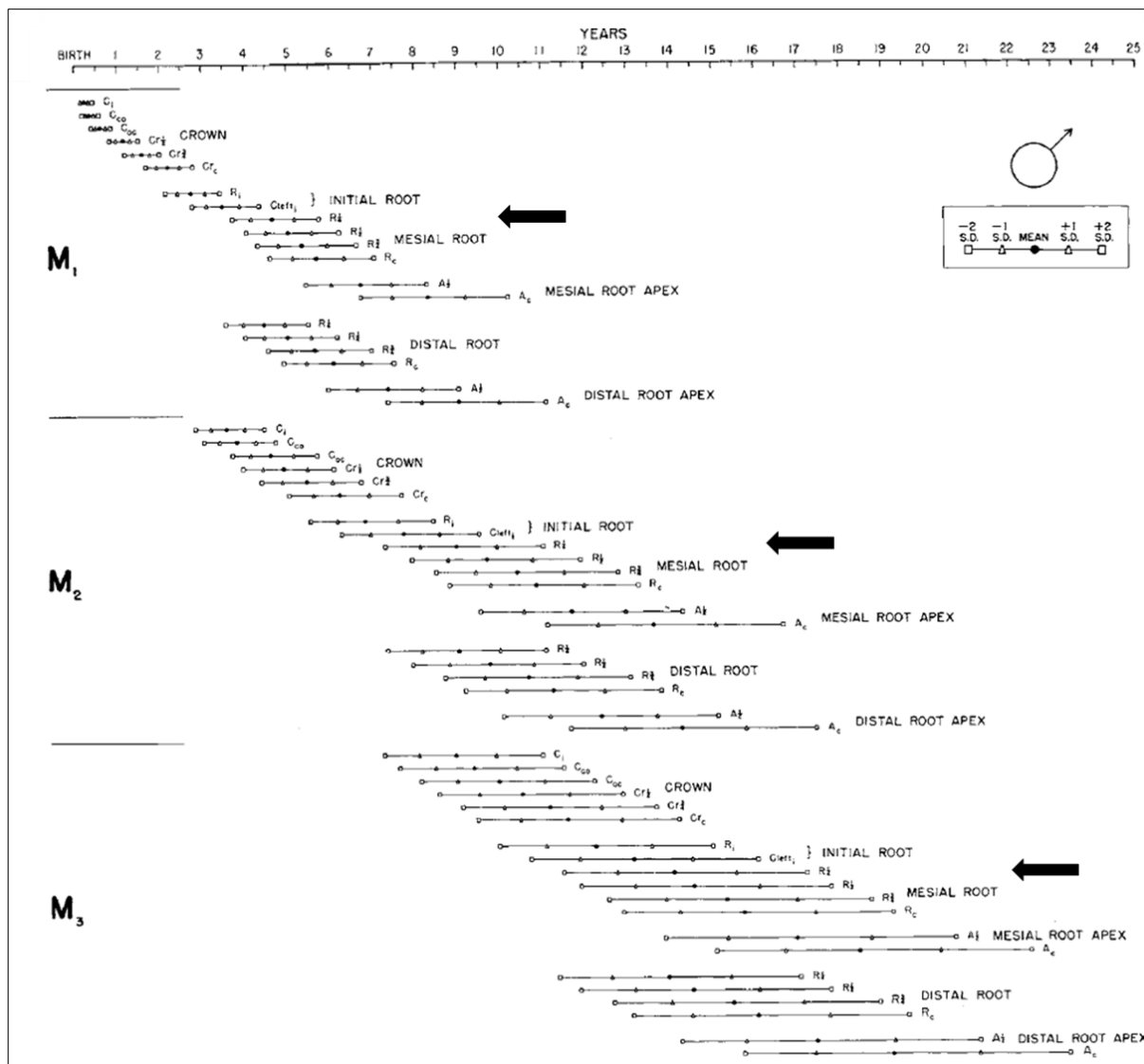


Abb. 9 Zahnentwicklungsschema für die Molaren (M₁-M₃) für Jungen. Die Pfeile markieren den Abschnitt des Zahnes, der für die vorliegende Studie beprobt wurde (nach Moorrees et al. 1963, Fig. 5, leicht modifiziert).

sind Unterschiede möglich, wie Mappes et al. (1992, Fig. 1) an einer Stichprobe zwischen dem amerikanischen Südosten und dem Mittleren Westen und Neuengland eine geschlechtsunabhängige, zeitliche Entwicklungsdifferenz von ca. 1,5 Jahren für den Mittleren Westen nachweisen konnte. Bei einer Studie von Olze et al. (2003), in der anhand von Orthopantomogrammen von 1437 Männern und Frauen aus dem Berliner Raum zwischen 12 und 26 Jahren Mineralisationsstadien der dritten Molaren untersucht wurden, konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede weder zwischen dem Ober- und Unterkiefer noch konnten Seiten- oder Geschlechtsunterschiede festgestellt werden. Unterschiede zwischen Ober- und Unterkiefer, aber keine Seitenunterschiede wurden hingegen von Kochhar und Richardson (1998) beobachtet. Bei der Studie von Levesque et al. (1981, Tab. 4) an 2362 Mädchen bzw. jungen Frauen und 2278 Jungen bzw. jungen Männern mit einem mittleren sozioökonomischen Status und franko-kanadischer Herkunft, bei der es primär um Herausarbeitung von Geschlechtsunterschieden ging, konnte in 87,2% der Fälle gleiche Entwicklungsstufe auf beiden Seiten des Unterkiefers festgestellt werden, allerdings geben die Autoren zu, dass diese synchronische Entwicklung nicht die Regel zu sein scheint.

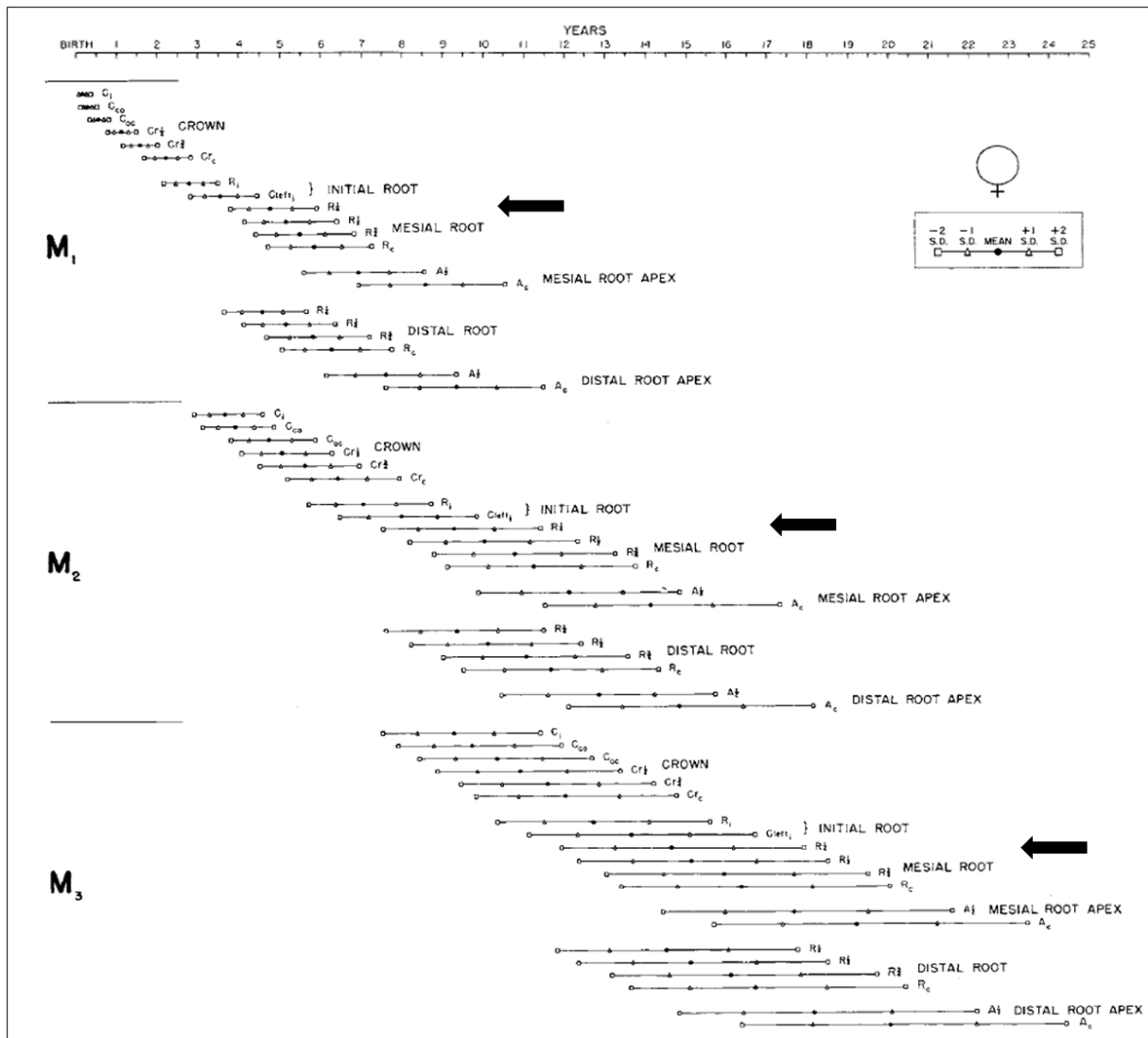


Abb. 10 Zahnentwicklungsschema für die Molaren (M_1 - M_3) für Mädchen. Die Pfeile markieren den Abschnitt des Zahnes, der für die vorliegende Studie beprobt wurde (nach Moorrees et al 1963, Fig. 6, leicht modifiziert).

Eine serielle Beprobung der Zahnwurzel hätte qualitativere Ergebnisse hervorgebracht, allerdings war diese sowohl aus organisatorischen als auch aus finanziellen Gründen leider nicht durchführbar. Eine solche Probenentnahme hätte außerdem die Zerstörung des gesamten Zahnes zur Folge gehabt¹¹⁴, sodass die Entscheidung auf die geringste destruktive und invasive Methode fiel. Die Probenentnahme erfolgte jeweils vor Ort, am Material aus Stuttgart-Mühlhausen in der Osteologischen Sammlung des Zentrums für Naturwissenschaftliche Archäologie/Arbeitsbereich Paläoanthropologie in Tübingen, und am Material aus Schwetzingen im Landesamt für Denkmalpflege/Osteologie in Konstanz. Die Proben von jeweils 40-80mg Dentin wurden in Mikrozentrifugenröhrchen (*micro centrifuge tubes*) bis zur Laboranalyse aufbewahrt.

¹¹⁴ Siehe z. B. Fuller et al. 2003.

6.1.1.1. Primärdentin

Aufgrund der unterschiedlichen Bildungsorte, Bildungszeitpunkte sowie des unterschiedlichen strukturellen Aufbaus wird zwischen primärem, sekundärem und tertiärem Dentin differenziert (Abb. 11). Primärdentin, oder auch zirkumpulpaes Dentin, ist ein tabuläres Dentin in Zähnen aller zahnenden Säugetiere, welches aus parallel verlaufenden Odontoblasten, nicht-mineralisiertem Prädentin sowie mineralisierter inter-, peri- und eventuell intratabulärer Matrix besteht, und damit keine homogene Schicht darstellt (Goldberg et al. 2012; Baume 1980) (Abb. 12).

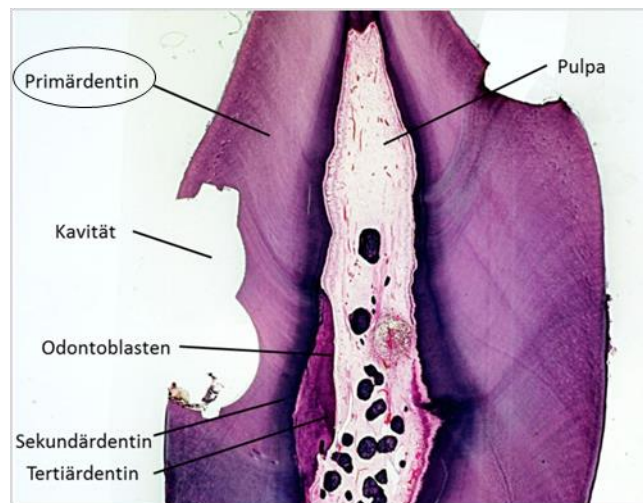


Abb. 11 Längsschnitt eines Oberkiefer-Eckzahnes (Steiniger et al. 2010, Abb.5.5a, modifiziert).

Das Primärdentin ist eine weniger mineralisierte Dentinart, und wurde nach Bödecker (1879, 1894, zitiert nach Baume 1980) als reguläres Dentin definiert, welches sich während der Zahnformationsphase bis zum Abschluss der externen Zahnform bildet (siehe auch Morgenroth, Philippou 1998). Die das Dentin bildenden Odontoblastenzellkörper verlaufen entlang der Dentin-Pulpa-Grenze, und ihre Fortsätze erstrecken sich über die sog. Dentintubuli (feine Hohlräume) bis zur Dentin-Schmelz-Grenze, durch die Nervenfasern verlaufen. Über die Nervenfasern werden wiederum verschiedene Reize wie Schmerz und Druck zur Markhöhle, Pulpa, weitergeleitet (Abb. 12). Die Odontoblasten bilden zunächst das Prädentin, welches bereits Kollagenfasern enthält, die bei der Mineralisation in das Dentin eingelagert werden (Buddecke 1981; Gühring, Barth 1992). Da die Mineralisation des Dentins in Schüben und nicht kontinuierlich abläuft, können auch im zirkumpulpaes Dentin entmineralisierte Dentin-

schichten, die als Wachstumslinien¹¹⁵ interpretiert werden, beobachtet werden. Im Gegensatz zu Phasen der aktiven Sekretion des Prädentins, handelt es sich hierbei um Ruhephasen, in denen kein Prädentin ausgeschieden wird (Gühring, Barth 1992).

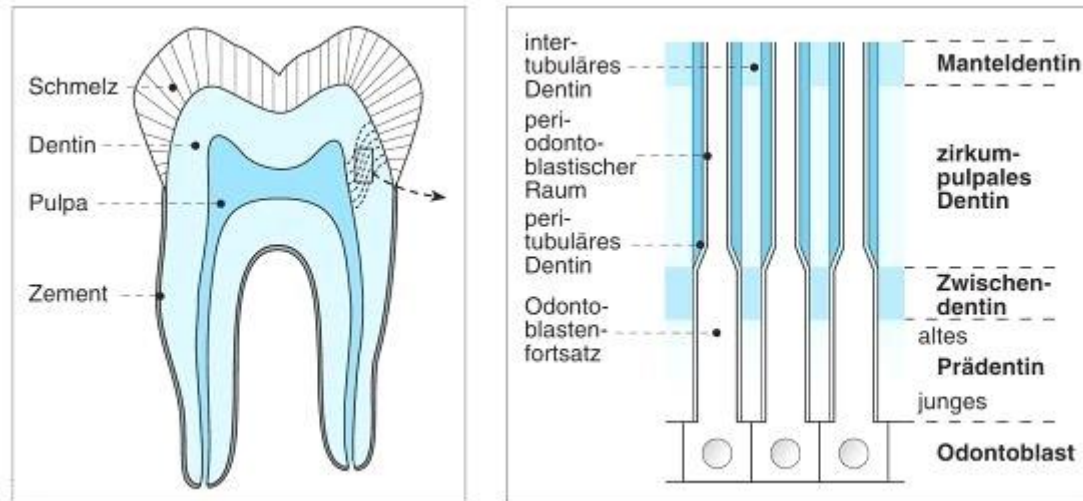


Abb. 12 Zahnaufbau am Beispiel eines Molars (l) und schematische Darstellung der Dentinstruktur (r) (aus Hellwig et al. 2009, Abb. 1.5).

Weil die Odontoblasten unmittelbar an der Pulpa ansetzen, kann hier und nur an dieser Stelle lebenslang neues Dentin als sog. Sekundärdentin durch Biomineralisationsprozesse gebildet werden. Das Sekundärdentin (auch peritubuläres Dentin, Buddecke 1981), das zirkumpulpaes Teil des Primärdentins, wurde von Reich (1907) als *physiological secondary dentine* definiert, welches sich erst nach dem Primärdentin und nach Abschluss des Wurzelwachstums als Reaktion auf normale Okklusionskräfte während der gesamten vitalen Zeit des Zahnes kontinuierlich um die Pulpa herum bildet¹¹⁶.

¹¹⁵ Die als Wachstumslinien interpretierten Linien im Dentin verlaufen mehr oder weniger senkrecht zu den Dentinkanälchen. Dabei wird zwischen zwei Arten unterschieden, die in unterschiedlichen Abständen vorkommen. Die Linien, die im Abstand von 4 µm auftreten, werden Von-Ebner-Linien genannt, und stellen die alle 24 Stunden stattfindende Produktion von Odontoblasten dar. Die anderen Linien, die im Abstand von 20 µm vorkommen, werden Andresen-Linien genannt, und weisen auf Schwankungen in der Aktivität der Odontoblasten (6-10 Tage) hin (Steiniger et al. 2010). Laut Autoren gibt es aber auch sog. Owen-Linien, die auf starke Umwelteinflüsse reagieren. Lehmann et al. (2012, 44) bezeichnen nur die Owen-Linien als Wachstumslinien. Nach anderen Quellen sind es die Ebner'schen Linien, die durch metabolische Störungen im Verlauf der Dentinogenese bedingt durch Beeinträchtigung der Matrixbildung und Mineralisation des Dentins entstehen. Die Owenschen Linien hingegen sollen deutlich hypomineralisierte Wachstumslinien sein, die durch verschiedene allgemeine Erkrankungen während der Kindheit entstehen können (Kandlbinder 2009; Hellwig et al. 1995). Beide könnten wichtige Hinweise auf den allgemeinen Gesundheitszustand der Kinder liefern, da aber am archäologischen Skelettmaterial der Zeitpunkt einer bestimmten Erkrankung nicht bekannt ist, und nur, wenn überhaupt, vermutet werden kann, müssten aufgrund unterschiedlicher Zahnbildungszeiten alle Zähne histologisch untersucht werden, was angesichts der dadurch entstehenden hohen Kosten und des zeitlichen Aufwandes, und insbesondere des Materialverlustes, nur selten und nur in besonders wichtigen Fällen durchgeführt wird, und im Rahmen der vorliegenden Arbeit aus verschiedenen Gründen nicht vorgesehen war.

¹¹⁶ Siehe Abb. 44 bei Baume (1980, 60) zur schematischen Unterscheidung zwischen Primär- und Sekundärdentin. Bei einigen Autoren (z. B. Brothwell 1981, Fig. 2.32; ReKate 1975) wird Tertiär- oder Reizdentin als Sekundärdentin bezeichnet, und als Reaktion auf starke Abrasionskräfte beschrieben.

Sobald die Zähne in Okklusion kommen und der Kontakt zum Antagonisten besteht, beginnt sich das Sekundärdentin zu bilden. Anfänglich ist es eine 10µm dicke Schicht, jedoch werden später nur noch 4µm täglich gebildet (Vital et al. 2012). Die Matrix des Sekundärdentins enthält keine kollagenen Fibrillen (Buddecke 1981). Als körpereigene Abwehrreaktion auf Reize und bakterielle Einflüsse kann im Laufe des Lebens auch das Tertiär- oder Reizdentin (auch irreguläres Sekundärdentin, Budecke 1981) produziert werden. Dabei handelt es sich um mehr oder weniger irreguläres, dysplastisches Dentin mit gering ausgeprägten, irregulär verlaufenden Kanälchenstrukturen, welches sich an Stellen externaler Irritationen zum Schutz der Pulpa ablagert (Abb. 11) (Morgenroth, Philippou 1998; Baume 1980; Vital et al. 2012). Da demzufolge nur das Primärdentin während der Zahnentwicklung bis zum Abschluss des Wurzelwachstums gebildet wird, und nicht mehr umgebaut wird (Vital et al. 2012; Smith, Tafforeau 2008; Cloos, Jensen 2000; Schroeder 1992), eignet sich nur dieses für die hier vorgenommene, stabile Isotopenuntersuchung. Das eventuell zufällige Mitbeprobieren des Sekundärdentins sollte angesichts der sehr langsamen Bildungszeiten desselben um die Pulpa und des diesbezüglich relativ jungen Alters der untersuchten Individuen (frühadult-adult) keinen Einfluss auf Isotopenzusammensetzung des Primärdentins haben. Außerdem ist das Sekundärdentin von allen Dentinstrukturen am stärksten mineralisiert (Hellwig et al. 2012), sodass es auch deshalb den organischen Teil der Dentinprobe kaum verfälschen würde.

Die wenigen von Karies befallenen Zähne, die zum Zweck des Vergleichs mit kariesfreien Zähnen und des Prüfers eines möglichen Einflusses des eventuell mitbeprobten Tertiärdentins auf die Isotopenzusammensetzung, analysiert wurden, werden separat ausgewertet. Diese Untersuchung war schließlich jedoch nur am Material aus Stuttgart-Mühlhausen möglich, da unter den beprobten Molaren von Individuen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen keine waren, die kariöse Läsionen aufwiesen, oder an welchen starke Abrasion beobachtet wurde. Abweichende Ergebnisse bei kariösen Zähnen sind insofern zu erwarten, zumal das als Reaktion auf äußere Reize und zum Schutz der Pulpa gebildete Tertiärdentin einen ganz anderen Zeitpunkt im Leben des untersuchten Individuums widerspiegelt als das Primärdentin. Soweit der Autorin bekannt ist, wurde die Isotopenzusammensetzung des Tertiärdentins in Isotopenstudien an Zähnen bisher nicht erforscht, und derartige Studien scheinen gänzlich zu fehlen.

6.1.2. Knochen

Für die stabile Isotopenanalyse wurden Kollagenproben aus Rippen entnommen (Abb. 13), deren Ergebnisse mit denen der Zähne derselben Individuen, für die die Isotopendaten gewonnen werden konnten (idealerweise M_1 - M_3), in Beziehung gesetzt wurden. Dabei wurden einerseits die verfügbaren $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Isotopendaten der einzelnen Molaren mit denen der Rippen korreliert, und andererseits wurden auch die kumulativen $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Meßwerte der drei Molaren mit den Isotopendaten der Rippen zueinander in Korrelation gebracht, zumal die Zähne, wie die Körperhöhe, als kumulative Größe betrachtet werden können, die Ernährungs- und Gesundheitsgeschichte während der Kindheit und Jugend aufzeichnet. Da die Rippen, wie bereits an anderer Stelle erwähnt, eine aufgrund des höheren spongiösen Anteiles höhere Umbauraten¹¹⁷ aufweisen als etwa die Langknochen, kann angenommen werden, dass die isotopische Zusammensetzung der Rippen am ehesten die isotopische Zusammensetzung der Hauptnahrungsquelle der erwachsenen Individuen wenige Jahre vor ihrem Tod reflektieren würde. Damit wäre zu erwarten, dass die isotopische Zusammensetzung des Kollagens im Dentin der dritten Molaren am besten mit der des Knochenkollagens korrelieren würde, da der dritte Molar deutlich später mineralisiert, und kein Isotopensignal der kindlichen Ernährung mehr in sich tragen sollte, sofern sich diese von der Erwachsenenernährung isotopisch unterscheidet. Um diese Hauptnahrungsquelle schätzen zu können, werden die Ergebnisse der Isotopenanalyse an einigen Tierknochen aus denselben Fundstellen in die Auswertung der eigenen Isotopendaten aus Menschenknochen einfließen. Da nicht alle Knochen isotopisch untersucht werden, sondern nur die Rippen, muss des Weiteren angenommen werden, dass die Interknochenvariabilität innerhalb eines Individuums gering ist, und keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Endergebnisse hat.¹¹⁸

¹¹⁷ Der langsamere Umbau des kompakten Knochens ist auf den hohen Calcium-Gehalt in der dicht aufgebauten Kortikalis zurückzuführen, die somit in Bezug auf den Stoffwechsel träge ist. Die im Gegensatz zur Kortikalis eher luftig aufgebaute Spongiosa hat eine größere Oberfläche und damit eine schnellere Umbaurate.

¹¹⁸ DeNiro und Schoeninger (1983) konnten in experimentellen Untersuchungen an Ratten und Nerzen zeigen, dass die Unterschiede in der Isotopenzusammensetzung im Knochenkollagen zwischen verschiedenen Knochen eines Individuums nur sehr gering sind. Wenige Jahre später verglich Schoeninger (1989) Kohlenstoff- und Stickstoffisotopenverhältnisse in Wirbeln und Oberschenkelknochen von rezenten, im Permafrost entdeckten Menschenskeletten, und konnte ebenfalls keine Unterschiede innerhalb eines Skelettes festmachen. Da es sich im letzten Fall um Knochen mit unterschiedlichen Umbauraten handelt, könnten die gewonnenen Ergebnisse auf ein über einen längeren Zeitraum unverändertes Nahrungsverhalten hindeuten. In der Regel sind jedoch unterschiedliche Ergebnisse zu erwarten, weshalb nach Möglichkeit doch immer die gleichen Knochen an derselben Stelle beprobt werden sollten.



Abb. 13 Probenentnahme aus einer Rippe (Quelle: Hujic).

Die Probenentnahme erfolgte, wie bei den Zähnen, direkt vor Ort, und wurde mit dem gleichen Dremel, allerdings mit einem größeren Bohrer mit einem Kopfdurchmesser von 2,1mm durchgeführt, zumal ca. 80-100mg Knochenmaterial aus den Rippen entnommen wurde.

6.1.3. Laboranalyse

Bevor mit der eigentlichen Laboranalyse begonnen wurde, war es notwendig, zu prüfen, ob das Zahnmaterial von den beiden untersuchten Fundstellen überhaupt genügend gut erhaltenes Kollagen für die beabsichtigte Analyse enthält. Für diesen Zweck wurde das Probematerial von jeweils zwei Individuen aus beiden Fundstellen ins Labor nach Bristol geschickt¹¹⁹. Da die Erhaltung der Zähne am fossilen Material variieren kann, wird kein prozentueller Anteil des Kollagens im Dentin, sondern das Verhältnis zwischen Stickstoff und Kohlenstoff im Kollagen bestimmt. Für die C/N-Analyse wurden die Proben mit Aceton und bidestilliertem Wasser behandelt. Im rezenten Knochen ist Stickstoff mit einem Anteil von $4,0 \pm 0,5$ Gew.-% vertreten, Kohlenstoff mit 14 Gew.-%, sodass durch Messung des C/N-Verhältnisses Informationen zum Kollagengehalt im Knochen gewonnen werden können (Tütken 2004). Da rezentes Kollagen ca. 43% Kohlenstoff und 15-16% Stickstoff enthält (Ambrose 1993; Peitel 2006), ist das C/N-Verhältnis von Aminosäuren aus Kollagen typischerweise 3:1 (Hare et al. 1991; Peitel 2006). Das C/N-Verhältnis im fossilen Skelettmaterial sollte zwischen 2,9 und 3,6% betragen (DeNiro 1985; Ambrose 1990; Schwarcz, Schoeninger 1991), jedoch werden auch C/N-Verhältnisse bis zu 3,9 akzeptiert (McGlynn 2007). Dieser Schritt ist erforderlich, weil das Kollagen mit der Zeit, bedingt durch schlechte Lagerungsbedingungen im Boden, degradieren kann, oder weil es zu Verunreinigungen etwa durch Huminsäure oder andere Bo-

¹¹⁹ Dabei handelt es sich um die Unterkiefer-Molaren eines 30-40 Jahre alten Mannes aus Grab 21 und einer 18-24 Jahre alten Frau aus Grab 42 aus Stuttgart-Mühlhausen sowie eines ca. 30 Jahre alten Mannes aus Grab 26 und einer 30-40 Jahre alten Frau aus Grab 99 aus Schwetzingen.

densubstanzen kommen kann. Variiert das C/N-Verhältnis innerhalb der Toleranzspanne, ist das Kollagen gut erhalten, und die Probe ist für eine Isotopenanalyse geeignet (DeNiro 1985; Ambrose 1990; Stevens, Hedges 2004). Die C/N-Analyse der vier Individuen, die für die Prüfung der Kollagenerhaltung ausgesucht wurden, ergab, dass die Kollagenausbeute der Proben 15-20% erreichte. Mit dieser Information kann die Probenmenge, die für die Kollagenextraktion bzw. stabile Isotopenanalyse notwendig ist, definiert werden. Da eine Kollagenausbeute von über 5% notwendig ist, um sie für die Analyse der stabilen Isotope nutzen zu können (Schwarcz, Schoeninger 1991), bedeuten die Ergebnisse dieser ersten Laboranalyse, dass das Kollagen gut erhalten ist, und dass 5mg Kollagen in einer 100mg-Probe enthalten sein müssten, bzw. dass mit 2,5mg Kollagen eine wiederholte Messanalyse möglich sein sollte. Leider war es nicht möglich, 100mg Probenmaterial aus den Zähnen zu entnehmen, weil nur ein kleiner Abschnitt der oberen Zahnwurzel beprobt wurde. Nach Eriksson¹²⁰ reichen aber auch 50mg Probenmaterial aus, um 1% Kollagen aus der Probe zu gewinnen, welches für die Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenuntersuchung benötigt wird (siehe auch Eriksson, Lidén 2013), sodass die Pilotstudie hoffnungsvoll gestartet wurde, auch wenn von Anfang an, aufgrund der geringen Probenmengen, berechtigte Skepsis bestand, ob am Ende tatsächlich aus allen Proben genügend Kollagen für die Isotopenmessung extrahiert werden kann.

Die Extraktion von Kollagen aus Zahn- und Knochenproben wurde an der Faculty of Humanities der University of Southampton unter der Leitung von Alistair W. G. Pike durchgeführt. Die Methode zu Kollagenextraktion basiert auf einer modifizierten Version von Richards und Hedges (1998). Jede Probe wurde zunächst bei Raumtemperatur mit 0.5M HCl behandelt, welches die mineralische Phase im Gewebe löst. Nach 24h wurden die Proben zentrifugiert und mit Ezee-Filtern filtriert, um Fremdstoffe, welche durch Wurzelhaare und Mikroben eingedrungen sein könnten, auszufällen. Dabei wurde der Überstand entsorgt, und das Filtrat mit Milli-Q-Wasser gereinigt und zentrifugiert. Nachdem dieser Schritt drei Mal wiederholt wurde, und die Proben erneut gefiltert wurden, wurde jeder Probe ca. 2ml pH3 HCl zugegeben. Die Röhrchen wurden danach mit Parafilm umwickelt, und auf einem Hitzeblock bei 70°C für 24h erhitzt. Am dritten Tag wurde das Probenmaterial ins National Oceanography Centre (NOC) in Southampton zur Gefriertrocknung gebracht. Nachdem die Proben gefriergetrocknet waren, und nur noch reines Kollagen in den Röhrchen zu sehen war, wurde von jeder Probe ca. 0,7mg Kollagen eingewogen, bzw., wenn genügend Kollagen vorhanden war, wurde eine weitere Probe von ca. 0,7mg Kollagen für eine weitere Messung eingewogen. Die eingewogenen Kollagenproben wurden schließlich nach Cornwall verschickt, wo in ei-

¹²⁰ Persönliche Mitteilung am 21.02.2013.

nem Massenspektrometer die stabilen Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenverhältnisse in den jeweiligen Proben unter der Leitung von Ken Neal gemessen wurden.

Im Massenspektrometer wird das Verhältnis zwischen dem schweren und dem leichten Stickstoffisotop ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) bzw. Kohlenstoffisotopen ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) immer in Relation zu einem entsprechenden Standard gemessen. Im Falle des Stickstoffs ist es der Luststickstoff (AIR, *Ambient Inhalable Reservoir*, $\delta^{15}\text{N}=0\text{‰}$)¹²¹, und im Falle des Kohlenstoffs, ist es ein fossiler Belemnit aus der sog. *Pee Dee Formation* in South Carolina (PDB = 0.0112372) (Fuller et al. 2006; Hoefs 2009; Schoeninger, Moore 1992) (Abb. 14). Zusätzlich wurde ein Femurknochen eines modernen Rindes als eigener Laborstandard verwendet, der von einem kommerziellen Schlachter bezogen wurde. Weil die Fraktionierungen zwischen den Isotopen während chemischer Reaktionen sehr gering sind, werden sie in *parts per million* (ppm oder ‰) angegeben (Schwarcz, Schoeninger 1991). Ein negativer Wert bedeutet, dass die Probe isotopisch leichter oder weniger positiv als der Standard ist, ein positiver Wert dagegen bedeutet, dass die Probe mit dem s

$$\delta^{15}\text{N}_{\text{coll}} = \frac{(R^{15/14}N_{\text{smpl}} - 1) \cdot 1000}{R^{15/14}N_{\text{air}}} \quad \delta^{13}\text{C}_{\text{coll}} = \frac{(R^{13/12}C_{\text{smpl}} - 1) \cdot 1000}{R^{13/12}C_{\text{PeeDee}}}$$

Abb. 14 Formel zur Messung des Verhältnisses der stabilen Stickstoffisotope ^{15}N zu ^{14}N (l) und der stabilen Kohlenstoffisotope ^{13}C zu ^{12}C (r). R stellt das Verhältnis des schweren zum leichten Isotop dar (Schoeninger, Moore 1992, leicht modifiziert).

Die einzelnen methodischen Schritte zur Kollagenextraktion können je nach verwendeter Labormethode leicht voneinander differenzieren. So wurde im Rahmen dieser Laboranalyse beispielsweise auf die Behandlung mit Natronlauge, um die Huminsäure und Fette aus der Probe zu entfernen, verzichtet, da laut Pike davon ausgegangen werden kann, dass die Proben keine Huminsäure enthalten, und weil dadurch etwas Kollagen verloren gehen könnte, was angesichts der bereits schon sehr geringen Probenmenge weniger sinnvoll gewesen wäre.

Obwohl in dieser Pilotstudie der Schwerpunkt auf $\delta^{15}\text{N}$ gelegt wurde, wurden im selben Arbeitsschritt auch $\delta^{13}\text{C}$ gemessen, da das Verhältnis von ^{13}C zu ^{12}C Aussagen über die Nahrungszusammensetzung erlauben. Je mehr Proteine in der assimilierten Nahrung enthalten sind, umso schwächer wird der Kohlenstoffanteil im Kollagen reflektiert, und je weniger Proteine und mehr Kohlenhydrate in der assimilierten Nahrung enthalten waren, umso mehr Kohlenstoff wird angezeigt.

¹²¹ Aufgrund der guten Durchmischung der Luft ist das Isotopenverhältnis im Falle des Stickstoffs unabhängig von der geographischen Lage und konstant seit Tausenden von Jahren (Herold 2008).

6.2. Allometrische und morphometrische Analyse

6.2.1. Allometrische Analyse zur Erfassung der Körperhöhe

Die metrischen Daten von Langknochen derselben Individuen, von denen die Isotopendaten vorliegen, wurden von Eva Burger-Heinrich für Individuen aus Stuttgart-Mühlhausen und von Joachim Wahl für Individuen aus Schwetzingen erhoben, soweit es die Skelett- und Knochen-erhaltung erlaubte.¹²² Die entsprechenden Messdaten wurden dem Verfasser, wie bereits an anderer Stelle erwähnt, von beiden Bearbeitern freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

Anders als bei der Auswahl der Individuen aus Areal I, war für die Individuen aus Areal II von Stuttgart-Mühlhausen zunächst nur die Liste mit Angaben der Grabnummern, der Datierung sowie der Alters- und Geschlechtsbestimmung der Skelettindividuen vorhanden, sodass basierend auf diesen Kriterien die erste Vorauswahl für die Probenentnahme und Isotopenanalyse erfolgen musste. Als dem Verfasser später eine kurze Grab- und Skelettbeschreibung sowie die metrischen Daten von Burger-Heinrich bereitgestellt wurden, stellte sich heraus, dass nicht von allen an Zähnen beprobten Individuen alle Langknochenmaße, bzw. bei einigen auch nicht die wichtigsten Längenmaße, aufgenommen und bei diesen Individuen folglich auch die Körperhöhe nicht geschätzt werden konnte.

Die verfügbaren Messdaten der für diese Untersuchung präferierten Ober- und Unterextremitäten beider Geschlechter aus beiden Fundstellen wurden, wie bereits an anderer Stelle erwähnt, mit aus Zähnen gewonnenen Isotopendaten aller verfügbaren Molaren derselben Individuen miteinander in Beziehung gesetzt¹²³. Mit den einzelnen Knochenmaßen wurden auch die kumulativen $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Molaren korreliert, zumal nicht von allen Individuen alle Zähne vorhanden waren bzw. beprobt werden konnten. Auch wenn Klein Goldewijk und Jacobs (2013) daran appellieren, dass keine Körperhöhe aus Langknochenmaßen geschätzt werden, sondern ausschließlich mit Rohdaten gearbeitet werden sollte, weil abhängig vom für die Körperhöhenschätzung verwendeten Knochen (bei Verwendung gleicher Formel) unterschiedliche Ergebnisse herauskommen können, war sie im Rahmen dieser

¹²² Im optimalen Fall sind die zu vergleichenden Fundstellen bzw. Individuen vom selben Bearbeiter untersucht worden, sodass eine bessere Vergleichbarkeit der Daten gewährleistet werden kann. Der Problematik bei der Datenerhebung seitens unterschiedlicher Bearbeiter und einer gewissen Subjektivität und leicht unterschiedlicher Vorgehensweise, auch bei Verwendung gleicher Messstrecken und Instrumentalien, ist sich die Autorin bewusst.

¹²³ Zwar hat die x-Achse immer Auswirkungen auf die y-Achse, bzw. der Wert auf der y-Achse wird immer in Abhängigkeit von dem Wert auf der x-Achse dargestellt, und folglich sollten nach der in dieser Pilotstudie angenommenen Hypothese die Langknochenmaße bzw. die Körperhöhe auf der y-Achse dargestellt werden. Da es sich jedoch nur um eine Annahme handelt, dass nämlich die Isotopenwerte in der Nahrung bzw. die sie repräsentierenden Proteine einen Einfluss auf das Längenwachstum haben, welche in dieser Studie geprüft wird, und weil sowohl die Ernährung als auch das Längenwachstum zum Teil genetisch determiniert sind, und außerdem auch in anderen Studien (McGlynn 2007, Fig. 10.4; Lösch 2009, Abb. 87 und Abb. 88) dieses vermutende Abhängigkeitsverhältnis bei der graphischen Darstellung nicht berücksichtigt wurde, wird es hier auch vernachlässigt und die Daten sollen vielmehr diskriptiv analysiert werden.

Arbeit dennoch notwendig. Einerseits standen nicht alle Langknochen bzw. nicht immer die gleichen Knochenmaße zur Verfügung, sodass nicht immer die gleichen Korrelationen möglich waren, was die Vergleichbarkeit der Daten erschwert hätte. Andererseits wäre durch die ehe schon geringe Probenanzahl, und die unglücklicherweise labortechnisch bedingten Probenverluste (siehe Kapitel 7) keine statistische Auswertung möglich gewesen, wenn nur die Individuen berücksichtigt worden wären, von denen die gleichen Knochen erhalten bzw. die Messdaten verfügbar waren. Mit der Schätzung der Körperhöhe¹²⁴ konnte der Datensatz für die statistische Auswertung erweitert werden. Die so geschätzte Körperhöhe als kumulative Größe aus Langknochen wurde dann mit dem kumulativen Wert der Molaren in Beziehung gesetzt. Da sowohl die Rohdaten als auch die geschätzten Körperhöhen in die Auswertung eingingen, war es möglich zu prüfen, ob und wenn ja, wie stark die Ergebnisse, bezogen auf die Arbeit von Klein Goldewijk und Jacobs, voneinander abweichen.

Für die Schätzung der Körperhöhe wurde die einfache Regression nach Pearson (1899, Tab. XIV für Männer und Tab. XV für Frauen) verwendet, die auf der Skelettserie von Rollet (1888) aus Frankreich basiert, da sie auf Daten von Individuen vor der säkularen Akzeleration beruhen, und sich als besonders geeignet für mitteleuropäische prähistorische Skelette erwiesen hat (Siegmund 2012; Formicola 1993; Kozak 1996; Herrmann et al 1990; Schmidt et al. 2007).¹²⁵ Die aus der Summe verschiedener, erhaltener Langknochen ermittelte Körperhöhe eines Individuums ist deshalb ungenau und sollte vermieden werden, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass alle Langknochen gleichermaßen an der Entwicklung der Körperhöhe beteiligt sind, insbesondere nicht die Ulna und die Fibula, wie bereits gezeigt werden konnte (Kurth 1954). Kurth (1954) empfiehlt, sich deshalb nur auf die vier Langknochen, Humerus, Radius, Femur und Tibia, zu beschränken, um eine gleichwertige Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten.¹²⁶ Für die Schätzung der Körperhöhe wurde deshalb vorzugsweise die Regressionsgleichung mit der größten Länge des Femurs (F1) verwendet, weil dieser Knochen am häufigsten vollständig erhalten war, und seine Längenmaße somit verfügbar waren, und weil sich Femur am besten für die Schätzung der Körperhöhe eignet (Schmidt et al.

¹²⁴ Normalerweise nimmt die Körperlänge bei beiden Geschlechtern ab dem 30. Lebensjahr um durchschnittlich 0,06cm pro Jahr ab (Trotter, Gleser 1952). Strelka et al. (1976) konnten in ihrer Studie an 122 Frauen zwischen 20 und 56 Jahren aus Bratislava ebenfalls eine Abnahme der Körperhöhe in Abhängigkeit vom Alter feststellen, wobei die 20-24-Jährigen am größten waren, und die Körpergröße danach kontinuierlich abnahm. Auch Büchi (1950) untersuchte an sechs Altersgruppen ab 20 Jahren, mit denen er die gesamte Lebensspanne umfasste, das postpubertäre Wachstum, und fand heraus, dass zumindest an seinen Probanden aus der Schweiz, die Körperlänge im Alter von 20 bis 29 Jahren um 0,5cm zunahm, bis 45 Jahre konstant blieb und danach abnahm. Diese Angaben beziehen sich allerdings auf den Rumpfbereich. In dieser Arbeit wird die Körperhöhe anhand von Langknochen geschätzt, welche von dieser altersbedingten Längenabnahme nicht betroffen sind.

¹²⁵ Verschiede existierende Formeln zur Schätzung der Körperhöhe sind bei Siegmund (2010) vergleichend dargestellt und kommentiert. Eine Hilfestellung für die Entscheidung, welche Formel für die Körperhöhen-schätzung des eigenen zu untersuchenden Materials die beste ist, gibt ebenfalls Siegmund (2012).

¹²⁶ Natürlich kann es aber auch Rumpflängenunterschiede geben, die die Ergebnisse erheblich beeinflussen können.

2007; Waldron 1998; Gehring 2001; Kurth 1954; Breul 1974). Wenn dieser Knochen nicht erhalten war, wurde mit der Länge der Tibia (T1b¹²⁷) gerechnet, zumal Tibia nach Schmidt et al. (2007) genauso gut wie das Femur für die Körperhöhenschätzung geeignet ist, bzw. weil allgemein untere den oberen Extremitäten hierbei vorgezogen werden sollten (Herrmann et al. 1990). Wenn beide Knochen nicht erhalten waren, wurden Humerus und Radius hinzugezogen, für die anthropometrische Maße (jeweils die größte Länge) erhoben wurden.¹²⁸ Da sich die Formeln nach Pearson auf die Knochen der rechten Körperseite beziehen, wurden immer die rechten Langknochen, sofern sie erhalten waren, für die Körperhöhenschätzung herangezogen. Waren nur die Knochen der linken Körperseite erhalten, wurde dann mit ihnen unter Berücksichtigung der von Pearson angegebenen Korrekturkonstante für die Knochen der linken Körperseite gerechnet. Auch wenn Seitenunterschiede in Längenmaßen der einzelnen Extremitätenknochen durchaus vorkommen können, wird das Ergebnis laut Siegmund (2012, Tab. 3) nicht verzerrt, wenn nur eine Seite für die Körperhöhenschätzung verwendet wird. Um die geschätzten Körperhöhen der Individuen beider hier behandelten Gräberfelder miteinander vergleichen zu können, wurden für beide dieselben Schätzformeln nach Pearson verwendet.¹²⁹ Dabei muss berücksichtigt werden, dass die zu vergleichenden Körperhöhen immer nur als Näherungswerte zu verstehen sind.

Ferner sollte geprüft werden, ob die Bildungszeiten der beprobten Zahnabschnitte eventuell den bekannten Phasen der Wachstumsschübe entsprechen. Wird von stärksten Veränderungen in der Körperhöhe oder Wachstumsgeschwindigkeit in der frühen Kindheit ausgegangen, so gibt es zwei Wachstumsschübe, die die Kinder und Jugendliche normalerweise durchlaufen. Zum einen ist es der sog. *mid-growth spurt* (erste Streckung) i. d. R. zwischen 6-8 Jahren (Tanner 1962; Kayser 1987) und zum anderen der sog. *adolescent growth spurt* (zweite Streckung oder Pubertätswachstumsschub) i. d. R. zwischen 13-15 Jahren (Tanner 1978, 1966; Floud et al. 1990; Hermanussen, Meigen 2007; Bogin, Smith 1996)¹³⁰ (Abb. 15).

¹²⁷ In der Pearson-Formel wird dieses Tibia-Maß für die Berechnung der Körperhöhe verwendet.

¹²⁸ Pearson gibt zwar jeweils 10 Regressionsformeln für beide Geschlechter an, und empfiehlt, alle Formeln zu verwenden, und daraus dann das arithmetische Mittel zu bilden. Diese Vorgehensweise war jedoch aus der bereits beschriebenen Erhaltungslage des Knochenmaterials in dieser Arbeit nicht möglich, und angesichts der Tatsache, dass Extremitätenknochen unterschiedlich stark am Längenwachstum beteiligt sind und dieses damit unterschiedlich stark beeinflussen, erscheint diese Vorgehensweise wenig sinnvoll.

¹²⁹ Die Rohdaten werden ebenfalls angegeben, um für weitere hierauf bezogene Studien die Vergleichbarkeit mit anderen Populationen zu ermöglichen, bei denen die Bearbeiter andere Schätzformeln als die von Pearson verwendet haben.

¹³⁰ Einen Überblick über zahlreiche Wachstumsstudien in Europa und Amerika mit dazugehöriger Autorenliste und Literatur geben Hermanussen et al. 1998, Tab. 1a und Tab.1b.

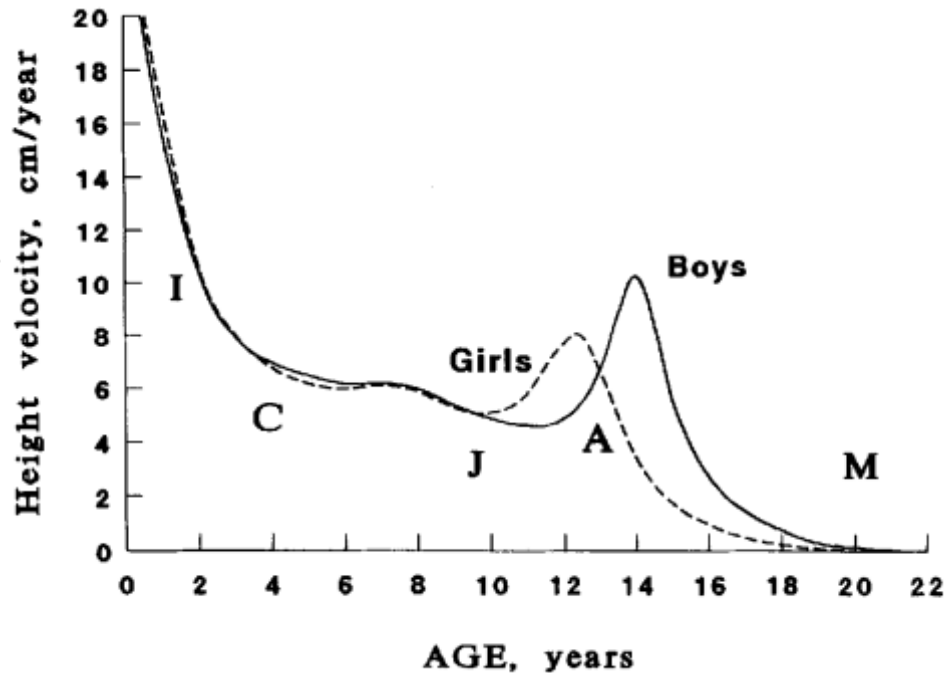


Abb. 15 Idealisierte durchschnittliche Wachstumsgeschwindigkeit für gesunde Mädchen und Jungen. I = infancy, C = childhood, J = juvenile, A = adolescence, M = mature adult (aus Bogin, Smith 1996, Fig. 3).

Obwohl auch der *mid-growth spurt* bei beiden Geschlechtern zu sehen und auch statistisch gesichert ist (Prader 1981), gibt es kaum Unterschiede in seinem zeitlichen Auftreten zwischen den Geschlechtern. Ganz im Gegensatz zum *adolescent growth spurt*, den die Mädchen etwas früher erreichen (Tanner 1962, Fig. 35) (11-13 Jahre) als die Jungen (13-15 Jahre) (Bogin, Smith 1996)¹³¹. Dabei ist bei den Jungen eine Größenzunahme von bis zu ca. 20cm, bei den Mädchen von höchstens ca. 8cm im Jahr zu verzeichnen (Tanner 1962), was schließlich zu den bekannten Größenunterschieden der Geschlechter im Erwachsenenalter führt. In dieser Zeit sind die Heranwachsenden besonders empfindlich gegenüber Nahrungsmangel und Krankheiten, da ihr Körper mehr Energie und Proteine für das Körperwachstum benötigt, als in Phasen zwischen den Wachstumsschüben. So sind auch die empfohlenen Referenzwerte für Nährstoffzufuhr für diese Individuen höher, manchmal sogar um bis zu 80% höher als für adulte Individuen (Johnston 1980, Tab. 4; siehe auch Stang, Story 2005; EUFIC 2006; Barasi 2003).¹³² Die Wachstumsgeschwindigkeit sowie das Ausmaß des Wachstumsschubes können also stark durch nicht ausreichende Nährstoffdeckung verzögert bzw. beeinträchtigt werden

¹³¹ In der Literatur finden sich auch andere Angaben zum Beginn der Pubertät, abhängig vom Wohnort, ethnischer Zugehörigkeit, sozialem Status und allgemeinem körperlichen Zustand der untersuchten Kinder. Beispielsweise setzt nach Schnabel (2009) und Cameron und Demerath (2002) die Pubertät bei Mädchen im Durchschnitt mit zehn Jahren, bei Jungen mit zwölf Jahren ein. Kayser (1987) gibt für Mädchen 12-14 Jahre, für die Jungen 13-14 Jahre an.

¹³² Im Gegensatz dazu zeigte die Studie von Aerenhouts et al. (2013) an jugendlichen Sprint-Athleten, dass bei ihnen die durchschnittliche, altersgerechte Proteinaufnahme auch während ihrer Wachstumsschübe ausreichte, um die positive Stickstoff-Bilanz aufrechtzuerhalten, und dass die Proteinaufnahme in dieser Zeit demzufolge nicht erhöht werden musste.

(Evelett, Tanner 1976). Außerdem scheinen diese Wachstumsschübe vor allem am Femur und Humerus deutlich erkennbar zu sein, wie bei der Untersuchung von Stloukal und Hanáková (1978) an jährlichen Zuwachsraten verschiedener Langknochen von Skelettindividuen einer altslawischen Bevölkerung von Mikulčice beobachtet wurde, sowie von Welte und Wahl (2010) am Femur bei einer Stichprobenuntersuchung an subadulten Individuen aus den beiden hier untersuchten linienbandkeramischen Gräberfeldern von Stuttgart-Mühlhausen und Schwetzingen.

6.2.2. Morphometrische Analyse zur Bewertung der Robustizität

Da der menschliche Bewegungsapparat in der Lage ist, sich der auf ihn einwirkenden physischen Belastung durch Knochenaufbau (Aktivitätshypertrophie) bzw. Knochenabbau (Inaktivitätsatrophie) an betreffenden Stellen anzupassen, können die dadurch hervorgerufenen Veränderungen am Knochen Hinweise auf die Art, die Intensität und die Dauer der Belastung liefern. Dieser Prozess ist als das sog. Wolff-Roux-Gesetz bekannt (Willie et al. 2013; Hall 2005).¹³³ Obwohl der Knochenaufbau hauptsächlich in der Wachstumsphase erfolgt, kann sich der Knochen bei extremer oder regelmäßiger Belastung auch im Erwachsenenalter an die Belastung anpassen, und diese Anpassung kann sich dann am Knochen manifestieren, um ein Gleichgewicht zwischen den auf ihn einwirkenden Kräften zu erreichen. Die Dicke der Knochen deutet auf die Stärke des Drucks hin, der auf den Knochen ausgeübt wurde. Die Untersuchung der Robustizitätsindices kann somit Hinweise auf die Intensität der physischen Belastung und damit auf hohe Muskelaktivität und körperliche Schwerarbeit liefern, auf Körperseitenbevorzugung, sowie auf mögliche geschlechtsspezifische Arbeitsteilung. Dabei werden jeweils die Umfänge der langen Extremitätenknochen in Beziehung zu ihrer größten Länge gesetzt (Martin 1928). Je dicker der Knochen, umso höher sind die Index-Werte. Allerdings kann die Robustizität auch einen genetischen Charakter haben, und als solche charakteristisch für eine ganze Population sein (Strott 2007).

Um das Skelettmaterial hinsichtlich der physischen Belastung zu untersuchen, wurden drei Robustizitätsindices (Herrmann et al. 1990) für die hier interessierenden Individuen erhoben. Dabei wurden nur die Individuen berücksichtigt, für die die entsprechenden Messwerte

¹³³ Auch im Tierversuch an lebenden Mäusen konnte gezeigt werden, dass sich vor allem dort neuer Knochen gebildet hat, wo der lokale mechanische Reiz hoch war, und dass er an Stellen mit geringen mechanischen Reizen abgebaut wurde (Schulte et al. 2013).

beider Körperseiten, d. h. des rechten und des linken Humerus bzw. des Femurs, verfügbar waren.

Für die Berechnung des Humerus Längen-Dicken-Index wird der kleinste Umfang der Diaphyse durch seine größte Länge geteilt, um Hinweise auf die Händigkeit bzw. auf die Seitenunterschiede hinsichtlich einer stärkeren Belastung des rechten oder linken Oberarmes zu bekommen.

$$\text{Humerus-Längen-Dicken-Index} = \frac{\text{kleinster Umfang Diaphyse (M7)}^{134}}{\text{größte Länge (M1)}} \times 100$$

Die Klassifizierung beim Humerus-Längen-Dicken-Index erfolgt oft nach dem von Ullrich (1966) angegebenen Trennwert für den Humerus (Humerus = 20,48). Da Ullrich zwischen den Geschlechtern nicht differenziert, kann derselbe Trennwert jedoch nicht für Männer und Frauen verwendet werden. Unabhängig davon ist es sinnvoller, für die jeweils untersuchte Population eine Spannweite für beide Geschlechter anzugeben, da die Frauen in manchen Populationen robuster als die Männer in anderen Populationen sein können.¹³⁵ Aus diesem Grund wurde der von Ullrich angegebene Trennwert hier nicht berücksichtigt, sondern es wurde jeweils der Minimal-, der Maximal- und der Mittelwert berechnet und die Spannweite für die untersuchte Stichprobe ermittelt. Indexwerte, die unterhalb des Mittelwertes lagen, wurden als geringer belastet gewertet, Indexwerte, die oberhalb des Mittelwertes lagen, wurden als stärker belastet gewertet. Je höher die Werte des Humerus-Längen-Dicken-Index sind, desto stärker war der Humerus belastet, und desto robuster erscheint der Knochen.

Mit Hilfe des Femur-Robustizitätsindex können Aussagen über eine Seitenbevorzugung bezüglich des Oberschenkelknochens beim untersuchten Individuum getroffen werden. Mit diesem Index wird das Verhältnis des sagittalen und transversalen Durchmessers der Diaphysenmitte des Femurs zur ganzen Femurlänge beschrieben.

$$\text{Femur-Robustizitätsindex} = \frac{\text{sagittaler (M6) + transversaler (M7) Durchmesser Diaphysenmitte}}{\text{ganze Länge (M2)}} \times 100$$

Wie für den Humerus-Längen-Dicken-Index wurde auch für den Femur-Robustizitätsindex ein Mittelwert und eine nach Geschlechtern getrennte Spannweite für die berücksichtigten Individuen ermittelt. Indexwerte, die niedriger als der Mittelwert waren, wurden mit geringe-

¹³⁴ Die Zahlen in Klammern beziehen sich auf das entsprechende Maß nach Martin (1928), in diesem Fall Maß 7.

¹³⁵ Persönliche Mitteilung von Zuzana Obertová und Steve Zäuner (03.03.2015).

rer physischer Belastung, und Indexwerte, die höher als der ermittelte Mittelwert waren, wurden mit stärkerer physischer Belastung in Verbindung gebracht. Auch für diesen Index gilt, je höher die Index-Werte, desto stärker war die Belastung des Femurs.

Der Femur-Index platymericus beschreibt das Verhältnis des oberen sagittalen zum oberen transversalen Durchmesser der Femurdiaphyse.

$$\text{Femur-Index platymericus} = \frac{\text{oberer sagittaler Durchmesser (M10)} \times 100}{\text{oberer transversaler Durchmesser (M9)}}$$

Je kleiner der Index-Wert, desto flacher ist die proximale Femurdiaphyse, und desto stärker war die Mobilität des untersuchten Individuums. Das liegt an der für das Gehen verantwortlichen Muskulatur, die hier ansetzt, wodurch der betreffende Knochen mit verstärktem transversalem Dickenwachstum auf die Zugbelastung reagiert, wodurch es zur Abflachung des oberen Diaphysendurchmessers und damit zur Vergrößerung der Angriffsfläche kommt (Czermak 2011; Strott 2007). Die niedrigen Index-Werte weisen somit auf flacheren Querschnitt und auf stärkere Mobilität des Individuums hin. Die Klassifikation erfolgte nach Martin (1928) in platymer (75 bis 84,9), eurymer (85 bis 99,9) und stenomer (größer 100), wobei auch bei Martin die geschlechtsbezogene Trennung bei den angegebenen Spannbreiten fehlt.

Obwohl diese Indices für die Individuen von Stuttgart-Mühlhausen bereits berechnet wurden, wurden sie alle vom Verfasser, nachdem für Stuttgart-Mühlhausen Unstimmigkeiten aufgefallen waren¹³⁶, neu berechnet. Für die Individuen aus Schwetzingen wurden die Indices anhand der von Wahl erhobenen metrischen Daten ebenfalls vom Verfasser selbst ermittelt.

Grundsätzlich stellt sich jedoch die Frage, wie stark bzw. wie intensiv eine physische Belastung sein muss, um solche Veränderungen im Knochendickenwachstum hervorzurufen, die sich am Knochen manifestieren, und schließlich mit den oben beschriebenen Indices erfassbar und messbar sind. Die degenerativen Veränderungen sind zwar eine natürliche Begleiterscheinung des biologischen Alterns, entstehen jedoch auch bei jüngeren Individuen als Folge übermäßiger physischer Belastung (Schmorl, Junghans 1968).

¹³⁶ Teilweise wurden Indexwerte für beide Körperseiten angegeben, obwohl das eine oder andere, für die Berechnung des Index benötigte Maß nur für eine oder gar keine Körperseite vorhanden war.

6.3. Statistische Analyse

Das Ziel der statistischen Auswertung der Stickstoff- und Kohlenstoffisotopendaten sowie der metrischen Daten war es, die Zusammenhänge zwischen zwei oder mehreren Variablen zu beschreiben. So war beispielsweise nicht nur vom Interesse, ob bei einem Individuum eine große oder kleine Körperhöhe ermittelt wurde, sondern auch, ob diese etwa durch Ernährung beeinflusst wurde. Für die grundlegenden statistischen Analysen wie t-Test und Regressionsanalyse wurde das Computerprogramm SPSS 21 verwendet. In erster Linie wurde mittels der Regressionsanalyse geprüft, ob ein linearer Zusammenhang zwischen der Ziel- und der Einflussvariable besteht. Wurde ein linearer Zusammenhang beobachtet, wurden mittels des Korrelationskoeffizienten (r) nach Pearson die Stärke und die Richtung des Zusammenhangs untersucht. Bei $r = \pm 1$ besteht ein perfekter linearer Zusammenhang, bei $r = 0$ besteht kein linearer Zusammenhang. Die Trendlinie wurde nur ab einem $r > 0,2$ in der Graphik angezeigt, sodass die sehr schwachen linearen Zusammenhänge nicht berücksichtigt wurden. Wie gut die Daten von der Trendlinie beschrieben werden, kann anhand des Bestimmungsmaßes r^2 bewertet werden, der hier in r , wie es in der Statistik üblich ist, angegeben wurde. Um zwei Gruppen miteinander zu vergleichen, und um zu prüfen, ob die gefundenen Unterschiede zufällig oder statistisch signifikant sind, wurde der zweiseitige t-Test für unabhängige Stichproben (ungepaarter t-Test) angewandt, da die hier gewonnenen Daten höchstens geringfügig von einer Normalverteilung abweichen und ein Test auf Normalverteilung nicht signifikante Ergebnisse bei dieser Stichprobengröße ergibt.¹³⁷ Das Ergebnis des t-Tests wird in p-Wert angegeben. Dabei wird angenommen, dass das Signifikanzniveau bei $p < 0,05$ liegt.¹³⁸

¹³⁷ Mündliche Mitteilung von Marcus Groß (Fachbereich Wirtschaftswissenschaft, Freie Universität Berlin) am 03.03.2015. Außerdem sei das Vorgehen, erst auf Normalverteilung zu testen sehr umstritten, was insbesondere daran liegt, dass auch die nonparametrischen Verfahren Annahmen (Symmetrie, gleiche Form der Verteilung) treffen, die sich kaum überprüfen lassen und gegen die der t-Test wiederum robust ist.

¹³⁸ $p < 0,001$ Unterschied höchst signifikant; $p < 0,01$ Unterschied hoch signifikant; $p = 0,05$ Unterschied knapp signifikant; $p = 0,08$ Unterschied knapp nicht signifikant; $p = 0,29$ Unterschied klar nicht signifikant; $p = 0,73$ Unterschied klar nicht signifikant (Schendera 2007). anaquestra.de/portals/h2110501/story_docs/.../Signifikanz-Diskussion.pdf (Stand: 21.02.2015).

7. Ergebnisse

Bei der Auswertung der gewonnenen Daten wurden die hier untersuchten Gräberfelder zunächst einzeln nach im Kapitel 4 beschriebenen Aspekten analysiert, bevor dann im nächsten Kapitel bei der Interpretation der Daten ein kurzer Vergleich zwischen Areal I des Gräberfeldes von Stuttgart-Mühlhausen und dem Gräberfeld von Schwetzingen vorgenommen wurde.

7.1. Das Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen ,Viesenhäuser Hof‘

7.1.1. $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der Molaren

Von dem für die stabile Isotopenanalyse beprobten Zahnmaterial konnten für 30 von 32 Molaren aus der mittleren und jüngeren Phase der Linienbandkeramik (Areal I) brauchbare Ergebnisse gewonnen werden. Von allen 12 Individuen aus diesem Gräberfeldareal sind somit mindestens zwei Zähne in die Auswertung eingegangen, 12 erste, 10 zweite und 8 dritte Molaren. Aus einem dritten Molar konnten keine Daten gewonnen werden, da nach einer Vermischung der Proben in Cornwall seitens der dortigen Mitarbeiter vor der Isotopenmessung im Massenspektrometer nicht genügend Kollagen für eine erneute Messung vorhanden war. Bei einer bereits extrahierten Kollagenprobe aus einem dritten Molar musste aufgrund eines Stromausfalls während der Lagerung der Probe in einer Gefriertruhe im National Oceanography Center (NOC) in Southampton von einer Kontamination mit anderen, dort gelagerten organischen Materialien ausgegangen werden, sodass die Probe nicht mehr für die Messung der Isotopenverhältnisse herangezogen werden konnte. Aus der älteren Phase der Linienbandkeramik (Areal II) ist es gelungen, aus 35 von 43 Molaren Isotopendaten zu gewinnen. Bei 5 Molaren (2 erste und 3 zweite Molaren) war das C/N-Verhältnis höher als 3,9, sodass diese Proben von der Auswertung ausgeschlossen werden mussten. Von drei Molaren (1 erster und 2 dritte Molaren) konnte ebenfalls entweder nicht ausreichend Kollagen aus dem Probematerial für eine wiederholte Isotopenmessung gewonnen werden, oder die Proben waren während der Lagerung in einer Gefriertruhe im NOC kontaminiert (s. o.). Somit konnten aus Areal II insgesamt 13 erste, 12 zweite und 10 dritte Molaren in die Auswertung eingehen. Bis auf ein Individuum, bei dem die Isotopenanalyse nur aus einer Zahnprobe verlässliche Daten lieferte, konnten bei allen anderen Individuen (16 Individuen bzw. 94%) Isotopendaten für mindestens 2 Zähne bei der Auswertung berücksichtigt werden (Tab. 4).

Grab	Alter	Geschlecht	Datierung	M ₁			M ₂			M ₃			$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$
				C/N	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	C/N	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	C/N	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$		
Areal I														
I-20	30-40	m	LBK	3,3	9,5	-20,3	3,3	9,3	-20,1				9,4	-20,2
I-21	20-25	w	spätes Flomborn	3,2	9,7	-21,2	3,6	9,9	-21,0				9,8	-21,1
I-25	20-30	m	LBK	3,3	8,8	-21,4	3,6	8,9	-21,2	3,3	10,4	-21,1	9,4	-21,2
I-33	30-40	w	LBK?	3,6	9,8	-21,1	3,6	10,2	-21,5	3,6	10,4	-20,9	10,1	-21,2
I-34	20-30	w	mittlere-jüngere LBK	3,6	8,7	-22,5				3,2	9,9	-21,0	9,3	-21,7
I-36	20-30	m	mittlere-jüngere LBK	3,7	10,1	-22,0	3,6	9,9	-21,9	3,5	10,8	-21,3	10,3	-21,7
I-37	30-40	w	jüngere LBK	3,5	10,5	-21,4	3,4	10,4	-20,3	3,6	10,9	-21,8	10,6	-21,2
I-43	20-30	m	LBK?	3,3	10,0	-21,0	3,5	10,3	-21,1	kD	kD	kD	10,1	-21,0
I-47	30-40	m	jüngere LBK	3,3	8,4	-21,8	3,7	9,7	-20,9	4,4	10,4	-23,7	9,0	-21,3
I-48	30-40	m	LBK	3,5	9,9	-20,6	3,4	9,4	-20,1	3,4	10,6	-20,5	10,0	-20,4
I-55	20-30	w	jüngere LBK	3,4	9,7	-21,2	3,2	9,7	-20,4	3,4	10,3	-20,7	9,9	-20,8
I-61	30-40	w	LBK	3,5	8,8	-20,8				3,4	9,8	-21,4	9,3	-21,1
Areal II														
II-21	30-40	m	LBK	3,8	9,2	-21,8				3,3	10,4	-21,4	9,8	-21,6
II-22	20-25	w	LBK	3,6	10,1	-21,6	3,3	9,5	-20,5				9,8	-21,0
II-27	20-25	m	LBK	3,6	9,7	-20,6	4,1	10,2	-22,5				9,7	-20,6
II-30	20-30	m	Flomborn	3,6	9,0	-21,4	3,5	9,1	-20,3	kD	kD	kD	9,0	-20,9
II-35	20-25	w	Flomborn	3,6	9,5	-20,8	4,0	9,3	-21,2				9,5	-20,8
II-42	18-24	w	Flomborn(Strien 2A)							3,5	10,1	-22,3	10,1	-22,3
II-43	22-25	w	Flomborn (Strien 2A)	3,8	10,8	-21,4	3,2	10,3	-20,7	3,3	10,7	-21,0	10,6	-21,0
II-44	25-30	m	Flomborn (Strien 2A)	3,6	9,7	-20,7	3,5	9,7	-21,1				9,7	-20,9
II-45	22-27	w	älteste LBK	3,4	10,3	-21,1	3,6	9,3	-20,8	3,3	8,6	-21,6	9,4	-21,2
II-54	25-35	w	Flomborn	4,6	8,8	-22,0	3,3	9,3	-20,6	3,4	9,6	-20,5	9,4	-20,5
II-57	25-40	m	Flomborn (Strien 2A)	kD	kD	kD	11,4	5,3	-26,6	3,6	10,1	-21,8	10,1	-21,8
II-58	22-27	w	LBK?	4,3	7,6	-21,7	3,9	8,4	-21,1	3,6	9,3	-20,9	8,8	-21,0
II-78	22-30	m	ältere LBK	3,5	10,4	-21,2	3,6	9,5	-21,0	kD	kD	kD	9,9	-21,1
II-83	20-30	m	ältere LBK	3,5	10,7	-21,1	3,4	9,5	-21,0	3,2	9,9	-20,2	10,0	-20,8
II-107	30-40	m	jüngere LBK?	3,7	8,9	-20,6	3,6	11,2	-21,5	3,3	10,2	-22,0	10,1	-21,4
II-111	30-40	m	Flomborn	3,2	9,4	-20,3	3,2	9,6	-20,5	3,3	10,3	-20,8	9,8	-20,5
II-133	22-25	w	LBK	3,4	8,9	-21,7	3,5	8,8	-20,4				8,8	-21,0

Tab. 4 Ergebnisse der stabilen N- und C-Isotopenanalyse an Zähnen von Individuen aus Stuttgart-Mühlhausen. Grau = C/N-Verhältnis > 3,9; m = männlich, w = weiblich, kD = keine Daten. Mw = Mittelwert. Datierung nach Knipper, im Druck und Price et al. 2003. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰.

Bevor die Stickstoff- und Kohlenstoffisotopendaten mit den Langknochenmaßen bzw. den geschätzten Körperhöhen korreliert werden, soll zunächst geprüft werden, ob Unterschiede in stabilen N- und C-Isotopenverhältnissen zwischen den beiden Gräberfeldarealen sowie zwischen den Geschlechtern und den einzelnen Molaren erkennbar sind.

Der erste grobe Vergleich der gewonnenen stabilen Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenverhältnisse im Primärdentin der Molaren zwischen den beiden Gräberfeldarealen, Areal I und Areal II, zeigt unabhängig vom Geschlecht und vom untersuchten Zahn, ein homogenes Bild bezüglich der Nahrungszusammensetzung. Damit lässt sich zunächst kein Unterschied im Ernährungsverhalten der Individuen aus der älteren und der mittleren und jüngeren Linienbandkeramik während ihrer Kindheit und Jugend erkennen (Abb. 16).

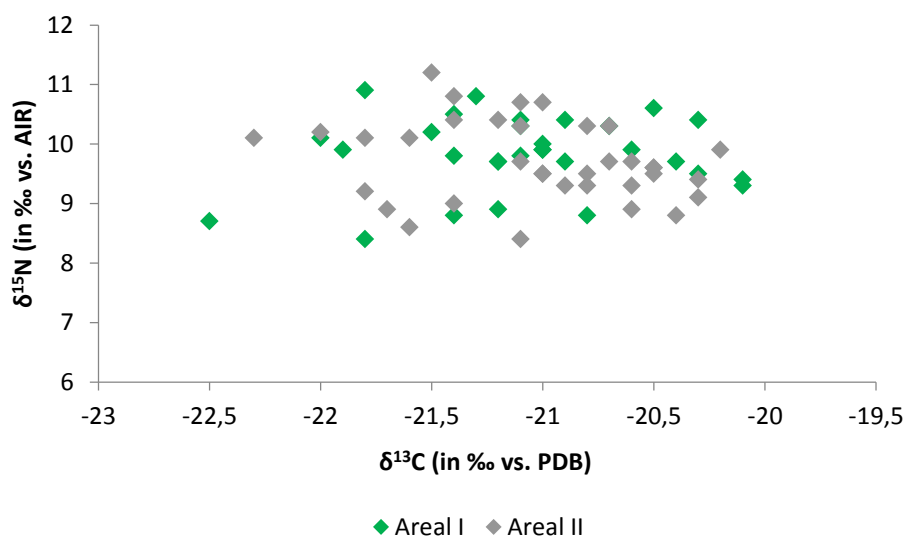


Abb. 16 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Molaren adulter Individuen aus Areal I und Areal II. Dargestellt sind alle Molaren von beiden Geschlechtern, für die verlässliche Isotopendaten gewonnen werden konnten (siehe Tab. 4).

Die separierte Darstellung der Geschlechter deutet ebenso wenig auf klare Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Individuen in den jeweiligen Gräberfeldbereichen (Abb. 17)¹³⁹. Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte bei Männern aus Areal I streuen zwischen 8,4 und 10,8 ‰ (Mittelwert 9,7 ‰ \pm 0,7) und die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen -21,9 und -20,1 ‰ (Mittelwert -21,0 ‰ \pm 0,6). Im Vergleich dazu liegen die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Männer aus Areal II zwischen 8,9 und 11,2 ‰ (Mittelwert 9,7 \pm 0,6) und die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen -21,8 und -20,3 ‰ (Mittelwert -21,0 ‰ \pm 0,5). Sowohl die Stickstoff- als auch die Kohlenstoffisotopendaten zeigen eine stärkere Variationsbreite in der mittleren und jüngeren Linienbandkeramik (Tab. 5).

¹³⁹ Siehe auch Abb. 1 im Anhang für die getrennte Darstellung der einzelnen Gräberfeldareale.

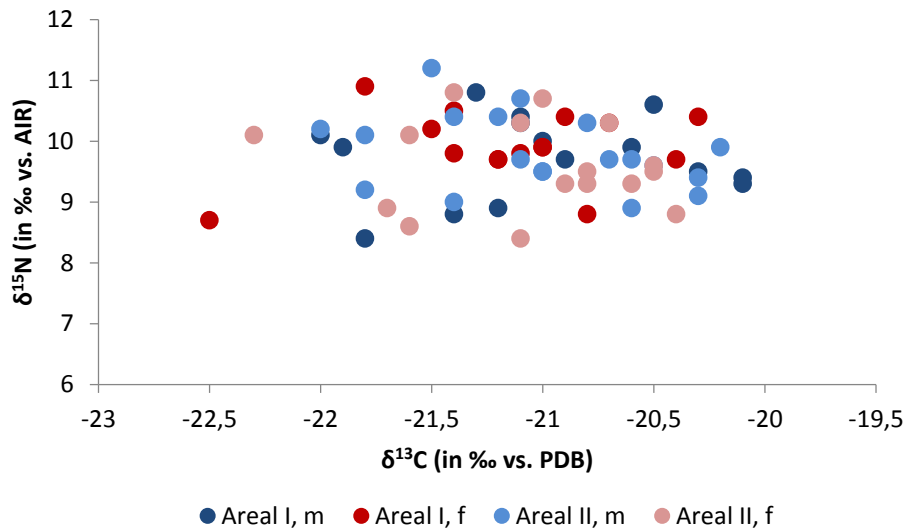


Abb. 17 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Molaren adulter Individuen aus Areal I und Areal II. Dargestellt sind alle nach Geschlecht getrennten Molaren, für die verlässliche Isotopendaten gewonnen werden konnten (m = Männer; f = Frauen).

Bei Frauen aus Areal I variieren die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte zwischen 8,7 und 10,9 ‰ (Mittelwert 9,9 ‰ \pm 0,6) und die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen -22,5 und -20,3 ‰ (Mittelwert -21,1 ‰ \pm 0,5). Bei Frauen aus Areal II liegen die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte zwischen 8,4 und 10,8 ‰ (Mittelwert 9,6 ‰ \pm 0,7) und die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen -22,3 und -20,4 ‰ (Mittelwert -21,1 ‰ \pm 0,5) (Tab. 5). Somit zeigen die weiblichen Individuen aus der älteren Linienbandkeramik etwas stärkere Variation hinsichtlich ihrer $\delta^{15}\text{N}$ -Werte. Bei Frauen aus der jüngeren Phase hingegen variieren die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte etwas stärker.

		$\delta^{15}\text{N}$ -Min	$\delta^{15}\text{N}$ -Max	$\delta^{15}\text{N}$ -Mw	$\delta^{13}\text{C}$ -Min	$\delta^{13}\text{C}$ -Max	$\delta^{13}\text{C}$ -Mw
♂	Areal I	8,4	10,8	9,7	-21,9	-20,1	-21,0
	Areal II	8,9	11,2	9,7	-21,8	-20,3	-21,0
♀	Areal I	8,7	10,9	9,9	-22,5	-20,3	-21,1
	Areal II	8,4	10,8	9,6	-22,3	-20,4	-21,1

Tab. 5 Variationsbreite und Mittelwerte der $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ (in ‰) in Zähnen von Individuen aus Stuttgart-Mühlhausen. Min = Minimalwert, Max = Maximalwert, Mw = Mittelwert.

Die $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Frauen aus der mittleren und jüngeren Linienbandkeramik sind am höchsten, auch im Vergleich zu den Männern, und die der Frauen aus der älteren Phase der Linienbandkeramik am niedrigsten. Vergleicht man die Daten der Frauen aus beiden Arealen, so lässt sich vermuten, dass die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Nahrung von Frauen aus Areal I am Übergang zur mittleren-jüngeren Linienbandkeramik im Vergleich zu Frauen aus der älteren Linienbandkeramik höher wurden, während die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte bei beiden Geschlechtern gleich blieben (Abb. 18).

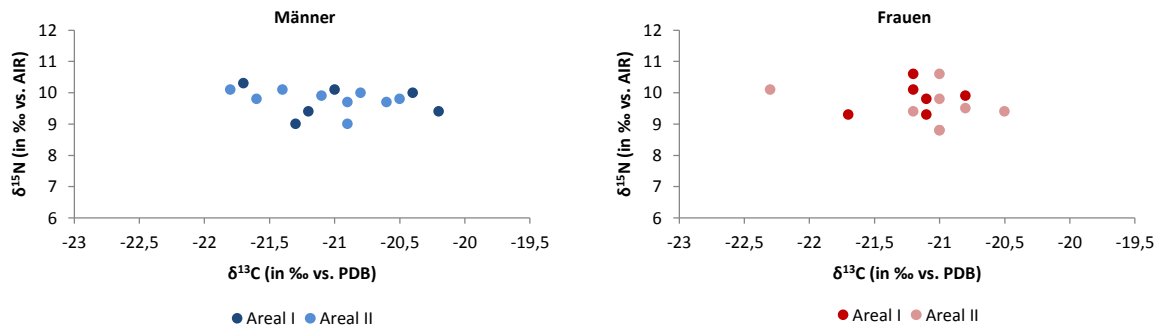


Abb. 18 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen und Männern aus Areal I und Areal II im Vergleich.

Zwei Frauen, jeweils eine aus Areal I und eine aus Areal II, weisen, wie auf Abb. 18 deutlich zu erkennen ist, negativere $\delta^{13}\text{C}$ -Werte als andere Individuen auf. Hierbei wird eine besondere Aufmerksamkeit auf die verfügbaren Individualdaten solcher Individuen gelegt, um mögliche Ursachen für abweichende Stickstoff- oder Kohlenstoffisotopenverhältnisse zu finden. Generell sind die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte niedriger als dies zu erwarten war.

Bei Betrachtung der Messergebnisse der einzelnen Molaren (Tab. 6) zunächst der Männer aus beiden Gräberfeldarealen zeigt sich eine noch feinere Auflösung der Daten. Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der ersten und zweiten Molaren bei Individuen aus Areal II sind noch etwas höher und die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte etwas positiver als später bei Männern aus Areal I. Außerdem kann zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ der zweiten Molaren ein linearer und negativer, knapp nicht signifikanter Zusammenhang zwischen den Isotopenverhältnissen festgestellt werden ($r = -0,794$, $p = 0,06$). Das ändert sich jedoch mit dem dritten Molar, dessen $\delta^{15}\text{N}$ -Werte dann bei Individuen aus Areal I höher, und die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte im Vergleich zu Männern aus Areal II etwas negativer werden (Abb. 19 und Abb. 20). Die entsprechenden Mittelwerte (Tab. 7) zeigen ebenfalls diese Tendenz zur Anreicherung des schweren Stickstoffisotops und Abreicherung des schweren Kohlenstoffisotops im dritten Molar in der mittleren und jüngeren Linienbandkeramik. Trotz der geringen Probenmenge an dritten Molaren aus Areal I, ist diese Anreicherung des ^{15}N statistisch signifikant ($p = 0,02$).

Areal I, Männer				Areal I, Frauen			
Zähne	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Grab	Zähne	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Grab
M ₁	9,5	-20,3	I-20	M ₁	9,7	-21,2	I-21
M ₁	8,8	-21,4	I-25	M ₁	9,8	-21,1	I-33
M ₁	10,1	-22,0	I-36	M ₁	8,7	-22,5	I-34
M ₁	10,0	-21,0	I-43	M ₁	10,5	-21,4	I-37
M ₁	8,4	-21,8	I-47	M ₁	9,7	-21,2	I-55
M ₁	9,9	-20,6	I-48	M ₁	8,8	-20,8	I-61
M ₂	9,3	-20,1	I-20	M ₂	9,9	-21,0	I-21
M ₂	8,9	-21,2	I-25	M ₂	10,2	-21,5	I-33
M ₂	9,9	-21,9	I-36	M ₂	10,4	-20,3	I-37
M ₂	10,3	-21,1	I-43	M ₂	9,7	-20,4	I-55
M ₂	9,7	-20,9	I-47	M ₃	10,4	-20,9	I-33
M ₂	9,4	-20,1	I-48	M ₃	9,9	-21,0	I-34
M ₃	10,4	-21,1	I-25	M ₃	10,9	-21,8	I-37
M ₃	10,8	-21,3	I-36	M ₃	10,3	-20,7	I-55
M ₃	10,6	-20,5	I-48	M ₃	9,8	-21,4	I-61

Areal II, Männer				Areal II, Frauen			
Zähne	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Grab	Zähne	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Grab
M ₁	9,2	-21,8	II-21	M ₁	10,1	-21,6	II-22
M ₁	9,7	-20,6	II-27	M ₁	9,5	-20,8	II-35
M ₁	9,0	-21,4	II-30	M ₁	10,8	-21,4	II-43
M ₁	9,7	-20,7	II-44	M ₁	10,3	-21,1	II-45
M ₁	10,4	-21,2	II-78	M ₁	8,9	-21,7	II-133
M ₁	10,7	-21,1	II-83	M ₂	9,5	-20,5	II-22
M ₁	8,9	-20,6	II-107	M ₂	10,3	-20,7	II-43
M ₁	9,4	-20,3	II-111	M ₂	9,3	-20,8	II-45
M ₂	9,1	-20,3	II-30	M ₂	9,3	-20,6	II-54
M ₂	9,7	-21,1	II-44	M ₂	8,4	-21,1	II-58
M ₂	9,5	-21,0	II-78	M ₂	8,8	-20,4	II-133
M ₂	9,5	-21,0	II-83	M ₃	10,1	-22,3	II-42
M ₂	11,2	-21,5	II-107	M ₃	10,7	-21,0	II-43
M ₂	9,6	-20,5	II-111	M ₃	8,6	-21,6	II-45
M ₃	10,4	-21,4	II-21	M ₃	9,6	-20,5	II-54
M ₃	10,1	-21,8	II-57	M ₃	9,3	-20,9	II-58
M ₃	9,9	-20,2	II-83				
M ₃	10,2	-22,0	II-107				
M ₃	10,3	-20,8	II-111				

Tab. 6 Messergebnisse der stabilen N- und C- Isotopenanalyse an ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen, Areal I und Areal II, von Stuttgart-Mühlhausen (Ausschnitt aus Tab. 4). Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰.

		$\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte (in ‰)		$\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte (in ‰)		
	Zähne	Areal I	Areal II	Zähne	Areal I	Areal II
♂	M ₁	9,4	9,6	M ₁	-21,2	-21,0
	M ₂	9,6	9,8	M ₂	-20,9	-20,9
	M ₃	10,6	10,2	M ₃	-21,0	-21,2
♀	M ₁	9,5	9,9	M ₁	-21,4	-21,3
	M ₂	10,0	9,3	M ₂	-20,8	-20,4
	M ₃	10,3	9,7	M ₃	-21,2	-21,3

Tab. 7 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der ersten, zweiten und dritten Molaren von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen.

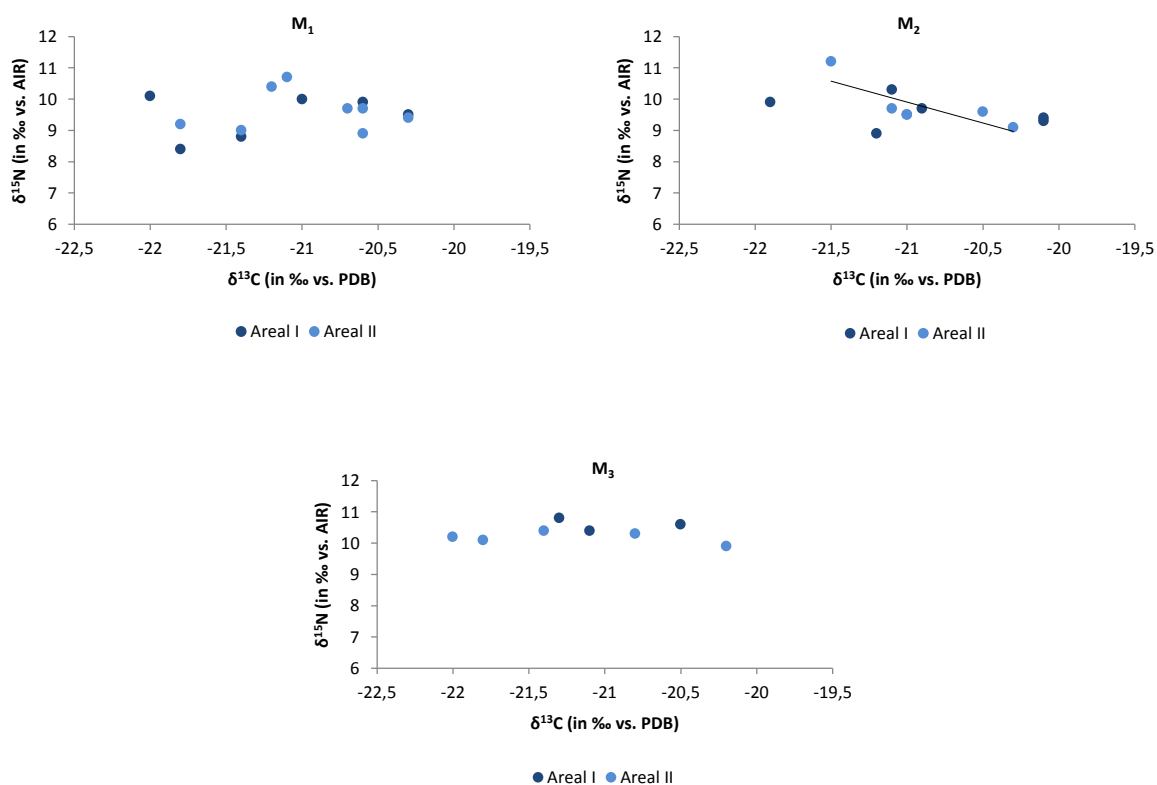


Abb. 19 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern aus beiden Gräberfeldarealen, Areal I und Areal II, im Vergleich.

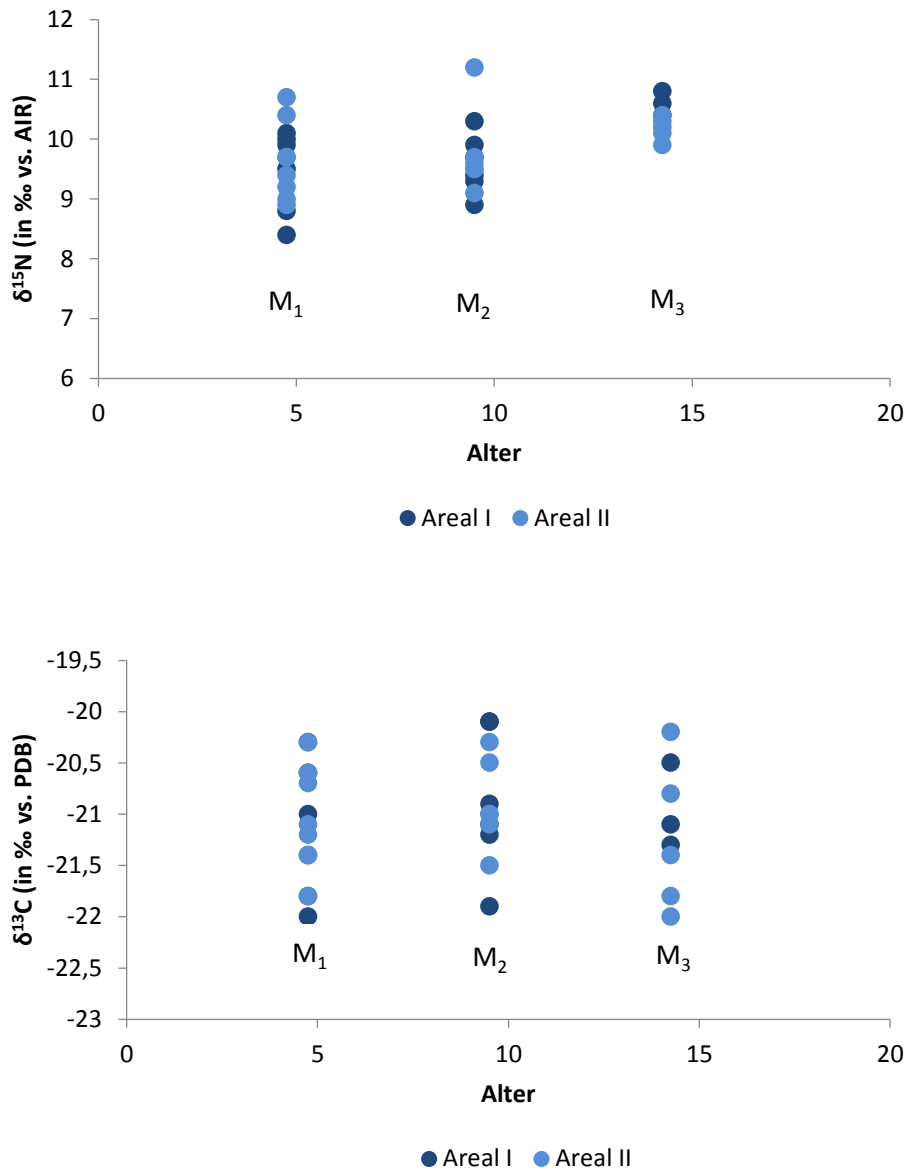


Abb. 20 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im beprobten Abschnitt der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern aus beiden Gräberfeldarealen im Vergleich.

Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der ersten Molaren bei Frauen aus Areal I sind niedriger und die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte etwas negativer als bei Frauen aus Areal II. Dies ändert sich jedoch mit den zweiten und dritten Molaren, die dann höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aufweisen, sowie mit den dritten Molaren, die etwas positivere $\delta^{13}\text{C}$ -Werte als die Frauen aus Areal II aufweisen (Abb. 21 und Abb. 22). Diese Anreicherung des schweren ^{15}N bzw. die Abreicherung des schweren ^{13}C lässt sich, wie bei den Männern, auch an den Mittelwerten erkennen (Tab. 7). Allerdings ist nur die Erste, die Anreicherung des ^{15}N in den zweiten und dritten Molaren bei Frauen aus Areal I im Vergleich zu Frauen aus Areal II, statistisch hoch signifikant ($p = 0,01$), während die Letztere auch in diesem Fall nur als Tendenz zu verstehen ist.

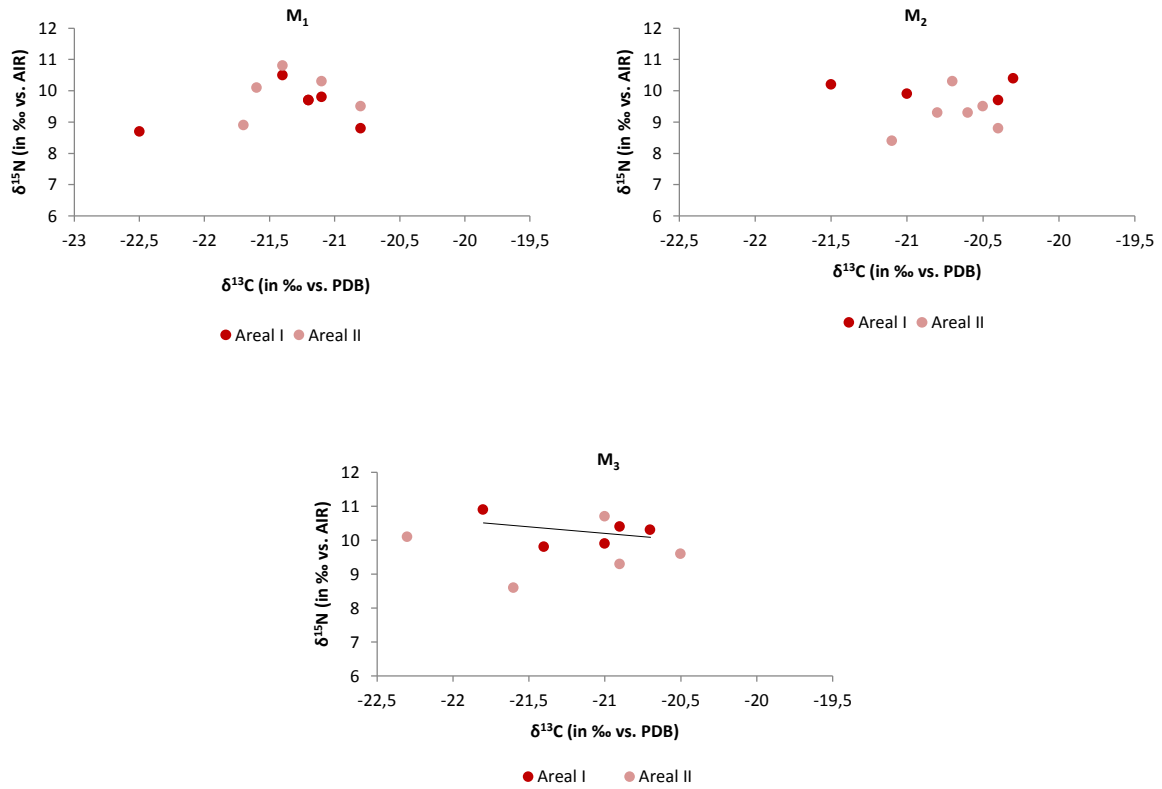
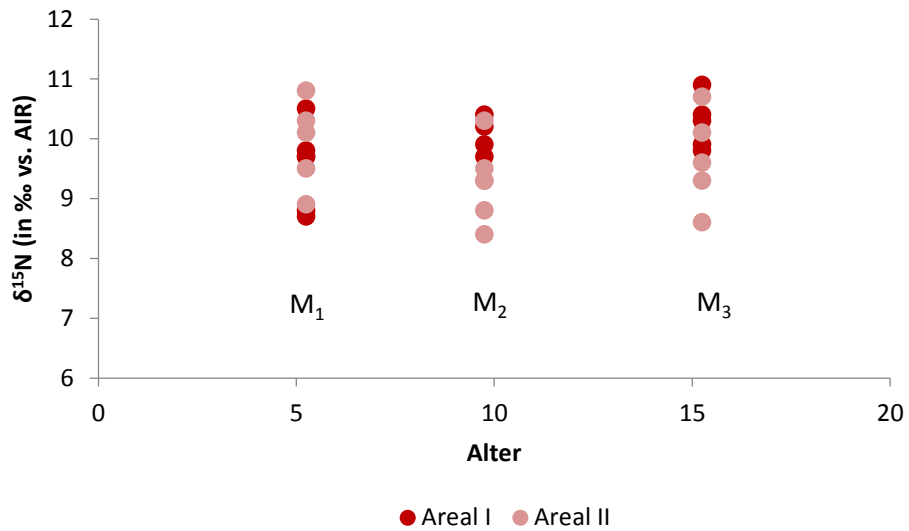


Abb. 21 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen aus beiden Gräberfeldarealen im Vergleich.



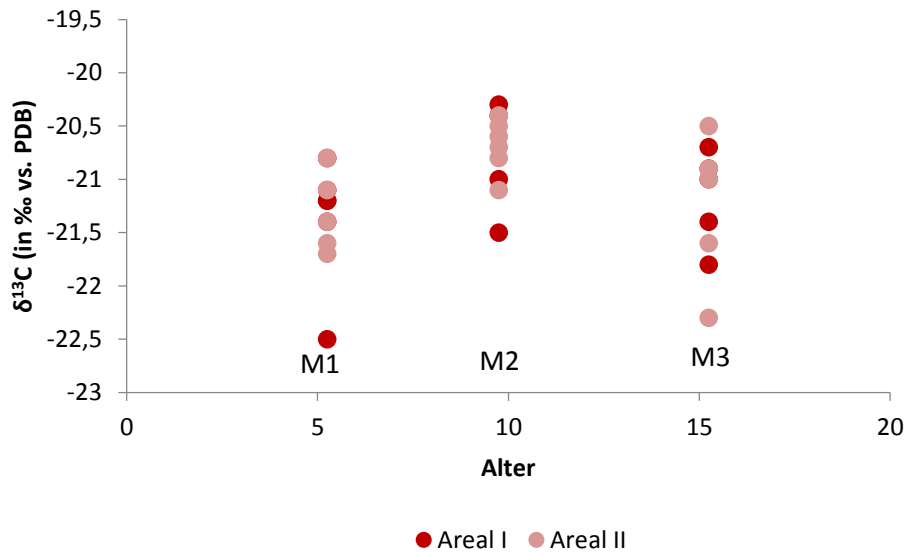


Abb. 22 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im beprobten Abschnitt der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen aus beiden Gräberfeldarealen im Vergleich.

Wie bereits vermutet wurde, zeigen die ersten Molaren das niedrigste $\delta^{15}\text{N}$, gefolgt von den zweiten und dritten Molaren, was sich besonders deutlich bei Männern in beiden Gräberfeldbereichen sowie bei Frauen aus Areal I erkennbar macht¹⁴⁰. Die einzige Ausnahme bilden die Frauen aus der älteren Phase der Linienbandkeramik, deren $\delta^{15}\text{N}$ der ersten Molaren am höchsten, und das der zweiten Molaren am niedrigsten ist. Es ist möglich, dass die höheren $\delta^{15}\text{N}$ in den ersten Molaren mit längeren Stillzeiten zusammenhängen, und dass die niedrigen $\delta^{15}\text{N}$ in den zweiten Molaren mit dem oben beschriebenen *weaning stress* erklärt werden könnten. Die Anreicherung des ^{15}N in der späten Kindheit und Jugend bei beiden Geschlechtern im Areal I ist, wie bereits erwähnt, statistisch signifikant.

7.1.1.1. Zusammenhang zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Zahndentin und der jeweils größten Diaphysenlänge (Maß 1 nach Martin 1928)

Bei 12 Individuen aus der mittleren und jüngeren Linienbandkeramik waren 10 Femora, 7 Tibiae, 10 Humeri und 10 Radii vollständig erhalten, sodass das anthropometrische Maß 1 nach Martin (1928), die größte Länge des Knochens¹⁴¹, aufgenommen werden konnte. Bei allen 12 Individuen aus diesem Bereich konnte anhand dieser Langknochen die Körperhöhe

¹⁴⁰ Für die separierte Darstellung der einzelnen Molaren der Individuen aus beiden Gräberfeldarealen siehe Anhang Abb. 2 für die Männer und Abb. 3 für die Frauen.

¹⁴¹ Bei der Tibia wurde das Maß T1b, die mediale Länge der Tibia, verwendet, weil Pearson (1899), dessen Formeln hier für die Schätzung der Körperhöhen benutzt wurden, mit diesem Maß der Tibia die Körperhöhe ermittelte.

nach Pearson ermittelt werden. Bei Individuen aus Areal II waren deutlich weniger komplette Langknochen erhalten, sodass nur 6 Femora, 6 Tibiae, 7 Humeri und 8 Radii für die Korrelation mit den Isotopendaten aus Zähnen zur Verfügung standen. Dennoch war es möglich, für 12 von 17 Individuen aus dieser älteren Phase der Linienbandkeramik die Körperhöhe zu berechnen (Tab. 8 und Tab. 9).

Areal I							
Grab	Alter	Geschlecht	F1 (in mm)	Ti1b (in mm)	H1 (in mm)	R1 (in mm)	KH n. Pearson (in cm)
I-20	30-40	m	399	316 (l)	0	221	156,3
I-21	20-25	w	376	0	272	245	146,0
I-25	20-30	m	487 (l)	372	338	263	172,8
I-33	30-40	w	415	310	292	226	153,6
I-34	20-30	w	377 (l)	283 (l)	269	0	146,2
I-36	20-30	m	410	338	291	233	158,4
I-37	30-40	w	0	0	288	214	151,0
I-43	20-30	m	0	0	0	231	161,5
I-47	30-40	m	439	0	311 (l)	247 (l)	163,8
I-48	30-40	m	423 (l)	322 (l)	308	228	160,8
I-55	20-30	w	405 (l)	0	284 (l)	0	151,6
I-61	30-40	w	424	331	304	227	155,3

Areal II							
Grab	Alter	Geschlecht	F1 (in mm)	Ti1b (in mm)	H1 (in mm)	R1 (in mm)	KH n. Pearson (in cm)
II-21	30-40	m	0	0	0	219	157,5
II-22	20-25	w	0	0	0	0	0
II-27	20-25	m	471	356	305	233	169,8
II-30	20-30	m	0	0	0	0	0
II-35	20-25	w	0	0	0	0	0
II-42	18-24	w	0	0	275	197	147,2
II-43	22-25	w	0	0	0	209	151,1
II-44	25-30	m	0	349	0	0	161,6
II-45	22-27	w	415 (l)	329 (l)	0	0	153,6
II-54	25-35	w	0	0	0	0	0
II-57	25-40	m	0	0	0	0	0
II-58	22-27	w	0	0	251	0	140,6
II-78	22-30	m	457	0	320	238	167,2
II-83	20-30	m	0	371	335	253	166,8
II-107	30-40	m	465	392	329	264	168,7
II-111	30-40	m	450	352	0	246	165,9
II-133	22-25	w	387	0	272	0	148,1

Tab. 8 Langknochenmaße (aus Burger-Heinrich, unveröff. Manuskript) für die in dieser Pilotstudie isotopisch untersuchten Individuen, sowie die anhand dieser Langknochen geschätzten Körperhöhen (KH) (nach Pearson 1899). m = männlich; w = weiblich. Wenn nicht anders angegeben, handelt es sich um die Knochen der rechten Körperseite. (l) = links.

Formeln nach Pearson (1899)	
Männer	Frauen
KH = 81.306 + 1.880* F1	KH = 72.844 + 1.945* F1
KH = 78.664 + 2.376* T1b	KH = 74.774 + 2.352* T1b
KH = 70.641 + 2.894* H1	KH = 71.475 + 2.754* H1
KH = 85.925 + 3.271* R1	KH = 81.224 + 3.343* R1

Tab. 9 Formeln zur Berechnung der Körperhöhe (KH) für Skelettindividuen für die im Rahmen dieser Pilotstudie berücksichtigten Langknochen nach Pearson (1899).

Im Folgenden werden die gewonnenen Isotopendaten aus Zähnen mit verfügbaren Langknochen von denselben Individuen aus beiden Gräberfeldarealen in Beziehung gesetzt, bevor sie schließlich auch mit der geschätzten Körperhöhe korreliert werden. Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte helfen dabei, die Nahrungszusammensetzung besser einschätzen zu können.

Setzt man zunächst die Mittelwerte aller N- und C-Isotopendaten aus den Molaren jedes Individuums in Beziehung zu der dazugehörigen größten Femurlänge, kann weder in der älteren noch in der jüngeren Linienbandkeramik eine lineare Beziehung zwischen diesen beiden Merkmalen festgestellt werden (Abb. 23 und Tab. 10). Obwohl es in beiden Arealen Individuen mit deutlich größeren Femora gibt, ändern sich ihre Isotopenwerte nicht, und liegen im gleichen Streubereich wie Individuen mit kleineren Oberschenkelknochen.

FEMUR				
Areal I	Grab	$\delta^{15}\text{N}$ -Mw	$\delta^{13}\text{C}$ -Mw	F1
Männer	I-20	9,4	-20,2	399
	I-25	9,4	-21,2	487
	I-36	10,3	-21,7	410
	I-47	9,0	-21,3	439
	I-48	10,0	-20,4	423
Frauen	I-21	9,8	-21,1	376
	I-33	10,1	-21,2	415
	I-34	9,3	-21,7	377
	I-55	9,9	-20,8	405
	I-61	9,3	-21,1	424
Areal II				
Männer	II-27	9,7	-20,6	471
	II-78	9,9	-21,1	457
	II-107	10,1	-21,4	465
	II-111	9,8	-20,5	450
Frauen	II-45	9,4	-21,2	415
	II-133	8,8	-21,0	387

Tab. 10 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Molaren von Individuen, für die F1 (in mm) erhoben werden konnte. Mw = Mittelwert. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4 und Tab. 8).

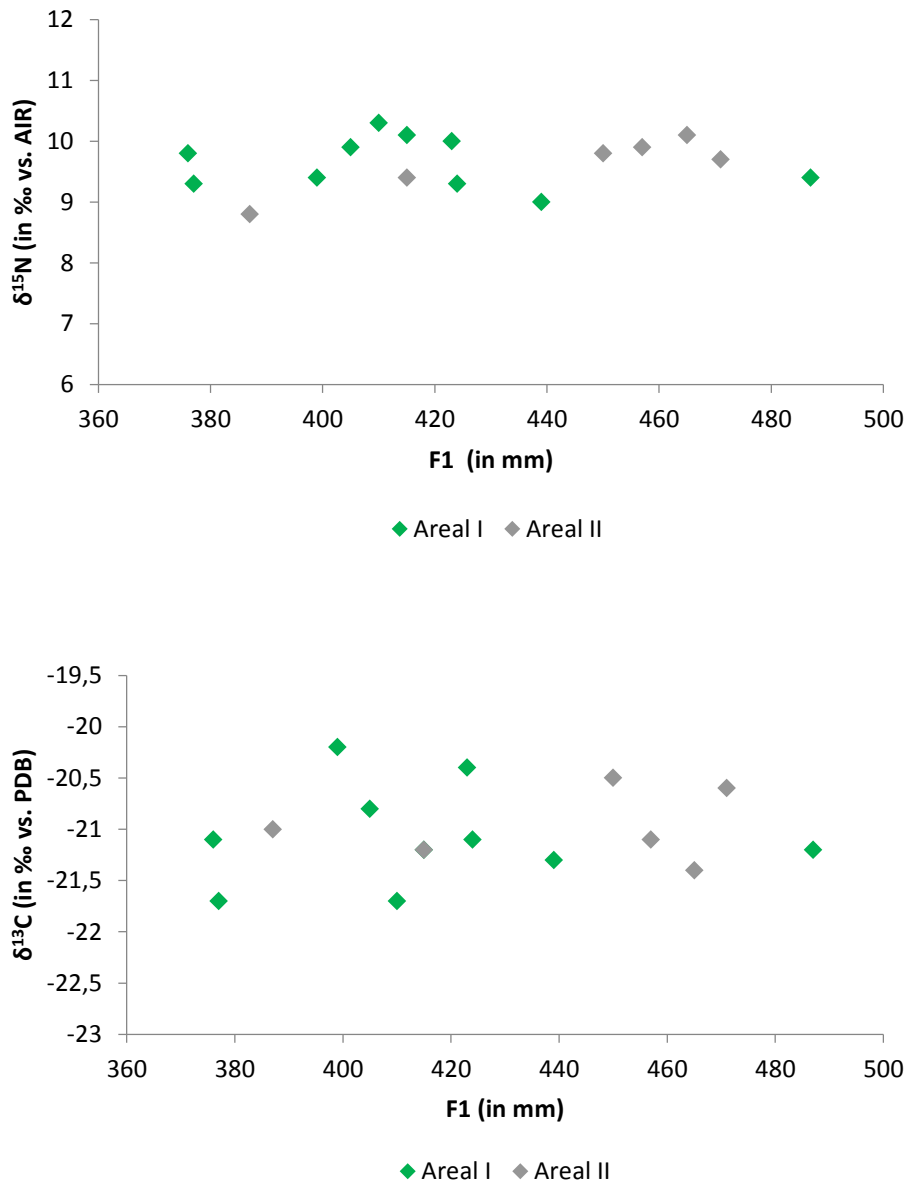


Abb. 23 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben aller untersuchten Individuen aus beiden Gräberfeldarealen, für die F1 erhoben werden konnte.

Werden die beiden Geschlechter getrennt voneinander betrachtet, zeigt sich, dass es sich bei den Individuen mit langen Femurknochen ausschließlich um Männer handelt (Abb. 24). Während die Länge der männlichen Femora aus Areal I stark zu variieren und sich bei einigen Männern kaum von der Femurlänge der Frauen aus demselben Areal zu unterscheiden scheint, zeichnet sich ein deutlicher Geschlechtsdimorphismus bezüglich der Femurlänge im Areal II ab, zumal keiner der beprobten männlichen Individuen aus diesem Gräberfeldbereich ein Femur aufweist, das kleiner als 450mm ist.

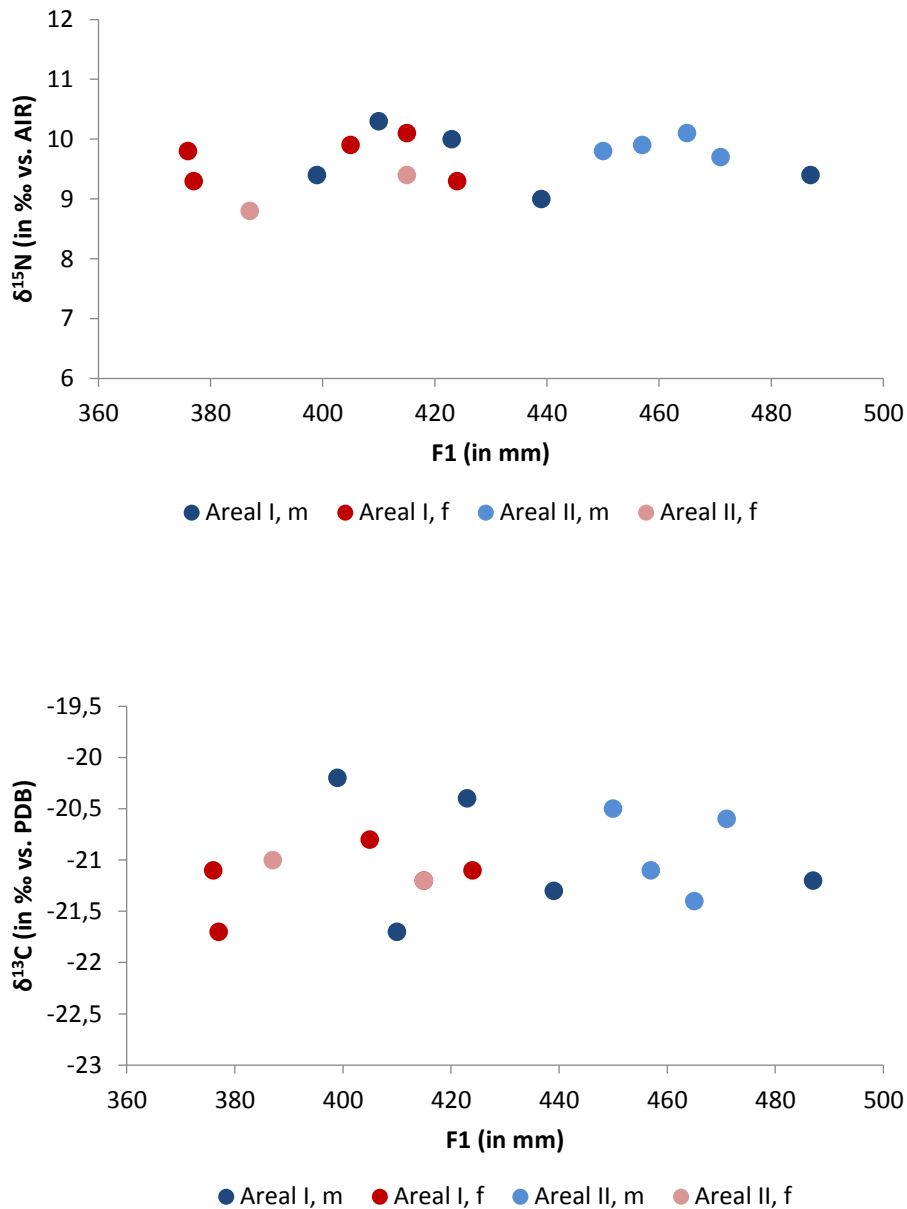


Abb. 24 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen, für die F1 erhoben werden konnte (m = Männer; f = Frauen).

Dasselbe Muster kann auch bei den anderen drei Langknochen, Tibia, Humerus und Radius, beobachtet werden (Tab. 11, Abb. 25 - 27). Zumindest zwischen den Mittelwerten aus dem Primärdentin aller untersuchten Molaren und den jeweiligen Langknochenlängen besteht kein linearer Zusammenhang. Bei den Geschlechtern im Areal II scheint es auch hinsichtlich der Humerus- und Radiuslänge einen klaren Unterschied zu geben. Da nur eine Tibia einer Frau aus diesem Bereich in die Auswertung eingehen konnte, sind keine Aussagen diesbezüglich zu diesem Knochen möglich. Im Areal I hingegen überlappen sich teilweise, wie beim Femur, die Längenmaße beider Geschlechter.

Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zeigen bis auf eine Ausnahme ebenfalls keine linearen Zusammenhänge zwischen diesen beiden Merkmalen. Lediglich die Kohlenstoffisotopenverhältnisse der Frauen aus der mittleren-jüngeren Linienbandkeramik korrelieren positiv mit der größten Tibiallänge ($r = 0,956$) (Abb. 25). Der Signifikanztest ergab trotz der sehr hohen Korrelation einen p-Wert von 0,5, was an der sehr geringen Fallzahl ($n = 3$) liegt. Der Unterschied zwischen den Geschlechtern scheint nicht nur hinsichtlich der Knochenlänge, sondern auch des $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ stärker in der älteren Linienbandkeramik zu sein, was sich bei diesen Individuen an allen hier berücksichtigten Knochenlängen andeutet.

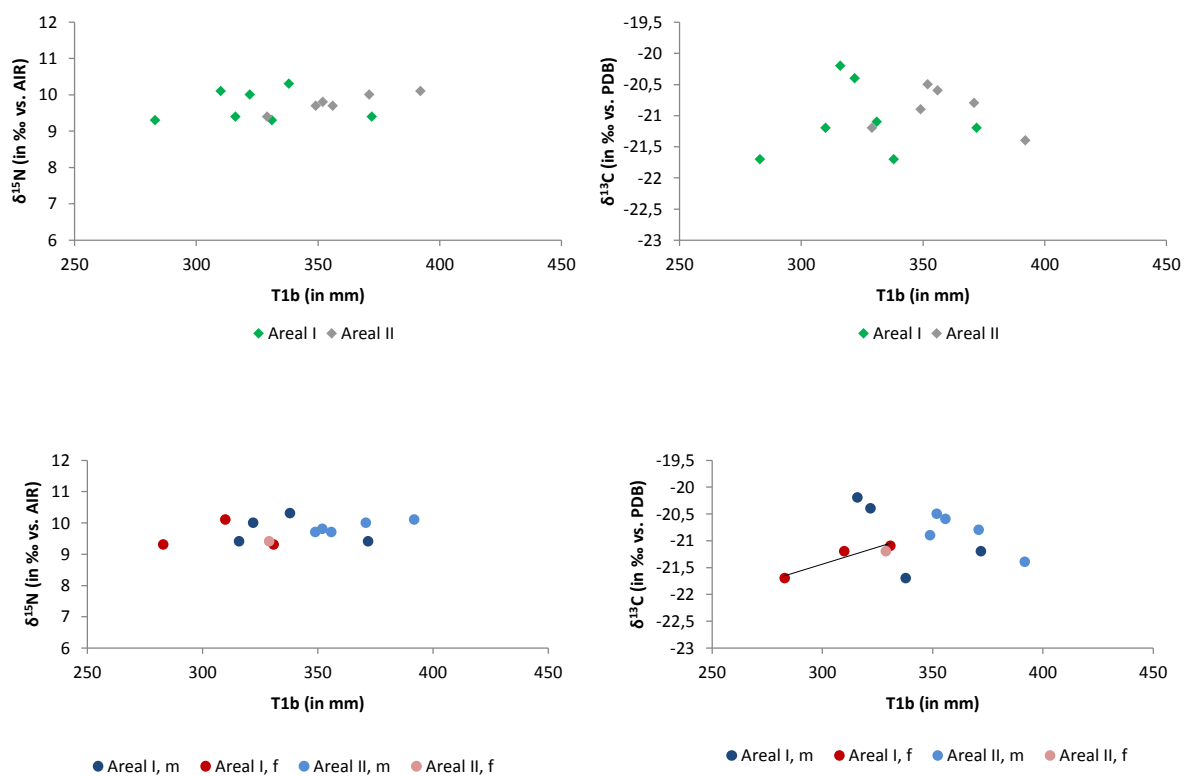


Abb. 25 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben für beide Geschlechter (oben) und jeweils für Männer und Frauen (unten) aus beiden Gräberfeldarealen, für die T1b erhoben werden konnte (m = Männer; f = Frauen).

TIBIA					HUMERUS					RADIUS				
Areal I	Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	T1b	Areal I	Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	H1	Areal I	Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	R1
Männer	I-20	9,4	-20,2	316	Männer	I-25	9,4	-21,2	338	Männer	I-20	9,4	-20,2	221
	I-25	9,4	-21,2	372		I-36	10,3	-21,7	291		I-25	9,4	-21,2	263
	I-36	10,3	-21,7	338		I-47	9,0	-21,3	311		I-36	10,3	-21,7	233
	I-48	10,0	-20,4	332 (I)		I-48	10,0	-20,4	308		I-43	10,1	-21,0	231
Frauen	I-33	10,1	-21,2	310	Frauen	I-21	9,8	-21,1	272	Frauen	I-47	9,0	-21,3	247
	I-34	9,3	-21,7	283 (I)		I-33	10,1	-21,2	292		I-48	10,0	-20,4	228
	I-61	9,3	-21,1	331		I-34	9,3	-21,7	269		I-21	9,8	-21,1	245
Areal II					Areal II					Areal II				
Männer	II-27	9,7	-20,6	356	Männer	II-27	9,7	-20,6	305	Männer	II-21	9,8	-21,6	219
	II-107	10,1	-21,4	392		II-78	9,9	-21,1	320		II-27	9,7	-20,6	233
	II-111	9,8	-20,5	352		II-83	10,0	-20,8	335		II-78	9,9	-21,1	238
Frauen	II-45	9,4	-21,2	329 (I)	Frauen	II-107	10,1	-21,4	329	Frauen	II-83	10,0	-20,8	253
						II-42	10,1	-22,3	275		II-107	10,1	-21,4	264
						II-58	8,8	-21,0	251		II-111	9,8	-20,5	246
						II-133	8,8	-21,0	272		II-42	10,1	-22,3	197
										Frauen	II-43	10,6	-21,0	209

Tab. 11 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Individuen, für die T1b, H1 und R1 (in mm) erhoben werden konnte. Mw = Mittelwert. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4 und Tab. 8).

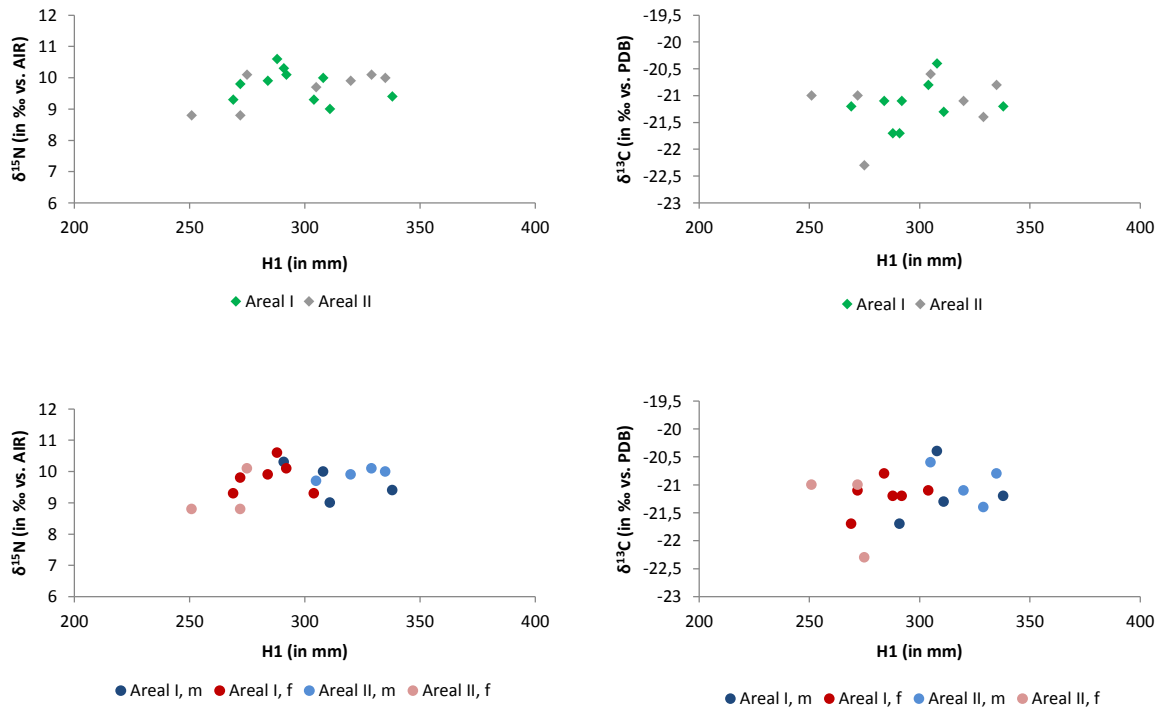


Abb. 26 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben beider Geschlechter (oben) und jeweils von Männern und Frauen (unten) aus beiden Gräberfeldarealen, für die H1 erhoben werden konnte (m = Männer; f = Frauen).

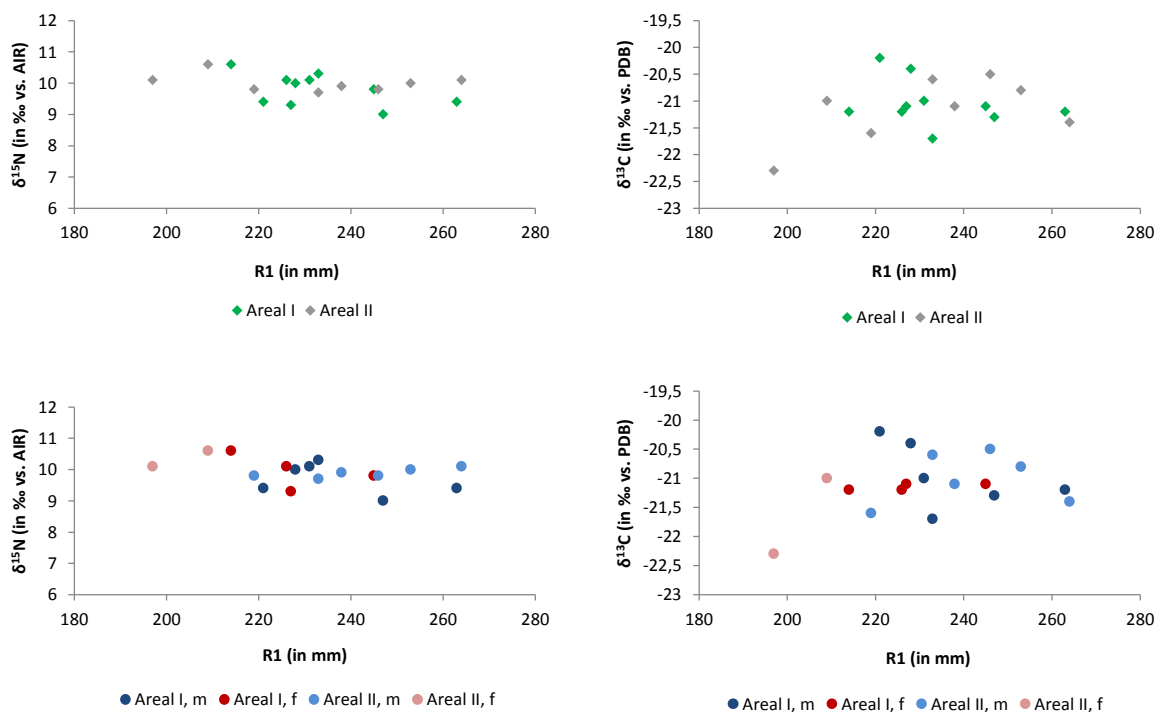
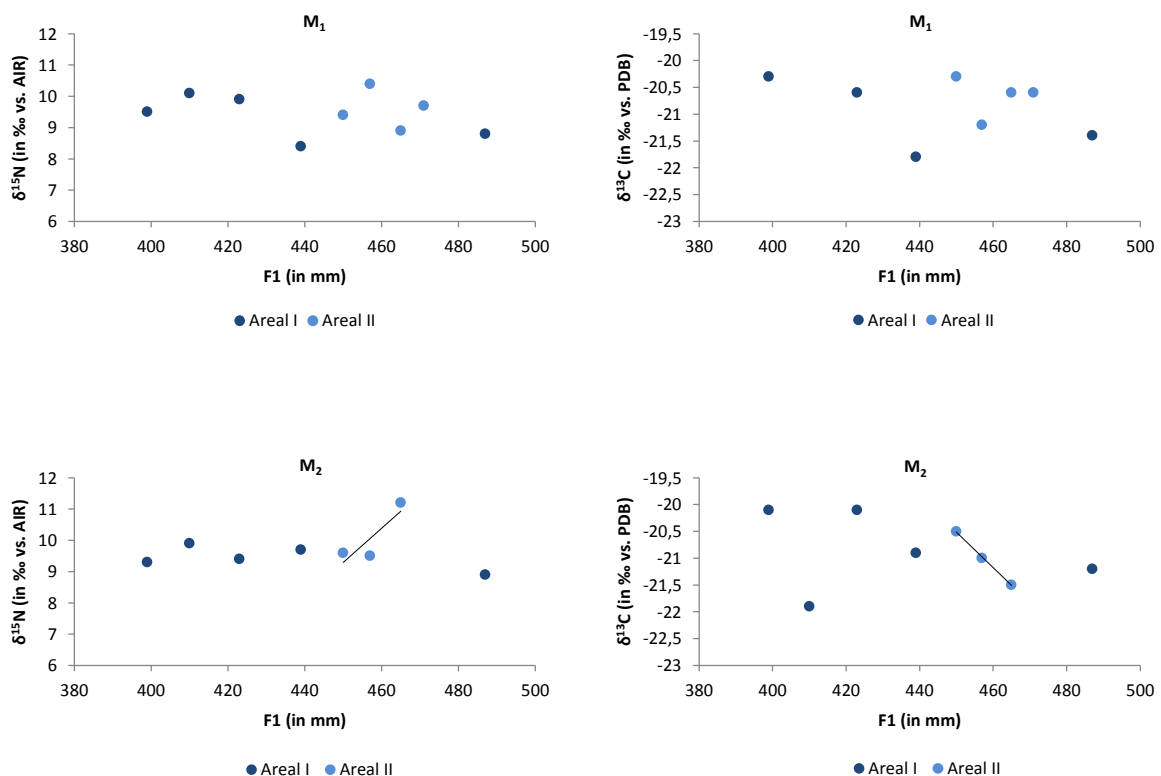


Abb. 27 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben beider Geschlechter (oben) und jeweils von Männern und Frauen (unten) aus beiden Gräberfeldarealen, für die R1 erhoben werden konnte (m = Männer; f = Frauen).

Im nächsten Schritt sollte geprüft werden, ob die einzelnen Molaren mit den jeweiligen Langknochenlängen besser korrelieren. Dafür wurden die gewonnenen Isotopendaten für die ersten, zweiten und dritten Molaren, jeweils nach Geschlecht und Gräberfeldareal getrennt, mit den entsprechenden Langknochenlängen in Beziehung gesetzt.

Bei allen Molaren von Männern aus der mittleren und jüngeren sowie bei den ersten und dritten Molaren von Männern aus der älteren Linienbandkeramik zeichnet sich kein linearer Zusammenhang weder zwischen den Stickstoff- noch zwischen den Kohlenstoffisotopenverhältnissen in ihren Molaren und den Femurlängen ab (Abb. 28 und Tab. 12). Lediglich die zweiten Molaren von Männern aus Gräberfeldareal II zeigen einen mittleren linearen Zusammenhang zwischen ihren $\delta^{15}\text{N}$ -Werten und F1 ($r = 0,858$), sowie einen starken linearen Zusammenhang zwischen ihren $\delta^{13}\text{C}$ -Werten und F1 ($r = 0,999$), welcher jedoch auch in diesem Fall aufgrund der sehr geringen Fallzahl ($n = 3$) nicht signifikant ist. Je länger ihre Oberschenkelknochen sind, umso höher sind die $\delta^{15}\text{N}$ - und umso niedriger bzw. negativer sind die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte ihrer zweiten Molaren. Aufgrund der geringen Datenmenge sind diese Zusammenhänge jedoch statistisch nicht signifikant.



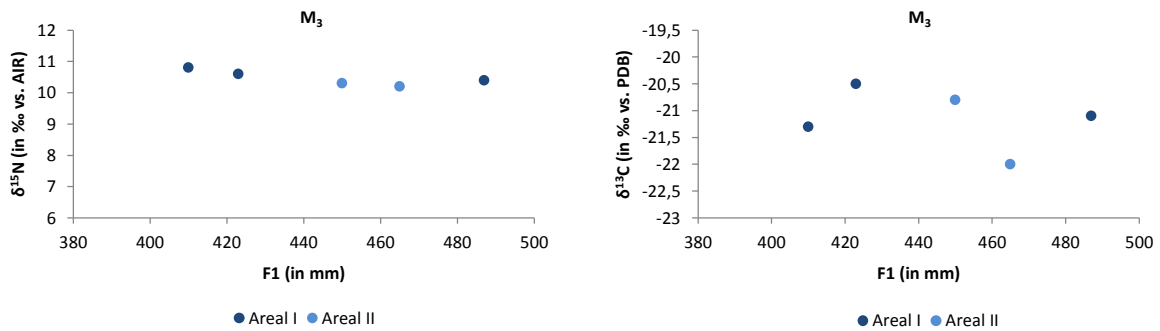
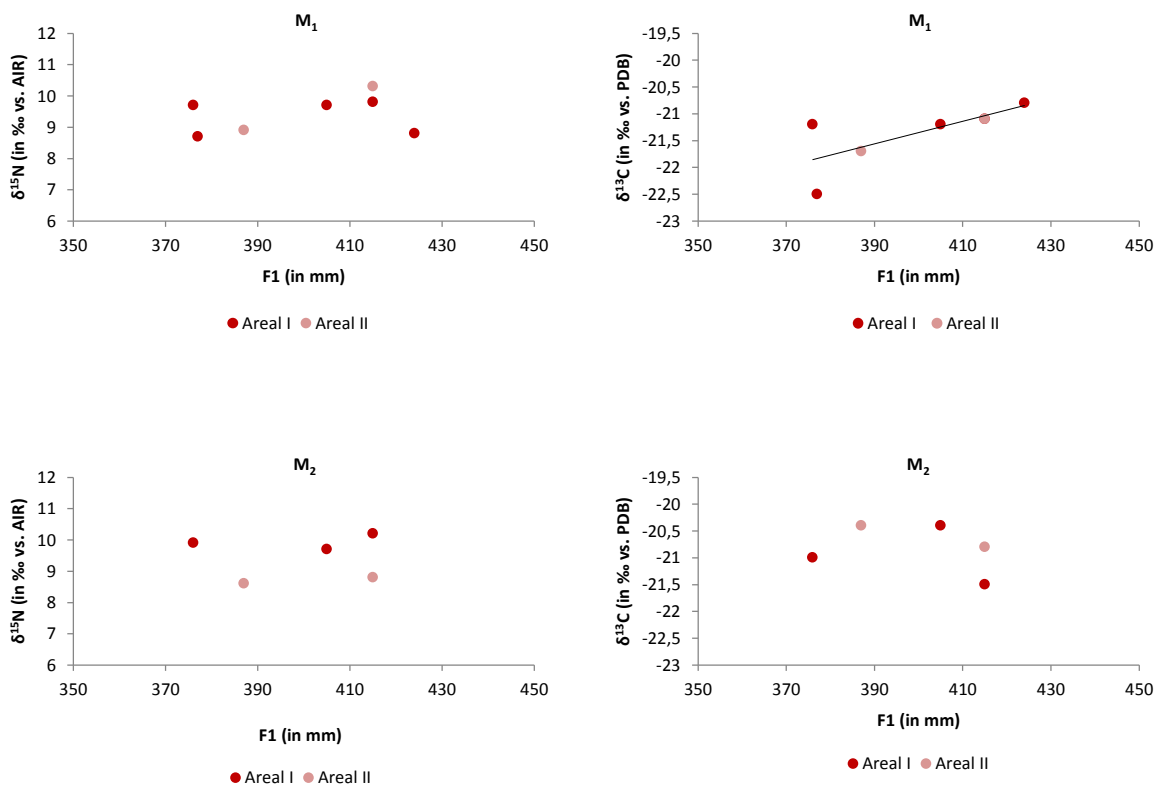


Abb. 28 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern aus Areal I und Areal II in Korrelation zu F1.

Bei Frauen aus Areal I deutet sich nur zwischen den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten ihrer ersten Molaren und F1 ($r = 0,701$, $p = 0,11$) ein starker, grenzwertig signifikanter linearer Zusammenhang an, aber keiner zwischen den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten und F1. Mit höheren bzw. positiveren $\delta^{13}\text{C}$ steigt die Länge ihrer Oberschenkel (Abb. 29). Aufgrund der geringen Datenmenge können keine Aussagen in Bezug auf einen möglichen Zusammenhang zwischen diesen Merkmalen bei Frauen aus der älteren Linienbandkeramik getroffen werden (Tab. 12).



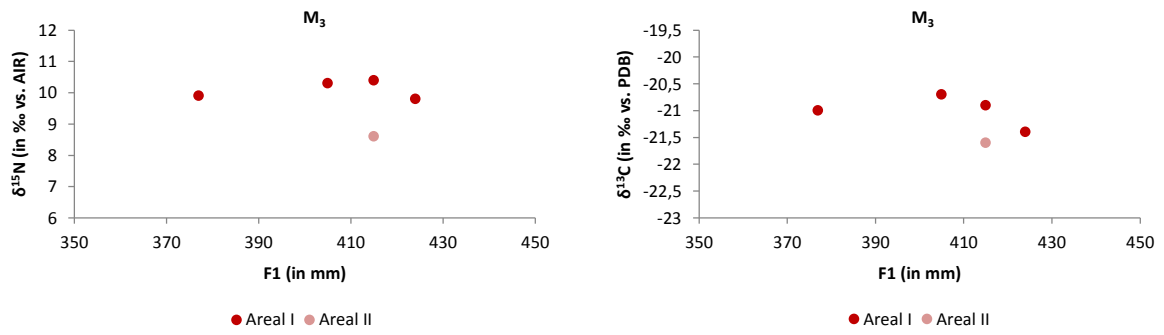
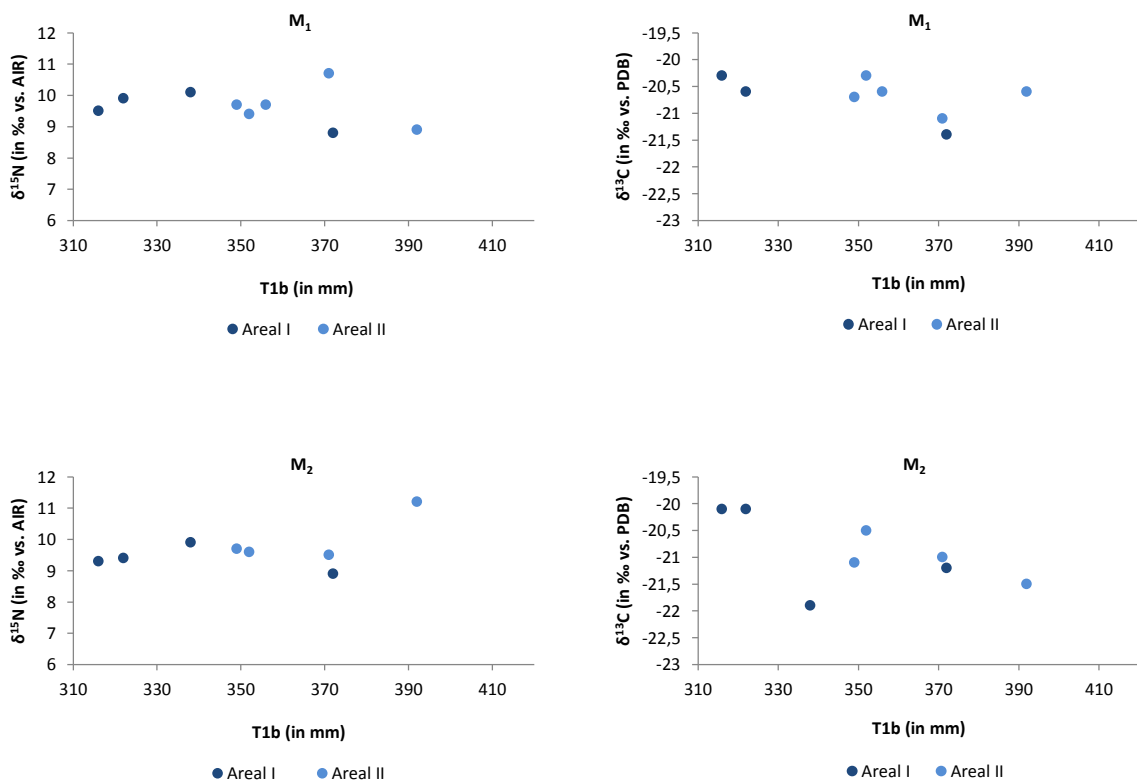


Abb. 29 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen aus Areal I und Areal II in Korrelation zu F1.

FEMUR												
Areal I	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	F1	Grab	Areal II	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	F1	Grab	
Männer	M ₁	9,5	-20,3	399	I-20	Männer	M ₁	9,7	-20,6	471	II-27	
	M ₁	8,8	-21,4	487	I-25		M ₁	10,4	-21,2	457	II-78	
	M ₁	10,1	-22,0	410	I-36		M ₁	8,9	-20,6	465	II-107	
	M ₁	8,4	-21,8	439	I-47		M ₁	9,4	-20,3	450	II-111	
	M ₁	9,9	-20,6	423	I-48		M ₂	9,5	-21,0	457	II-78	
	M ₂	9,3	-20,1	399	I-20		M ₂	11,2	-21,5	465	II-107	
	M ₂	8,9	-21,2	487	I-25		M ₂	9,6	-20,5	450	II-111	
	M ₂	9,9	-21,9	410	I-36		M ₃	10,2	-22,0	465	II-107	
	M ₂	9,7	-20,9	439	I-47		M ₃	10,3	-20,8	450	II-111	
	M ₂	9,4	-20,1	423	I-48		Frauen	M ₁	10,3	-21,1	415	II-45
	M ₃	10,4	-21,1	487	I-25			M ₁	8,9	-21,7	387	II-133
	M ₃	10,8	-21,3	410	I-36			M ₂	9,3	-20,8	415	II-45
	M ₃	10,6	-20,5	423	I-48			M ₂	8,8	-20,4	387	II-133
M ₃	10,6	-20,5	423	I-48	M ₃	8,6		-21,6	415	II-45		
Frauen	M ₁	9,7	-21,2	376	I-21							
	M ₁	9,8	-21,1	415	I-33							
	M ₁	8,7	-22,5	377	I-34							
	M ₁	9,7	-21,2	405	I-55							
	M ₁	8,8	-20,8	424	I-61							
	M ₂	9,9	-21,0	376	I-21							
	M ₂	10,2	-21,5	415	I-33							
	M ₂	9,7	-20,4	405	I-55							
	M ₃	10,4	-20,9	415	I-33							
	M ₃	9,9	-21,0	377	I-34							
	M ₃	10,3	-20,7	405	I-55							
	M ₃	9,8	-21,4	424	I-61							

Tab. 12 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen und Männern aus Areal I und Areal II, für die F1 erhoben werden konnte. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. F1 in mm. (Ausschnitt aus Tab. 6).

Bezüglich der Tibia konnte bei den ersten Molaren von Männern aus beiden Arealen kein linearer Zusammenhang zwischen ihren $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Werten und der gemessenen Tibialänge festgestellt werden (Abb. 30, Tab. 13). Hingegen ist ein schwacher, nicht signifikanter linearer Zusammenhang zwischen den Stickstoffisotopenverhältnissen der zweiten Molaren von Männern aus Areal II und T1b ($r = 0,389$) zu beobachten, aber keiner zwischen den Kohlenstoffisotopenverhältnissen und T1b. Zwischen den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten der dritten Molaren von Männern aus Areal I und ihrem T1b-Maß ($r = -0,666$) sowie den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten dritten Molaren und T1b ($r = -0,676$) der Männer aus Areal II besteht ein mittlerer, aber nicht signifikanter Zusammenhang. Da ein Signifikanztest hier aufgrund der geringen Fallzahl ($n = 3$) keine Aussagefähigkeit besitzt, muss diese Beziehung als nicht maßgeblich bezeichnet werden.



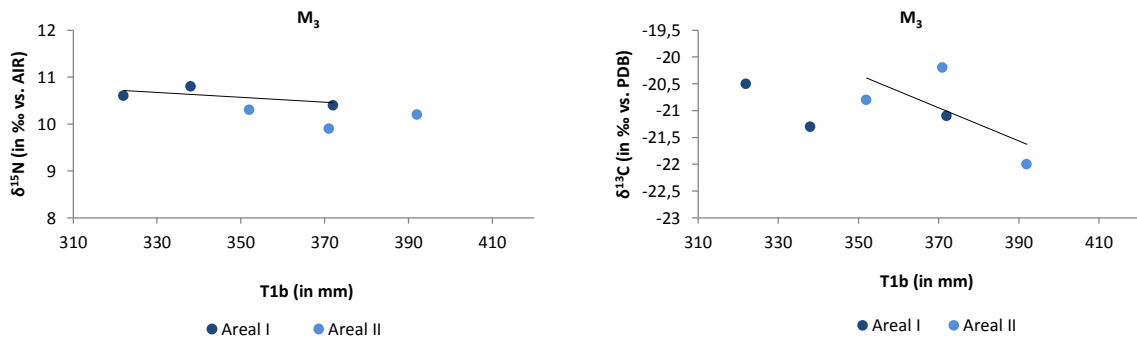


Abb. 30 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern aus Areal I und Areal II in Korrelation zu T1b.

Die Beziehung zwischen den N- und C-Isotopenverhältnissen in den Molaren und den Tibialängen konnte bei Frauen für den zweiten Molar nicht untersucht werden, da nur jeweils ein Zahn aus beiden Arealen für die Auswertung zur Verfügung stand. Da es sich bei den drei Molaren aus Areal II um Zähne einer einzigen Frau handelt, war der Vergleich zwischen den Gräberfeldarealen in diesem Fall nicht möglich. So zeigt sich bei den ersten Molaren der Frauen aus Areal I ein nahezu perfekter, aber aufgrund der geringen Datenmenge nicht signifikanter Zusammenhang und eine positive Korrelation zwischen ihren $\delta^{13}\text{C}$ -Werten und T1b ($r = 0,959$) (Abb. 31). Bei den Stickstoffisotopenverhältnissen sowie bei den dritten Molaren war dieser lineare Zusammenhang nicht feststellbar.

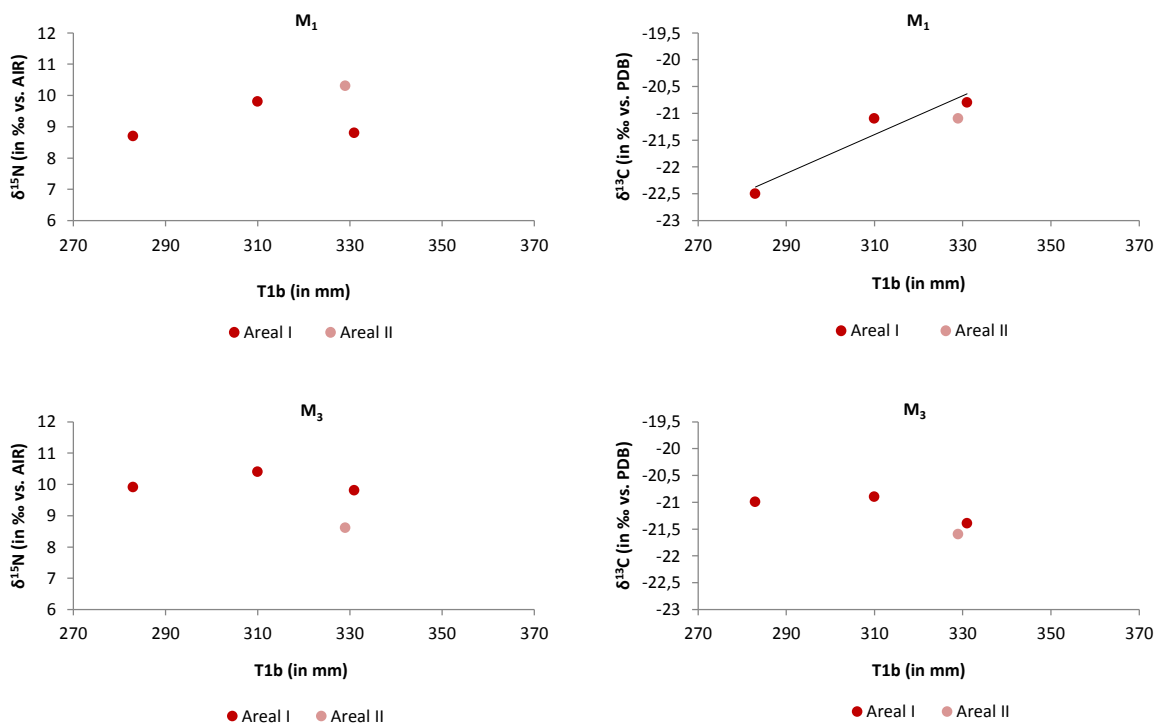


Abb. 31 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten und dritten Molaren bei Frauen aus Areal I und Areal II in Korrelation zu T1b.

TIBIA												
Areal I	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	T1b	Grab	Areal II	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	T1b	Grab	
Männer	M ₁	9,5	-20,3	316	I-20	Männer	M ₁	9,7	-20,6	356	II-27	
	M ₁	8,8	-21,4	372	I-25		M ₁	9,7	-20,7	349	II-44	
	M ₁	10,1	-22,0	338	I-36		M ₁	10,7	-21,1	371	II-83	
	M ₁	9,9	-20,6	322	I-48		M ₁	8,9	-20,6	392	II-107	
	M ₂	9,3	-20,1	316	I-20		M ₁	9,4	-20,3	352	II-111	
	M ₂	8,9	-21,2	372	I-25		M ₂	9,7	-21,1	349	II-44	
	M ₂	9,9	-21,9	338	I-36		M ₂	9,5	-21,0	371	II-83	
	M ₂	9,4	-20,1	322	I-48		M ₂	11,2	-21,5	392	II-107	
	M ₃	10,4	-21,1	372	I-25		M ₂	9,6	-20,5	352	II-111	
	M ₃	10,8	-21,3	338	I-36		M ₃	9,9	-20,2	371	II-83	
	M ₃	10,6	-20,5	322	I-48		M ₃	10,2	-22,0	392	II-107	
	Frauen	M ₁	9,8	-21,1	310		I-33	Frauen	M ₃	10,3	-20,8	352
M ₁		8,7	-22,5	283	I-34	M ₁	10,3		-21,1	329	II-45	
M ₁		8,8	-20,8	331	I-61	M ₂	9,3		-20,8	329	II-45	
M ₂		10,2	-21,5	310	I-33	M ₃	8,6		-21,6	329	II-45	
M ₃		10,4	-20,9	310	I-33							
M ₃		9,9	-21,0	283	I-34							
M ₃		9,8	-21,4	331	I-61							

Tab. 13 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen und Männern aus Areal I und Areal II, für die T1b (in mm) erhoben werden konnte. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 6).

Bezüglich des Humerus korrelieren die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte sowohl der ersten ($r = -0,647$, $p = 0,22$) als auch der zweiten ($r = -0,938$, $p = 0,04$) und der dritten ($r = -0,987$, $p = 0,5$) Molaren von Männern aus der mittleren-jüngeren Linienbandkeramik negativ mit der größten Humeruslänge (Abb. 32 und Tab. 14). Allerdings ist nur die Korrelation zwischen den zweiten Molaren und H1 statistisch signifikant. Dieser schwache bis starke lineare Zusammenhang ist im Gegensatz dazu weder bei $\delta^{13}\text{C}$ noch bei den Männern aus der älteren Phase der Linienbandkeramik zu erkennen.

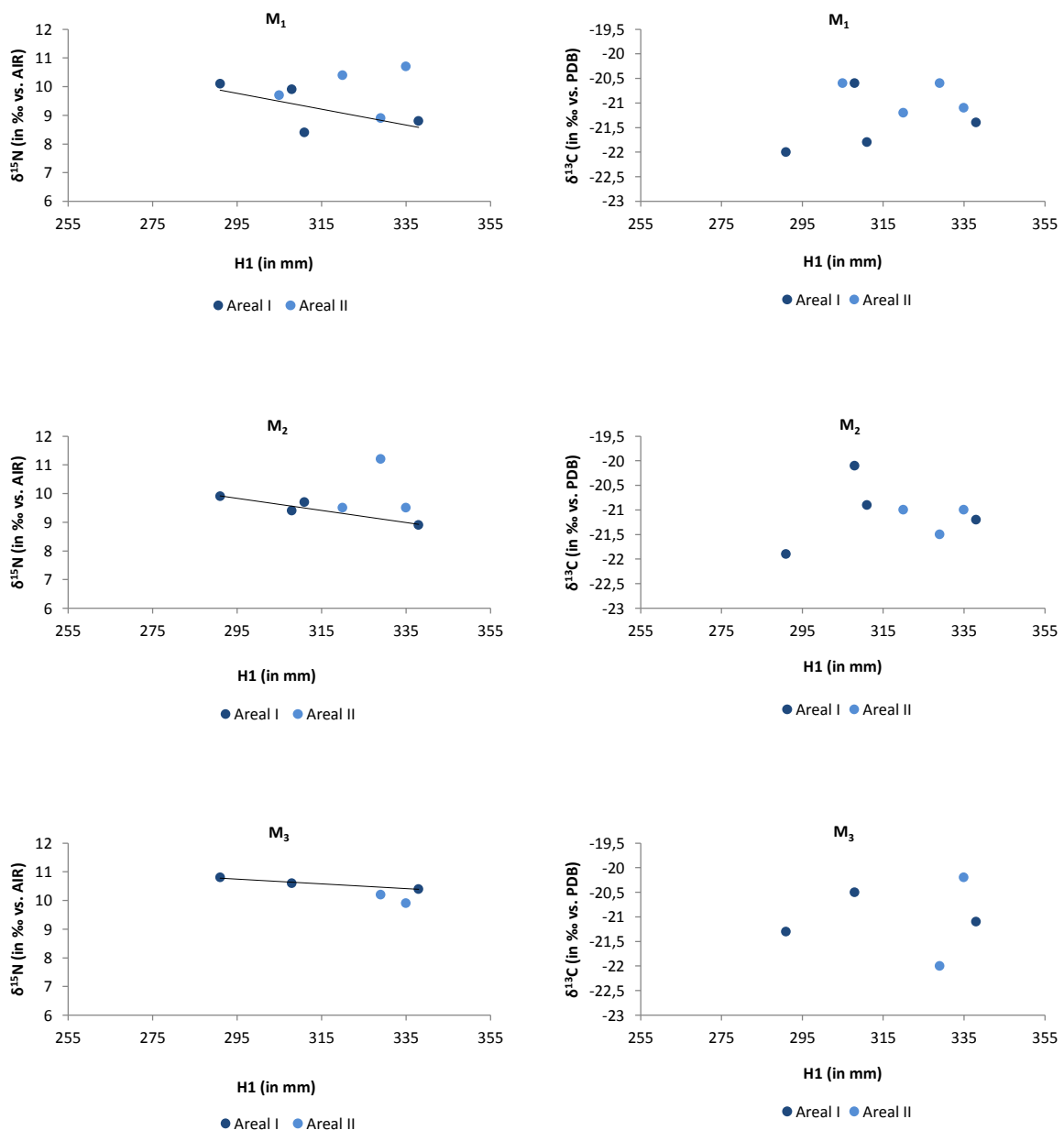


Abb. 32 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern aus Areal I und Areal II in Korrelation zu H1.

HUMERUS													
Areal I	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	H1	Grab	Areal II	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	H1	Grab		
Männer	M ₁	8,8	-21,4	338	I-25	Männer	M ₁	9,7	-20,6	305	II-27		
	M ₁	10,1	-22,0	291	I-36		M ₁	10,4	-21,2	320	II-78		
	M ₁	8,4	-21,8	311	I-47		M ₁	10,7	-21,1	335	II-83		
	M ₁	9,9	-20,6	308	I-48		M ₁	8,9	-20,6	329	II-107		
	M ₂	8,9	-21,2	338	I-25		M ₂	9,5	-21,0	320	II-78		
	M ₂	9,9	-21,9	291	I-36		M ₂	9,5	-21,0	335	II-83		
	M ₂	9,7	-20,9	311	I-47		M ₂	11,2	-21,5	329	II-107		
	M ₂	9,4	-20,1	308	I-48		M ₃	9,9	-20,2	335	II-83		
	M ₃	10,4	-21,1	338	I-25		M ₃	10,2	-22,0	329	II-107		
	M ₃	10,8	-21,3	291	I-36		Frauen	M ₁	8,9	-21,7	272	II-133	
	M ₃	10,6	-20,5	308	I-48			M ₂	8,4	-21,1	251	II-58	
	Frauen	M ₁	9,7	-21,2	272			I-21	M ₂	8,8	-20,4	272	II-133
		M ₁	9,8	-21,1	292			I-33	M ₃	10,1	-22,3	275	II-42
		M ₁	8,7	-22,5	269			I-34	M ₃	9,3	-20,9	251	II-58
		M ₁	10,5	-21,4	288			I-37					
M ₁		9,7	-21,2	284	I-55								
M ₁		8,8	-20,8	304	I-61								
M ₂		9,9	-21,0	272	I-21								
M ₂		10,2	-21,5	292	I-33								
M ₂		10,4	-20,3	288	I-37								
M ₂		9,7	-20,4	284	I-55								
M ₃	10,4	-20,9	292	I-33									
M ₃	9,9	-21,0	269	I-34									
M ₃	10,9	-21,8	288	I-37									
M ₃	10,3	-20,7	284	I-55									
M ₃	9,8	-21,4	304	I-61									

Tab. 14 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen und Männern aus Areal I und Areal II, für die H1 (in mm) erhoben werden konnte. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 6).

Bei Frauen aus Areal I zeichnet sich ein starker, knapp signifikanter linearer Zusammenhang und eine positive Korrelation zwischen ihren $\delta^{13}\text{C}$ -Werten im Primärdentin der ersten Molaren und H1 ab ($r = 0,740$, $p = 0,05$) (Abb. 33). Für die weiblichen Individuen aus Areal II war es nicht möglich, diesen Zusammenhang zu prüfen, da das H1-Maß nur für drei Frauen aus diesem Gräberfeldbereich erhoben werden konnte, und für diese jeweils weniger als drei Isotopendaten zur Verfügung standen, sodass auch kein Vergleich zwischen den Arealen erfolgen konnte.

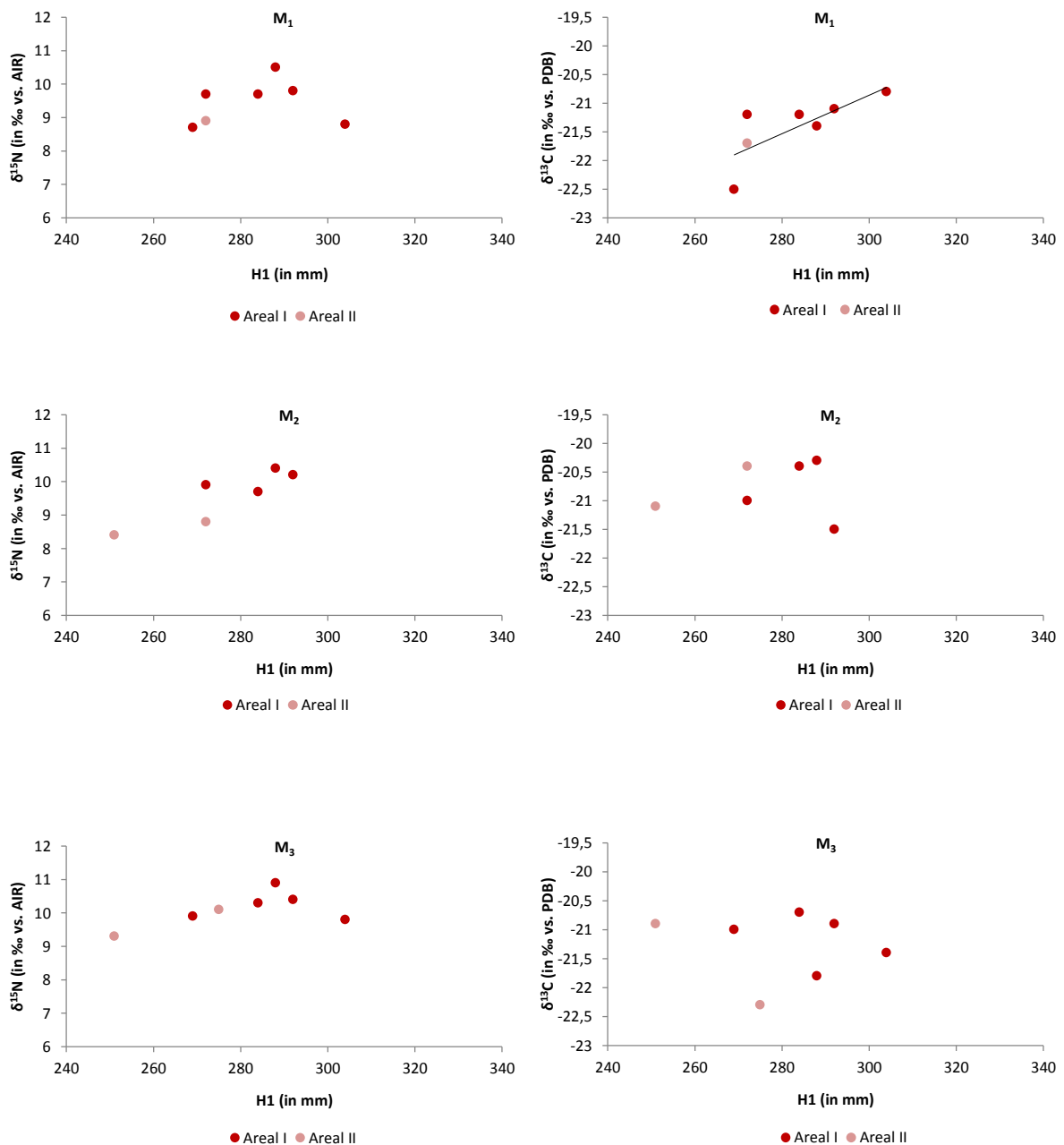
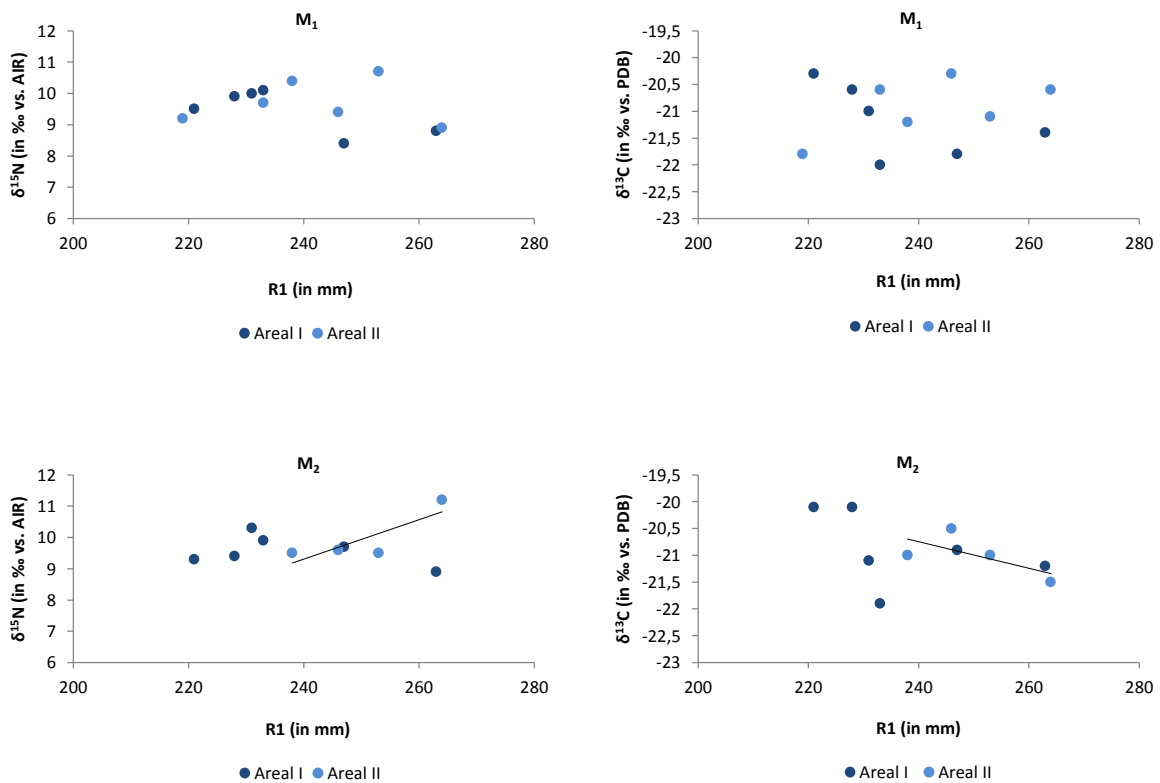


Abb. 33 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen aus Areal I und II in Korrelation zu H1.

Betrachtet man schließlich die Ergebnisse der Korrelationen zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in den drei Molaren und der größten Länge des Radius, so besteht bei den Männern aus Areal II wieder ein starker linearer Zusammenhang und eine positive Korrelation zwischen den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten ihrer zweiten Molaren und R1 ($r = 0,831$, $p = 0,12$), sowie ein starker linearer Zusammenhang und eine negative Korrelation zwischen den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten ebenfalls der zweiten Molaren und R1 ($r = -0,666$, $p = 0,21$) (Abb. 34 und Tab. 15). Bei Männern aus Areal I ist dagegen ein starker linearer Zusammenhang und eine negative Korrelation zwischen den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten ihrer dritten Molaren und R1 ($r = -0,792$, $p = 0,5$) zu erkennen. Die Prüfung der Korrelationen ergab in keinem der drei Fälle ein signifikantes Ergebnis. Die ersten Molaren beider Männergruppen sowie die $\delta^{13}\text{C}$ -Daten aus den dritten Molaren zeigen keinen linearen Zusammenhang zwischen den Isotopendaten und der größten Radiuslänge.



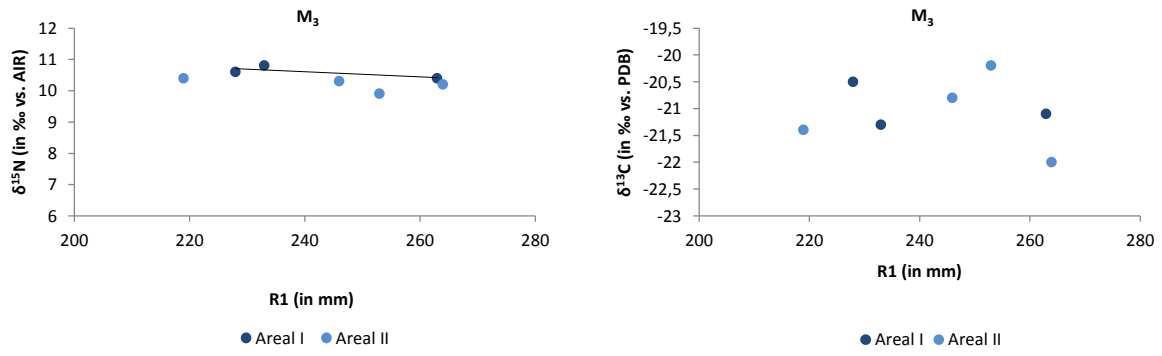
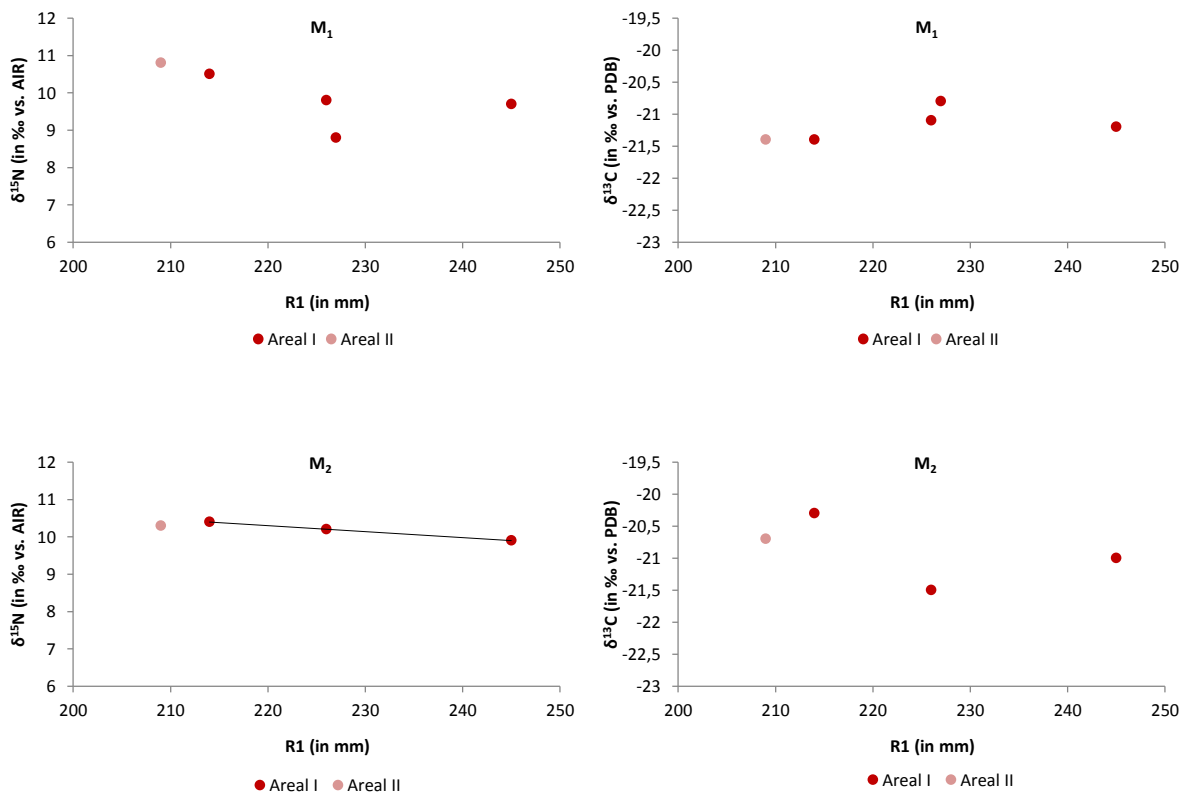


Abb. 34 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der zweiten und dritten Molaren bei Männern aus Areal I und II in Korrelation zu R1.

RADIUS													
Areal I	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	R1	Grab	Areal II	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	R1	Grab		
Männer	M ₁	9,5	-20,3	221	I-20	Männer	M ₁	9,2	-21,8	219	II-21		
	M ₁	8,8	-21,4	263	I-25		M ₁	9,7	-20,6	233	II-27		
	M ₁	10,1	-22,0	233	I-36		M ₁	10,4	-21,2	238	II-78		
	M ₁	10,0	-21,0	231	I-43		M ₁	10,7	-21,1	253	II-83		
	M ₁	8,4	-21,8	247	I-47		M ₁	8,9	-20,6	264	II-107		
	M ₁	9,9	-20,6	228	I-48		M ₁	9,4	-20,3	246	II-111		
	M ₂	9,3	-20,1	221	I-20		M ₂	9,5	-21,0	238	II-78		
	M ₂	8,9	-21,2	263	I-25		M ₂	9,5	-21,0	253	II-83		
	M ₂	9,9	-21,9	233	I-36		M ₂	11,2	-21,5	264	II-107		
	M ₂	10,3	-21,1	231	I-43		M ₂	9,6	-20,5	246	II-111		
	M ₂	9,7	-20,9	247	I-47		M ₃	10,4	-21,4	219	II-21		
	M ₂	9,4	-20,1	228	I-48		M ₃	9,9	-20,2	253	II-83		
	M ₃	10,4	-21,1	263	I-25		M ₃	10,2	-22,0	264	II-107		
	M ₃	10,8	-21,3	233	I-36		M ₃	10,3	-20,8	246	II-111		
	M ₃	10,6	-20,5	228	I-48		Frauen	M ₁	10,8	-21,4	209	II-43	
	Frauen	M ₁	9,7	-21,2	245			I-21	M ₂	10,3	-20,7	209	II-43
		M ₁	9,8	-21,1	226			I-33	M ₃	10,1	-22,3	197	II-42
		M ₁	10,5	-21,4	214			I-37	M ₃	10,7	-21,0	209	II-43
M ₁		8,8	-20,8	227	I-61								
M ₂		9,9	-21,0	245	I-21								
M ₂		10,2	-21,5	226	I-33								
M ₂		10,4	-20,3	214	I-37								
M ₃		10,4	-20,9	226	I-33								
M ₃		10,9	-21,8	214	I-37								
M ₃	9,8	-21,4	227	I-61									

Tab. 15 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen und Männern aus Areal I und Areal II, für die R1 (in mm) erhoben werden konnte. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4 und Tab. 8).

Wie bei den Männern aus Areal I korrelieren die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der dritten Molaren von Frauen aus diesem Gräberfeldbereich negativ mit R1 ($r = -0,874$) (Abb. 35). Allerdings liegt bei ihnen im Gegensatz zu den Männern auch zwischen den $\delta^{15}\text{N}$ -Werten ihrer zweiten Molaren und R1 ein nahezu perfekter linearer Zusammenhang und eine negative Korrelation ($r = -0,999$), sowie zwischen den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten ihrer dritten Molaren und R1 ein starker linearer Zusammenhang und eine positive Korrelation vor ($r = 0,792$). Aufgrund der Tatsache, dass auch hier nur drei Werte verfügbar sind, ist diese Korrelation jedoch statistisch nicht signifikant. Wie beim Humerus standen auch für die Prüfung dieses Zusammenhangs nicht genügend Daten für weibliche Individuen aus Areal II zur Verfügung, sodass auch an dieser Stelle ein Vergleich zwischen den Arealen nicht möglich war.



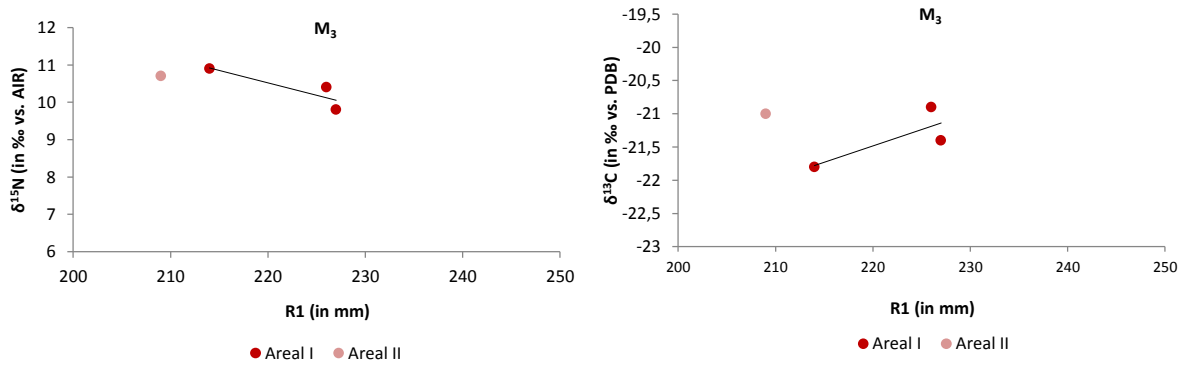


Abb. 35 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der zweiten und dritten Molaren bei Frauen aus Areal I und II in Korrelation zu R1.

7.1.1.2. Zusammenhang zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Zahndentin und der geschätzten Körperhöhe (nach Pearson)

Wie oben bereits erwähnt, war es bei allen 12 Individuen aus Areal I möglich, aus den erhaltenen Langknochen die Körperhöhe zu berechnen. Bei zehn von ihnen wurde die Körperhöhe aus der größten Länge des Femurs (F1) ermittelt, bei einem Individuum aus der größten Länge des Humerus (H1) und bei einem aus der größten Länge des Radius (R1). Dagegen konnte nur bei 12 von 17 Individuen aus Areal II die Körperhöhe anhand der erhaltenen Langknochen berechnet werden. Bei sechs Individuen erfolgte dies anhand von F1, bei jeweils zwei Individuen anhand von T1b, H1 und R1 (Tab. 8 und Tab. 9).

Aufgrund der Tatsache, dass die Molaren (M_1 - M_3) auch einen kumulativen Charakter haben, weil sie mit ihren Mineralisationszeiten die gesamte Kindheit und Jugend abdecken, war es naheliegend zuerst die Mittelwerte dieser drei Molaren mit der ebenfalls kumulativen Größe der Langknochen, der Körperhöhe, zueinander in Beziehung zu setzen (Tab. 16).

KÖRPERHÖHE										
Areal I	Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	KH	Areal II	Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	KH	
Männer	I-20	9,4	-20,2	156,3	Männer	II-21	9,8	-21,6	157,5	
	I-25	9,4	-21,2	172,8		II-27	9,7	-20,6	169,8	
	I-36	10,3	-21,7	158,4		II-44	9,7	-20,9	161,6	
	I-43	10,1	-21,0	161,5		II-78	9,9	-21,1	167,2	
	I-47	9,0	-21,3	163,8		II-83	10,0	-20,8	166,8	
	I-48	10,0	-20,4	160,8		II-107	10,1	-21,4	168,7	
Frauen	I-21	9,8	-21,1	146,0	II-111	9,8	-20,5	165,9		
	I-33	10,1	-21,2	153,6	Frauen	II-43	10,6	-21,0	151,1	
	I-34	9,3	-21,7	146,2		II-45	9,4	-21,2	153,6	
	I-37	9,9	-21,2	151,0		II-133	8,8	-21,0	148,1	
	I-55	9,3	-20,8	151,6		II-58	8,8	-21,0	140,6	
	I-61	9,3	-21,1	155,3		II-42	10,1	-22,3	147,2	

Tab. 16 Die aus Molaren gewonnenen $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte für Individuen, für die die Körperhöhe geschätzt werden konnte. Mw = Mittelwert, KH = Körperhöhe (in cm). Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4 und Tab. 8).

Weder zwischen Stickstoff- noch zwischen Kohlenstoffisotopenverhältnissen hinsichtlich der Mittelwerte aller untersuchten Molaren und der Körperhöhe lässt sich ein linearer Zusammenhang erkennen (Abb. 36).

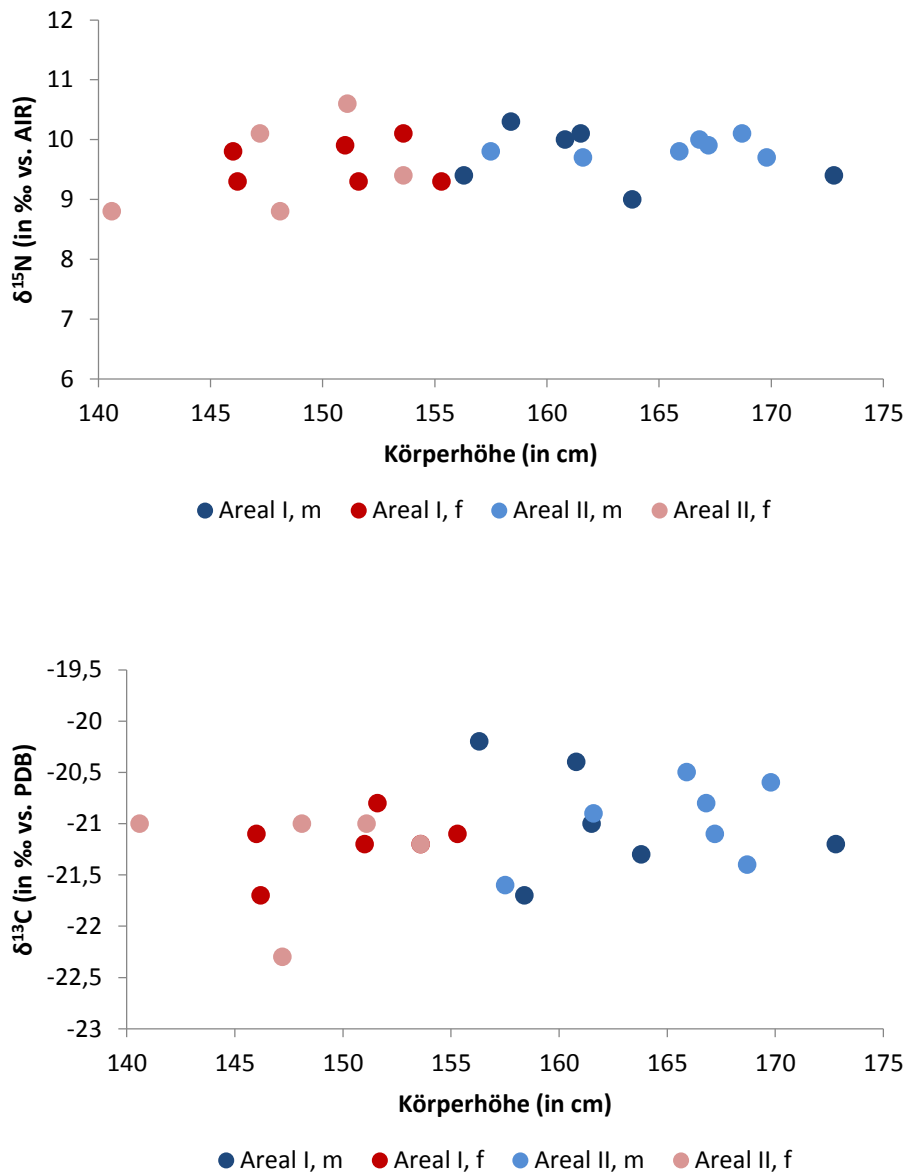
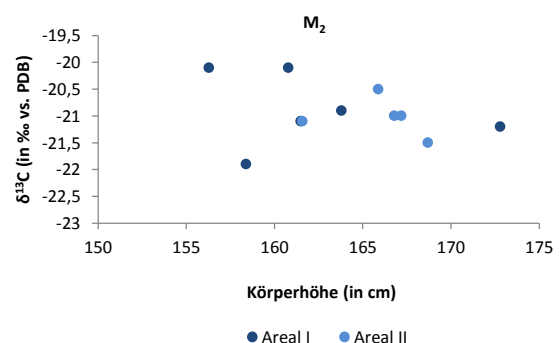
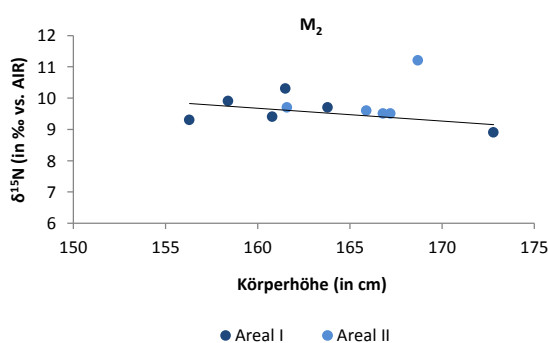
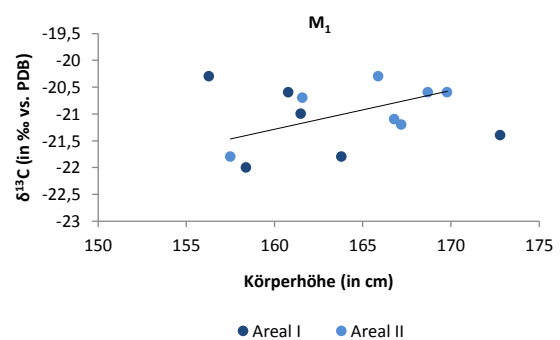
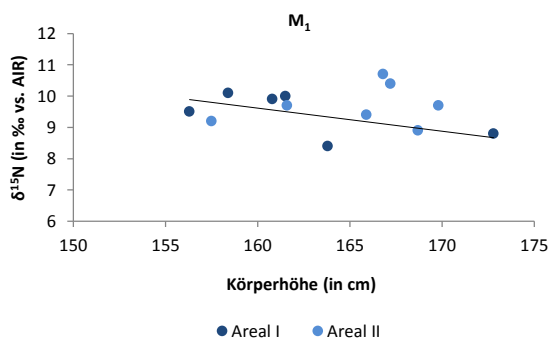


Abb. 36 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte in Zahnproben von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen in Korrelation zur Körperhöhe, für die die Körperhöhe ermittelt werden konnte (m = Männer; f = Frauen).

Eine sichtbare Trennung bezüglich der Körpergröße zwischen den Geschlechtern, auch im Areal I, kann beobachtet werden, obwohl sich die größten Längen der untersuchten Knochen von Männern und Frauen in diesem Bereich häufig überlappen, und die Körperhöhe anhand dieser Langknochen berechnet wurde. Während es bei den Frauen v. a. diejenigen aus Areal I

sind, die sich unter den größeren weiblichen Individuen befinden, sind es bei den Männern fast ausschließlich die Männer aus Areal II, die die größere Körperhöhe aufweisen.

Bei Betrachtung der einzelnen Molaren von Männern aus Areal I zeigt sich ein schwacher, linearer Zusammenhang und eine negative Korrelation sowohl zwischen $\delta^{15}\text{N}$ ihrer ersten (r = -0,610, p = 0,11) als auch ihrer zweiten Molaren (r = -0,482, p = 0,12) und der Körperhöhe, sowie ein starker linearer Zusammenhang und ebenfalls eine negative Korrelation zwischen $\delta^{15}\text{N}$ ihrer dritten Molaren und der Körperhöhe (r = -0,933, p = 0,5) (Abb. 37 und Tab. 17). Dieser starke Zusammenhang muss jedoch erneut aufgrund der geringen Datenmenge als statistisch nicht signifikant bewertet werden. Bezüglich der Männer aus Areal II konnte ein mittlerer Zusammenhang und eine positive Korrelation zwischen dem $\delta^{13}\text{C}$ ihrer ersten Molaren und ihrer geschätzten Körperhöhe (r = 0,622) sowie eine negative Korrelation zwischen dem $\delta^{15}\text{N}$ ihrer dritten Molaren und der Körperhöhe (r = -0,607) festgestellt werden. Beide Korrelationen sind statistisch nicht signifikant.



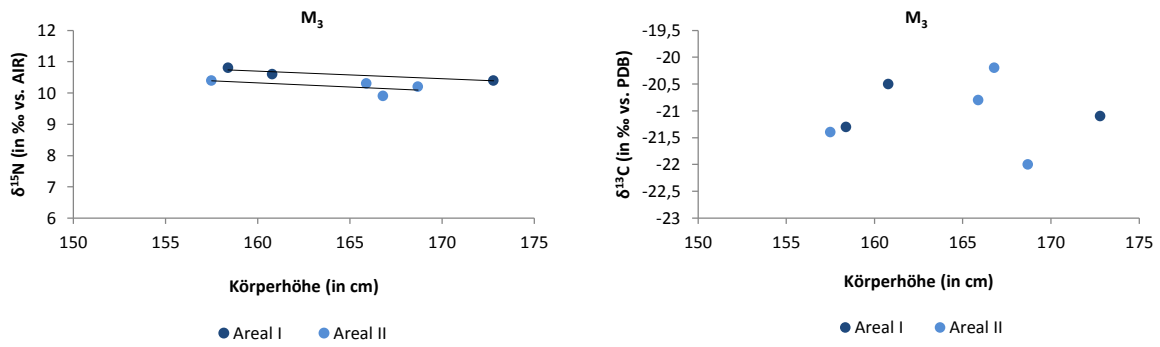
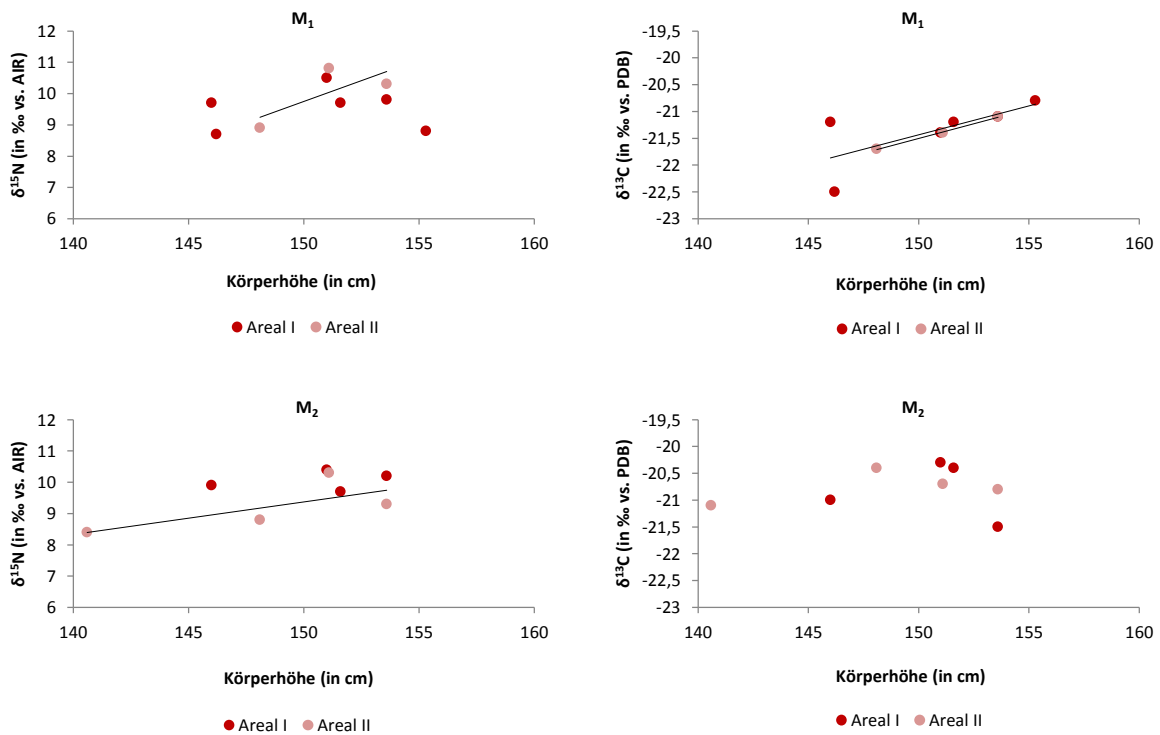


Abb. 37 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ der ersten, zweiten und dritten Molaren von Männern aus beiden Gräberfeldarealen in Korrelation zu ihrer Körperhöhe.

Bei Frauen aus Areal II konnte zwischen $\delta^{15}\text{N}$ der ersten Molaren und der Körperhöhe ($r = 0,746$) und $\delta^{15}\text{N}$ der zweiten Molaren und der Körperhöhe ($r = 0,710$) eine positive Korrelation bzw. ein starker linearer Zusammenhang festgestellt werden. Desweiteren fand sich ein nahezu perfekter linearer Zusammenhang und eine ebenfalls positive Korrelation zwischen $\delta^{13}\text{C}$ der ersten Molaren und der Körperhöhe ($r = 0,999$) (Abb. 38). Alle drei Beziehungen sind jedoch statistisch nicht signifikant. Nur bei Frauen aus Areal I war ein starker, grenzwertig signifikanter linearer Zusammenhang ($r = 0,697$, $p = 0,11$) zwischen $\delta^{13}\text{C}$ ihrer ersten Molaren und der ermittelten Körperhöhe zu beobachten.



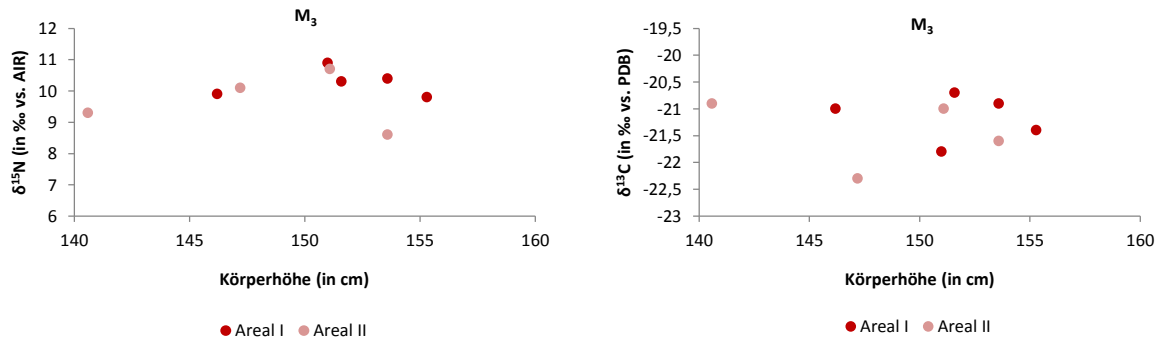


Abb. 38 $\delta^{15}N$ und $\delta^{13}C$ der ersten, zweiten und dritten Molaren von Frauen aus beiden Gräberfeldarealen in Korrelation zu ihrer Körperhöhe.

KÖRPERHÖHE													
Areal I	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	KH	Grab	Areal II	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	KH	Grab		
Männer	M ₁	9,5	-20,3	156,3	I-20	Männer	M ₁	9,2	-21,8	157,5	II-21		
	M ₁	8,8	-21,4	172,8	I-25		M ₁	9,7	-20,6	169,8	II-27		
	M ₁	10,1	-22,0	158,4	I-36		M ₁	9,7	-20,7	161,6	II-44		
	M ₁	10,0	-21,0	161,5	I-43		M ₁	10,4	-21,2	167,2	II-78		
	M ₁	8,4	-21,8	163,8	I-47		M ₁	10,7	-21,1	166,8	II-83		
	M ₁	9,9	-20,6	160,8	I-48		M ₁	8,9	-20,6	168,7	II-107		
	M ₂	9,3	-20,1	156,3	I-20		M ₁	9,4	-20,3	165,9	II-111		
	M ₂	8,9	-21,2	172,8	I-25		M ₂	9,7	-21,1	161,6	II-44		
	M ₂	9,9	-21,9	158,4	I-36		M ₂	9,5	-21,0	167,2	II-78		
	M ₂	10,3	-21,1	161,5	I-43		M ₂	9,5	-21,0	166,8	II-83		
	M ₂	9,7	-20,9	163,8	I-47		M ₂	11,2	-21,5	168,7	II-107		
	M ₂	9,4	-20,1	160,8	I-48		M ₂	9,6	-20,5	165,9	II-111		
	M ₃	10,4	-21,1	172,8	I-25		M ₃	10,4	-21,4	157,5	II-21		
	M ₃	10,8	-21,3	158,4	I-36		M ₃	9,9	-20,2	166,8	II-83		
	M ₃	10,6	-20,5	160,8	I-48		M ₃	10,2	-22,0	168,7	II-107		
	Frauen	M ₁	9,7	-21,2	146,0		I-21	Frauen	M ₃	10,3	-20,8	165,9	II-111
		M ₁	9,8	-21,1	153,6		I-33		M ₁	10,8	-21,4	151,1	II-43
		M ₁	8,7	-22,5	146,2		I-34		M ₁	10,3	-21,1	153,6	II-45
M ₁		10,5	-21,4	151,0	I-37	M ₁	8,9		-21,7	148,1	II-133		
M ₁		9,7	-21,2	151,6	I-55	M ₂	10,3		-20,7	151,1	II-43		
M ₁		8,8	-20,8	155,3	I-61	M ₂	9,3		-20,8	153,6	II-45		
M ₂		9,9	-21,0	146,0	I-21	M ₂	8,4		-21,1	140,6	II-58		
M ₂		10,2	-21,5	153,6	I-33	M ₂	8,8		-20,4	148,1	II-133		
M ₂		10,4	-20,3	151,0	I-37	M ₃	10,1		-22,3	147,2	II-42		
M ₂		9,7	-20,4	151,6	I-55	M ₃	10,7		-21,0	151,1	II-43		
M ₃		10,4	-20,9	153,6	I-33	M ₃	8,6		-21,6	153,6	II-45		
M ₃		9,9	-21,0	146,2	I-34	M ₃	9,3		-20,9	140,6	II-58		
M ₃		10,9	-21,8	151,0	I-37								
M ₃		10,3	-20,7	151,6	I-55								
M ₃		9,8	-21,4	155,3	I-61								

Tab. 17 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen und Männern aus Areal I und Areal II, für die die Körperhöhe geschätzt werden konnte. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. KH = Körperhöhe in cm. (Ausschnitt aus Tab. 4 und Tab. 8).

7.1.1.3. Einfluss von unspezifischen Stressindikatoren während der Kindheit auf $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Zahndentin sowie auf die Langknochenmaße und die Körperhöhe

Für die Prüfung eines möglichen Einflusses von Krankheiten, die auf unspezifischen Stress während des Wachstums hinweisen können, auf stabile Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenverhältnisse im Zahndentin und auf das Knochenlängenwachstum wurden der Fragestellung entsprechend nur die Krankheiten berücksichtigt, die sich bereits in der Kindheit und Jugend, d. h. in der Zeit der Mineralisation der untersuchten Zähne bzw. Zahnabschnitte, ausgebildet haben. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden für diesen Zweck Cribra orbitalia, Zahnschmelzhypoplasien und Zahnfehlstellungen herangezogen.

Alle drei Merkmale wurden von der Autorin selbst geprüft und gegebenenfalls ergänzt oder geändert. So konnte bei den in dieser Pilotstudie untersuchten 12 Individuen aus der mittleren und jüngeren Linienbandkeramik nur bei einem männlichen Individuum Cribra orbitalia, bei sieben Individuen (3 Männern und 4 Frauen) Zahnschmelzhypoplasien und bei 4 Individuen (3 Männern und einer Frau) Zahnfehlstellungen diagnostiziert werden. Von den 17 Individuen aus der älteren Linienbandkeramik weisen 4 (ein Mann und 3 Frauen) Cribra orbitalia, 9 (5 Männer und 4 Frauen) Zahnschmelzhypoplasien sowie 10 (7 Männer und 3 Frauen) Zahnfehlstellungen auf (Tab. 18).

Areal I			Cribra	Zahnschmelz-	Zahnfehl-
Grab	Alter	Geschlecht	orbitalia	hypoplasien	stellungen
I-20	30--40	m		x	
I-25	20-30	m		x	x
I-36	20-30	m			x
I-43	20-30	m			x
I-47	30-40	m	x	x	
I-48	30-40	m			
I-21	20-25	w		x	
I-33	30-40	w			
I-34	20-30	w			
I-37	30-40	w		x	x
I-55	20-30	w		x	
I-61	30-40	w		x	

Areal II			Cribra	Zahnschmelz-	Zahnfehl-
Grab	Alter	Geschlecht	orbitalia	hypoplasien	stellungen
II-21	30-40	m		x	
II-27	20-25	m		x	x
II-30	20-30	m		x	x
II-44	25-30	m		x	
II-57	25-40	m			x
II-78	22-30	m	x		x
II-83	20-30	m			x
II-107	30-40	m		x	x
II-111	30-40	m			x
II-22	20-25	w		x	
II-35	20-25	w	x		
II-42	18-24	w	x		
II-43	22-25	w	x	x	x
II-45	22-27	w		x	
II-54	25-35	w		x	
II-58	22-27	w			x
II-133	22-25	w			x

Tab. 18 Unspezifische Stressindikatoren (aus Burger-Heinrich, unveröff. Manuskript) bei den in dieser Pilotstudie untersuchten Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen der mittleren-jüngeren (Areal I) und älteren (Areal II) Linienbandkeramik. m = männlich; w = weiblich.

7.1.1.3.1. Cribra orbitalia

Die Frage, ob sich die stabilen Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenverhältnisse bei Individuen, die Cribra orbitalia aufweisen, von denen ohne dieses Krankheitsbild unterscheiden, kann, zumindest bei dieser kleinen Stichprobe, nicht eindeutig beantwortet werden.¹⁴² Einerseits

¹⁴² Aufgrund der verhältnismäßig nur wenigen Individuen, bei denen Cribra orbitalia nachgewiesen werden konnte, wurden die Individuen gemeinsam ausgewertet.

konnte Cribra orbitalia jeweils nur bei einem Mann aus Areal II und einem Mann aus Areal I beobachtet werden, was deren Beurteilung sehr erschwert, und andererseits liegen die N-Isotopenwerte beider Geschlechter aus Areal II mit Cribra orbitalia eher im höheren Wertebereich, während die N-Isotopenwerte des Mannes mit Cribra orbitalia aus Areal I unter den Werten der Männer ohne Cribra orbitalia liegen. Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte dieser Individuen zeigen keine Unterschiede (Abb. 39, Tab. 19). Somit wären unterschiedliche Ursachen für Cribra orbitalia in dem jeweiligen Gräberfeldbereich denkbar. Da keine Frau aus Areal I diese Pathologie aufweist, wurde diese Gruppe hier nicht berücksichtigt.

CRIBRA ORBITALIA									
Areal I	Grab	$\delta^{15}\text{N}$ -Mw	$\delta^{13}\text{C}$ -Mw	CO	Areal II	Grab	$\delta^{15}\text{N}$ -Mw	$\delta^{13}\text{C}$ -Mw	CO
Männer	I-47	9,0	-21,3	x	Männer	II-78	9,9	-21,1	x
	I-20	9,4	-20,2			II-21	9,8	-21,6	
	I-25	9,4	-21,2			II-27	9,7	-20,6	
	I-36	10,3	-21,7			II-30	9,0	-20,9	
	I-43	10,1	-21,0			II-44	9,7	-20,9	
	I-48	10,0	-20,4			II-83	10,0	-20,8	
Frauen	I-21	9,8	-21,1		II-107	10,1	-21,4		
	I-33	10,1	-21,2		II-111	9,8	-20,5		
	I-34	9,3	-21,7		II-57	10,1	-21,8		
	I-37	10,6	-21,2		Frauen	II-35	9,5	-20,8	x
	I-55	9,9	-20,8			II-42	10,1	-22,3	x
	I-61	9,3	-21,1			II-43	10,6	-21,0	x
						II-22	9,8	-21,0	
					II-45	9,4	-21,2		
					II-133	8,8	-21,0		
					II-54	9,4	-20,5		
				II-58	8,8	-21,0			

Tab. 19 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Individuen mit und ohne Cribra orbitalia. Mw = Mittelwert, CO = Cribra orbitalia. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4 und Tab. 18).

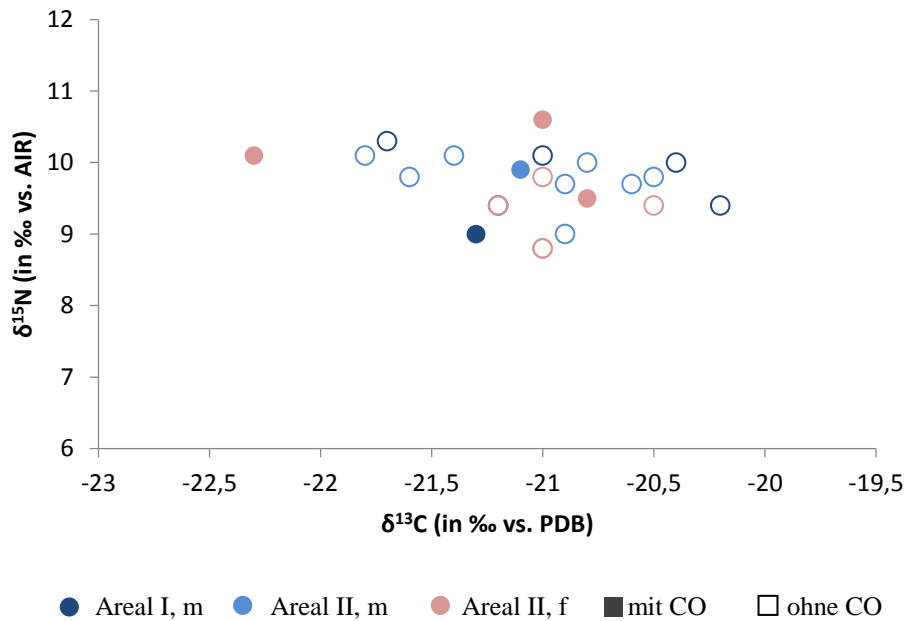


Abb. 39 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen aus Areal II und Männern aus beiden Gräberfeldarealen mit und ohne Cribra orbitalia (CO) (m = Männer; f = Frauen).

Die Untersuchung der Beziehung zwischen den stabilen N- und C-Isotopenverhältnissen in einzelnen Molaren von Individuen mit Cribra orbitalia ergab hinsichtlich des zweiten Molars einen nahezu perfekten Zusammenhang ($r = 0,995$) und eine positive, allerdings aufgrund der geringen Fallzahl nicht signifikante Korrelation (Tab. 20, Abb. 40). Das ist insofern nicht überraschend, da Cribra orbitalia am häufigsten in der Altersstufe infans II (7-12 Jahre) (Piontek, Koslowski 2002; Herberth 2004; Jungklaus 2008; Teegen 2006) auftritt, was sich mit der Mineralisationszeit des hier beprobten Abschnittes der zweiten Molaren deckt. Aufgrund von nur zwei verfügbaren Daten für die dritten Molaren konnte diese Zahngruppe auf diesen Zusammenhang hin nicht untersucht werden.

CRIBRA ORBITALIA									
Areal I	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Grab	Areal II	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Grab
Männer	M ₁	8,4	-21,8	I-47	Männer	M ₁	10,4	-21,2	II-78
	M ₂	9,7	-20,9	I-47		M ₂	9,5	-21,0	II-78
					Frauen	M ₁	9,5	-20,8	II-35
				M ₁		10,8	-21,4	II-43	
				M ₂		10,3	-20,7	II-43	
				M ₃		10,7	-21,0	II-43	
					M ₃	10,1	-22,3	II-42	

Tab. 20 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen aus Areal II und Männern aus Areal I und II, bei denen Cribra orbitalia diagnostiziert wurde. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 6).

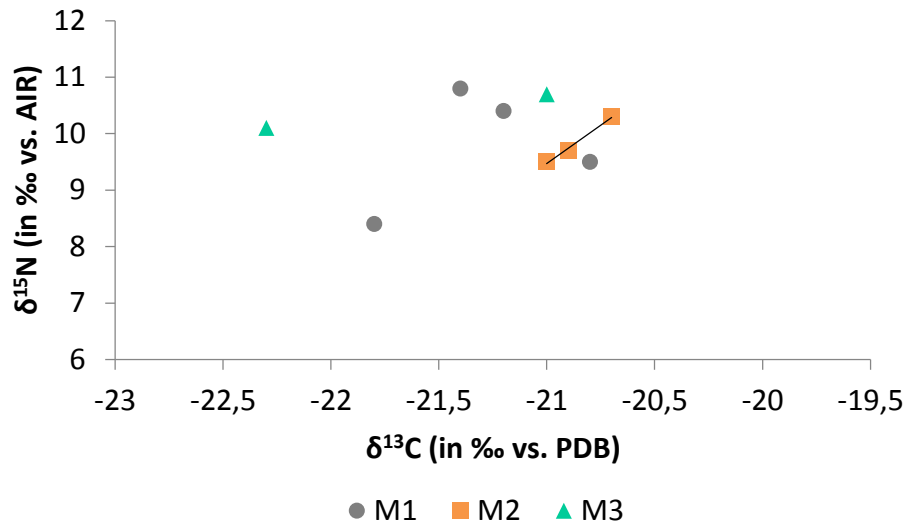


Abb. 40 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ersten, zweiten und dritten Molaren von Frauen aus Areal II und Männern aus beiden Gräberfeldarealen mit Cribra orbitalia.

Um zu prüfen, ob sich diese Krankheit auf das Längenwachstum der Langknochen und auf die Körperhöhe ausgewirkt hat, und die Knochen dieser Individuen möglicherweise kleiner sind als die von Individuen, die diese Pathologie nicht aufweisen, wurden die Mittelwerte der Stickstoff- und Kohlenstoffisotope aus den Molaren mit der größten Länge der einzelnen Langknochen, die für die jeweiligen Individuen zur Verfügung standen, korreliert. Bei einer Frau (Grab II-35) mit Cribra orbitalia aus Areal II konnte das Maß 1 bei allen Langknochen nicht erhoben werden, sodass sie nicht in die Untersuchung eingehen konnte. Der Einfluss von Cribra orbitalia auf F1 und T1b war nicht beurteilbar, weil nur von zwei Individuen bzw. von keinem Individuum mit Cribra orbitalia die Daten zu diesen Knochenmaßen vorhanden waren, sodass nur die Maße H1, R1 sowie die Körperhöhe beurteilt werden konnten (Tab. 21 und Tab. 22).

CRIBRA ORBITALIA							
Grab	$\delta^{15}\text{N}$ -Mw	$\delta^{13}\text{C}$ -Mw	F1	T1b	H1	R1	KH
I-47	9,0	-21,3	439	0	311	247	163,8
II-78	9,9	-21,1	457	0	320	238	167,2
II-42	10,1	-22,3	0	0	275	197	147,2
II-43	10,6	-21,0	0	0	0	209	151,1
II-35	9,5	-20,8	0	0	0	0	0

Tab. 21 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin sowie Langknochenmaße (in mm) und Körperhöhe (in cm) bei Individuen mit Cribra orbitalia. Mw = Mittelwert, KH = Körperhöhe. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4, Tab. 8 und Tab. 18).

Die hier untersuchten Individuen mit *Cribrra orbitalia* unterscheiden sich hinsichtlich der Länge ihrer Humeri, Radii und ihrer Körpergröße nicht von den Individuen, die keine Anzeichen von *Cribrra orbitalia* aufweisen (Abb. 41).

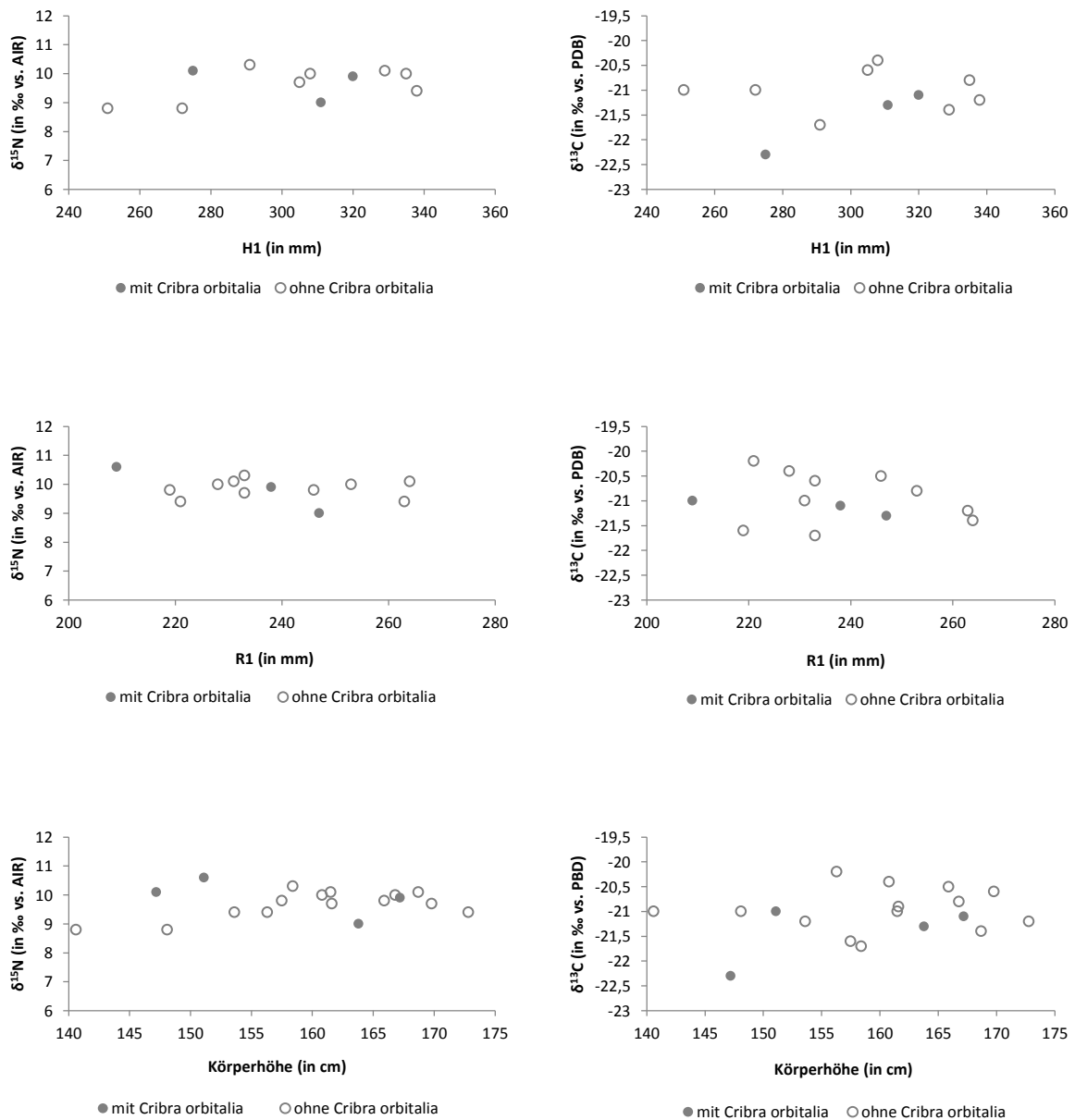


Abb. 41 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Individuen mit und ohne *Cribrra orbitalia* in Korrelation zu ihren verfügbaren Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.

Humerus					Radius					Körperhöhe				
Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	H1	CO	Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	R1	CO	Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	KH	CO
I-47	9,0	-21,3	311	x	I-47	9,0	-21,3	247	x	I-47	9,0	-21,3	163,8	x
II-78	9,9	-21,1	320	x	II-78	9,9	-21,1	238	x	II-78	9,9	-21,1	167,2	x
II-42	10,1	-22,3	275	x	II-42	10,1	-22,3	197	x	II-42	10,1	-22,3	147,2	x
I-25	9,4	-21,2	338		II-43	10,6	-21,0	209	x	II-43	10,6	-21,0	151,1	x
I-36	10,3	-21,7	291		I-20	9,4	-20,2	221		I-20	9,4	-20,2	156,3	
I-48	10,0	-20,4	308		I-25	9,4	-21,2	263		I-25	9,4	-21,2	172,8	
II-27	9,7	-20,6	305		I-36	10,3	-21,7	233		I-36	10,3	-21,7	158,4	
II-83	10,0	-20,8	335		I-43	10,1	-21,0	231		I-43	10,1	-21,0	161,5	
II-107	10,1	-21,4	329		I-48	10,0	-20,4	228		I-48	10,0	-20,4	160,8	
II-133	8,8	-21,0	272		II-21	9,8	-21,6	219		II-21	9,8	-21,6	157,5	
II-58	8,8	-21,0	251		II-27	9,7	-20,6	233		II-27	9,7	-20,6	169,8	
					II-83	10,0	-20,8	253		II-44	9,7	-20,9	161,6	
					II-107	10,1	-21,4	264		II-83	10,0	-20,8	166,8	
					II-111	9,8	-20,5	246		II-107	10,1	-21,4	168,7	
										II-111	9,8	-20,5	165,9	
										II-45	9,4	-21,2	153,6	
										II-133	8,8	-21,0	148,1	
										II-58	8,8	-21,0	140,6	

Tab. 22 Die aus Molaren gewonnenen $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte von Individuen mit und ohne Cribra orbitalia, sowie die dazugehörigen Daten zu Langknochenmaßen (in mm) und den Körperhöhen (in cm), sofern sie verfügbar waren. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4, Tab. 8 und Tab. 18).

7.1.1.3.2. Zahnschmelzhyoplasien

Die Zahnschmelzhyoplasien konnten nur bei Individuen beurteilt werden, deren Zähne gut erhalten und nicht vom supragingivalem Zahnstein befallen waren. Nur die Individuen, bei denen an mindestens zwei Zähnen Zahnschmelzhyoplasien nachgewiesen wurden, sind in die Auswertung eingegangen.

Bei 7 Individuen aus Areal I (3 Männern und 4 Frauen) sowie bei 9 Individuen aus Areal II (5 Männern und 4 Frauen) konnten Zahnschmelzhyoplasien an mindestens 2 Zähnen festgestellt werden (Tab. 23). Das $\delta^{15}\text{N}$ von Männern mit Zahnschmelzhyoplasien aus beiden Arealen ist niedriger als bei Männern ohne diese Unterentwicklung des Zahnschmelzes (Abb. 42) allerdings ist dieser Zusammenhang nur bei Männern aus Areal I statistisch hoch signifikant ($p = 0,006$).

ZAHNSCHMELZHYOPLASIEN										
Areal I	Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	F1	T1b	H1	R1	KH	ZSH	
Männer	I-47	9,0	-21,3	439	0	311	247	163,8	x	
	I-20	9,4	-20,2	399	316	0	221	156,3	x	
	I-25	9,4	-21,2	487	372	338	263	172,8	x	
	I-36	10,3	-21,7	410	338	291	233	158,4		
	I-48	10,0	-20,4	423	322	308	228	160,8		
	I-43	10,1	-21,0	0	0	0	231	161,5		
	Frauen	I-37	10,1	-21,2	0	0	288	214	151,0	x
		I-21	9,8	-21,1	376	0	272	245	146,0	x
		I-55	9,3	-21,7	405	0	284	0	151,6	x
		I-61	10,6	-21,2	424	331	304	227	155,3	x
I-33		9,9	-20,8	415	310	292	226	153,6		
I-34	9,3	-21,1	377	283	269	0	146,2			
Areal II										
Männer	II-107	10,1	-21,4	465	392	329	264	168,7	x	
	II-27	9,7	-20,6	471	356	305	233	169,8	x	
	II-21	9,8	-21,6	0	0	0	219	157,5	x	
	II-44	9,7	-20,9	0	349	0	0	161,6	x	
	II-111	9,8	-20,5	450	352	0	246	165,9		
	II-78	9,9	-21,1	457	0	320	238	167,2		
Frauen	II-83	10,0	-20,8	0	371	335	253	166,8		
	II-43	10,6	-21,0	0	0	0	209	151,1	x	
	II-45	9,4	-21,2	415	329	0	0	153,6	x	
	II-133	8,8	-21,0	387	0	272	0	148,1		
	II-58	8,8	-21,0	0	0	251	0	140,6		
II-42	10,1	-22,3	0	0	275	197	147,2			

Tab. 23 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben sowie die verfügbaren Daten zu den Langknochenmaßen (in mm) und den Körperhöhen (in cm) von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen mit und ohne Zahnschmelzhyoplasien. Mw = Mittelwert, ZSH = Zahnschmelzhyoplasien. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4, Tab. 8 und Tab. 20).

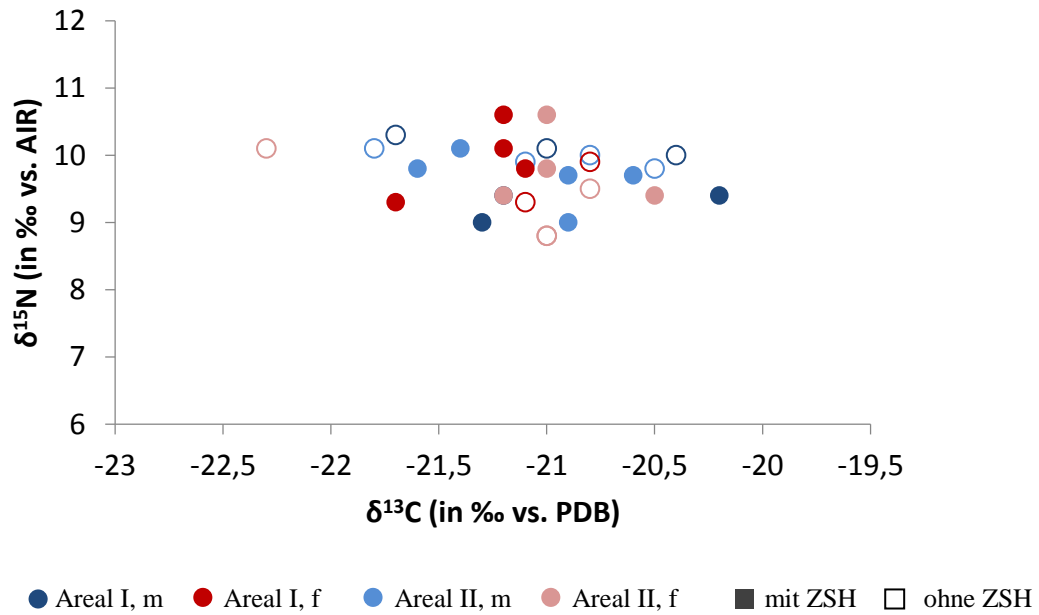


Abb. 42 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen und Männern aus beiden Gräberfeldarealen mit und ohne Zahnschmelzhypoplasien (ZSH) (m = Männer; f = Frauen).

Dagegen zeigen die Isotopenwerte der Frauen mit Zahnschmelzhypoplasien kein eindeutiges Bild, bzw. ihre $\delta^{15}\text{N}$ -Werte scheinen eher höher zu sein¹⁴³. Dies könnte auf unterschiedliche Art von Stress sowie unterschiedliche Dauer und Intensität der Stressphasen in der Kindheit und Jugend bei Mädchen und Jungen hinweisen. Unterschiede in ihren $\delta^{13}\text{C}$ -Werten sind, wie bei der *Cribra orbitalia*, nicht erkennbar. Anders als bei *Cribra orbitalia* besteht in keinem der drei Molaren ein linearer Zusammenhang zwischen den Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenverhältnissen (Tab. 24, Abb. 43).

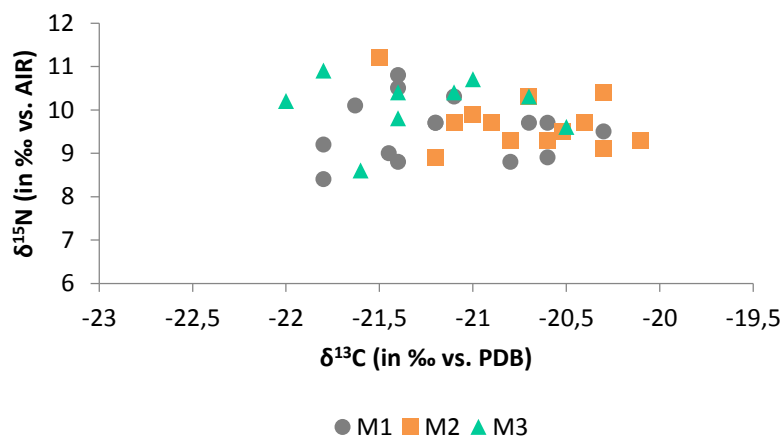


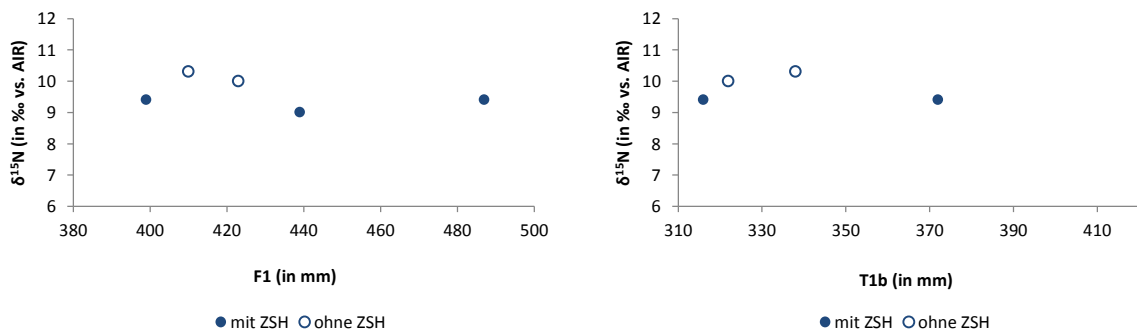
Abb. 43 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ersten, zweiten und dritten Molaren von Frauen und Männern mit Zahnschmelzhypoplasien aus beiden Gräberfeldarealen.

¹⁴³ Für die separierte Darstellung der Geschlechter nach Areal siehe Anhang Abb. 4.

ZAHNSCHMELZHYPOPLASIEN										
Areal I	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Grab	Areal II	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Grab	
Männer	M ₁	8,4	-21,8	I-47	Männer	M ₁	9,2	-21,8	II-21	
	M ₁	9,5	-20,3	I-20		M ₁	9,7	-20,6	II-27	
	M ₁	8,8	-21,4	I-25		M ₁	9,0	-21,4	II-30	
	M ₂	9,7	-20,9	I-47		M ₁	9,7	-20,7	II-44	
	M ₂	9,3	-20,1	I-20		M ₁	8,9	-20,6	II-107	
	M ₂	8,9	-21,2	I-25		M ₂	9,1	-20,3	II-30	
	M ₃	10,4	-21,1	I-25		M ₂	9,7	-21,1	II-44	
	Frauen	M ₁	9,7	-21,2		I-21	M ₂	11,2	-21,5	II-107
		M ₁	10,5	-21,4		I-37	M ₃	10,2	-22,0	II-107
		M ₁	9,7	-21,2		I-55	M ₃	10,4	-21,4	II-21
M ₁		8,8	-20,8	I-61	Frauen	M ₁	10,8	-21,4	II-43	
M ₂		9,9	-21,0	I-21		M ₁	10,1	-21,6	II-22	
M ₂		10,4	-20,3	I-37		M ₁	10,3	-21,1	II-45	
M ₂		9,7	-20,4	I-55		M ₂	10,3	-20,7	II-43	
M ₃		10,9	-21,8	I-37		M ₂	9,5	-20,5	II-22	
M ₃		10,3	-20,7	I-55		M ₂	9,3	-20,8	II-45	
M ₃		9,8	-21,4	I-61		M ₃	10,7	-21,0	II-43	
				M ₃		8,6	-21,6	II-45		
				M ₃		9,6	-20,5	II-54		

Tab. 24 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen, bei denen Zahnschmelzhypoplasien diagnostiziert wurden. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 6).

Bei drei Individuen fehlen die Maße der größten Länge der Langknochen, sodass insgesamt 13 von 16 Individuen mit Zahnschmelzhypoplasien für die Prüfung der Korrelation zwischen den Langknochen bzw. der Körperhöhen und den Isotopendaten aus den Molaren von Individuen mit Zahnschmelzhypoplasien herangezogen werden konnten (Tab. 25). Bei der Auswertung der Daten für die Männer aus der mittleren und jüngeren Linienbandkeramik zeigte sich, dass Individuen mit Zahnschmelzhypoplasien, wie bei der Cribra orbitalia, niedrigere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aufweisen, aber auch, dass einige der hier berücksichtigten Langknochen sowie die Körperstatur einiger Individuen größer ist als dies bei Individuen ohne Zahnschmelzhypoplasien der Fall ist (Abb. 44)¹⁴⁴.



¹⁴⁴ Siehe Anhang, Abb. 5 für $\delta^{13}\text{C}$.

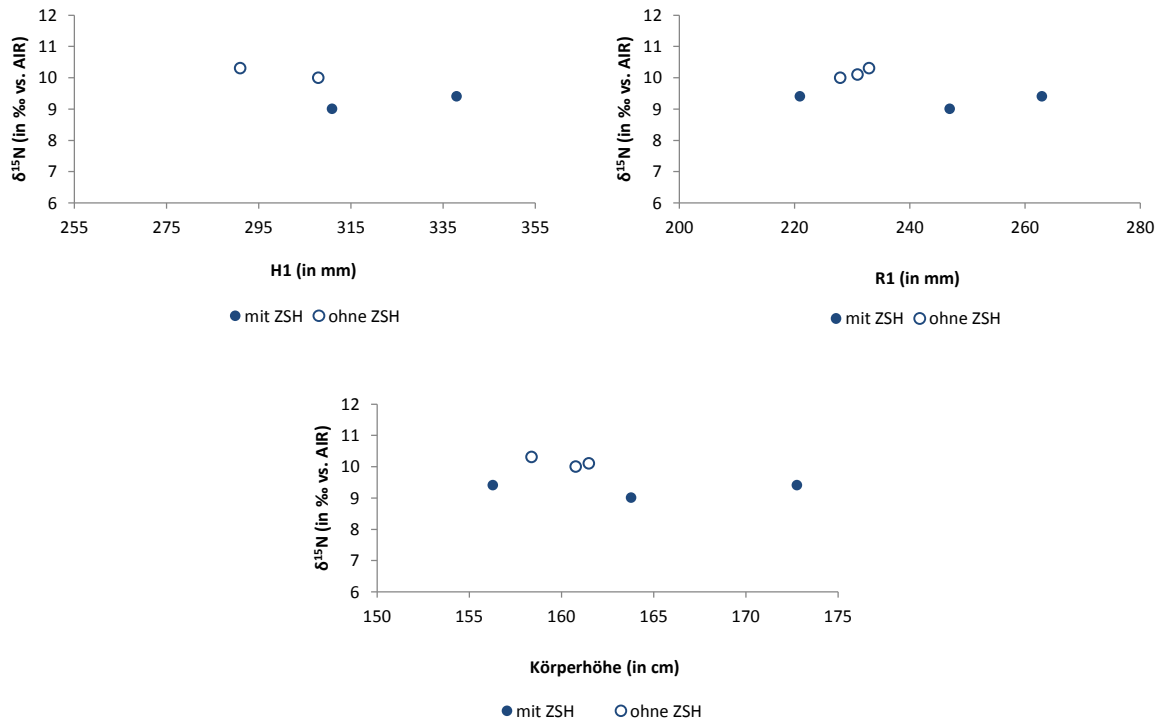


Abb. 44 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern aus Areal I mit und ohne Zahnschmelzhypoplasien in Korrelation zu ihren verfügbaren Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.

ZAHNSCHMELZHYPOPLASIEN							
Grab	$\delta^{15}\text{N}$ -Mw	$\delta^{13}\text{C}$ -Mw	F1	T1b	H1	R1	KH
I-47	9,0	-21,3	439	0	311	247	163,8
I-20	9,4	-20,2	399	316	0	221	156,3
I-25	9,4	-21,2	487	372	338	263	172,8
II-107	10,1	-21,4	465	392	329	264	168,7
II-21	9,8	-21,6	0	0	0	219	157,5
II-27	9,7	-20,6	471	356	305	233	169,8
II-44	9,7	-20,9	0	349	0	0	161,6
I-21	9,8	-21,1	376	0	272	245	146,0
I-37	10,1	-21,2	0	0	288	214	151,0
I-55	9,3	-21,7	405	0	284	0	151,6
I-61	10,6	-21,2	424	331	304	227	155,3
II-43	10,6	-21,0	0	0	0	209	151,1
II-45	9,4	-21,2	415	329	0	0	153,6

Tab. 25 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin sowie Langknochenmaße und Körperhöhe bei Individuen mit Zahnschmelzhypoplasien. Mw = Mittelwert, KH = Körperhöhe. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4 und Tab. 8).

Die Frauen aus Areal 1, bei denen Zahnschmelzhypoplasien diagnostiziert wurden, zeigen hingegen höheres $\delta^{15}\text{N}$ und niedrigeres $\delta^{13}\text{C}$ als Frauen ohne diese Pathologie. Anders als bei Männern aus diesem Gräberfeldbereich konnte zwischen ihnen jedoch kein Unterschied in der Länge ihrer Langknochen oder der Körperhöhe festgestellt werden. Lediglich die Tibia einer Frau mit Zahnschmelzhypoplasie scheint größer zu sein. Aufgrund der Tatsache jedoch, dass

nur ein Knochen hierbei berücksichtigt werden konnte, muss diese Aussage relativiert werden. (Abb. 45).¹⁴⁵

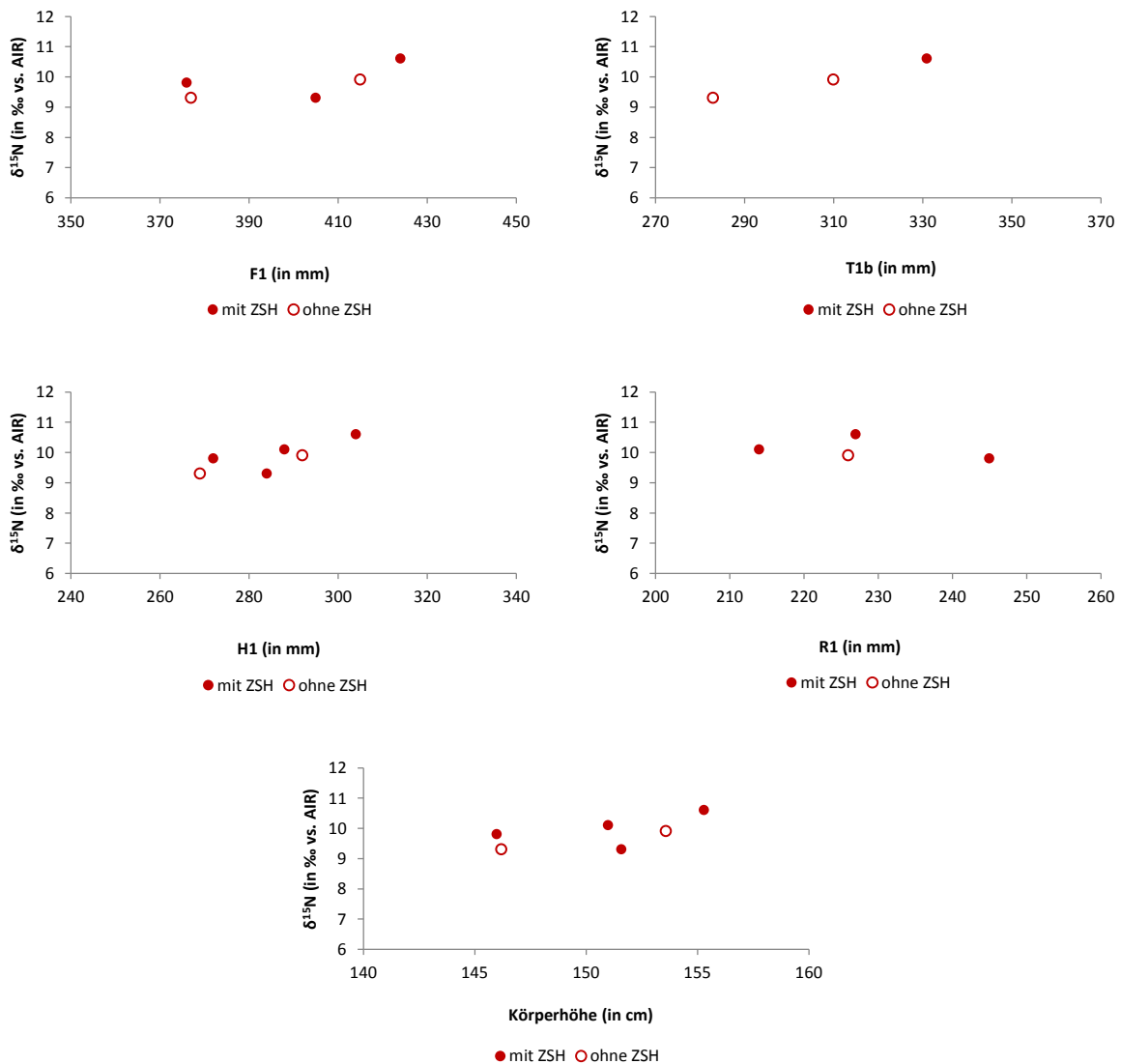


Abb. 45 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen aus Areal I mit und ohne Zahnschmelzhypoplasien in Korrelation zu ihren verfügbaren Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.

Bei Betrachtung der Korrelationen bei Männern aus der älteren Linienbandkeramik bzw. aus Areal II lässt sich feststellen, dass sich die Individuen mit Zahnschmelzhypoplasien weder in ihren N- oder C-Isotopenverhältnissen noch in ihrer Langknochenlänge oder der Körperhöhe von Individuen ohne diese Unterentwicklung des Zahnschmelzes unterscheiden (Abb. 46)¹⁴⁶.

¹⁴⁵ Siehe Anhang, Abb. 6 für $\delta^{13}\text{C}$.

¹⁴⁶ Siehe Anhang, Abb. 7 für $\delta^{13}\text{C}$.

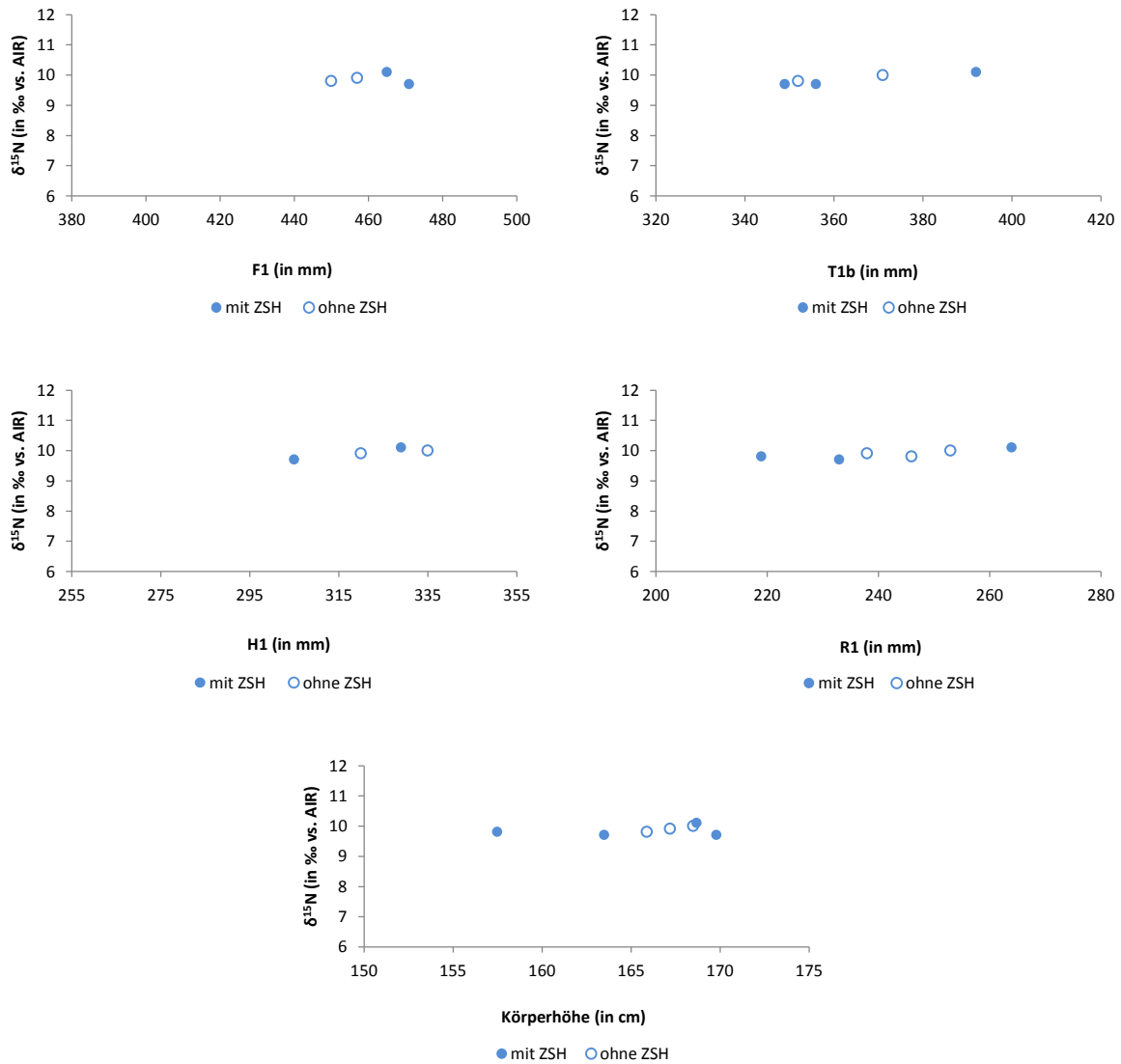


Abb. 46 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern aus Areal II mit und ohne Zahnschmelzhypoplasien in Korrelation zu ihren verfügbaren Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.

Bei Frauen aus diesem Gräberfeldbereich waren nur wenige Individuen beurteilbar, weil entweder keine oder nur wenige Knochen erhalten waren, bzw. das Maß 1 nicht aufgenommen werden konnte. Ein Vergleich zwischen den Frauen mit und ohne Zahnschmelzhypoplasien war somit nicht immer möglich (siehe Tab. 8 und Tab. 23). Die Tibia konnte nicht in die Auswertung eingehen, weil nur kein T1b verfügbar war. Beim Femur und Radius standen nur zwei Individuen für den Vergleich zur Verfügung, jeweils eins mit und eins ohne Zahnschmelzhypoplasien. Bei diesen beiden Frauen wird daher für die jeweiligen Isotopendaten sowie für die metrischen Daten nur auf die Tab. 23 verwiesen, da auf eine graphische Darstellung in diesem Fall verzichtet wurde. Das Humerus-Maß 1 war bei keinem Individuum mit Zahnschmelzhypoplasie vorhanden, weshalb insgesamt nur die Körperhöhe ausgewertet werden konnte (Abb. 47). Die Molaren der Frauen aus Areal II mit Zahnschmelzhypoplasien, wie

die der Frauen aus Areal I, weisen höheres $\delta^{15}\text{N}$ auf, während ihr $\delta^{13}\text{C}$ keinen Unterschied zu C-Isotopenverhältnissen in Molaren von Frauen ohne Zahnschmelzhyoplasien zeigt. Darüber hinaus scheinen sie größer zu sein als Frauen ohne diese Pathologie. Solche Aussagen, wie beispielsweise auch, dass der Radius der Frau aus Grab II-43, auf deren Molaren Zahnschmelzhyoplasien diagnostiziert wurden, größer ist, sind aufgrund der geringen Datenmenge wenig aussagekräftig.

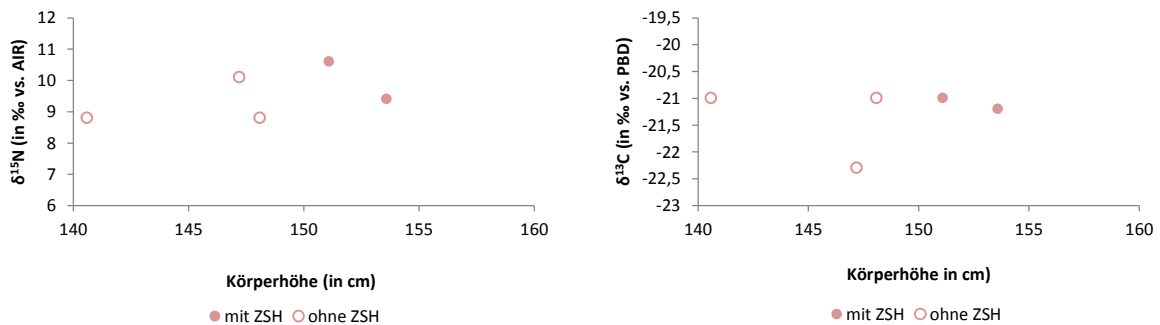


Abb. 47 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen aus Areal II mit und ohne Zahnschmelzhyoplasien in Korrelation zu ihrer Körperhöhe.

Ein Unterschied in Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenverhältnissen zwischen Individuen mit und ohne Zahnschmelzhyoplasien bezüglich ihrer Knochenlänge bzw. ihrer erreichten Endkörperhöhe konnte zwar beobachtet werden, allerdings lässt sich dabei kein klares Muster erkennen. Die Zahnschmelzhyoplasien scheinen bei den hier untersuchten Individuen zumindest keinen negativen Einfluss auf das Knochenwachstum bzw. die Endkörperhöhe gehabt zu haben, da in keinem der untersuchten Fälle die Knochen aller Individuen mit Zahnschmelzhyoplasien kleiner waren als die von Individuen, bei denen dieses Krankheitsbild nicht diagnostiziert wurde.

7.1.1.3.3. Zahnfehlstellungen

Schließlich sollten die Zahnfehlstellungen, zu denen auch der Zahnengstand zählt, im Hinblick auf den Einfluss auf das Längenwachstum untersucht werden. Engstand oder *dental crowding* wird häufig mit Proteinmangel insbesondere während der Zahndurchbruchzeiten bzw. generell mit Unterernährung in Verbindung gebracht (Goodman, Armelagos 1982; Haidle 1997). Bei einigen Individuen aus beiden Gräberfeldarealen wurden größere Zwischenzahnluken im Frontzahnbereich beobachtet, welche hier jedoch nicht als Zahnfehl-

stellungen betrachtet wurden, weil die meisten von ihnen angeboren sind, was für die hier interessierende Fragestellung irrelevant ist. Zeigten mindestens zwei Zähne eine leichte oder ein Zahn eine starke Fehlstellung wurde das entsprechende Individuum als Zahnfehlstellung aufweisend gewertet.

Von 12 untersuchten Individuen aus Areal I weisen 4 (3 Männer und eine Frau) und von 17 Individuen aus Areal II weisen 10 (7 Männer und 3 Frauen) Zahnfehlstellungen auf (Tab. 26).

ZAHNFEHLSTELLUNGEN									
Areal I	Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	ZFS	Areal II	Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	ZFS
Männer	I-25	9,4	-21,2	x	Männer	II-27	9,7	-20,6	x
	I-36	10,3	-21,7	x		II-30	9,0	-20,9	x
	I-43	10,1	-21,0	x		II-78	9,9	-21,1	x
	I-47	9,0	-21,3			II-83	10,0	-20,8	x
	I-48	10,0	-20,4			II-107	10,1	-21,4	x
	I-20	9,4	-20,2			II-111	9,8	-20,5	x
Frauen	I-37	10,6	-21,2	x		II-57	10,1	-21,8	x
	I-21	9,8	-21,1			II-21	9,8	-21,6	
	I-33	10,1	-21,2			II-44	9,7	-20,9	
	I-34	9,3	-21,7		Frauen	II-133	8,8	-21,0	x
	I-55	9,9	-20,8			II-58	8,8	-21,0	x
	I-61	9,3	-21,1			II-43	10,6	-21,0	x
				II-22		9,8	-21,1		
					II-35	9,5	-20,8		
					II-45	9,4	-21,2		
					II-54	9,4	-20,5		

Tab. 26 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben für Individuen mit und ohne Zahnfehlstellungen. Mw = Mittelwert, ZFS = Zahnfehlstellung. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4 und Tab. 18).

Die graphische Darstellung des Zusammenhangs zwischen den analysierten stabilen Isotopenverhältnissen in Zähnen von Individuen mit und ohne Zahnfehlstellungen aus beiden Gräberfeldarealen lässt bei Männern aus beiden Arealen keinen Unterschied zwischen Individuen mit und ohne Zahnfehlstellungen erkennen. Aufgrund geringer Datenmenge kann nur tendenziell vermutet werden, dass die Frauen mit fehlgestellten Zähnen aus Areal II¹⁴⁷ eher niedrigeres, und Frauen aus Areal I eher höheres $\delta^{15}\text{N}$ als Frauen ohne diese Zahnpathologie aufweisen (Abb. 48). Weder bei Männern noch bei Frauen sowohl aus Areal I als auch aus Areal II ist ein Unterschied in den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten ihrer Molaren zwischen Individuen mit und solchen ohne diese Pathologie erkennbar. Die separierte Darstellung beider Geschlechter aus beiden Gräberfeldbereichen zeigt dies noch deutlicher (siehe Anhang Abb. 8.). Statistische Prüfung dieser Zusammenhänge ergab in allen Fällen keine Signifikanz.

¹⁴⁷ Es sind zwei Individuen mit ZFS mit exakt gleichen niedrigeren N- und C-Isotopenverhältnissen in ihren Molaren, siehe Tab. 28.

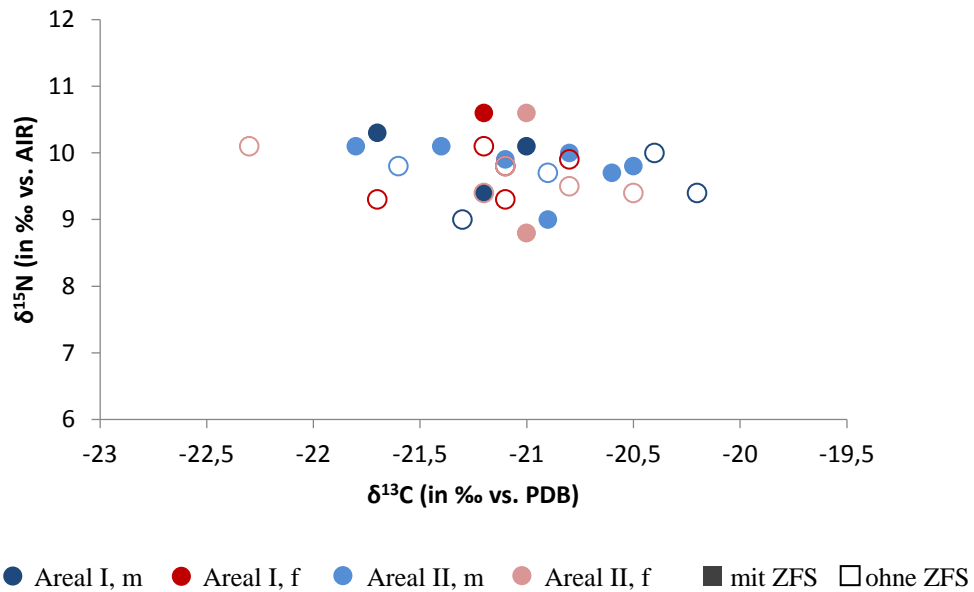


Abb. 48 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen und Männern mit und ohne Zahnfehlstellungen (ZFS) aus beiden Gräberfeldarealen (m = Männer; f = Frauen).

Hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in einzelnen Molaren bei Individuen mit und ohne Zahnfehlstellungen konnte keine lineare Beziehung zwischen diesen stabilen Isotopenverhältnissen bei den hier untersuchten Individuen festgestellt werden (Tab. 27, Abb. 49).

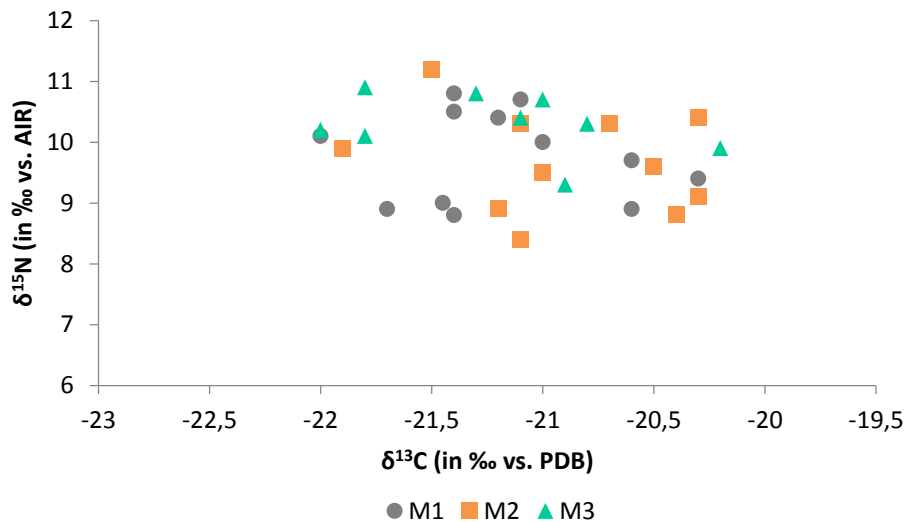


Abb. 49 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ersten, zweiten und dritten Molaren von Frauen und Männern mit Zahnfehlstellungen aus beiden Gräberfeldarealen.

ZAHNFEHLSTELLUNGEN									
Areal I	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Grab	Areal II	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Grab
Männer	M ₁	8,8	-21,4	I-25	Männer	M ₁	9,7	-20,6	II-27
	M ₁	10,1	-22,0	I-36		M ₁	9,0	-21,4	II-30
	M ₁	10,0	-21,0	I-43		M ₁	10,4	-21,2	II-78
	M ₂	8,9	-21,2	I-25		M ₁	10,7	-21,1	II-83
	M ₂	9,9	-21,9	I-36		M ₁	8,9	-20,6	II-107
	M ₂	10,3	-21,1	I-43		M ₁	9,4	-20,3	II-111
	M ₃	10,4	-21,1	I-25		M ₂	9,1	-20,3	II-30
	M ₃	10,8	-21,3	I-36		M ₂	9,5	-21,0	II-78
	Frauen	M ₁	10,5	-21,4		I-37	M ₂	9,5	-21,0
M ₂		10,4	-20,3	I-37	M ₂	11,2	-21,5	II-107	
M ₃		10,9	-21,8	I-37	M ₂	9,6	-20,5	II-111	
					M ₃	9,9	-20,2	II-83	
					M ₃	10,2	-22,0	II-107	
					M ₃	10,3	-20,8	II-111	
					M ₃	10,1	-21,8	II-57	
					Frauen	M ₁	10,8	-21,4	II-43
						M ₁	8,9	-21,7	II-133
						M ₂	8,4	-21,1	II-58
						M ₂	10,3	-20,7	II-43
						M ₂	8,8	-20,4	II-133
				M ₃		10,7	-21,0	II-43	
				M ₃	9,3	-20,9	II-58		

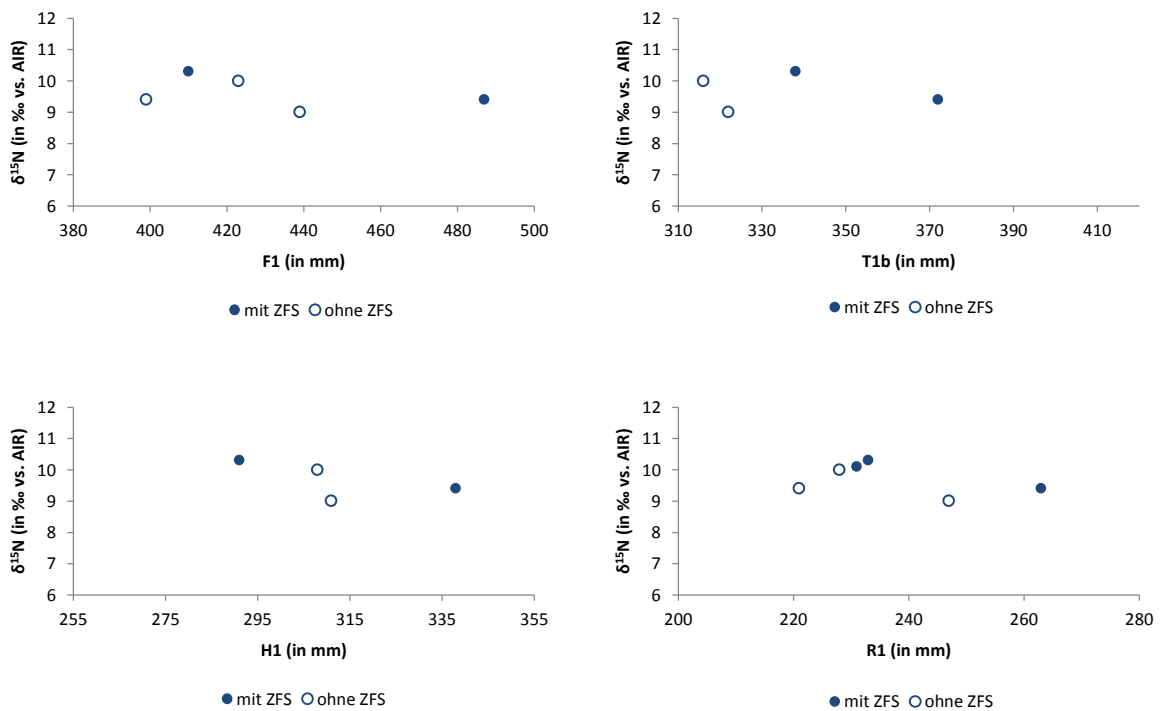
Tab. 27 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen, bei denen Zahnfehlstellungen diagnostiziert wurden. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 6).

Bei Betrachtung der Korrelationen zwischen den Isotopenverhältnissen in Zähnen von Individuen mit Zahnfehlstellungen und ihren Langknochenlängen sowie ihrer Körperhöhe (Tab. 28) lässt sich bezüglich der Männer aus Areal I kein Zusammenhang zwischen den $\delta^{15}\text{N}$ - oder $\delta^{13}\text{C}$ -Werten in ihren Molaren und den entsprechenden Knochenlängen bzw. der erreichten Endkörperhöhe feststellen (Abb. 50).¹⁴⁸

¹⁴⁸ Siehe Anhang, Abb. 9 für $\delta^{13}\text{C}$ -Werte.

ZAHNFEHLSTELLUNGEN									
Areal I	Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	ZSH	F1	T1b	H1	R1	KH
Männer	I-25	9,4	-21,2	x	487	372	338	263	172,8
	I-36	10,3	-21,7	x	410	338	291	233	158,4
	I-43	10,1	-21,0	x	0	0	0	231	161,5
	I-47	9,0	-21,3		439	0	311	247	163,8
	I-48	10,0	-20,4		423	322	308	228	160,8
	I-20	9,4	-20,2		399	316	0	221	156,3
Frauen	I-37	10,6	-21,2	x	0	0	288	214	151,0
	I-21	9,8	-21,1		376	0	272	245	146,0
	I-33	10,1	-21,2		415	310	292	226	153,6
	I-34	9,3	-21,7		377	283	269	0	146,2
	I-55	9,9	-20,8		405	0	284	0	151,6
	I-61	9,3	-21,1		424	331	304	227	155,3
Areal II									
Männer	II-27	9,7	-20,6	x	471	356	305	233	169,8
	II-78	9,9	-21,1	x	457	0	320	238	167,2
	II-107	10,1	-21,4	x	465	392	329	264	168,7
	II-111	9,8	-20,5	x	450	352	0	246	165,9
	II-83	10,0	-20,8	x	0	371	335	253	166,8
	II-21	9,8	-21,6		0	0	0	219	157,5
Frauen	II-44	9,7	-20,9		0	349	0	0	161,6
	II-133	8,8	-21,0	x	387	0	272	0	148,1
	II-58	8,8	-21,0	x	0	0	251	0	140,6
	II-43	10,6	-21,0	x	0	0	0	209	151,1
	II-45	9,4	-21,2		415	329	0	0	153,6
	II-42	10,1	-22,3		0	0	275	197	147,2
II-54	9,4	-20,5		0	0	0	0	0	

Tab. 28 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Individuen mit und ohne Zahnfehlstellungen, sowie die Langknochenmaßen (in mm) und die Körperhöhen (in cm), sofern sie verfügbar waren. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4, Tab. 8 und Tab. 18).



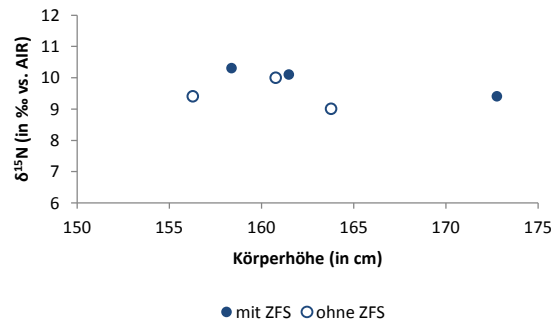


Abb. 50 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern aus Areal I mit und ohne Zahnfehlstellungen in Korrelation zu ihren jeweiligen Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.

Im Gegensatz dazu könnte bei Männern aus Areal II angenommen werden, dass die Individuen mit oder trotz Zahnfehlstellungen größere Knochenlängen bzw. Körperhöhen aufweisen. Allerdings ist auch in diesem Fall die Stichprobe zu klein, um solche Aussagen treffen zu können (Abb. 51).¹⁴⁹ Bei diesen Individuen konnte der Zusammenhang zwischen Zahnfehlstellungen und Femur sowie Humerus nicht beurteilt werden, da bei den Männern, die keine Zahnfehlstellungen aufweisen, diese Langknochen nicht erhalten waren, bzw. das Maß 1 nicht erhoben werden konnte.

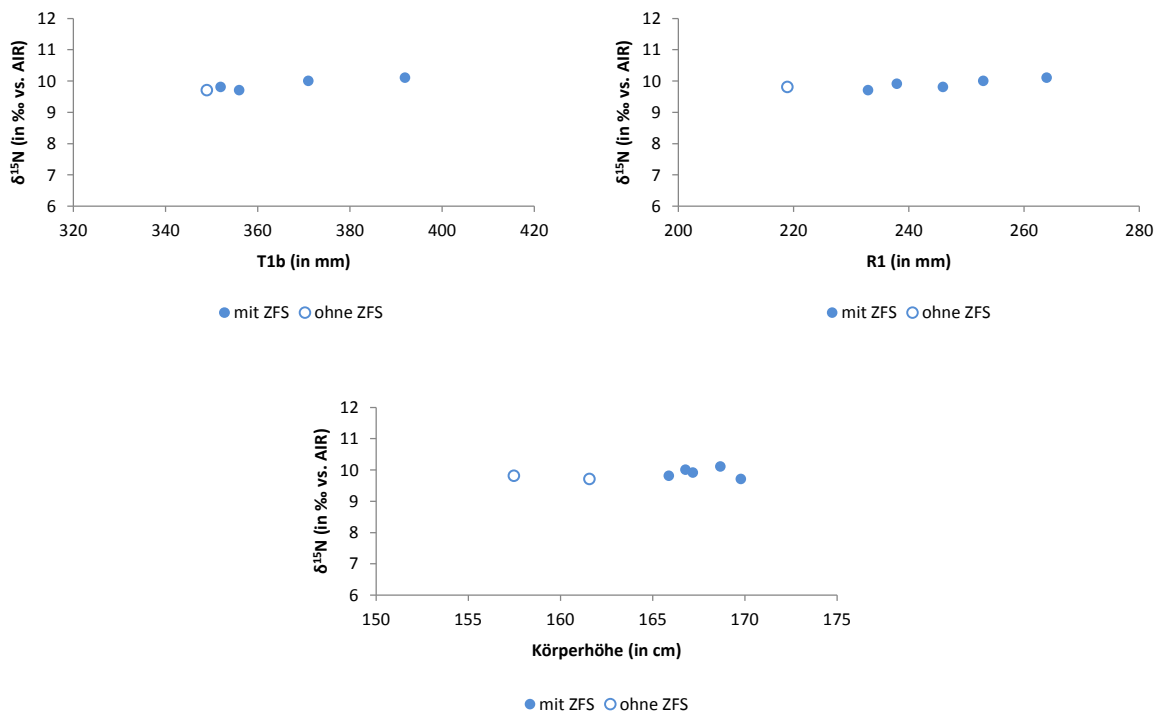


Abb. 51 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern aus Areal II mit und ohne Zahnfehlstellungen in Korrelation zu den jeweiligen Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.

¹⁴⁹ Siehe Anhang, Abb. 10 für $\delta^{13}\text{C}$ -Werte.

Frauen aus demselben Areal zeigen bezüglich der Stickstoffisotopenverhältnisse ein gegensätzliches Bild (Abb. 52). Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in Molaren bei Individuen mit Zahnfehlstellungen sind niedriger, was jedoch nicht eindeutig in kleinerer Knochenlänge oder niedrigerer Körperhöhe resultiert.¹⁵⁰

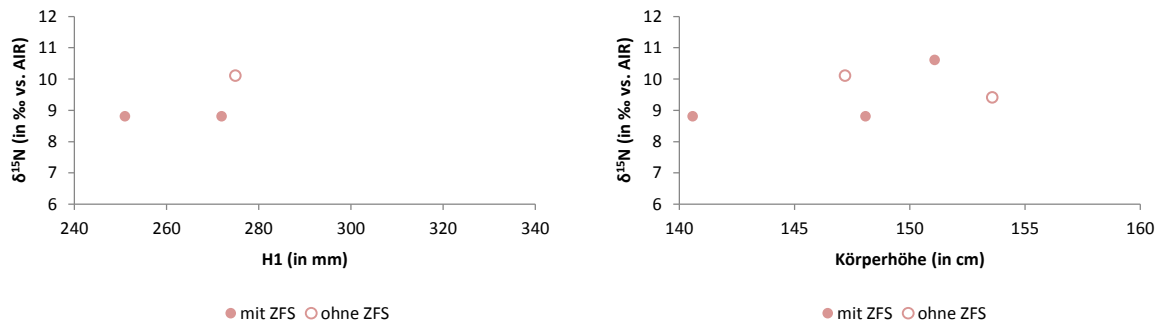


Abb. 52 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen aus Areal II mit und ohne Zahnfehlstellungen in Korrelation zu ihrem H1 und zu ihrer Körperhöhe.

7.1.2. $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Zahndentin und Knochen im Vergleich

Von allen Individuen, an denen stabile N- und C-Isotopenanalyse am Primärdentin durchgeführt wurde, wurden auch Kollagenproben aus den Rippen entnommen und isotopisch untersucht. Aufgrund der an anderer Stelle bereits diskutierten unterschiedlichen Bildungszeiten dieser beiden Gewebetypen reflektieren die in ihnen gemessenen stabilen Isotopenverhältnisse unterschiedliche Zeiten im Leben des untersuchten Individuums. Der Vergleich der aus dem Zahndentin und Knochen, in diesem Fall aus Rippen, gewonnenen Isotopendaten könnte Hinweise auf Veränderungen im Ernährungsverhalten der Individuen von der Kindheit bzw. Jugend bis ins Erwachsenenalter liefern.

Acht Rippen von 12 Individuen aus Areal I wurden bereits von Knipper (Knipper, im Druck) und 4 von der Autorin selbst beprobt und isotopisch untersucht. Von 17 Individuen aus Areal II wurden 12 Rippen von Knipper und 5 von der Autorin selbst untersucht. Die Messergebnisse sind in Tab. 29 zusammengetragen. Um zu prüfen, ob sich die Ernährung der Individuen seit der Kindheit verändert hat, wurden zunächst die Mittelwerte der aus ihren Molaren gewonnenen N- und C-Isotopenverhältnisse mit denen aus den Rippen zueinander in Beziehung gesetzt und verglichen.

¹⁵⁰ Siehe Anhang, Abb. 11 für $\delta^{13}\text{C}$.

Areal I	Grab	Rippen			Bearbeiter	Zähne		
		C/N	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	
Männer	I-20	3,4	9,6	-21,4	Hujić	9,4	-20,2	
	I-25	3,3	9,9	-20,6	Knipper	9,4	-21,2	
	I-36	3,3	9,9	-20,4	Knipper	10,3	-21,7	
	I-43	3,3	10,1	-20,5	Knipper	10,1	-21,0	
	I-47	3,3	10,5	-20,4	Knipper	9,0	-21,3	
	I-48	3,3	10,3	-20,5	Knipper	10,0	-20,4	
	Frauen	I-21	3,3	10,1	-20,9	Hujić	9,8	-21,1
		I-33	3,3	9,9	-20,7	Knipper	10,1	-21,2
		I-34	3,4	9,5	-20,9	Hujić	9,3	-21,7
		I-37	3,3	10,1	-20,6	Knipper	10,6	-21,2
		I-55	3,3	9,7	-20,8	Hujić	9,9	-20,8
	I-61	3,2	9,4	-20,6	Knipper	9,3	-21,1	
	Areal II							
	Männer	II-21	3,3	10,0	-20,7	Knipper	9,8	-21,6
		II-27	3,3	9,6	-20,8	Hujić	9,7	-20,6
II-30		3,3	9,1	-20,5	Knipper	9,0	-20,9	
II-44		3,2	10,1	-20,3	Knipper	9,7	-20,9	
II-57		3,3	8,9	-21,0	Knipper	10,1	-21,8	
II-78		3,3	10,0	-21,3	Hujić	9,9	-21,1	
II-83		3,4	10,4	-20,8	Hujić	10,0	-20,8	
II-107		3,5	10,4	-21,5	Hujić	10,1	-21,4	
II-111		3,2	10,0	-20,4	Knipper	9,8	-20,5	
Frauen		II-22	3,3	10,1	-20,4	Knipper	9,8	-21,0
	II-42	3,2	9,4	-20,8	Knipper	10,1	-22,3	
	II-45	3,3	9,1	-20,9	Knipper	9,4	-21,2	
	II-54	3,3	8,6	-20,7	Knipper	9,4	-20,5	
	II-58	3,3	9,3	-21,6	Hujić	8,8	-21,0	
	II-133	3,2	9,4	-20,6	Knipper	8,8	-21,0	
	II-35	3,2	9,6	-20,7	Knipper	9,5	-20,8	
	II-43	3,3	9,6	-20,6	Knipper	10,6	-21,0	

Tab. 29 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Frauen und Männern aus beiden Gräberfeldarealen (I). $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben (r). Daten von Knipper wurden der Autorin freundlicherweise zur Verfügung gestellt (aus Knipper, im Druck).

Bei Männern aus der älteren Linienbandkeramik war im Rahmen dieser Analyse kein eindeutiges Muster einer Veränderung im Ernährungsverhalten während der Kindheit und Jugend und später im Erwachsenenalter festgestellt worden (Abb. 53). Bei Frauen aus demselben Gräberfeldbereich hingegen deutet sich eine Veränderung hinsichtlich ihres $\delta^{13}\text{C}$. Die Kohlenstoffisotopenverhältnisse in ihren Rippen sind im Vergleich zu denen in ihren Zähnen positiver.

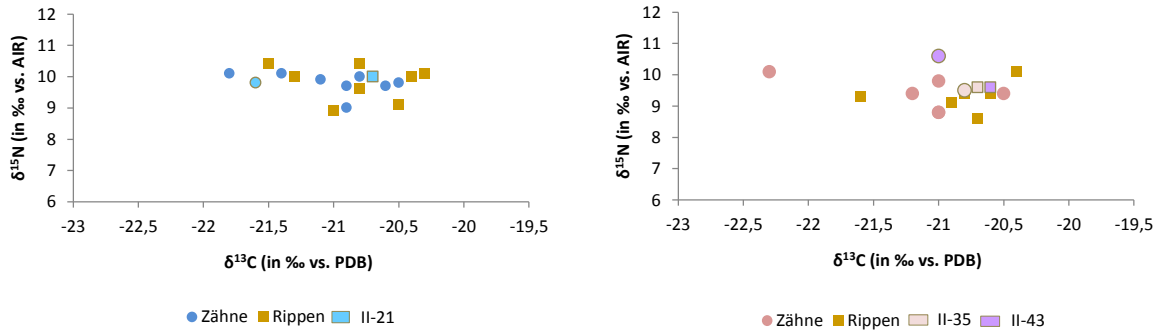


Abb. 53 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Zähnen und Rippen von Männern (l) und Frauen (r) aus Areal II im Vergleich. Mann aus Grab II-21 und Frau aus Grab II-43 mit nicht-lokalem Strontiumisotopensignal.

Die Individualdaten für beide Geschlechter aus Areal II zeigen dieses Bild etwas genauer. Unter den Männern finden sich sowohl Individuen, deren $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in den Rippen höher sind als in den Zähnen, als auch Individuen, bei denen sie niedriger, und solche, bei denen die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte positiver bzw. auch negativer werden (Abb. 54). Diese Unterschiede sind jedoch bis auf zwei Individuen (II-21 und II-57) weder bei Stickstoff- noch bei Kohlenstoffisotopenverhältnissen besonders groß. Die N- und C-Isotopenwerte sowohl der Zähne als auch der Rippen des männlichen Individuums aus Grab II-21, bei dem die Strontiumisotopenanalyse kein Strontiumsignal des lokalen Wertespektrums von Stuttgart-Mühlhausen ergab (Price et al. 2003), fügen sich gut in das Gesamtbild ein.

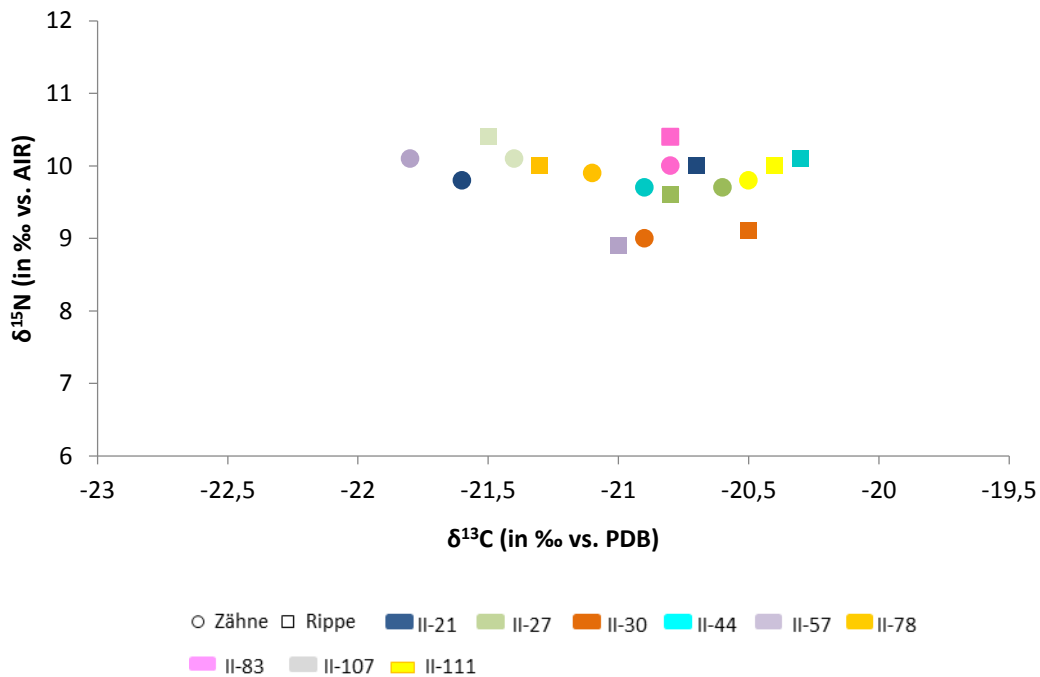


Abb. 54 Individualdaten für Männer aus Areal II mit $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ihren Zähnen und Rippen im Vergleich.

Die Individualdaten der Frauen aus Areal II (Abb. 55) zeigen kein klares Bild bezüglich der $\delta^{15}\text{N}$ -Werte, da es bei einigen Individuen im Erwachsenenalter zu einer Anreicherung, bei anderen wiederum zu einer Abreicherung des schweren ^{15}N kommt. Auch ihre $\delta^{13}\text{C}$ -Werte werden bei manchen Individuen im Erwachsenenalter positiver, bei anderen jedoch negativer.

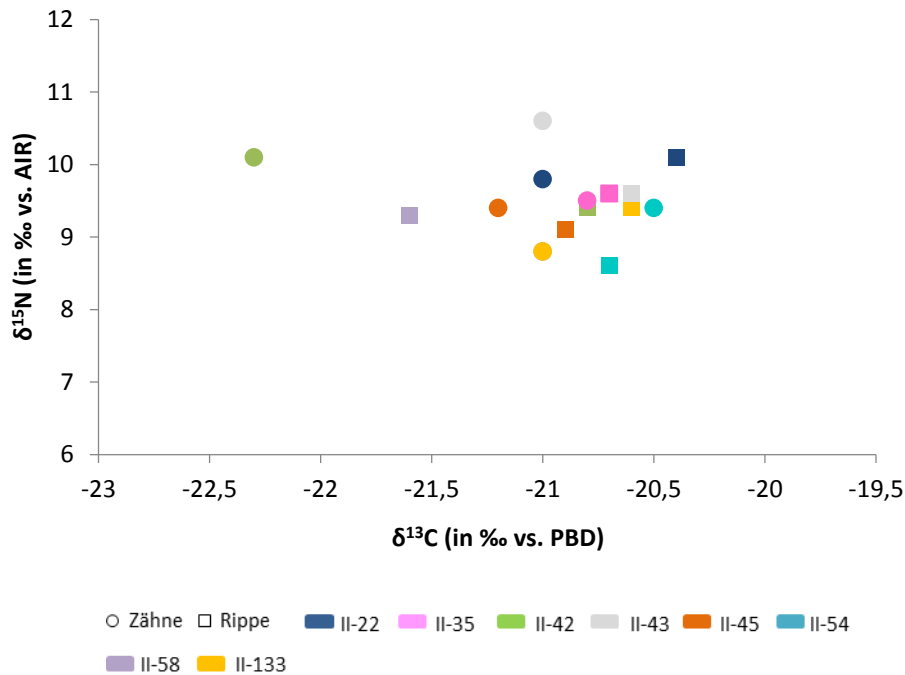


Abb. 55 Individualdaten für Frauen aus Areal II mit $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ihren Zähnen und Rippen im Vergleich.

In der mittleren und jüngeren Linienbandkeramik, Areal I, konnte bei den Männern sowohl ein, wenn auch statistisch nicht signifikanter, Unterschied zwischen ihren $\delta^{15}\text{N}$ - als auch ihren $\delta^{13}\text{C}$ -Werten in Zähnen und Rippen festgestellt werden (Abb. 56). Das $\delta^{15}\text{N}$ in ihren Rippen ist etwas höher und das $\delta^{13}\text{C}$ in den meisten Fällen positiver als in den Molaren. Eine Ausnahme unter den Männern bildet der Mann aus Grab I-20, in dessen Rippenprobe negativere Kohlenstoffisotopenverhältnisse gemessen wurden (Abb. 57). Die Differenz zwischen den C-Isotopenverhältnissen in Zähnen und Knochen bei einzelnen Individuen scheint im Vergleich zu den Frauen aus demselben Areal sowie den Männern aus Areal II höher zu sein.

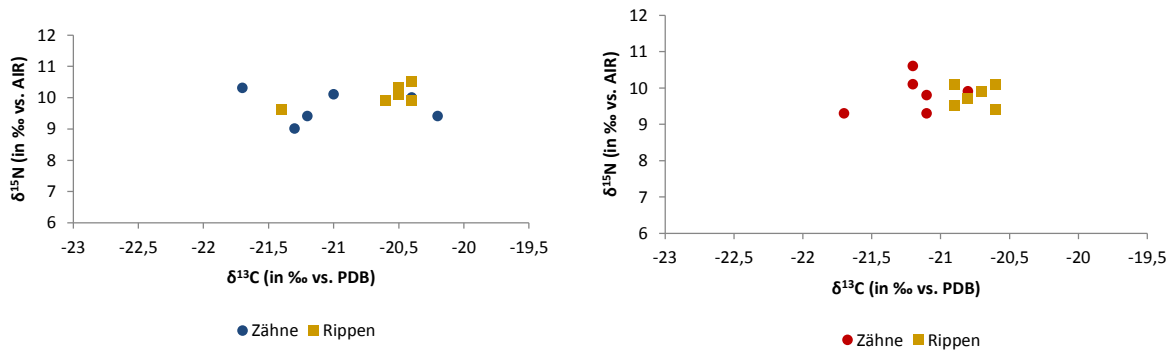


Abb. 56 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Zähnen und Rippen von Männern (l) und Frauen (r) aus Areal I im Vergleich.

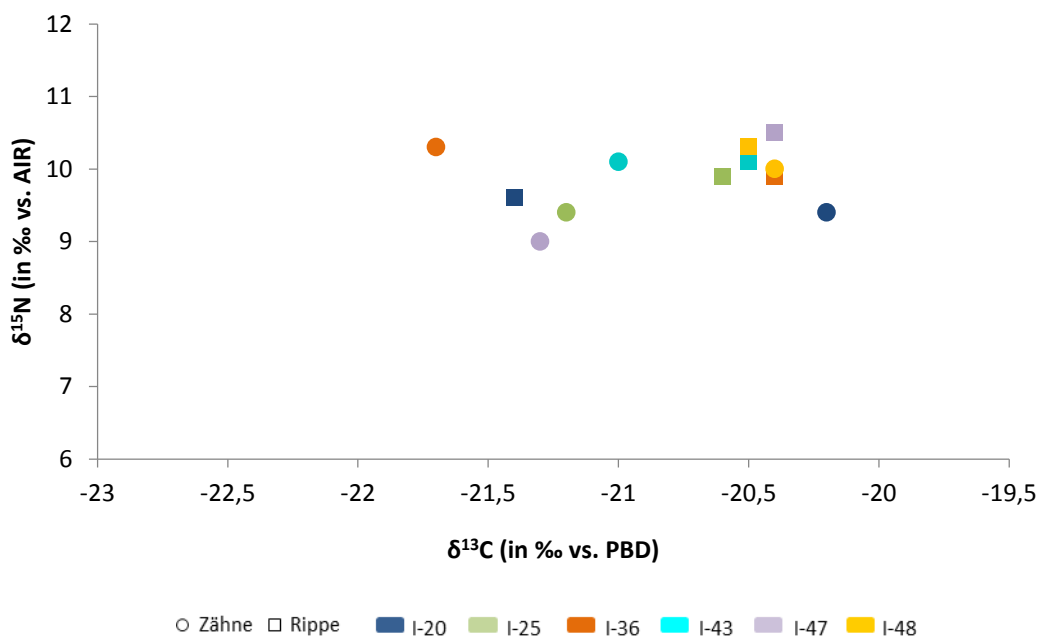


Abb. 57 Individualdaten für Männer aus Areal I mit $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ihren Zähnen und Rippen im Vergleich.

Die Ernährung während der Kindheit und Jugend der Frauen aus diesem Areal scheint sich hinsichtlich der C-Isotopenverhältnisse der assimilierten Nahrung bis auf eine Ausnahme (I-55) klar von der im Erwachsenenalter unterschieden zu haben (Abb. 56 und Abb. 58). Der Signifikanztest ergab mit $p = 0,008$ hierbei ein hoch signifikantes Ergebnis. Die Individualdaten der Frauen aus diesem Gräberfeldbereich zeigen, bis auf eine Ausnahme (I-34), insgesamt eine eher geringere Differenz zwischen den Isotopendaten in Zähnen und Rippen der einzelnen Individuen, ähnlich wie bei den Männern aus Areal II (Abb. 58).

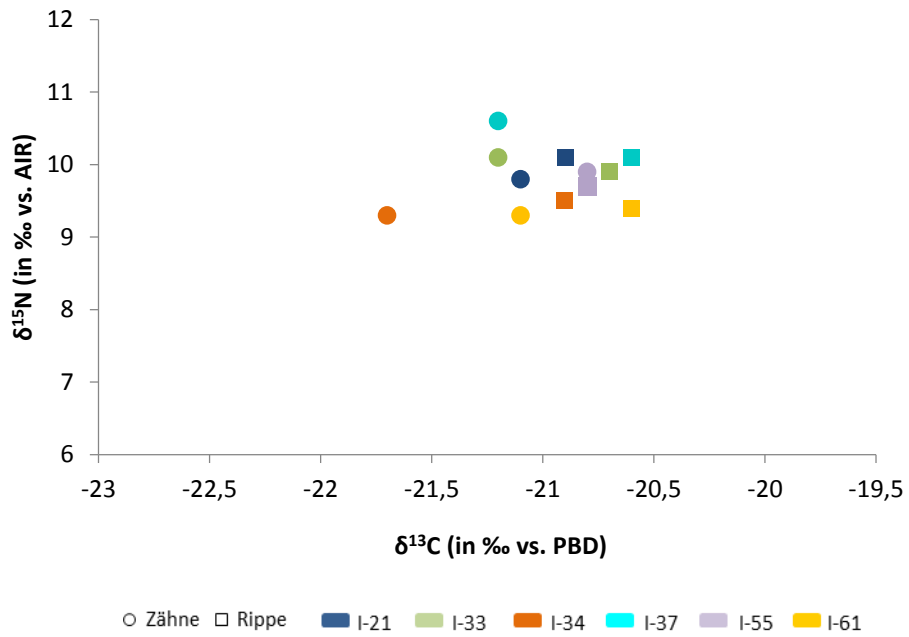


Abb. 58 Individualdaten für Frauen aus Areal I mit $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ihren Zähnen und Rippen im Vergleich.

Um zu prüfen, welcher Zahn sich am stärksten von den Rippen unterscheidet, bzw. wann sich in etwa die Nahrungszusammensetzung geändert hat, wurden die Isotopendaten einzelner Molaren dieser Individuen mit denen der Rippen verglichen (Tab. 30 und Tab. 31).

Areal I, Männer						Areal I, Frauen							
Zähne			Rippen			Zähne			Rippen				
Zahntyp	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Grab	Grab	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Zahntyp	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Grab	Grab	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
M ₁	9,5	-20,3	I-20	I-20	9,6	-21,4	M ₁	9,7	-21,2	I-21	I-21	10,1	-20,9
M ₁	8,8	-21,4	I-25	I-25	9,9	-20,6	M ₁	9,8	-21,1	I-33	I-33	9,9	-20,7
M ₁	10,1	-22,0	I-36	I-36	9,9	-20,4	M ₁	8,7	-22,5	I-34	I-34	9,5	-20,9
M ₁	10,0	-21,0	I-43	I-43	10,1	-20,5	M ₁	10,5	-21,4	I-37	I-37	10,1	-20,6
M ₁	8,4	-21,8	I-47	I-47	10,5	-20,4	M ₁	9,7	-21,2	I-55	I-55	9,7	-20,8
M ₁	9,9	-20,6	I-48	I-48	10,3	-20,5	M ₁	8,8	-20,8	I-61	I-61	9,4	-20,6
M ₂	9,3	-20,1	I-20				M ₂	9,9	-21,0	I-21			
M ₂	8,9	-21,2	I-25				M ₂	10,2	-21,5	I-33			
M ₂	9,9	-21,9	I-36				M ₂	10,4	-20,3	I-37			
M ₂	10,3	-21,1	I-43				M ₂	9,7	-20,4	I-55			
M ₂	9,7	-20,9	I-47				M ₃	10,4	-20,9	I-33			
M ₂	9,4	-20,1	I-48				M ₃	9,9	-21,0	I-34			
M ₃	10,4	-21,1	I-25				M ₃	10,9	-21,8	I-37			
M ₃	10,8	-21,3	I-36				M ₃	10,3	-20,7	I-55			
M ₃	10,6	-20,5	I-48				M ₃	9,8	-21,4	I-61			

Tab. 30 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in einzelnen Molaren und in Rippen von Frauen und Männern aus Areal I. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4 und Tab. 29).

Areal II, Männer							Areal II, Frauen						
Zähne			Rippen				Zähne			Rippen			
Zahntyp	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Grab	Grab	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Zahntyp	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Grab	Grab	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
M ₁	9,2	-21,8	II-21	II-21	10,0	-20,7	M ₁	10,1	-21,6	II-22	II-22	10,1	-20,4
M ₁	9,7	-20,6	II-27	II-27	9,6	-20,8	M ₁	9,5	-20,8	II-35	II-42	9,4	-20,8
M ₁	9,0	-21,4	II-30	II-30	9,1	-20,5	M ₁	10,8	-21,4	II-43	II-45	9,1	-20,9
M ₁	9,7	-20,7	II-44	II-44	10,1	-20,3	M ₁	10,3	-21,1	II-45	II-54	8,6	-20,7
M ₁	10,4	-21,2	II-78	II-57	8,9	-21,0	M ₁	8,9	-21,7	II-133	II-58	9,3	-21,6
M ₁	10,7	-21,1	II-83	II-78	10,0	-21,3	M ₂	9,5	-20,5	II-22	II-133	9,4	-20,6
M ₁	8,9	-20,6	II-107	II-83	10,4	-20,8	M ₂	10,3	-20,7	II-43	II-35	9,6	-20,7
M ₁	9,4	-20,3	II-111	II-107	10,4	-21,5	M ₂	9,3	-20,8	II-45	II-43	9,6	-20,6
M ₂	9,1	-20,3	II-30	II-111	10,0	-20,4	M ₂	9,3	-20,6	II-54			
M ₂	9,7	-21,1	II-44				M ₂	8,4	-21,1	II-58			
M ₂	9,5	-21,0	II-78				M ₂	8,8	-20,4	II-133			
M ₂	9,5	-21,0	II-83				M ₃	10,1	-22,3	II-42			
M ₂	11,2	-21,5	II-107				M ₃	10,7	-21,0	II-43			
M ₂	9,6	-20,5	II-111				M ₃	8,6	-21,6	II-45			
M ₃	10,4	-21,4	II-21				M ₃	9,6	-20,5	II-54			
M ₃	10,1	-21,8	II-57				M ₃	9,3	-20,9	II-58			
M ₃	9,9	-20,2	II-83										
M ₃	10,2	-22,0	II-107										
M ₃	10,3	-20,8	II-111										

Tab. 31 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in einzelnen Molaren und in Rippen von Frauen und Männer aus Areal II. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4 und Tab. 29).

Die Männer aus Areal I weisen das niedrigste $\delta^{15}\text{N}$ und negativere $\delta^{13}\text{C}$ in ihren ersten Molaren im Vergleich zu den Isotopendaten in ihren Rippen auf. Mit den zweiten Molaren werden die Stickstoffisotopendaten höher, bzw. sie erreichen teilweise schon die Isotopenwerte der Rippen, die dann mit dem dritten Molar vollständig im Wertebereich der $\delta^{15}\text{N}$ der Rippen liegen, bzw. noch leicht höher sind. Die $\delta^{13}\text{C}$ ihrer Zähne bleiben jedoch anscheinend bis zur Pubertät eher niedriger als die in ihren Rippen (Abb. 59).

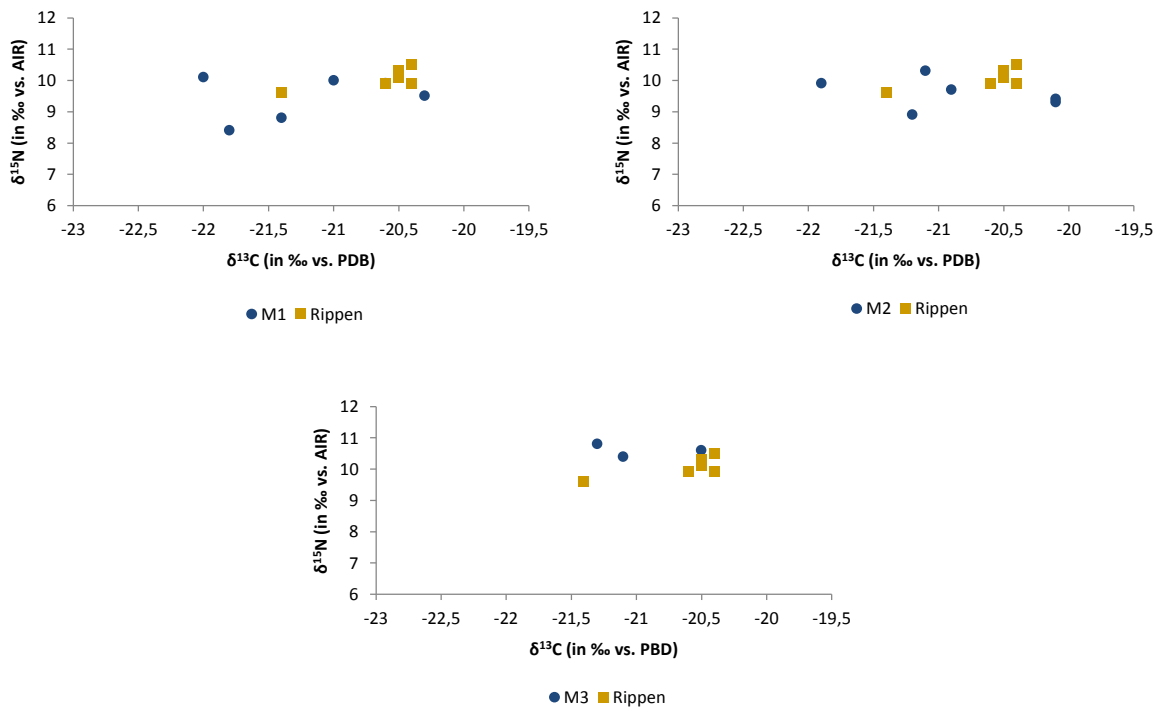


Abb. 59 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in den ersten, zweiten und dritten Molaren der Männer aus Areal I im Vergleich zu denen ihrer Rippen.

Bei Frauen aus demselben Gräberfeldareal hingegen kann beobachtet werden, dass schon beim ersten Molar die meisten $\delta^{15}\text{N}$ -Werte im Streubereich der Stickstoffisotopenwerte der Rippen liegen, und dass sie beim dritten Molar noch deutlich höher werden, während die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte mit dem zweiten Molar etwas positiver und mit dem dritten wieder leicht negativer werden (Abb. 60). Wie der t-Test gezeigt hat, ist die beobachtete Erhöhung von $\delta^{15}\text{N}$ in ihren dritten Molaren im Vergleich zu den Rippen statistisch nur knapp nicht signifikant ($p = 0,06$).

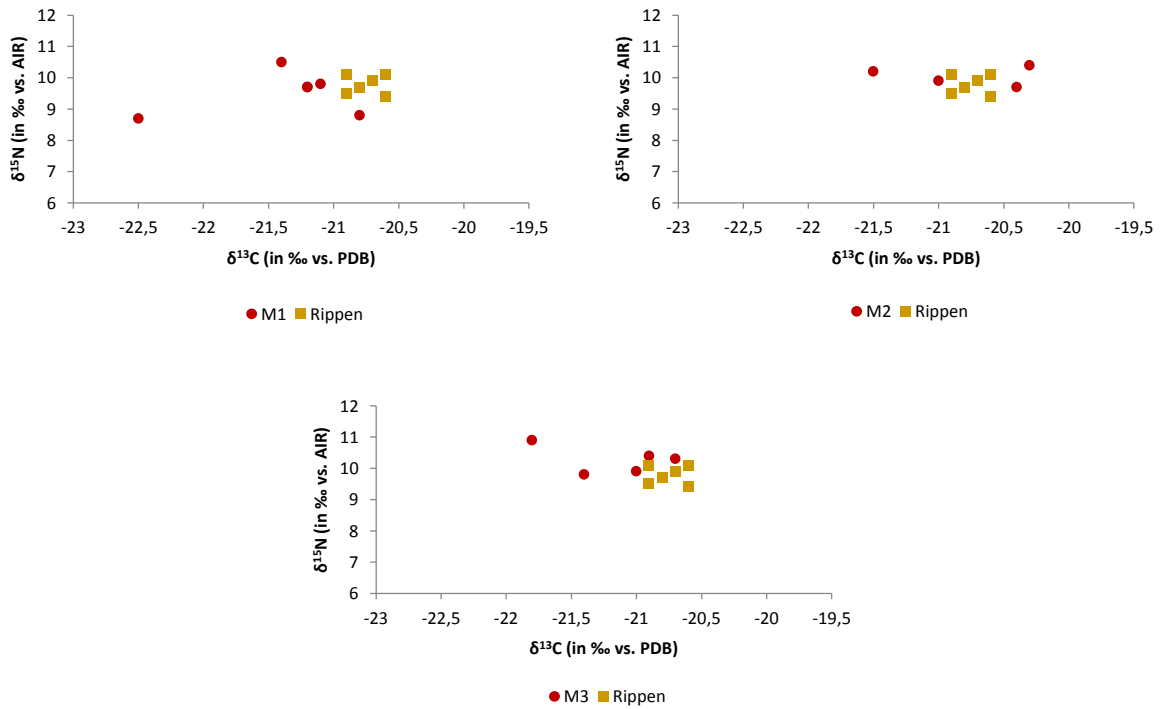
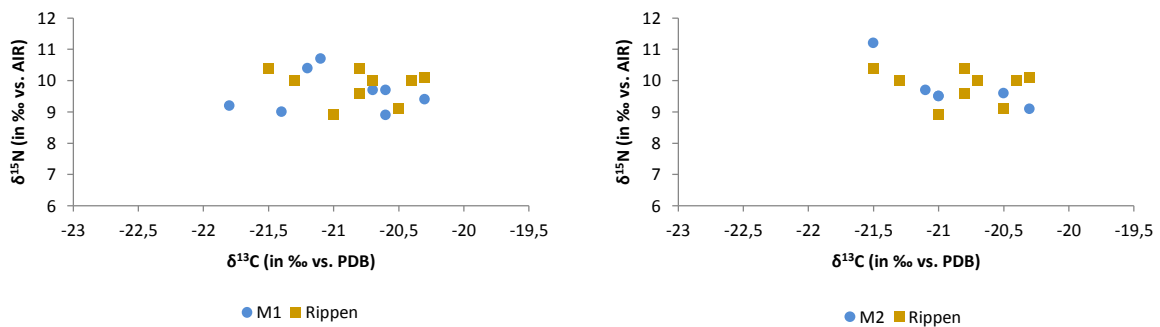


Abb. 60 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in den ersten, zweiten und dritten Molaren der Frauen aus Areal I im Vergleich zu denen ihrer Rippen.

Während, wie oben erwähnt, die Männer aus Areal II durchgehend von ihrer frühen Kindheit bis ins Erwachsenenalter keine Unterschiede zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ihren Zähnen und den Rippen aufzeigen (Abb. 61), weisen die ersten Molaren der Frauen aus diesem Bereich grenzwertig signifikant höhere $\delta^{15}\text{N}$ als ihre Rippen ($p = 0,12$). Die N-Isotopenverhältnissen in ihren zweiten und dritten Molaren erreichen bereits die gleichen Isotopenwerte wie ihre Rippen. Im Gegensatz zu den Frauen aus Areal I jedoch liegen die $\delta^{15}\text{N}$ ihrer dritten Molaren nicht über den ihrer Rippen. Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte ihrer zweiten Molaren liegen im Wertebereich der C-Isotopenverhältnisse der Rippen, während die der dritten Molaren, wie bei Frauen aus Areal I, eher etwas negativer werden (Abb. 62).



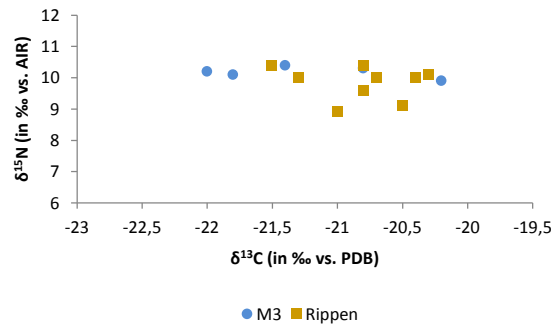


Abb. 61 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in den ersten, zweiten und dritten Molaren der Männer aus Areal II im Vergleich zu denen ihrer Rippen.

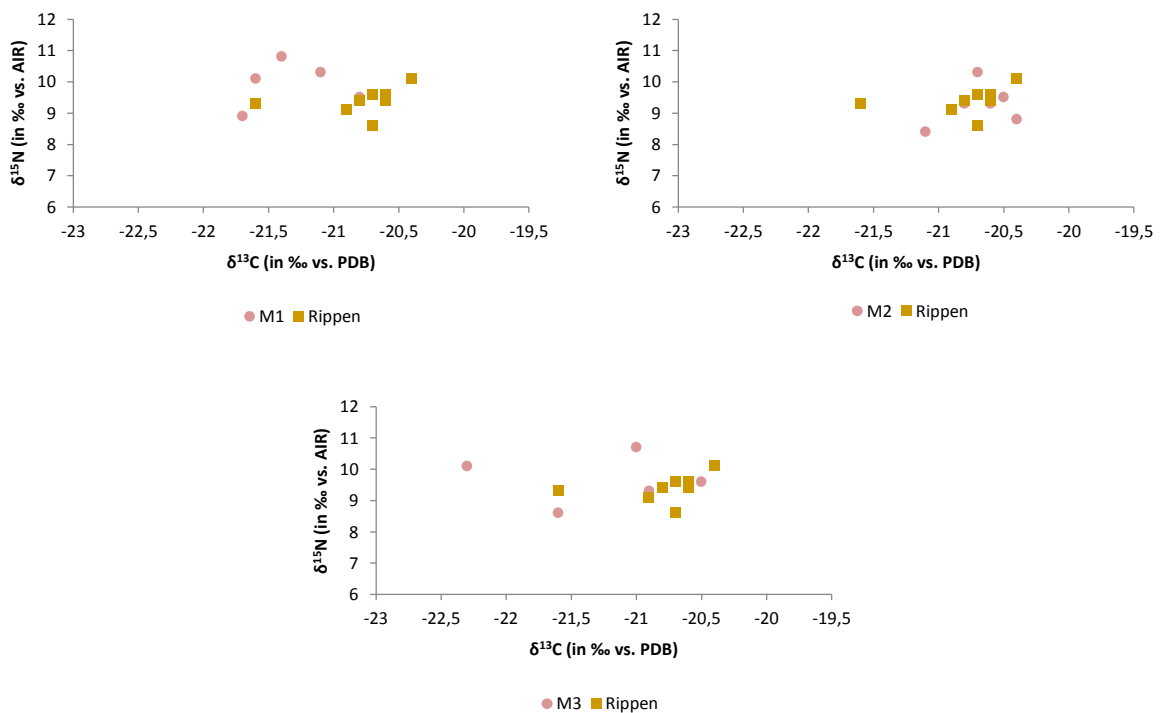


Abb. 62 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in den ersten, zweiten und dritten Molaren der Frauen aus Areal II im Vergleich zu denen ihrer Rippen.

Der Unterschied zwischen $\delta^{15}\text{N}$ in den Rippenproben der beiden Frauengruppen ist knapp nicht signifikant ($p = 0,08$), und zwischen ihren $\delta^{13}\text{C}$ nicht signifikant ($p = 0,81$), allerdings sind die $\delta^{15}\text{N}$ in Rippen von Frauen aus Areal I dennoch höher ($\delta^{15}\text{N}_{\text{Mw}} = 9,8 \pm 0,3$) und die $\delta^{13}\text{C}$ etwas positiver ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Mw}} = -20,7 \pm 0,1$) als die von Frauen aus Areal II ($\delta^{15}\text{N}_{\text{Mw}} = 9,4 \pm 0,4$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{Mw}} = -20,8 \pm 0,4$). Hinsichtlich beider Männergruppen ist weder der Unterschied zwischen $\delta^{15}\text{N}$ ($p = 0,39$) noch $\delta^{13}\text{C}$ ($p = 0,41$) in ihren Rippen statistisch signifikant.

Beide Geschlechter, aber insbesondere die Frauen aus Areal I, scheinen ab der Pubertät etwas konsumiert zu haben, was später im Erwachsenenalter offenbar nicht mehr regelmäßig auf dem Speiseplan stand, und was möglicherweise zu der größeren Körperstatur

der Frauen im Vergleich zu Frauen aus Areal II beigetragen hat, wenn nicht sogar dafür ausschlaggebend war. Die leichte Anreicherung des schweren ^{15}N in den dritten Molaren der Männer aus diesem Gräberfeldbereich scheint dagegen keinen Einfluss auf ihr Längenwachstum gehabt zu haben.

Grundsätzlich sind die $\delta^{15}\text{N}$ in den Rippen der Männer in beiden Gräberfeldarealen höher als bei Frauen, sodass erwachsene Männer offenbar während der gesamten Linienbandkeramik besseren Zugang zum tierischen Protein hatten als die Frauen. Der Unterschied in Stickstoffisotopie in den Rippen ist zwischen den Geschlechtern im Areal II höher, was sich bereits auch an den Zähnen während der Kindheit und Jugend bemerkbar machte, und was möglicherweise den zwischen ihnen beobachteten stärkeren Geschlechtsdimorphismus erklärt.

7.1.2.1. Einfluss diagnostizierter Pathologien im Erwachsenenalter auf $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Knochenkollagen

Wie bereits von Katzenberg und Lovell (1999, Fig. 8) gezeigt wurde, können verschiedene Pathologien vor allem die Stickstoffisotopenverhältnisse im Gewebe beeinflussen, was auf den Katabolismus von Proteinen für die Kollagenbildung zurückzuführen ist. Für die vorliegende Untersuchung wurden für diesen Zweck die an Skeletten aus dieser Fundstelle häufig beobachteten osteolytischen und osteoplastischen Prozesse, Exostosen, d. h. Knochenauswüchse, die während des Wachstums entstehen und in der Regel bei älteren Kindern und jungen Erwachsenen auftreten, sowie Frakturen berücksichtigt (Tab. 32), die bei Katzenberg und Lovell eher negativere Isotopenwerte im Vergleich zum gesunden Knochen aufweisen.

PATHOLOGIEN							
Areal I	Grab	Rippen		osteolyt./osteoplast.			
		$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Prozesse	Exostosen	Fraktur	
Männer	I-20	9,6	-21,4	x	x		
	I-25	9,9	-20,6	x			
	I-36	9,9	-20,4		x		
	I-43	10,1	-20,5		x		
	I-47	10,5	-20,4	x	x		
	I-48	10,3	-20,5	x	x		
	Frauen	I-21	10,1	-20,9		x	
		I-33	9,9	-20,7		x	
		I-34	9,5	-20,9			
		I-37	10,1	-20,6	x	x	x
		I-55	9,7	-20,8	x	x	
I-61	9,4	-20,6					
Areal II							
Männer	II-21	10,0	-20,7				
	II-27	9,6	-20,8				
	II-30	9,1	-20,5				
	II-44	10,1	-20,3				
	II-57	8,9	-21,0				
	II-78	10,0	-21,3				
	II-83	10,4	-20,8	x		x	
	II-107	10,4	-21,5		x	x	
	II-111	10,0	-20,4	x			
	Frauen	II-42	9,4	-20,8	x		
II-45		9,1	-20,9				
II-54		8,6	-20,7				
II-58		9,3	-21,6				
II-133		9,4	-20,6				
II-35		9,6	-20,7				
II-43		9,6	-20,6				
II-22	10,1	-20,4					

Tab. 32 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen mit und ohne die untersuchten Pathologien (Daten zu Pathologien aus Burger-Heinrich, unveröff. Manuskript). osteolyt. = osteolytische, osteoplast. = osteoplastische. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰.

Aus Areal I weisen 4 von 6 Männern osteolytische oder osteoplastische Veränderungen am Skelett auf. Bei 5 von ihnen wurden Exostosen, bzw. bei einem Mann (Grab I-36) wurden Osteophyten diagnostiziert, die jedoch hier mit den Exostosen gemeinsam ausgewertet wurden. In beiden Fällen sind die Ergebnisse aufgrund nur geringer Datenmenge nicht eindeutig, aber es kann vermutet werden, dass Individuen mit osteolytischen Knochenveränderungen (I-47 und I-48) höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte im Vergleich zu Individuen ohne diese Pathologien aufweisen, was statistisch als knapp signifikant zu bewerten ist ($p = 0,06$) (Abb. 63). Bei den Männern mit niedrigeren Stickstoffisotopenverhältnissen unter den von dieser Krankheit befallenen Individuen konnten nur leichte Knochenauflagerungen festgestellt werden. Bei den anderen beiden Männern ist die Krankheit hingegen deutlich stärker ausgeprägt, und es sind meh-

rere Knochen vom osteolytischen Befall betroffen. Möglicherweise haben die knochenabbauenden Prozesse stärkeren Einfluss auf die Isotopenverhältnisse im Knochen, da katabolische Prozesse überwiegen, was die beiden hohen $\delta^{15}\text{N}$ -Werte bei den Männern mit lysierten Knochen erklären würde. Denkbar ist aber auch, dass die Intensität des pathologischen Prozesses bei der Modifikation der Isotopenverhältnisse im Gewebe eine entscheidende Rolle spielt. Hinsichtlich der Exostosen können eher höhere $\delta^{15}\text{N}$ und auch meist positivere $\delta^{13}\text{C}$ beobachtet werden (Abb. 63).

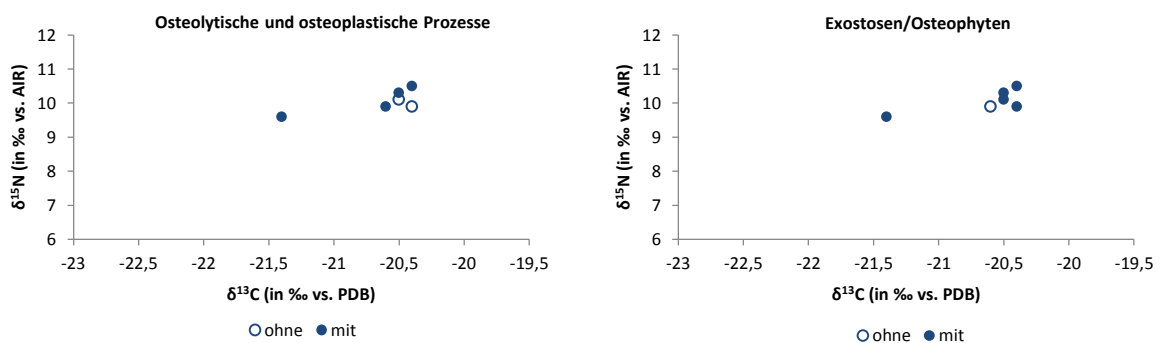


Abb. 63 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern aus Areal I mit und ohne entsprechende Pathologie.

Bei vier Frauen aus demselben Gräberfeldbereich wurden Exostosen festgestellt, und bei zwei von ihnen wurden zusätzlich auch sekundäre Knochenauflagerungen sowie eine verheilte Fraktur der Ulna entdeckt. Auch bei dieser Individuengruppe lassen sich wegen der kleinen Datenmenge nur Tendenzen zum möglichen Einfluss dieser Pathologien auf die Isotopenverhältnisse im Knochengewebe erkennen. Die $\delta^{15}\text{N}$ der Rippen aller Frauen mit den drei untersuchten Pathologien liegen zwar im oberen Spannungsbereich, aber eine eindeutige Aussage kann zumindest bei osteoplastischen Prozessen und der Fraktur nicht getroffen werden, da ähnliche $\delta^{15}\text{N}$ bei Individuen ohne diese pathologische Erscheinung ebenfalls gemessen wurden (Abb. 64). Lediglich bei den Exostosen können, wie bei den Männern, erhöhte $\delta^{15}\text{N}$ angenommen werden, was sich aber statistisch als nicht signifikant erwiesen hat ($p = 0,24$). Ein Unterschied in $\delta^{13}\text{C}$ ist aus den verfügbaren Daten nicht ersichtlich.

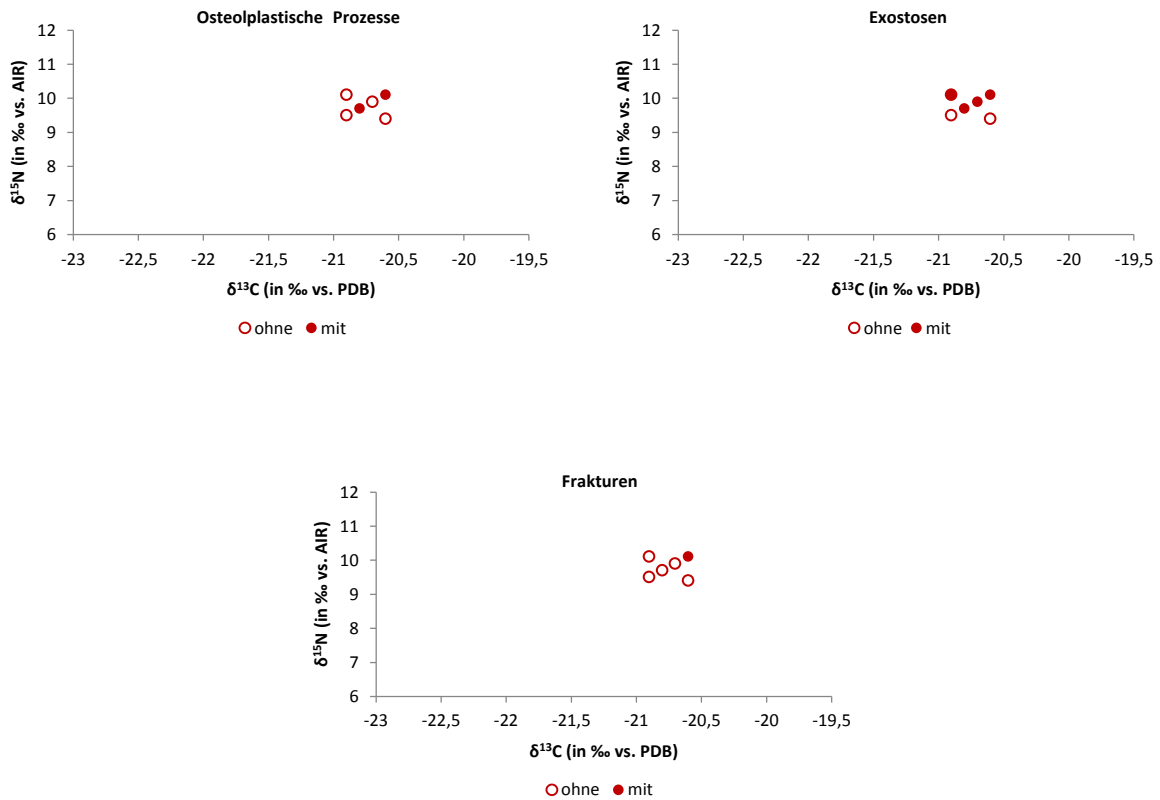
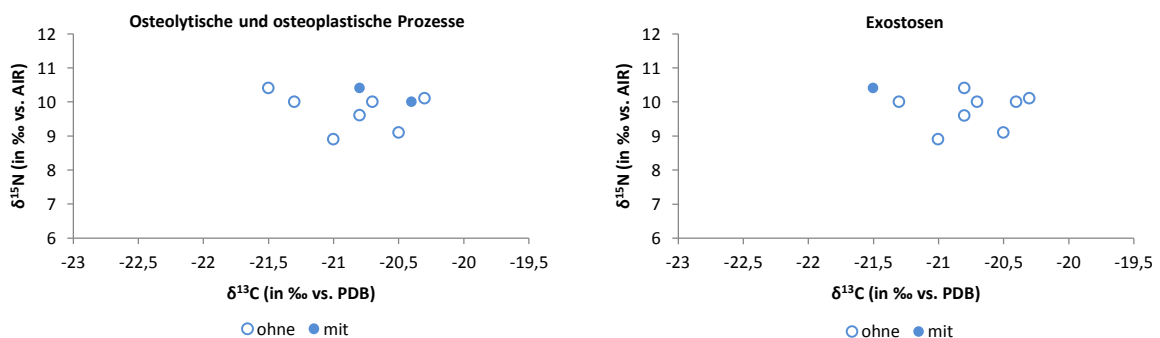


Abb. 64 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Frauen aus Areal I mit und ohne entsprechende Pathologie.

Drei Männer aus Areal II weisen entweder eine oder zwei der untersuchten Pathologien auf (Abb. 65). Aus diesem Grund liegen auch hier keine klaren Ergebnisse vor, und obwohl die Stickstoffisotopenwerte ebenfalls im oberen Spannungsbereich liegen, besteht in keinem der drei Fälle ein signifikanter Unterschied zu den anderen Individuen ohne diese Pathologien.



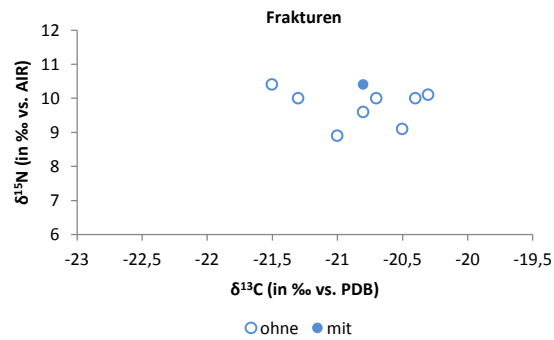


Abb. 65 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern aus Areal II mit und ohne entsprechende Pathologie.

Schließlich wurde nur bei einer Frau aus Areal II eine Auflösung und Neubildung von Knochensubstanz im Bereich der Tabula interna des linken Os parietale, in der Nähe des Asterion, beobachtet. Ihre $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ stimmen mit den anderen von dieser Individuengruppe verfügbaren Isotopendaten überein, sodass keine Auffälligkeiten bezüglich der Isotopenverhältnisse in ihrer Rippenprobe erkennbar sind (Abb. 66). Negativere $\delta^{13}\text{C}$ bei Frakturen aufweisenden Knochen, wie sie bei Katzenberg und Lovell gemessen wurden, konnten nicht beobachtet werden, was möglicherweise mit Heilungsprozessen zusammenhängen könnte.

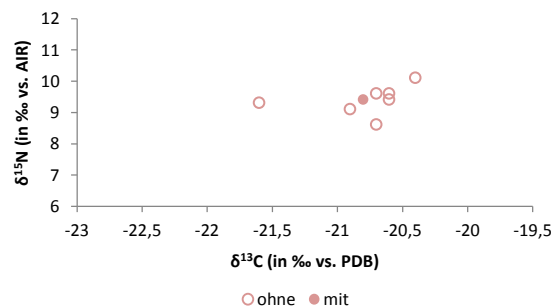


Abb. 66 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Frauen aus Areal II mit und ohne osteolytische und osteoplastische Prozesse im Knochengewebe.

Bei keiner dieser Pathologien konnte ein negativer Einfluss auf das Längenwachstum festgestellt werden, zumal sich die Individuen mit diesen Pathologien weder in ihrer Langknochenlänge noch in ihrer Körperhöhe von den Individuen, die als frei von diesen pathologischen Erscheinungen an ihrem Skelett gelten, unterscheiden (vgl. Tab. 8).

7.1.2.2. Zahnerkrankungen an permanenten Zähnen als Proxy für Ernährungsmuster

Um zu prüfen, ob sich die möglichen Ernährungsgewohnheiten der untersuchten Individuen hinsichtlich ihrer eher auf Kohlenhydrate oder auf Proteine basierenden Nahrung anhand der an ihren Zähnen beobachteten Pathologien erkennen lassen, wurde ein *Dental pathology profile* (nach İşcan und Kennedy 1989, Tab. 2) erstellt (Tab. 33), ohne Berücksichtigung der bereits an anderer Stelle ausführlich behandelten Zahnschmelzhypoplasien (7.1.1.3.2) und Zahnfehlstellungen (7.1.1.3.3), die sich während der Kindheit ausbilden und damit keine Aussagen über die Ernährung im Erwachsenenalter erlauben. Da es sich nur um eine kleine Stichprobe handelt, und kein Zahnpathologie-Profil für die gesamte Population erstellt wird, können die entsprechenden Aussagen nur auf diese kleine Gruppe von Individuen beschränkt bleiben. Dabei muss auch berücksichtigt werden, dass es sich hierbei nur um eine Schätzung der Ernährungsgewohnheiten handeln kann, da nicht bekannt ist, wie die Nahrung zubereitet wurde und welche Konsistenz sie somit hatte. Dies kann einen erheblichen Einfluss etwa auf die Kariogenität der aufgenommenen Nahrung haben.

Da nur ein periapikaler Abszess und ein intravitales Zahnverlust (AMTL, *ante mortem tooth loss*) bei jeweils nur einem Individuum beobachtet wurde, wurden diese zwei Pathologien bei der Auswertung der Isotopenverhältnisse in Rippenproben von Individuen mit und solchen ohne diese Pathologie nicht berücksichtigt. Die Parodontose bei Männern aus Areal I und der Zahnstein bei beiden Geschlechtergruppen aus Areal I sowie bei Männern aus Areal II konnte nicht ausgewertet werden, weil alle hier untersuchten Individuen aus diesen Gruppen Parodontose bzw. Zahnstein aufwiesen. Dagegen war es möglich, hinsichtlich der kariösen Läsionen einen Vergleich der stabilen Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenverhältnisse von Individuen mit und solchen ohne Karies zu ziehen, auch wenn aus Areal I jeweils nur ein Mann und eine Frau ohne kariöse Zähne dafür zur Verfügung stand. Für diesen Zweck werden die stabilen N- und C-Isotopenverhältnisse in den Rippen herangezogen, weil die Rippen das Isotopensignal der Erwachsenenahrung reflektieren, die für die Zahnkrankheiten verantwortlich gewesen sein könnte.

Die starke Abrasion, die an einigen Individuen fast ausschließlich im Frontzahnbereich und im Oberkiefer beobachtet wurde, geht wahrscheinlich eher auf die Nutzung dieser Zähne als dritte Hand als auf bestimmte abrasive Partikel in der Nahrung zurück, weshalb sie für die hier interessierende Fragestellung irrelevant ist, und nicht weiter behandelt wird.

Dental pathology profile										
Areal I	Grab	Rippen		Karies	Parodontose	Parodontitis	Zahnstein	p. Abszess	AMTL	starke AB
		$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$							
Männer	I-20	9,6	-21,4		x	x	x			
	I-25	9,9	-20,6		x	x	x			
	I-36	9,9	-20,4	x	x	x	x			x
	I-43	10,1	-20,5		x		x			x
	I-47	10,5	-20,4		x		x	x		
	I-48	10,3	-20,5		x	x	x			x
Frauen	I-21	10,1	-20,9		x		x			
	I-33	9,9	-20,7		x	x	x			x
	I-34	9,5	-20,9				x			
	I-37	10,1	-20,6		x		x			
	I-55	9,7	-20,8		x		x			
	I-61	9,4	-20,6	x	x		x		x	x
Areal II										
Männer	II-21	10,0	-20,7	x	x		x			
	II-27	9,6	-20,8	x	x	x	x			
	II-30	9,1	-20,5	x	x	x	x			
	II-44	10,1	-20,3			x	x			x
	II-57	8,9	-21,0	x	x	x	x			
	II-78	10,0	-21,3	x		x	x			x
	II-83	10,4	-20,8		x	x	x			
	II-107	10,4	-21,5	x	x	x	x			
	II-111	10,0	-20,4		x		x			
	Frauen	II-22	10,1	-20,4			x	x		
II-35		9,6	-20,7			x	x			x
II-42		9,4	-20,8		x		x			
II-43		9,6	-20,6			x	x			
II-45		9,1	-20,9	x	x	x				
II-54		8,6	-20,7	x	x	x	x			
II-58		9,3	-21,6	x	x		x			
II-133		9,4	-20,6		x		x			

Tab. 33 Zahnerkrankungen (aus Burger-Heinrich, unveröff. Manuskript) an permanenten Zähnen bei Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen. p. = periapikale, AMTL = *ante mortem tooth loss* (intravitaler Zahnverlust), AB = Abrasion. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰.

Die Rippenproben von zwei Individuen aus Areal I, einem Mann und einer Frau, sowie von Frauen aus Areal II, deren Zähne kariöse Läsionen aufweisen, zeigen niedrigere $\delta^{15}\text{N}$, wobei dieser Unterschied zwischen den N-Isotopenverhältnissen in Zähnen mit und solchen ohne Karies bei Frauen aus Areal II ($p = 0,03$) im Gegensatz zu den Individuen aus Areal I statistisch signifikant ist (Abb. 67). Die niedrigen $\delta^{15}\text{N}$ sind zu erwarten, wenn davon ausgegangen wird, dass insbesondere proteinarme und kohlenhydratreiche Nahrung Karies verursacht. Die Isotopendaten von Männern aus Areal II zeigen tendenziell auch niedrigere $\delta^{15}\text{N}$, jedoch ist das Bild hier nicht ganz eindeutig. Zwar wird eine abwechslungsreiche Ernährung für die Individuen aus der älteren Linienbandkeramik generell angenommen, aber möglicherweise haben vor allem die Männer davon profitiert. Auffällig ist weiterhin, dass die Rippen von Individuen aus Areal I mit kariösen Zähnen eher positivere $\delta^{13}\text{C}$, die aus Areal II hingegen eher negativere $\delta^{13}\text{C}$ im Vergleich zu Individuen ohne Karies erkennen lassen. Dieser Unterschied ist nur bei Frauen aus Areal II statistisch knapp nicht signifikant ($p = 0,08$). Folglich deutet sich ein Unterschied zwischen den beiden Arealen hinsichtlich der C-Quelle an, die offenbar sowohl bei Individuen aus der älteren als auch bei solchen aus der jüngeren Phase der Linienbandkeramik kariogen war.

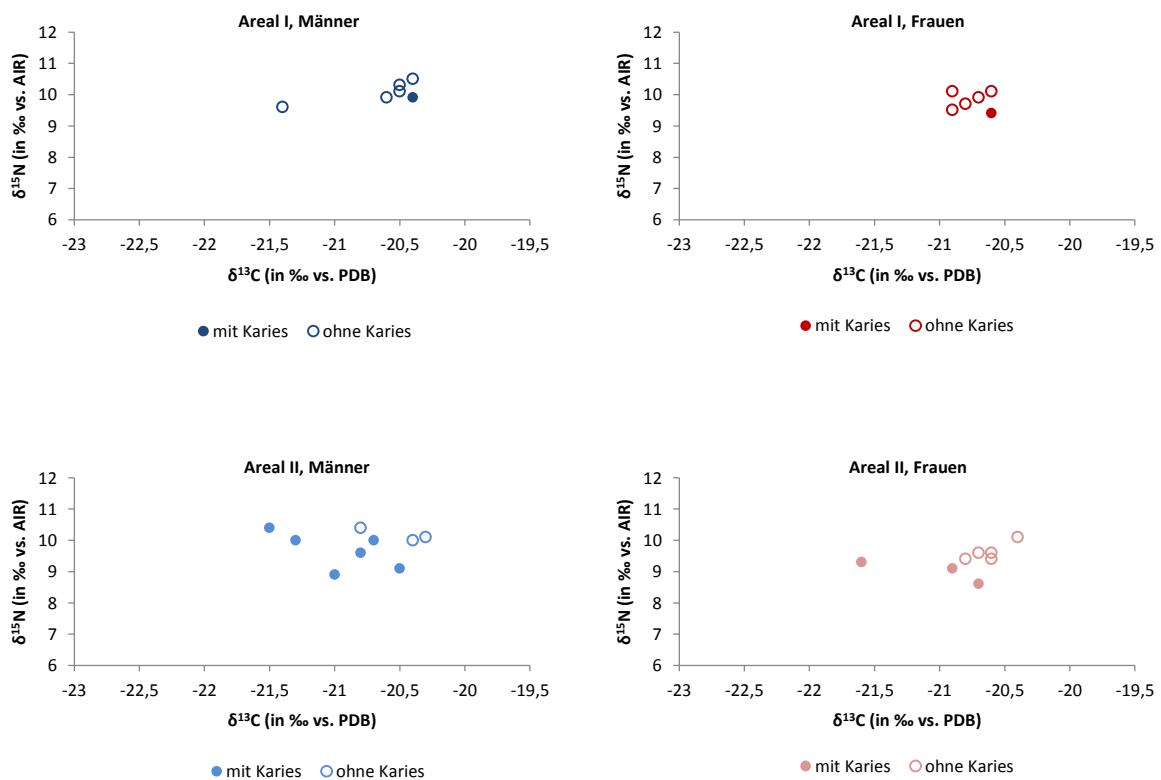


Abb. 67 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen mit und ohne kariöse Zähne.

Hinsichtlich der Parodontose kann bei Frauen aus Areal I nur vermutet werden, dass die $\delta^{15}\text{N}$ höher sind, im Gegensatz zu den Individuen mit Karies, während $\delta^{13}\text{C}$ ebenfalls eher positiv bleibt, allerdings sind solche Aussagen wegen der geringen Zahl der Individuen ohne Parodontose bzw. mit Karies nicht stichhaltig. Hingegen zeigen die Rippenproben der Frauen aus Areal II ein gegensätzliches Bild und weisen, wie im Falle von Karies, niedrigere $\delta^{15}\text{N}$ und negativere $\delta^{13}\text{C}$ auf. Der Unterschied in N-Isotopenverhältnissen bei Frauen aus Areal II mit und ohne Parodontose ist nach dem t-Test statistisch signifikant ($p = 0,04$). Die Männer aus Areal II lassen erneut kein eindeutiges Muster erkennen (Abb. 68).

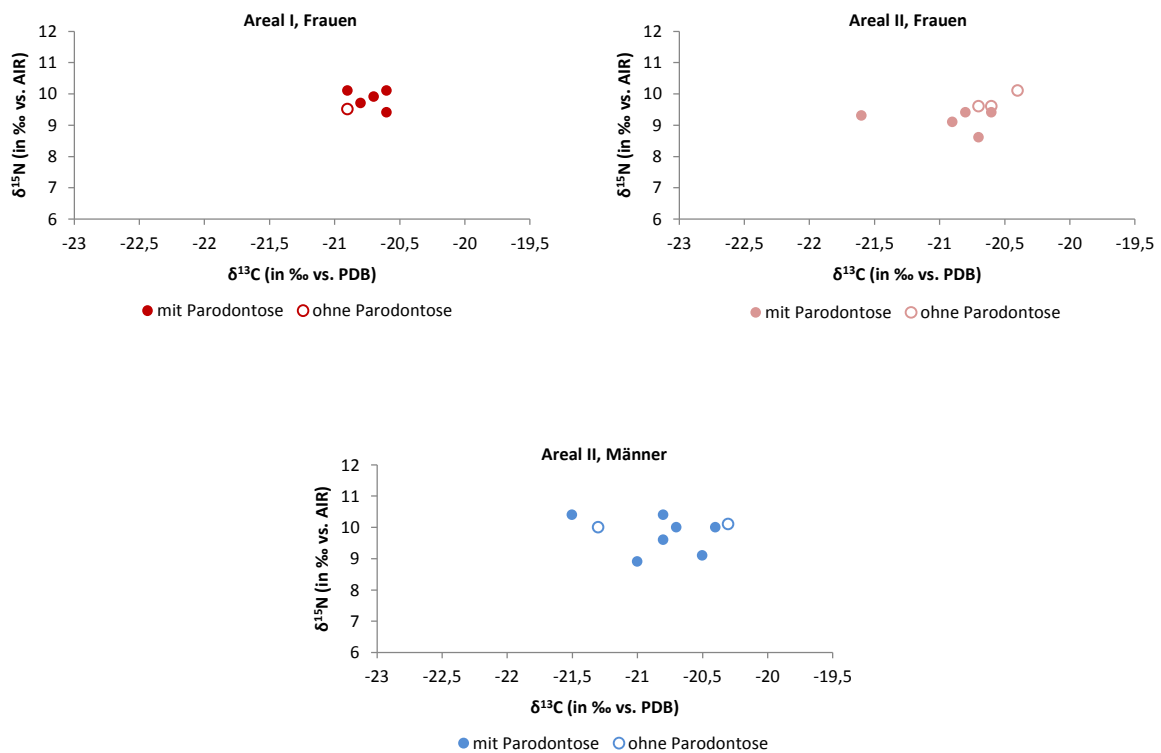


Abb. 68 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern aus Areal II und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen mit und ohne Parodontose.

Während bei beiden Männergruppen in Bezug auf die Parodontitis eher negativere $\delta^{13}\text{C}$ vermutet werden können, scheinen diese bei Frauen aus beiden Gräberfeldarealen eher positiver zu sein (Abb. 69). Somit scheinen sich erneut Unterschiede in der Ernährung zwischen den Geschlechtern herauszukristallisieren. Es kann angenommen werden, dass unterschiedliche Nahrungsmittel oder Unterschiede in der Mundhygiene die Parodontalerkrankungen verursacht haben.

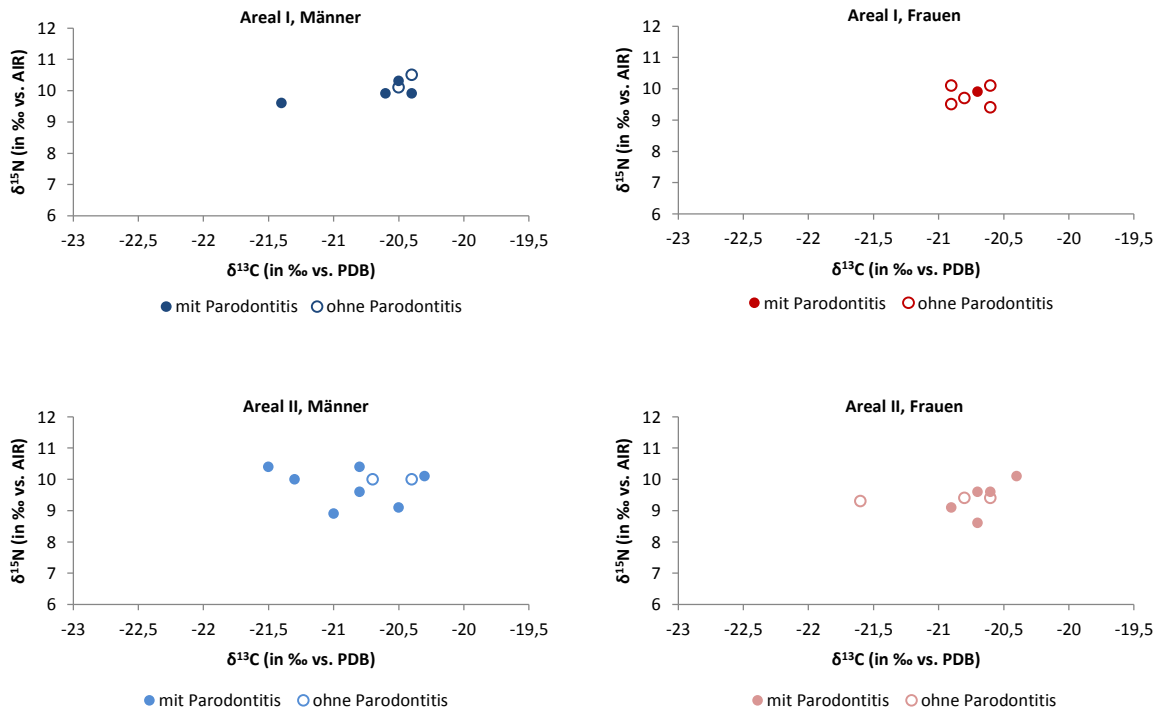


Abb. 69 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen mit und ohne Parodontitis.

Wie bereits oben erwähnt, konnten im Hinblick auf den Zahnstein nur die stabilen Isotopenverhältnisse in Rippenproben der Frauen aus Areal II mit und ohne Zahnstein verglichen werden, obwohl auch dieser Vergleich wegen der unbalancierten Stichprobe nicht aussagekräftig ist (Abb. 70). Dennoch wurde in der Rippe der Frau ohne Zahnstein erwartungsgemäß ein niedriges $\delta^{15}\text{N}$ gemessen, was die Annahme bestätigt, dass sich Zahnstein vor allem bei proteinreicher Kost verstärkt bildet, allerdings wurde bei einer anderen Frau trotz beobachtetem Zahnstein an ihren Zähnen niedrigere $\delta^{15}\text{N}$ gemessen als bei der Frau ohne Zahnstein. Hier müsste die Intensität und Frequenz des Zahnstein geprüft und berücksichtigt werden, die möglicherweise die Ergebnisse erklären könnten.

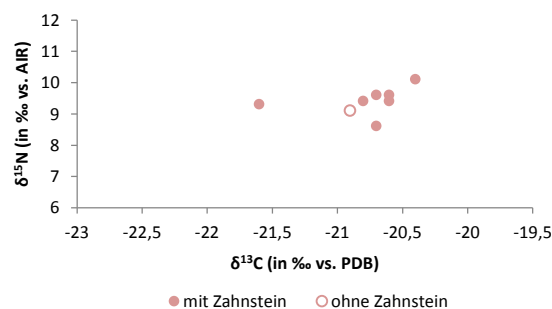


Abb. 70 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Frauen aus Areal II mit und ohne Zahnstein.

Generell lässt sich anhand dieser kleinen Stichprobe das bestätigen, was Burger-Heinrich bereits bei der Aufnahme des Zahnstatus bei diesen Skelettindividuen feststellen konnte, nämlich, dass fast alle Zahnerkrankungen häufiger bei den Individuen aus Areal II als bei Individuen aus Areal I auftreten. Auffällig ist, dass, zumindest bei den hier untersuchten Individuen, insbesondere die Männer aus Areal II im Vergleich zu Frauen aus demselben Gräberfeldareal eine höhere Kariesrate aufweisen. Bei Individuen aus Areal I wurde Karies seltener beobachtet, allerdings kommen Zahnstein und Parodontopathien genauso häufig vor.

Aufgrund der geringen Individuenzahl, die für die Untersuchung zur Verfügung stand, und weil die meisten Individuen mehrere Zahnerkrankungen aufweisen, können in Hinsicht auf bestimmte Zahnerkrankungen verursachenden, protein- bzw. kohlenhydrathaltigen Nahrungsmittel keine endgültigen Aussagen getroffen werden, weil deren genaue Ätiologie im Einzelnen nicht auszumachen ist, und diese zwar ernährungsbedingt sein können, aber auch auf schlechte Mundhygiene zurückgeführt werden können. Für beide Gräberfeldbereiche wird deshalb aus den hier berücksichtigten Zahnpathologien weder eine auf Kohlenhydrate noch eine auf Proteine basierende Nahrungsspezialisierung ersichtlich.

7.1.2.3. Morphometrische Analyse zur Bewertung der Robustizität

Um die Robustizitätsmerkmale der Individuen von Stuttgart-Mühlhausen zu analysieren, wurden drei Indices, Humerus-Längen-Dicken-Index, Femur-Robustizitätsindex und Femur-Index platymericus berechnet. Für die Analyse wurden nur die Individuen berücksichtigt, bei denen die entsprechenden Maße beider Körperseiten vorhanden waren.

7.1.2.3.1. Humerus-Längen-Dicken-Index

Aus der älteren Linienbandkeramik waren bei keinem der für diese Pilotstudie ausgewählten Individuen sowohl die größte Länge des Humerus als auch der kleinste Umfang der Humerusdiaphyse der rechten und linken Körperseite verfügbar, sodass der Humerus-Längen-Dicken-Index von diesen Individuen nicht beurteilt werden konnte. Bei 5 von 6 Frauen und 2 von 6 Männern aus Areal I waren alle für die Berechnung dieses Index benötigten Maße vorhanden (Tab. 34).

Humerus-Längen-Dicken-Index											
Areal I	Grab	M1		M7		H-Längen-Dicken-Index		H1		KH	
		r	l	r	l	r	l	r	l		
Männer	I-25	338	335	75	75	22,19	22,39	338	335	172,8	
	I-36	291	289	58	57	19,93	19,72	291	289	158,4	
Frauen	I-21	272	272	60	59	22,06	21,69	272	272	146,0	
	I-33	292	285	63	66	21,57	23,16	292	285	153,6	
	I-34	269	264	55	55	20,45	20,83	269	264	146,2	
	I-37	288	282	60	59	20,83	20,92	288	282	151,0	
	I-61	304	306	65	62	21,38	20,33	304	305	155,3	

Tab. 34 Indexwerte des rechten und linken Humerus-Längen-Dicken-Index von Männern und Frauen aus Areal I. M1 = größte Länge des Humerus, M7 = kleinster Umfang der Humerusdiaphyse, H = Humerus, r = rechts, l = links, H1 = größte Humeruslänge, KH = Körperhöhe. H1 und KH aus Tab. 8. Alle Maße in mm. (osteometrische Daten aus Burger-Heinrich, unveröff. Manuskript).

Aus den Indexdaten der Frauen geht eine leichte Bevorzugung des linken Humerus hervor, bei Männern lässt sich eine Seitenbevorzugung aufgrund der geringen Datenmenge nicht beurteilen. Die Indexwerte des rechten Humerus-Längen-Dicken-Index schwanken bei Frauen zwischen 20,45 und 22,06 (Mittelwert: 21,26), die der Männer zwischen 19,93 und 22,19 (Mittelwert: 21,06). Die Indexwerte des linken Humerus-Längen-Dicken-Index sind ähnlich und schwanken bei Frauen zwischen 20,33 und 23,16 (Mittelwert: 21,39) und bei Männern zwischen 19,72 und 22,39 (Mittelwert: 21,05) (Tab. 35).

	r			l		
	Min	Max	Mw	Min	Max	Mw
♂	19,93	22,19	21,06	19,72	22,39	21,05
♀	20,45	22,06	21,26	20,33	23,16	21,39

Tab. 35 Variationsbreite und Mittelwerte des rechten und linken Humerus-Längen-Dicken-Index für Männer und Frauen aus Areal I. Min = Minimalwert; Max = Maximalwert, Mw = Mittelwert, r = rechts, l = links.

Ein Unterschied sowohl zwischen den Geschlechtern als auch innerhalb des jeweiligen Geschlechts ist ersichtlich (Abb. 71). So unterscheidet sich der Humerus-Längen-Dicken-Index zwischen den beiden Männern stark voneinander. Auch die Frauen aus Grab I-21 und Grab I-33 haben deutlich höhere Indexwerte als die anderen drei Frauen, für die die entsprechenden Daten verfügbar waren, auch wenn dieser Unterschied bei Frauen für beide Körperseiten statistisch knapp nicht signifikant ist (rechts: $p = 0,10$; links: $p = 0,06$). Möglicherweise waren die drei Individuen mit den höchsten Indexwerten und damit deutlich robusteren Humeri für andere Aufgaben zuständig, was auf eine Arbeitsteilung hinweisen würde. Hierbei wären Tätigkeiten wie Heben und Tragen von schweren Lasten denkbar. Getreidemahlen mit Mahlsteinen käme bei den Frauen mit höherem Grad der Robustizität nur bedingt in Frage, da das

Mahlen mit Mahlsteinen in der Regel mit beiden Händen erfolgt und bei ihnen eine Seitenbevorzugung zu erkennen ist.

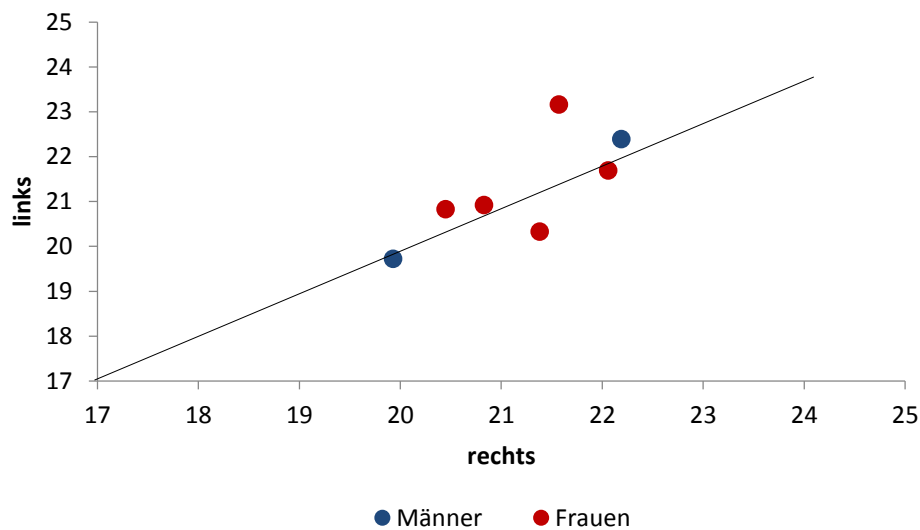


Abb. 71 Indexwerte des rechten und linken Humerus-Längen-Dicken-Index von Männern und Frauen aus Areal I.

Die $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in den Rippen der beiden Männer sind fast identisch, während die Frauen mit höher werdenden Indexwerten, bis auf eine Ausnahme, auch höhere $\delta^{15}\text{N}$ aufweisen, wobei kein Unterschied in ihren $\delta^{13}\text{C}$ erkennbar ist (vgl. Tab. 29). Eine negative Korrelation zwischen den Indexwerten des linken Humerus-Längen-Dicken-Index und der größten Humeruslänge der linken Körperseite (Abb. 72) deutet sich bei den Frauen an, lässt man die Frau aus Grab I-21 mit ihren sehr hohen Indexwerten unberücksichtigt. Je stärker der linke Humerus belastet wurde, desto kürzer war er gewachsen. Zwischen den Indexwerten des rechten Humerus, der weniger belastet wurde, und seiner größten Länge kündigt sich, erneut ohne Berücksichtigung der Frau aus Grab I-21, ebenfalls eine negative Korrelation an. Wenn davon ausgegangen wird, dass ein Zusammenhang zwischen der physischen Belastung der Humeri und des Längenwachstums dieser Knochen besteht, dann bedeutet das entweder, dass die Frauen regelmäßig oder extrem ihre Oberarme belastet haben, sodass sich der Knochen auch im Erwachsenenalter an die Belastung anpassen konnte, oder aber, dass sie möglicherweise bereits während der Wachstumsphase mit dieser körperlichen Arbeit begonnen haben. Diese körperliche Tätigkeit hat sich jedoch nicht auf ihr Längenwachstum ausgewirkt. Da bei den Männern nur zwei Indexwerte vorliegen, lässt sich dieser Zusammenhang nicht prüfen, jedoch scheint sich tendenziell, im Gegensatz zu den Frauen, eine positive Korrelation anzudeuten, was bedeuten würde, dass diese körperliche Aktivität zwar ebenfalls keinen Einfluss auf das

Längenwachstum ihrer Oberarme hatte, aber, dass dem Mann mit deutlich höheren Indexwerten genügend Kalorien zur Verfügung stand, um seinen täglichen Energiebedarf decken zu können. Die Prüfung des Zusammenhangs zwischen dem Humerus-Längen-Dicken-Index und der Körperhöhe hat bei beiden Geschlechtern dasselbe Muster gezeigt.¹⁵¹

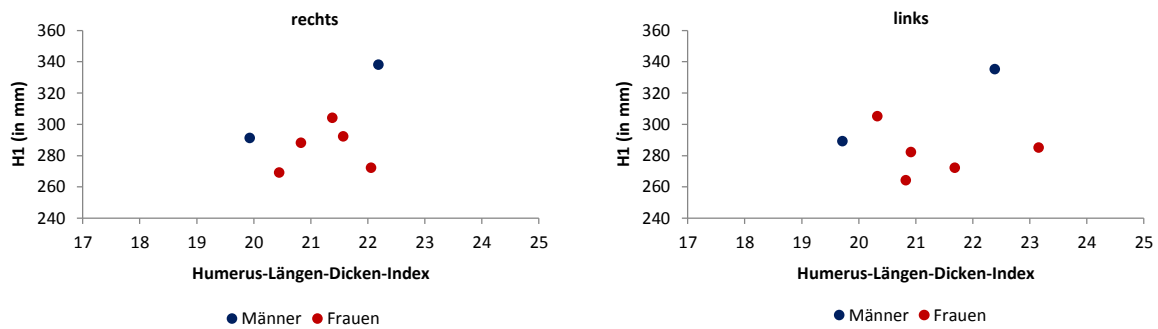


Abb. 72 Zusammenhang zwischen den Indexwerten des rechten und linken Humerus-Längen-Dicken-Index und der größten Humeruslänge (H1) bei Männern und Frauen aus Areal I.

7.1.2.3.2. Femur-Robustizitätsindex

Der Femur-Robustizitätsindex konnte nur bei wenigen Individuen aus beiden Gräberfeldarealen berechnet werden. Aus der mittleren-jüngeren Linienbandkeramik waren bei 2 Männern und nur einer Frau, und aus der älteren Linienbandkeramik bei 3 Männern und bei keiner Frau alle drei für die Berechnung benötigten Maße beider Körperseiten verfügbar (Tab. 36).

Die Indexwerte des rechten Femur-Robustizitätsindex schwanken bei Männern aus Areal I zwischen 12,50 und 13,30 (Mittelwert: 12,90), wobei berücksichtigt werden muss, dass es sich dabei nur um zwei Indexwerte handelt, die für diese Individuengruppe zur Verfügung standen (Tab. 37). Für die einzige Frau aus diesem Gräberfeldareal, für die der Femur-Robustizitätsindex berechnet werden konnte, wurde für die rechte Körperseite ein Indexwert von 12,65 und für die linke Körperseite ein Indexwert von 12,44 ermittelt. Bei Männern aus Areal II liegt die Spannbreite der Indexwerte für die rechte Körperseite zwischen 11,80 und 12,50 (Mittelwert: 11,90) und für die linke Körperseite zwischen 11,83 und 12,40 (Mittelwert: 12,03).

¹⁵¹ Siehe Anhang, Abb. 12.

Femur-Robustizitätsindex												
Areal I	Grab	M2		M6		M7		F-Robustizitätsindex		F1		KH
		r	i	r	l	r	l	r	l	r	l	
Männer	I-36	408	408	26	25	25	24	12,50	12,01	410	411	158,4
	I-47	436	440	29	29	29	28	13,30	12,95	439	443	163,8
Frauen	I-61	419	418	28	28	25	24	12,65	12,44	424	423	155,3
Areal II												
Männer	II-27	465	463	29	30	23	25	11,18	11,88	471	464	169,8
	II-107	463	465	27	27	29	28	12,09	11,83	465	466	168,7
	II-111	448	450	32	30	24	26	12,50	12,40	450	452	165,9

Tab. 36 Indexwerte des rechten und linken Femur-Robustizitätsindex von Frauen und Männern aus Areal I sowie von Männern aus Areal II. M2 = ganze Länge des Femurs, M6 = sagittaler Durchmesser der Femurdiaphysenmitte, M7 = transversaler Durchmesser der Femurdiaphysenmitte, F = Femur, F1 = größte Femurlänge, KH = Körperhöhe, r = rechts, l = links. F1 und KH aus Tab. 8. Alle Maße in mm. (osteometrische Daten aus Burger-Heinrich, unveröff. Manuskript).

	r			l		
	Min	Max	Mw	Min	Max	Mw
AI ♂	12,50	13,30	12,90	12,10	12,95	12,48
♀	12,65	12,65	12,65	12,44	12,44	12,44
AII ♂	11,80	12,50	11,90	11,83	12,40	12,03

Tab. 37 Variationsbreite und Mittelwerte des rechten und linken Femur-Robustizitätsindex für Männer und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen. Min = Minimalwert; Max = Maximalwert, Mw = Mittelwert, r = rechts, l = links, AI = Areal I, AII = Areal II.

Bei beiden Männern aus Areal I war das rechte Femur etwas stärker belastet, wohingegen eine Seitenbevorzugung bei Männern aus Areal II nicht eindeutig zu erkennen ist (Abb. 73). In beiden Arealen ist ein Unterschied innerhalb der Gruppe der Männer zu beobachten, die ihre Oberschenkel stärker oder weniger stark belastet haben, was erneut auf eine Arbeitsteilung hindeuten könnte. Während der Mann aus Areal I mit den niedrigeren Indexwerten (Grab I-36), bei dem auch der Humerus-Längen-Dicken-Index ebenfalls niedrig war, auch seine Femora bei täglichen Bewegungsabläufen anscheinend nur geringfügig belastet hat, weist der Mann aus Grab I-47 höhere Indexwerte auf, was auf stärkere Belastung seiner Femora hinweist. Dieser Unterschied innerhalb der Geschlechtergruppe kann auch bei den Männern aus Areal II beobachtet werden. Denkbar ist, dass der Mann mit höheren Indexwerten des Femur-Robustizitätsindex lange im Stehen und Gehen gearbeitet hat, möglicherweise auch verbunden mit Tragen und Heben von schweren Lasten (Schmidt 1982). Es kann vermutet werden, dass die Männer aus der älteren Phase der Linienbandkeramik ihre Oberschenkel weniger belastet haben, als die Individuen aus der mittleren und jüngeren Linienbandkeramik, wobei diese Annahme wegen der geringen Datenmenge nicht stichhaltig ist. Auch der t-Test zeigte hierbei ein nicht signifikantes Ergebnis (rechts: $p = 0,19$; links: $p = 0,37$).

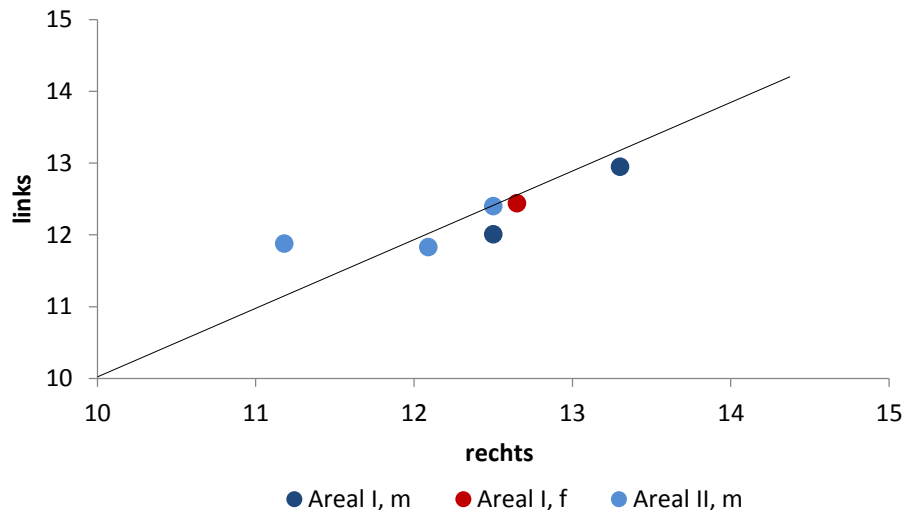


Abb. 73 Indexwerte des rechten und linken Femur-Robustizitätsindex für Männer und Frauen aus Areal I und für Männer aus Areal II (m = Männer; f = Frauen).

Die Betrachtung der stabilen Isotopendaten von Individuen, für die der Femur-Robustizitätsindex ermittelt werden konnte, lässt vermuten, dass die Männer mit höheren Indexwerten in beiden Arealen höhere $\delta^{15}\text{N}$ in ihren Rippen aufweisen, während die $\delta^{13}\text{C}$ keinen Zusammenhang erkennen lassen (vgl. Tab. 29).

Beim Prüfen des Zusammenhangs zwischen dem Femur-Robustizitätsindex und der größten Femurlänge, wurde bei Männern aus Areal II sowohl für die rechte ($r = -0,896$) als auch für die linke Körperseite ($r = -0,998$) ein linearer Zusammenhang und eine negative Korrelation zwischen diesen beiden Merkmalen festgestellt (Abb. 74). Aufgrund der geringen Fallzahl ($n = 3$) ist dieser Zusammenhang in beiden Fällen statistisch nicht signifikant ($p = 0,5$). Je geringer die Belastung des Oberschenkelknochens war, umso größer war der Knochen gewachsen. Aufgrund der Tatsache, dass die Körperhöhe anhand von Femurlängen geschätzt wurde, zeigen die entsprechenden Korrelationen mit der Körperhöhe dasselbe Ergebnis wie beim Femur, weshalb auf deren graphische Darstellung an dieser Stelle verzichtet wird.¹⁵²

¹⁵² Siehe Anhang, Abb. 13.

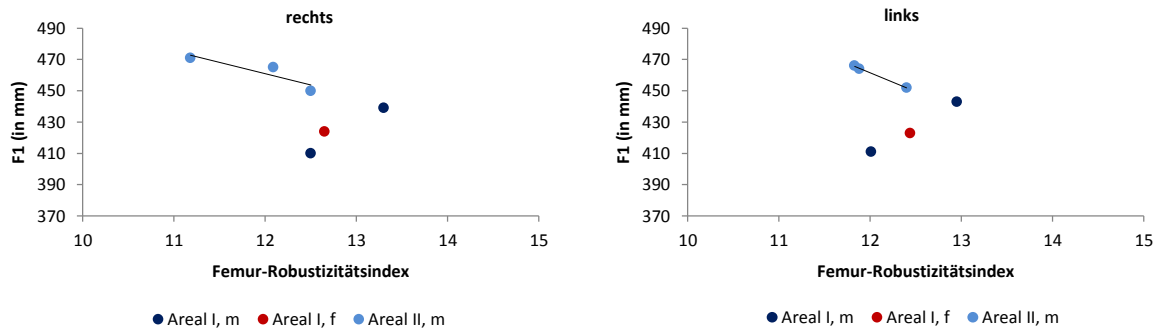


Abb. 74 Zusammenhang zwischen den Indexwerten des rechten und linken Femur-Robustizitätsindex und der größten Femurlänge (F1) bei Männern und Frauen aus Areal I sowie bei Männern aus Areal II (m = Männer; f = Frauen).

7.1.2.3.3. Femur-Index platymericus

In die Analyse des Femur-Index platymericus konnten 5 von 6 Männern und 3 von 6 Frauen aus der mittleren und jüngeren sowie 7 von 9 Männern und 5 von 8 Frauen aus der älteren Linienbandkeramik eingehen (Tab. 38).

Femur-Index platymericus														
Areal I	Grab	M9				M10				F-Index platymericus		F1		KH
		r	l	r	l	r	l	r	l					
Männer	I-20	26	28	23	22	88,46	78,57	399	0	156,3				
	I-25	35	37	23	26	65,71	70,27	0	487	172,8				
	I-36	27	20	20	20	74,07	64,52	410	411	158,4				
	I-47	33	35	25	24	75,76	68,57	439	443	163,8				
	I-48	28	30	25	25	89,28	83,33	0	423	160,8				
Frauen	I-37	29	28	24	25	82,76	89,28	0	0	151,0				
	I-55	26	28	24	23	92,31	82,14	0	405	151,6				
	I-61	26	26	25	25	96,15	96,15	424	423	155,3				
Areal II														
Männer	II-21	28	28	23	26	82,14	92,86	0	0	157,5				
	II-27	32	35	23	24	71,87	68,57	471	464	169,8				
	II-44	35	36	26	26	74,28	72,22	0	0	161,6				
	II-78	34	35	26	26	76,47	74,28	0	457	167,2				
	II-83	34	38	30	30	88,23	78,95	0	0	166,8				
	II-107	36	36	24	24	66,67	66,67	465	466	168,7				
	II-111	31	33	27	26	87,10	78,79	450	452	165,9				
Frauen	II-43	29	29	21	19	72,41	65,52	0	0	151,1				
	II-45	30	32	24	24	80,00	75,00	0	415	153,6				
	II-58	26	26	19	21	73,08	80,77	0	0	140,6				
	II-133	27	31	20	21	74,07	67,74	387	0	148,1				
	II-35	27	26	21	21	77,78	80,77	0	0	0				

Tab. 38 Indexwerte des rechten und linken Femur-Index platymericus von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen. M9 = oberer sagittaler Durchmesser der Femurdiaphyse, M10 = oberer transversaler Durchmesser der Femurdiaphyse, F = Femur, r = rechts, l = links. F1 und KH aus Tab. 8. Alle Maße in mm. (osteometrische Daten aus Burger-Heinrich, unveröff. Manuskript).

Die Variationsbreite der Indexwerte des rechten Femur-Index platymericus für die Männer aus Areal I liegt zwischen 65,71 und 89,28 (Mittelwert: 78,65) und die der Indexwerte des linken Femur-Index platymericus zwischen 64,52 und 83,33 (Mittelwert: 73,05) (Tab. 39). Die Indexwerte der Männer aus Areal II sind ähnlich und schwanken zwischen 66,67 und 88,23 (Mittelwert: 78,11) für die rechte und zwischen 66,67 und 92,68 (Mittelwert: 76,05) für die linke Körperseite. Somit scheinen sich auch beim Femur-Index platymericus bei beiden Männergruppen zwei Individuengruppen herauszukristallisieren, die ihre Femora unterschiedlich stark belasteten.

	r			l		
	Min	Max	Mw	Min	Max	Mw
AI ♂	65,71	89,28	78,65	64,52	83,33	73,05
♀	82,76	96,15	90,41	82,14	96,15	89,19
All ♂	66,67	88,23	78,11	66,67	92,68	76,05
♀	72,41	80,00	75,45	65,52	80,77	73,96

Tab. 39 Variationsbreite und Mittelwerte des rechten und linken Femur-Index platymericus für Männer und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen. Min = Minimalwert; Max = Maximalwert, Mw = Mittelwert, r = rechts, l = links, AI = Areal I, AII = Areal II.

Bei Frauen ist diese Variationsbreite deutlich geringer. Die Indexwerte des rechten Femur-Index platymericus bei Frauen aus Areal I variieren zwischen 82,76 und 96,15 (Mittelwert: 90,41) und die des linken Femur-Index platymericus zwischen 82,14 und 96,15 (Mittelwert: 89,19). Die Spannbreite bei den Indexwerten der Frauen aus Areal II ist ähnlich, allerdings sind ihre Werte für beide Körperseiten niedriger als bei Frauen aus Areal I. Die Indexwerte aller Frauen aus Areal I, für die dieser Index beurteilt werden konnte, liegen im höheren Wertebereich, während sie bei Frauen aus Areal II im niedrigeren Wertebereich liegen. Dieser Unterschied zwischen den Frauen aus beiden Gräberfeldarealen ist für beide Körperseiten hoch signifikant (rechts: $p = 0,005$; links: $p = 0,02$).

Der Unterschied zwischen Männern, die ihre Femora stark, und solchen, die ihre Femora weniger stark beanspruchten, ist sowohl innerhalb der Männergruppe im Areal I (rechts: $p = 0,02$; links: $p = 0,02$) als auch innerhalb der Männergruppe im Areal II (rechts: $p = 0,005$; links: $p = 0,03$) statistisch signifikant (Abb. 75). Die Männer aus beiden Arealen belasteten ihr linkes Femur anscheinend stärker als das rechte, während eine Seitenbevorzugung bei Frauen aus beiden Gräberfeldbereichen nicht erkennbar ist. Fast die Hälfte der Femora sowohl der Männer als auch der Frauen aus Areal II ist hyperplatymer, was auf hohe Mobilität oder allgemein ausgeprägte Belastung des Oberschenkelknochens hindeutet. Dabei

weisen beide Körperseiten bis auf eine Ausnahme Hyperplatymetrie auf, darunter auch eine Frau mit fremdem Strontiumsignal (Grab II-43).

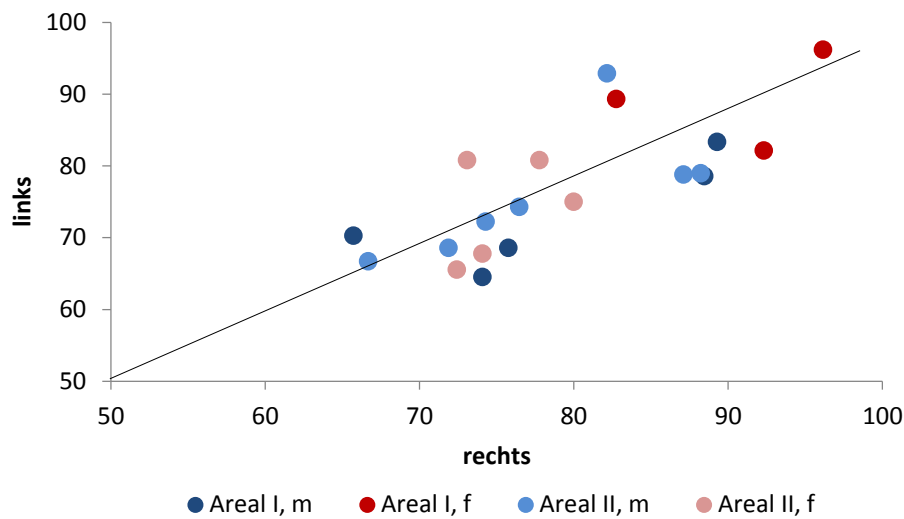


Abb. 75 Indexwerte des rechten und linken Femur-Index platymetricus für Männer und Frauen aus Areal I und Areal II (m = Männer; f = Frauen).

Hingegen war jeweils ein Femur bei drei Männern eurymer, beim Mann aus Grab II-21 das linke, beim Mann aus Grab II-83 sowie beim Mann aus Grab II-111 das rechte Femur, sodass diese Männer eine Arbeit verrichteten, bei der jeweils nur ein Oberschenkelknochen stärker beansprucht wurde. Die Hälfte der Männer aus Areal I wies ebenfalls hyperplatymere Femora auf, allerdings nicht die Frauen. Bei zwei Männern aus diesem Areal war das rechte Femur, bei einer Frau das linke, bei einer weiteren Frau ebenfalls das rechte Femur, und bei der Frau mit den höchsten Indexwerten (Grab I-61) waren beide Femora eurymer. Anscheinend haben die Männer eher das linke Bein beim Ausführen einer leichteren Tätigkeit beansprucht, oder sie haben sich mit dem linken Bein abgestützt. Wie in einer Studie von Velotta et al. (2011) gezeigt wurde, wird das linke Bein bevorzugt für die Haltungskontrolle und Stabilisation genutzt. Eine Seitenbevorzugung bei den Frauen ist nicht eindeutig erkennbar. Da die beiden Männer mit den höchsten Indexwerten etwas älter sind, als die restlichen Männer mit niedrigeren Indexwerten, lässt sich diese Beobachtung nicht mit dem Alter erklären, nämlich, dass sie möglicherweise eine bestimmte Arbeit nicht lange genug ausgeübt haben, und ihre Femora deshalb noch keine stärkere Belastung aufzeigen.

Angesichts der Tatsache, dass das Bein umso weniger belastet wurde, je höher das Verhältnis vom sagittalen zum transversalen Femurdurchmesser ist, haben die Frauen aus Areal I ihre Oberschenkel offenbar signifikant weniger belastet als Frauen aus Areal II. Wie

bei den beiden anderen Indices weist die Frau aus Areal I mit der schwächsten Belastung des Knochens, in diesem Fall mit dem höchsten Femur-Index *platymericus*, die niedrigsten $\delta^{15}\text{N}$, und die Frau mit der stärksten Belastung des Knochens, in diesem Fall mit dem niedrigsten Index unter den drei hier untersuchten Frauen aus Areal I, die höchsten $\delta^{15}\text{N}$. Obwohl diese Beobachtung auch an der geringen Probenmenge liegen könnte, wäre es dennoch möglich, dass diese Individuen aufgrund ihres stärkeren körperlichen Einsatzes ein höheres Ansehen in ihrer Gemeinschaft genossen, und deshalb privilegierter als andere Frauen behandelt wurden. Ein Zusammenhang mit dem $\delta^{13}\text{C}$ ist dagegen nicht feststellbar, weshalb es auch denkbar wäre, dass die Frauen mit niedrigem Femur-Index *platymericus* für Aufgaben zuständig waren, die mit Nahrungsbeschaffung oder Nahrungszubereitung, insbesondere in Verbindung mit proteinreichen Lebensmitteln, verbunden waren. Bezüglich der beiden Männergruppen und der Frauen aus Areal II ist aus den verfügbaren Daten kein Zusammenhang mit den Isotopendaten in ihren Rippenproben erkennbar (vgl. Tab. 29).

Die Prüfung des linearen Zusammenhangs zwischen der größten Femurlänge der rechten Körperseite und des rechten Femur-Index *platymericus* ergab für die Männer aus beiden Arealen eine negative Korrelation und einen linearen Zusammenhang, welcher jedoch aufgrund der niedrigen Fallzahl ($n = 3$) nicht signifikant ist (Abb. 76). Eine negative Korrelation konnte bei den Männern aus Areal I auch bezüglich der Körperhöhe beobachtet werden ($r = -0,759$, $p = 0,08$), welche nach der statistischen Signifikanzprüfung knapp nicht signifikant ist (Abb. 77). Hinsichtlich der linken Körperseite konnte bei den Männern aus Areal II sowohl zwischen der Femurlänge ($r = -0,999$, $p = 0,00$) als auch zwischen der Körperhöhe ($r = -0,787$) und dem Femur-Index *platymericus* ein linearer Zusammenhang und eine negative Korrelation festgestellt werden, wobei nur die erste Korrelation statistisch klar signifikant ist. Die Knochen, die stärker belastet wurden, sind bei beiden Männergruppen größer gewachsen, und die Männer, die ihre Femora stärker belastet haben und folglich stärkere körperliche Arbeit geleistet haben, sind auch höher gewachsen. Die stärkere Mobilität und damit die Belastung ihrer Femora hatten offenbar keinen negativen Einfluss weder auf das Längenwachstum dieser Knochen noch auf die Endkörperhöhe. Darüber hinaus muss berücksichtigt werden, dass nicht für alle Männer das F1-Maß zur Verfügung stand, was die Beurteilung dieses Zusammenhangs zusätzlich erschwert.

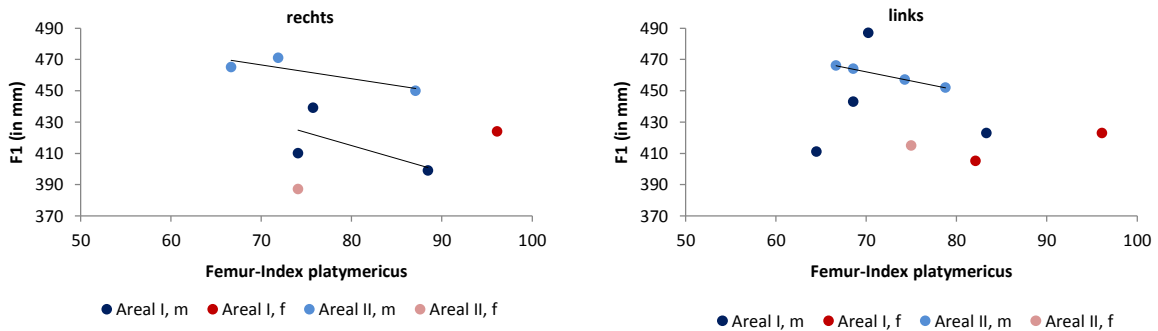


Abb. 76 Zusammenhang zwischen den Indexwerten des rechten und linken Femur-Index platymericus und der größten Femurlänge (F1) bei Männern und Frauen aus Areal I und II (m = Männer; f = Frauen).

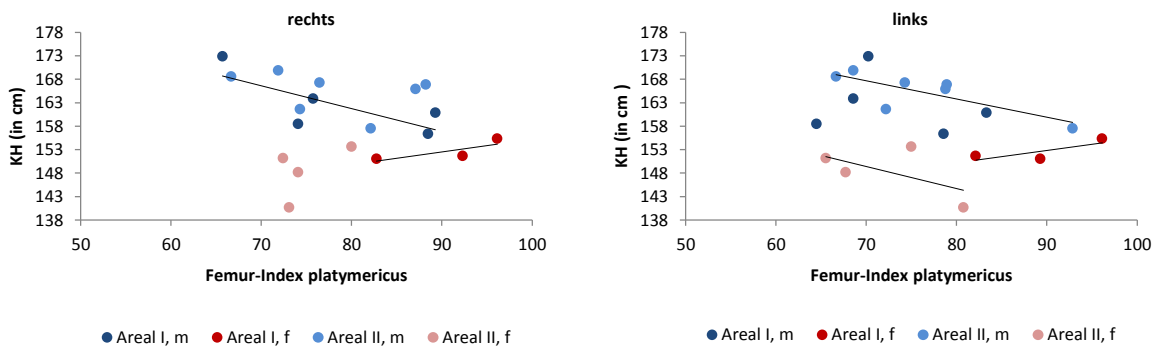


Abb. 77 Zusammenhang zwischen den Indexwerten des rechten und linken Femur-Index platymericus und der Körperhöhe (KH) bei Männern und Frauen aus Areal I und Areal II (m = Männer; f = Frauen).

Bei Frauen konnte aufgrund der wenigen zur Verfügung stehenden F1-Maße der Zusammenhang zwischen der größten Femurlänge und des Femur-Index platymericus nicht beurteilt werden (Tab. 38, Abb. 76). Bezüglich der Körperhöhe konnte jedoch bei Frauen aus Areal I eine positive Korrelation zwischen ihrer erreichten Körperhöhe und den Indexwerten des Femur-Index platymericus sowohl für die rechte ($r = 0,804$) als auch für die linke Körperseite ($r = 0,787$) festgestellt werden (Abb. 77). Dieser Zusammenhang ist allerdings aufgrund der niedrigen Fallzahl ($n = 3$) statistisch nicht signifikant. Hingegen konnte für die Frauen aus Areal II nur für die linke Körperseite eine negative, aber ebenfalls nicht signifikante Korrelation ($r = 0,585$, $p = 0,25$) berechnet werden. Die Frau, die ihre Femora am schwächsten belastet hat, weist die größte Körperhöhe auf. Allerdings ist die Frau mit der stärksten Belastung ihrer Femora größer gewachsen als die Frauen aus Grab II-133 und II-58.

Ein Zusammenhang zwischen geringerer körperlicher Aktivität, die anhand der drei analysierten Indices beurteilt wurde, und den bisher hier untersuchten Pathologien lässt sich nicht feststellen.

7.1.2.4. Grabbeigaben

Dass die Grabbeigaben als Symbol für den sozialen Status angesehen werden, wie das in der Archäologie früher üblich war, ist mittlerweile umstritten. Dennoch sollte an dieser kleinen Stichprobe geprüft werden, ob sich die Individuen mit und ohne Grabbeigaben in ihren stabilen Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenverhältnissen in den Rippen unterscheiden, und ob sich dadurch gewisse Unterschiede in ihrer Ernährung feststellen lassen (Tab. 40).

GRABBEIGABEN										
Areal I	Grab	Rippen			Beigaben	Areal II	Grab	Rippen		
		$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$					$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	
Männer	I-20	9,6	-21,4	x	Männer	II-21	10,0	-20,7	x	
	I-25	9,9	-20,6	x		II-30	9,1	-20,5	x	
	I-36	9,9	-20,4	x		II-44	10,1	-20,3	x	
	I-47	10,5	-20,4	x		II-57	8,9	-21,0	x	
	I-48	10,3	-20,5	x		II-107	10,4	-21,5	x	
	I-43	10,1	-20,5			II-111	10,0	-20,4	x	
	Frauen	I-37	10,1	-20,6		x	II-27	9,6	-20,8	
		I-55	9,7	-20,8		x	II-78	10,0	-21,3	
		I-61	9,4	-20,6		x	II-83	10,4	-20,8	
		I-21	10,1	-20,9		x	Frauen II-22	10,1	-20,4	x
I-33		9,9	-20,7		II-42	9,4	-20,8	x		
I-34		9,5	-20,9		II-45	9,1	-20,9	x		
					II-54	8,6	-20,7	x		
					II-133	9,4	-20,6	x		
					II-35	9,6	-20,7	x		
					II-43	9,6	-20,6	x		
					II-58	9,3	-21,6			

Tab. 40 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen mit und ohne Grabbeigaben. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Daten zu Beigaben aus Burger-Heinrich, unveröff. Manuskript).

Weder bei Männern noch bei Frauen aus Areal I oder bei Männern aus Areal II ist ein Zusammenhang zwischen den Grabbeigaben und den aus ihren Rippen gewonnenen stabilen Isotopendaten, die als Proxy für die Erwachsenenernährung dient, erkennbar (Abb. 78). Lediglich bei der einzigen Frau aus einem beigabenlosen Grab (Grab II-58) unter den untersuchten Frauen aus Areal II wurden auffällig negative $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in den Rippen gemessen.

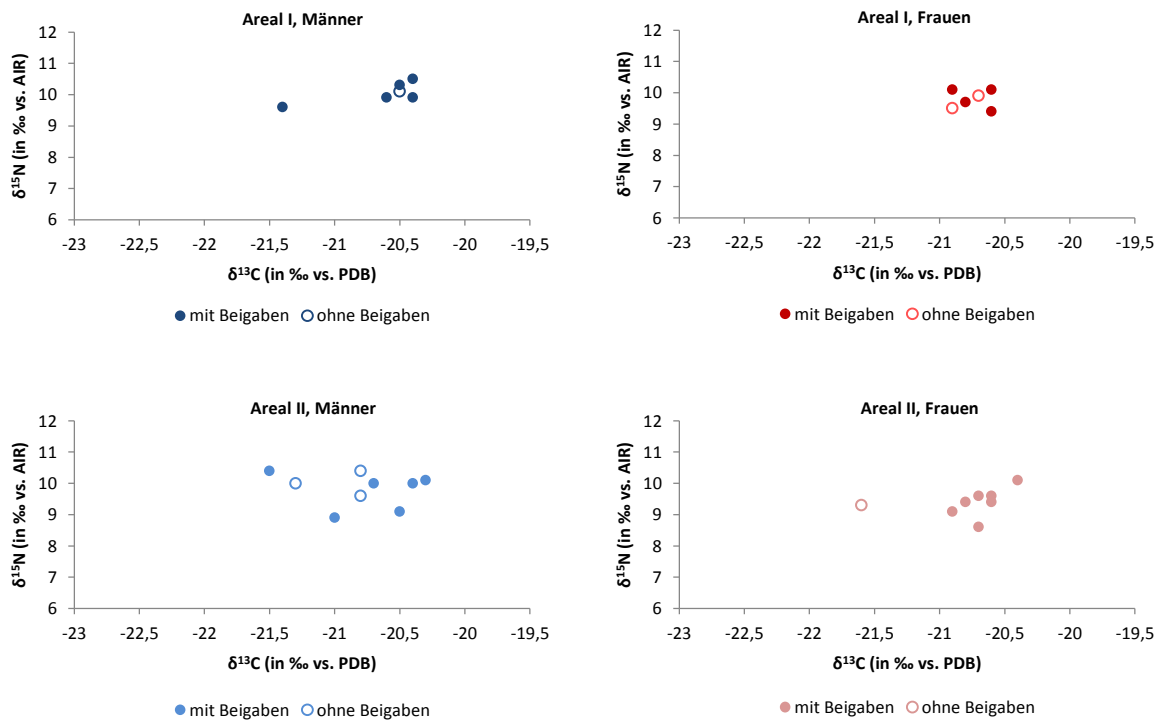


Abb. 78 Zusammenhang zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen mit und ohne Grabbeigaben.

Ein Zusammenhang zwischen der Körperhöhe und der Mitgabe von Grabbeigaben, und dem damit oft assoziierten Sozialstatus, ist an den hier untersuchten Individuen weder in der mittleren noch in der jüngeren Belegungsphase des Gräberfeldes erkennbar (Abb. 79). Obwohl für die Frau (II-58) aus der älteren Linienbandkeramik, bei der keine Grabbeigaben entdeckt wurden, erwartungsgemäß, wenn der Sozialstatus mit der Körperhöhe assoziiert wird, eine deutlich kleinere Körpergröße ermittelt wurde, so waren die Gräber der drei größten Männer, unter den hier berücksichtigten, wider Erwartung leer¹⁵³. Ob es sich hierbei um einen Zufallsbefund handelt, oder ob Frauen und Männer in der älteren Phase der Linienbandkeramik bezüglich der Jenseitsvorstellungen unterschiedlich behandelt wurden, lässt sich nicht abschließend klären.

¹⁵³ Nach Price et al. (2003) sind gerade in diesem Areal Männer mit besonders langen Extremitäten und reich ausgestatteten Gräbern zu finden.

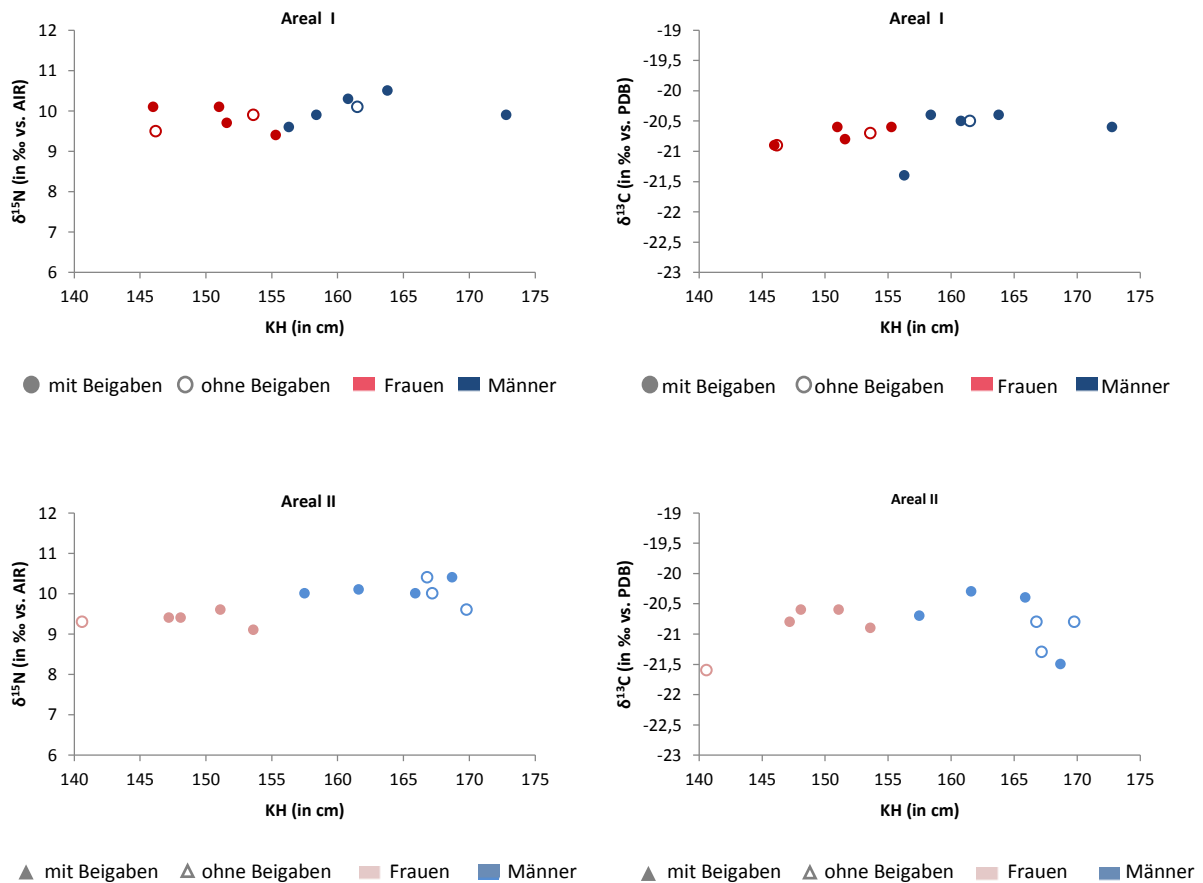


Abb. 79 Zusammenhang zwischen der Körperhöhe (KH) und $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen mit und ohne Grabbeigaben.

7.1.3. $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ (im Tertiärdentin) beprobter kariöser Molaren

Im Rahmen dieser Pilotstudie wurde die Annahme geprüft, dass pathologische Läsionen an und im Zahngewebe, die die Bildung von Tertiärdentin veranlassen, möglicherweise abweichende $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Tertiärdentin bewirken können, wie für das Knochengewebe gezeigt (Katzenberg, Lovell 1999), und dass sich dieses Dentin somit in seiner isotopischen Zusammensetzung vom Primärdentin unterscheidet, weshalb in diesem Fall das Beprobten vom Tertiärdentin bzw. das Einschließen pathologischer Zähne in die Analyse zu vermeiden wäre.

Nur Zähne mit kariösen Läsionen, an denen Kollagenproben entnommen wurden, fanden bei dieser Untersuchung eine Berücksichtigung, da bei den untersuchten Individuen nicht beobachtet wurde, dass zumindest nicht an beprobten Molaren starke Abrasion für den Abrieb des Zahnschmelzes verantwortlich war, was die Entstehung von Tertiärdentin angeregt hätte, und bei den Parodontopathien keine genauen Informationen zum Schweregrad der Krankheiten zur Verfügung standen. Nicht nur starke kariöse Ausprägungen, sondern auch

oberflächliche kariöse Läsionen (*Caries superficialis*) wurden hierbei berücksichtigt, weil es bereits im Anfangsstadium der Kariesbildung zu Veränderungen im Dentin kommt, die den Schutz der Pulpa gewährleisten sollen, darunter auch zur Bildung von Tertiärdentin (Voegel, Frank 1977; Silverstone, Hicks 1985; Diecke 2009). Da nur bei einem Mann unter den im Rahmen dieser Studie untersuchten Individuen aus Areal I zwei kariöse Zähne im Oberkiefer gefunden wurden, und hier nur die Zähne im Unterkiefer analysiert wurden, und an diesen folglich keine Probenentnahme für die Isotopenanalyse erfolgte, kamen nur Frauen aus Areal I sowie Frauen und Männer aus Areal II in die Auswertung (Tab. 41).

Die kariösen Zähne wurden mit derselben Zahngruppe ohne Karies von Individuen desselben Geschlechts und aus demselben Gräberfeldareal verglichen. Beim beprobten zweiten Molar eines Mannes aus Areal II (Grab II-27) mit Punktkaries war das C/N-Verhältnis höher als 3,9, sodass dieser Zahn nicht in die Auswertung eingehen konnte. Aus dem gleichen Grund konnten für den dritten Molar eines Mannes (Grab II-78) und für den ersten Molar einer Frau (Grab II-54) aus demselben Gräberfeldareal keine brauchbaren Daten gewonnen werden. Schließlich konnte ein dritter Molar einer Frau aus Areal I, zwei Molaren (ein zweiter und ein dritter), von zwei Männern aus Areal II sowie ein erster Molar einer Frau aus Areal II auf den Einflussfaktor Tertiärdentin untersucht werden (Tab. 41).

Areal I	Grab	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Karies am beprobten Zahn
Frauen	I-61	M ₃	9,8	-21,4	x
	I-33	M ₃	10,4	-20,9	
	I-34	M ₃	9,9	-21,0	
	I-37	M ₃	10,9	-21,8	
	I-55	M ₃	10,3	-20,7	
Areal II					
Männer	II-78	M ₂	9,5	-21,0	x
	II-30	M ₂	9,1	-20,3	
	II-44	M ₂	9,7	-21,1	
	II-83	M ₂	9,5	-21,0	
	II-107	M ₂	11,2	-21,5	
	II-111	M ₂	9,6	-20,5	
	II-107	M ₃	10,2	-22,0	x
	II-21	M ₃	10,4	-21,4	
	II-57	M ₃	10,1	-21,8	
	II-83	M ₃	9,9	-20,2	
	II-111	M ₃	10,3	-20,8	
Frauen	II-45	M ₁	10,3	-21,1	x
	II-22	M ₁	10,1	-21,6	
	II-35	M ₁	9,5	-20,8	
	II-43	M ₁	10,8	-21,4	
	II-133	M ₁	8,9	-21,7	

Tab. 41 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in beprobten Molaren mit und ohne kariöse Läsionen von Frauen aus Areal I sowie Frauen und Männern aus Areal II. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Daten zu Karies aus Burger-Heinrich, unveröff. Manuskript).

Nur bei der Frau aus Areal I (Grab I-61), auf deren drittem Molar eine *Caries profunda* diagnostiziert wurde, konnten leicht niedrigere $\delta^{15}\text{N}$ im Vergleich zu kariesfreien dritten Molaren anderer Frauen aus diesem Bereich beobachtet werden. In allen anderen Fällen, bei denen jeweils nur die *Caries superficialis* festgestellt werden konnte, unterscheiden sich die N-Isotopenverhältnisse in Molaren mit und ohne Karies nicht voneinander (Abb. 80). Möglicherweise spielt dabei die Tiefe des Defektes bzw. der kariöse Zerstörungsgrad und damit die Intensität und Dauer der Bildung von Tertiärdentin eine entscheidende Rolle. Der dritte Molar eines Mannes aus Areal II (Grab II-107) mit Karies weist hingegen die niedrigsten $\delta^{13}\text{C}$ auf. Es kann nicht abschließend geklärt werden, ob das ein Zufall ist, oder ob er mit seinen auffällig niedrigen Indexwerten des Femur-Index *platymericus* und etwas andersartiger Ernährung im Vergleich zu den anderen Männern aus Areal II, was sich bereits in seinen ersten und zweiten Molaren andeutet, durch seine starke Mobilität zu teilweise anderer und möglicherweise stärkehaltigerer Nahrung kam.¹⁵⁴

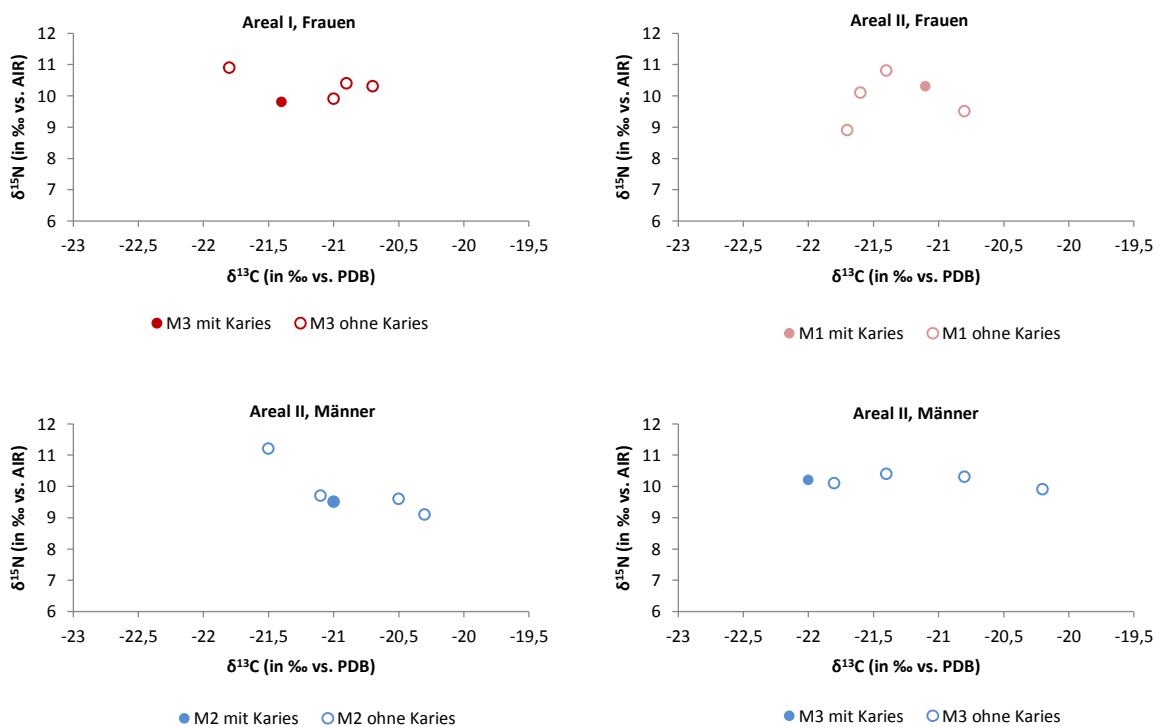


Abb. 80 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Molaren mit und ohne kariöse Läsionen bei Frauen aus Areal I sowie bei Frauen und Männern aus Areal II.

¹⁵⁴ Von fünf Molaren aus der gesamten Probenmenge, bei denen eindeutig hohe C/N-Werte (>3,9) gemessen wurden, und die nicht in die Auswertung eingehen konnten, waren drei von Karies befallen und einer wies Zahnschmelzhypoplasien auf. Ob hierbei ein Zusammenhang besteht, müsste im Rahmen einer anderen Studie, die sich explizit mit pathologischen Zähnen befasst, geprüft werden.

Aufgrund der Tatsache, dass jeweils nur ein Zahn mit kariöser Läsion beurteilt werden konnte, lassen sich keine eindeutigen Aussagen zu Unterschieden in $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Zähnen mit und ohne Karies treffen. Die niedrigeren $\delta^{15}\text{N}$ -Werte bei der Frau aus Areal I sowie die negativeren $\delta^{13}\text{C}$ im dritten Molar beim Mann aus Areal II können auch auf andere Ernährungsgewohnheiten o. ä. zurückgeführt werden. Da sich Tertiärdentin nur in Reiznähe und nicht um die gesamte Pulpa bildet, kann nicht ausgeschlossen werden, dass gar kein Tertiärdentin mitbeprobte wurde. Auch wenn sich bei einer höheren Stichprobe Unterschiede feststellen ließen, wäre es unmöglich, endgültig zu klären, ob diese tatsächlich auf die Tätigkeit der für Karies verantwortlichen Mikroorganismen oder einfach auf Erwachsenenernährung, die das Tertiärdentin im Gegensatz zum Primärdentin spiegeln müsste, zurückzuführen sind. Die Größe des Defektes und der Zerstörungsgrad könnten ebenfalls eine wichtige Rolle spielen.

7.2. Das Gräberfeld von Schwetzingen

7.2.1. $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der Molaren

Für die stabile N- und C-Isotopenanalyse an insgesamt 18 Individuen (8 Männern und 10 Frauen) aus dem Gräberfeld von Schwetzingen wurden aus 48 (16 ersten, 18 zweiten und 14 dritten) Molaren Dentinproben entnommen. Davon war bei 44 (15 ersten, 17 zweiten und 12 dritten) Molaren, das $C/N \leq 3,9$, sodass vier Molaren aus dem bereits oben für das Material aus Stuttgart-Mühlhausen genannten Grund keine verwertbaren Daten lieferten. Dennoch war es möglich, für mindestens zwei Zähne bei jedem der 18 Individuen aus diesem Gräberfeld geeignete Daten für die Auswertung zu gewinnen (Tab. 42).

Wie für das Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen, soll auch hier zunächst geprüft werden, ob Unterschiede in $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in den einzelnen Molaren von Männern und Frauen feststellbar sind, bevor die Isotopenverhältnisse in den Molaren mit den Langknochenlängen und den Körperhöhen in Beziehung gesetzt werden.

Grab	Alter	Geschlecht	C/N	M ₁		C/N	M ₂		C/N	M ₃		$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$
				$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$		
9	(20)-30	w	3,6	9,6	-21,3	3,4	9,1	-20,7	3,4	9,0	-21,4	9,2	-21,1
14	25-30	m	3,7	9,2	-20,3	3,5	9,1	-20,2				9,1	-20,2
26	~ 30	m				3,6	8,9	-21,6	3,6	9,0	-20,5	8,9	-21,0
33	~ 25-30	w	3,3	9,4	-21,3	3,3	8,9	-21,5	3,6	9,7	-22,4	9,3	-21,7
39	25-30	w	3,4	8,6	-20,6	3,7	9,0	-21,9				8,8	-21,2
70	30-40	m	3,2	8,9	-18,8	3,2	8,7	-19,5	3,6	9,3	-20,2	9,0	-19,5
71	25-35	w	3,3	9,0	-20,7	3,2	8,8	-21,3	3,3	8,1	-20,2	8,6	-20,7
93	30-40	m	kD	kD	kD	3,3	9,6	-20,0	kD	kD	kD	9,6	-20,0
99	30-40	w				3,6	9,8	-21,9	3,3	10,0	-20,6	9,9	-21,2
100	~ 30	w	3,4	11,4	-20,5	3,7	11,5	-20,9	3,4	11,1	-20,4	11,3	-20,6
107	30-40	m	3,7	8,4	-20,2	3,2	8,7	-20,5				8,5	-20,3
109	20-30	w	3,3	7,9	-20,5	3,5	7,4	-20,1	3,2	8,9	-21,0	8,1	-20,6
114	adult	w	3,7	8,4	-20,5	kD	kD	kD	3,5	8,3	-20,6	8,3	-20,5
122	adult	w	3,5	9,3	-20,4	3,5	8,7	-21,0	kD	kD	kD	9,0	-20,7
131	adult	w	3,6	9,0	-21,4	3,4	8,0	-19,9	3,3	8,6	-20,6	8,5	-20,6
133	adult	m	3,8	9,2	-20,2	3,6	9,4	-19,5	3,5	10,2	-19,8	9,6	-19,8
169	20-30	m	3,4	8,6	-20,0	3,2	8,3	-20,0	3,2	9,8	-20,5	8,9	-20,2
220	20-30	m	3,6	9,6	-21,4	3,5	9,8	-20,2				9,7	-20,8

Tab. 42 Ergebnisse der stabilen $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Isotopenanalyse an Zähnen von Individuen aus Schwetzingen. m = männlich, w = weiblich, kD = keine Daten, Mw = Mittelwert. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰.

	$\delta^{15}\text{N-Min}$	$\delta^{15}\text{N-Max}$	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Min}$	$\delta^{13}\text{C-Max}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$
♂	8,3	10,2	9,2	-21,6	-18,8	-20,2
♀	7,4	11,5	9,1	-22,4	-19,9	-20,9

Tab. 43 Variationsbreite und Mittelwerte der $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ (in ‰) in Zahnproben von Individuen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. Min = Minimalwert, Max = Maximalwert, Mw = Mittelwert.

Bei Betrachtung aller aus den Molaren gewonnenen Isotopendaten zeigt sich kaum ein Unterschied zwischen Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen bezüglich ihres $\delta^{15}\text{N}$ (Abb. 81). Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte bei Männern streuen zwischen 8,3 und 10,2‰ (Mittelwert $9,2\text{‰} \pm 0,5$), die der Frauen zwischen 7,4 und 11,5‰ (Mittelwert $9,1\text{‰} \pm 1,0$) (Tab. 43). Lediglich bei einer Frau (Grab 100) zeigten alle drei Molaren deutlich höhere $\delta^{15}\text{N}$ als die der anderen Individuen. Aufgrund der Tatsache, dass bei ihr eine flache Hüftgelenkpfanne diagnostiziert wurde, die wahrscheinlich auf genetische Veranlagung zurückgeht, ist es denkbar, dass diese Hüftgelenkdysplasie, die mit unzureichender Verknöcherung der Hüftpfanne einhergeht, schon im frühen Kindesalter, gerade während des Wachstums, für erhöhte $\delta^{15}\text{N}$ verantwortlich war.

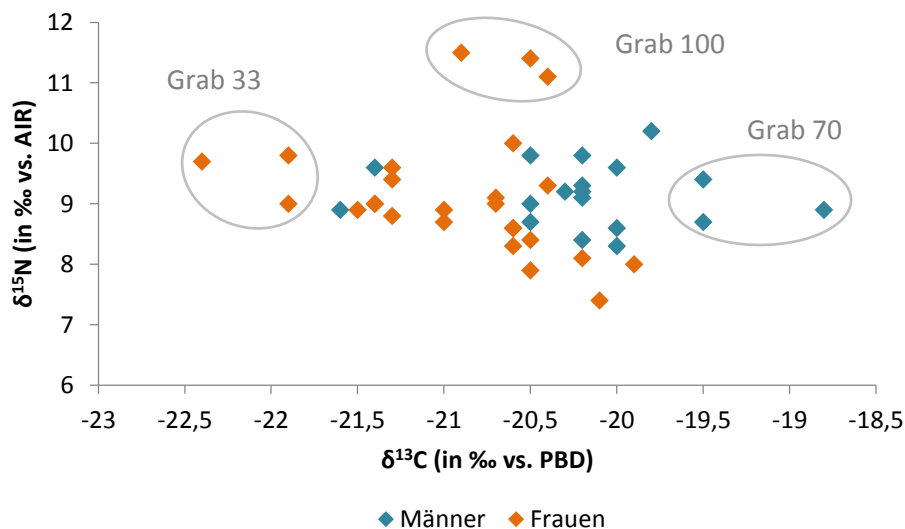


Abb. 81 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Molaren adulter Individuen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. Dargestellt sind alle nach Geschlecht getrennten Molaren, für die verlässliche Isotopendaten gewonnen werden konnten.

Hinsichtlich des $\delta^{13}\text{C}$ deutet sich zwar ein geschlechtsspezifischer Unterschied an, dieser wird jedoch erst dann deutlich erkennbar, wenn man die Mittelwerte der Isotopenverhältnisse in den Molaren betrachtet (Abb. 82). So weisen die Molaren der meisten Männer sichtbar positivere $\delta^{13}\text{C}$ als die Frauen auf. Dieser Unterschied in Kohlenstoffisotopenverhältnissen zwischen den beiden Geschlechtern ist nach dem t-Testverfahren hoch signifikant ($p = 0,0005$). Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte liegen bei den Männern zwischen -21,6 und -18,8‰ (Mittelwert $-20,2\text{‰} \pm 0,6$) und bei den Frauen zwischen -22,4 und -19,9‰ (Mittelwert $-20,9\text{‰} \pm 0,6$) (Tab. 43). Während die Stickstoffisotopendaten eine etwas stärkere Variationsbreite in den Molaren der Frauen aufweisen, zeigen die Kohlenstoffisotopendaten dieselbe in den Molaren

der Männer. Die auffällig niedrigen $\delta^{13}\text{C}$ in allen drei Molaren der Frau aus Grab 33 könnten mit den rachitischen Veränderungen an der Femurdiaphyse dieser Frau zusammenhängen. Jedoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich ihre Ernährung hinsichtlich der Kohlenstoffquelle von der Ernährung der anderen in dieser Pilotstudie berücksichtigten Individuen unterschieden hat. Über die Gründe für merklich positivere $\delta^{13}\text{C}$ im ersten Molar des Mannes aus Grab 70 im Vergleich zu allen Molaren anderer Männer kann auch nur spekuliert werden. Neben ernährungsbedingten Ursachen, müssen auch an seinem Skelett beobachteten Pathologien wie die Spondyloarthrose der Wirbelsäule oder die Knochenauflagerungen im Bereich der Patella als mögliche Ursachen für veränderte $\delta^{13}\text{C}$ in Betracht gezogen werden. Leider fehlen bisher hinreichende und umfangreiche Studien zum Einfluss von Pathologien auf Stickstoff- und Kohlenstoffisotopie im Körpergewebe, um solche Beobachtungen besser konkretisieren zu können. Eine Strontiumisotopenanalyse ergab für beide Individuen kein fremdes Isotopensignal,¹⁵⁵ sodass davon ausgegangen werden kann, dass beide Individuen nicht an einem anderen Ort, zumindest nicht mit abweichendem geologischen Untergrund, aufgewachsen sind.

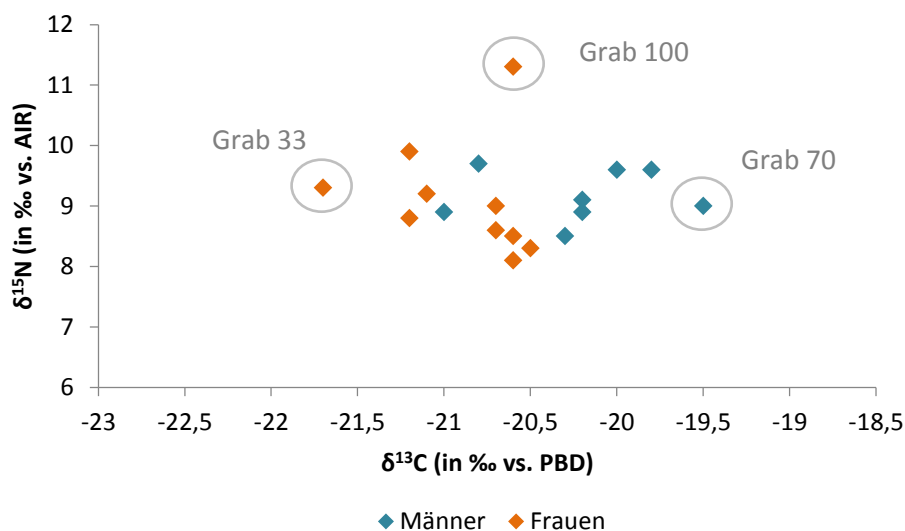


Abb. 82 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen und Männern.

¹⁵⁵ Bentley, persönliche Mitteilung (05.03.2015) und Bentley et al. 2013, Tab. 7. 3. Siehe auch Anhang, Tab. 1 und Abb. 14. Strontiumisotopenverhältnisse für lokalen Löss liegen zwischen 0,7085 und 0,7103.

Die Messergebnisse der stabilen Kohlenstoffisotopenanalyse an den ersten Molaren machen diesen geschlechtsspezifischen Unterschied noch deutlicher (Tab. 44).

Männer				Frauen			
Zähne	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Grab	Zähne	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Grab
M ₁	9,2	-20,3	14	M ₁	9,6	-21,3	9
M ₁	8,9	-18,8	70	M ₁	9,4	-21,3	33
M ₁	8,4	-20,2	107	M ₁	8,6	-20,6	39
M ₁	9,2	-20,2	133	M ₁	9,0	-20,7	71
M ₁	8,6	-20,0	169	M ₁	11,4	-20,5	100
M ₁	9,6	-21,4	220	M ₁	7,9	-20,5	109
M ₂	9,1	-20,2	14	M ₁	8,4	-20,5	114
M ₂	8,9	-21,6	26	M ₁	9,3	-20,4	122
M ₂	8,7	-19,5	70	M ₁	9,0	-21,4	131
M ₂	9,6	-20,0	93	M ₂	9,1	-20,7	9
M ₂	8,7	-20,5	107	M ₂	8,9	-21,5	33
M ₂	9,4	-19,5	133	M ₂	9,0	-21,9	39
M ₂	8,3	-20,0	169	M ₂	8,8	-21,3	71
M ₂	9,8	-20,2	220	M ₂	9,8	-21,9	99
M ₃	9,0	-20,5	26	M ₂	11,5	-20,9	100
M ₃	9,3	-20,2	70	M ₂	7,4	-20,1	109
M ₃	10,2	-19,8	133	M ₂	8,7	-21,0	122
M ₃	9,8	-20,5	169	M ₂	8,0	-19,9	131
				M ₃	9,0	-21,4	9
				M ₃	9,7	-22,4	33
				M ₃	8,1	-20,2	71
				M ₃	10,0	-20,6	99
				M ₃	11,1	-20,4	100
				M ₃	8,9	-21,0	109
				M ₃	8,3	-20,6	114
				M ₃	8,6	-20,6	131

Tab. 44 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42).

Bei Betrachtung der Kohlenstoffisotopendaten in den ersten Molaren beider Geschlechter, weisen die Männer zwar einerseits positivere $\delta^{13}\text{C}$ im Vergleich zu den Frauen. Andererseits jedoch scheint es innerhalb beider Geschlechtergruppen Individuen mit negativeren $\delta^{13}\text{C}$ in ihren ersten Molaren zu geben. Möglicherweise hat sich deren Ernährung hinsichtlich der Kohlenstoffquelle in der frühen Kindheit deutlich von der der anderen Individuen unterschieden, was, wie es Bentley et al. (2013) vermuten, auf Zugehörigkeit zu einer anderen Gemeinschaft zurückgeführt werden könnte (Abb. 83). Zwei von diesen Individuen, die Frau aus Grab 9 sowie der Mann aus Grab 220 weisen in ihren Zähnen ein nicht-lokales Strontiumisotopensignal auf, sodass davon ausgegangen werden kann, dass sie an einem anderen Ort aufgewachsen und erst später nach Schwetzingen gekommen sind. Der Unterschied zwischen der Individuengruppe mit deutlich negativeren und solcher mit deutlich positiveren Kohlenstoffisotopenverhältnissen ist statistisch hoch signifikant ($p = 0,001$). Über die Frau

mit sehr hohem $\delta^{15}\text{N}$ sowie über den Mann mit besonders positivem $\delta^{13}\text{C}$ wurde bereits diskutiert, daher wird auf ihre von den anderen abweichenden Isotopendaten an dieser Stelle nicht erneut eingegangen.

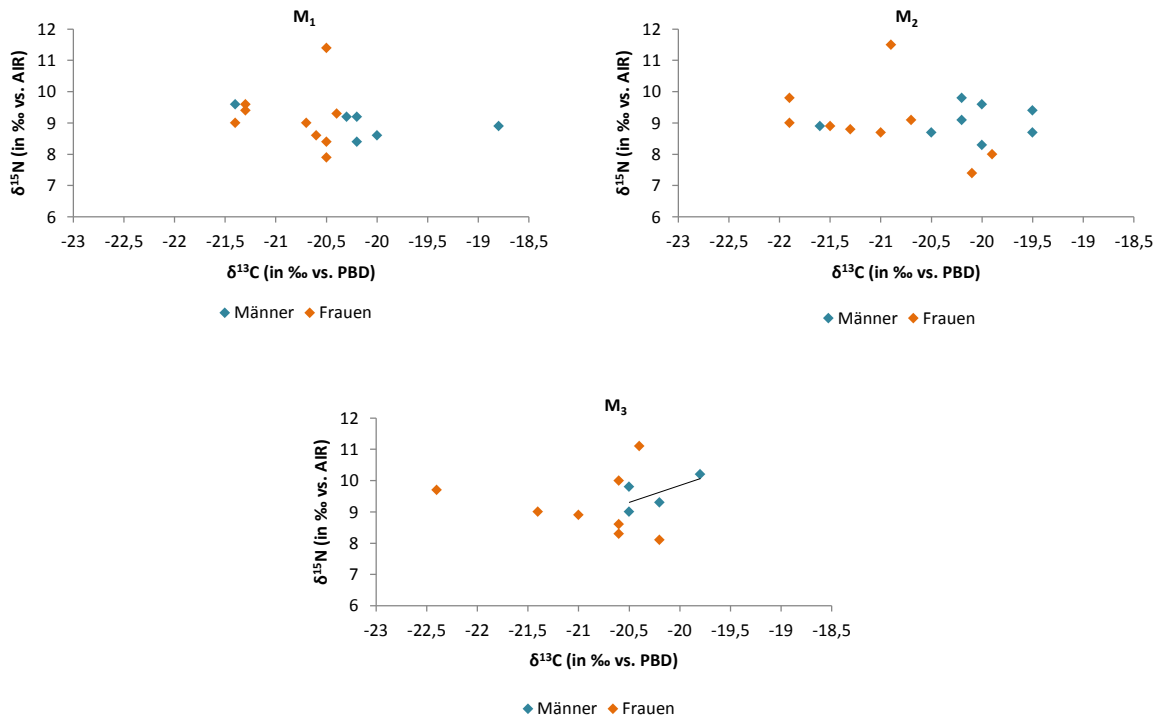


Abb. 83 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen.

Der Unterschied in $\delta^{13}\text{C}$ in den zweiten und dritten Molaren zwischen den beiden Geschlechtern ist zwar weniger deutlich als in den ersten Molaren, ist aber bezüglich der zweiten Molaren dennoch ebenfalls statistisch signifikant ($p = 0,02$) und bezüglich der dritten Molaren statistisch nur knapp nicht signifikant ($p = 0,11$). Ein linearer Zusammenhang und eine positive Korrelation konnte nur zwischen den Isotopendaten der dritten Molaren der Männer festgestellt werden, auch wenn diese Beziehung nicht signifikant ist ($r = 0,670$, $p = 0,21$). Werden die Isotopendaten der Frau aus Grab 100 von der Auswertung ausgeschlossen, so zeichnet sich ein linearer Zusammenhang und eine negative Korrelation zwischen den $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ auch bei den zweiten und dritten Molaren der Frauen ab. Insgesamt sind die $\delta^{13}\text{C}$ in den Molaren der Frauen durchgehend negativer als bei den Männern, während die $\delta^{15}\text{N}$, wenn man die Frau aus Grab 100 unberücksichtigt lässt, bei den Männern etwas höher sind als bei den Frauen (Tab. 45).

$\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte (in ‰)			$\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte (in ‰)		
Zähne	Männer	Frauen	Zähne	Männer	Frauen
M ₁	9,0	9,2	M ₁	-20,1	-20,8
M ₂	9,1	9,0	M ₂	-20,2	-21,0
M ₃	9,6	9,2	M ₃	-20,2	-20,9

Tab. 45 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen.

Beim Vergleich der Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenverhältnisse in den einzelnen Molaren innerhalb der jeweiligen Geschlechtergruppe lässt sich erkennen, dass die $\delta^{15}\text{N}$ in den ersten Molaren der Männer erwartungsgemäß am niedrigsten sind, gefolgt von den zweiten und den dritten Molaren, die die höchsten Stickstoffisotopenwerte aufweisen (Abb. 84). Dagegen zeigen die $\delta^{15}\text{N}$ der zweiten Molaren der Frauen die niedrigsten Werte, während die ersten und dritten Molaren kaum Unterschiede in ihrer Stickstoffisotopenzusammensetzung aufweisen. Diese Anreicherung des schweren ^{15}N bei den Männern lässt sich auch an den Mittelwerten insbesondere bei dem dritten Molar erkennen (Tab. 45), ist aber nicht signifikant ($p = 0,51$). Im Gegensatz dazu zeigen die $\delta^{13}\text{C}$ bei den Männern kein eindeutiges Muster, während die zweiten Molaren bei Frauen auch die negativsten $\delta^{13}\text{C}$ aufweisen. Ob diese Frauen wie die Frauen aus Areal II von Stuttgart-Mühlhausen in ihrer Kindheit länger gestillt wurden und die Stickstoffisotopenverhältnisse in ihren ersten Molaren deshalb höher sind als die in den zweiten Molaren, die die negativsten Werte aufweisen, was erneut mit Nahrungsstress am Übergang zur festen Nahrung assoziiert werden könnte, lässt sich nicht eindeutig klären, da sie gleiche Isotopenwerte wie die dritten Molaren aufzeigen. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass ein geschlechtsspezifischer, statistisch hoch signifikanter Unterschied im Hinblick auf die Ernährung ausschließlich an $\delta^{13}\text{C}$ im Verlauf der gesamten Kindheit und Jugend klar erkennbar ist.

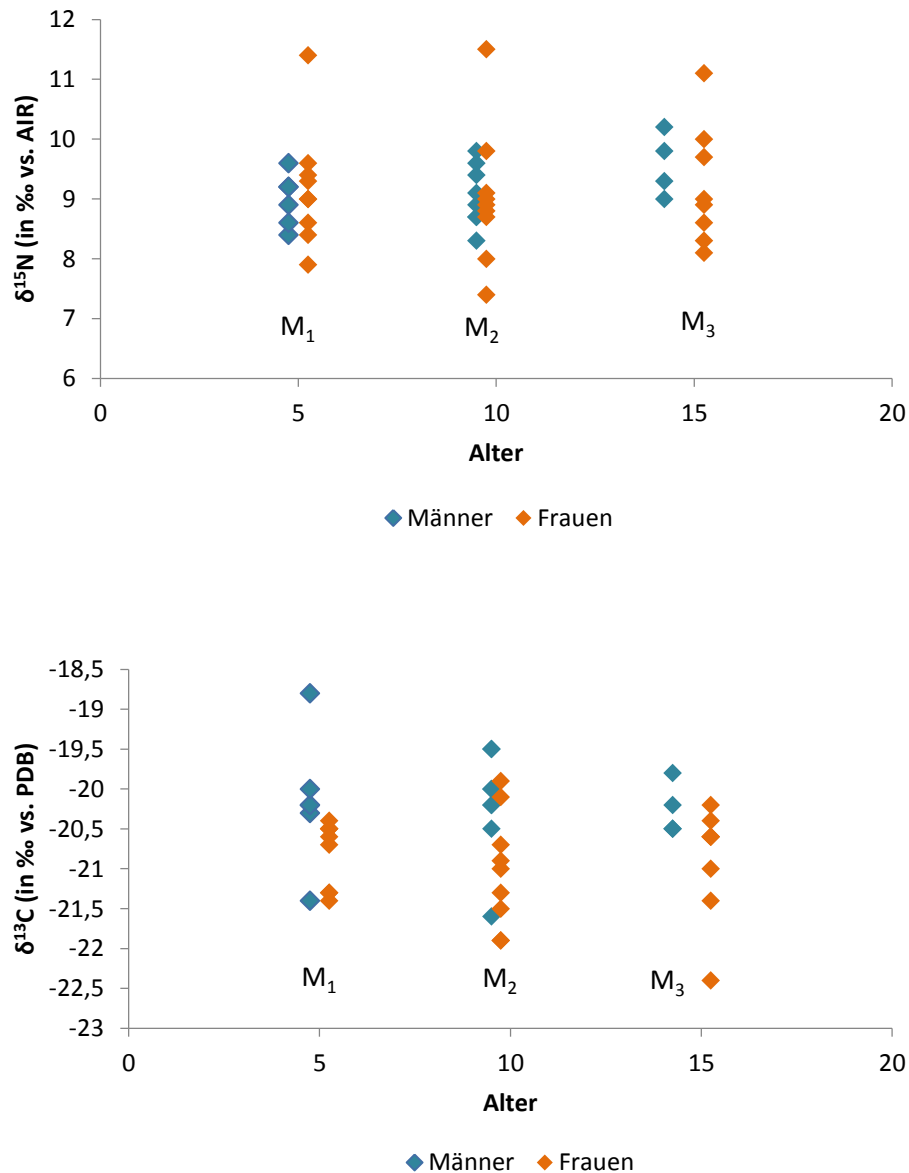


Abb. 84 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im beprobten Abschnitt der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen.

7.2.1.1. Zusammenhang zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Zahndentin und der jeweils größten Diaphysenlänge (Maß 1 nach Martin 1928)

Bei 7 von 8 im Rahmen dieser Pilotstudie untersuchten Männern aus dem Gräberfeld von Schwetzingen konnte die größte Länge des Femurs (F1), bei 2 die mediale Länge der Tibia (T1b), bei allen 8 die größte Länge des Humerus (H1) und ebenfalls bei 7 Männern die größte Länge des Radius (R1) aufgenommen werden. Von 10 untersuchten Frauen war es möglich, das Maß F1 bei 8, T1b ebenfalls nur bei 2, H1 bei allen und R1 bei 9 Frauen zu erheben. Dennoch ist es gelungen, für alle Individuen beider Geschlechter die Körperhöhe nach Pearson

(1899) zu schätzen (Tab. 46). Wie beim Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen sollen die gewonnenen Isotopendaten zuerst mit den verfügbaren Langknochenmaßen derselben Individuen sowie mit ihrer anhand dieser Langknochen ermittelten Körperhöhe in Beziehung gesetzt werden.

Männer						
Grab	Alter	F1 (in mm)	Ti1b (in mm)	H1 (in mm)	R1 (in mm)	KH n. Pearson (in cm)
14	25-30	0	0	301	226	157,7
26	~ 30	452,5	366	330	242	166,4
70	30-40	445 (l)	0	315 (l)	242	164,9
93	30-40	452	0	294	232	166,3
107	30-40	430	0	307	241	162,1
133	adult	487,5	378	328 (l)	257	172,9
169	20-30	482,5 (l)	0	340	265	172,0
220	20-30	465	0	315	0	168,7

Frauen						
Grab	Alter	F1 (in mm)	Ti1b (in mm)	H1 (in mm)	R1 (in mm)	KH n. Pearson (in cm)
9	(20)-30	388 (l)	0	286 (l)	0	148,3
33	~ 25-30	420	0	300 (l)	215	154,5
39	25-30	402	0	293	210	151,0
71	25-35	430 (l)	0	300 (l)	220	156,5
99	30-40	392 (l)	0	282	202 (l)	149,1
100	~ 30	420	0	304	228 (l)	154,5
109	20-30	392 (l)	318 (l)	285	215 (l)	149,1
114	adult	0	0	295	214	152,7
122	adult	427,5	323	302	230	156,0
131	adult	430 (l)	0	305 (l)	220 (l)	156,5

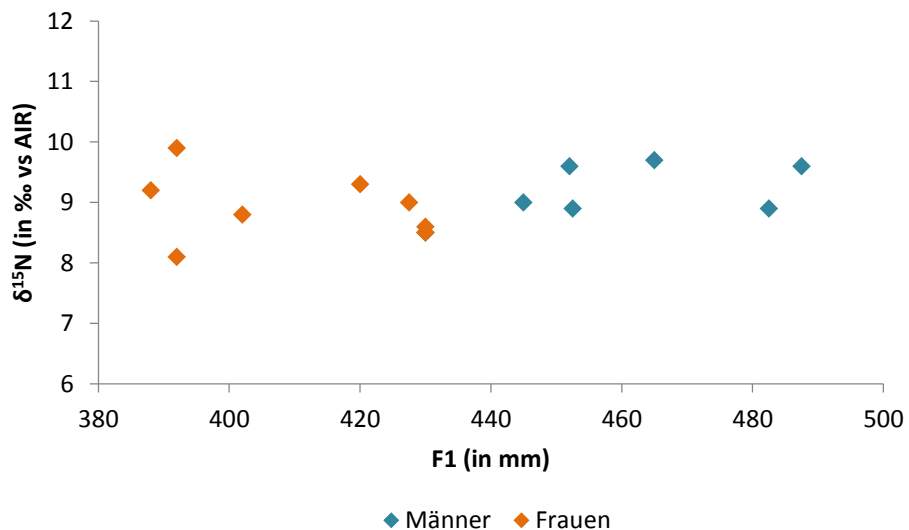
Tab. 46 Langknochenmaße (nach Wahl, unveröff. Gräberfeldkatalog) für die in dieser Pilotstudie isotopisch untersuchten Individuen, sowie die anhand dieser Langknochen geschätzten Körperhöhen (KH) (nach Pearson 1899). Wenn nicht anders angegeben, handelt es sich um Knochen rechter Körperseite. (l) = links.

Hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen den Mittelwerten der $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Molaren von Männern und Frauen, für die das F1-Maß verfügbar war (Tab. 47), und der größten Femurlänge, konnte in keinem Fall eine lineare Beziehung zwischen diesen Isotopendaten und dem anthropometrischen F1-Maß festgestellt werden (Abb. 85). Obwohl die Frauen deutlich kleinere Femora aufweisen als die Männer, und zwischen ihnen somit ein sichtbarer Geschlechtsdimorphismus besteht, liegen ihre $\delta^{15}\text{N}$ im $\delta^{15}\text{N}$ -Wertebereich der Männer mit erkennbar größeren Femur-Maßen. Eine Ausnahme bildet der Mann aus Grab 107, dessen F1 das gleiche Längenmaß wie die Frau aus Grab 71 aufweist. Da auch die $\delta^{15}\text{N}$ dieser beiden Individuen fast identisch sind, überdecken sich ihre Werte, weshalb die des Mannes auf der Graphik nicht zu sehen sind (Abb. 85, oben). Während im Hinblick auf $\delta^{13}\text{C}$ bei beiden Geschlechtern ebenfalls kein linearer Zusammenhang zwischen den Isotopendaten und der Femurlänge besteht, sind die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in Molaren der Männer dennoch etwas positiver.

Dies könnte darauf hindeuten, dass der Kohlenstoff in der Nahrung der Männer und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen, zumindest in ihrer Kindheit und Jugend, im Gegensatz zu Stickstoff, aus verschiedenen Quellen stammte, was ein geschlechtsspezifisches Ernährungsverhalten signalisieren würde.

FEMUR				
	Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	F1 (in mm)
Männer	26	8,9	-21,0	452,5
	70	9,0	-19,5	445
	93	9,6	-20,0	452
	107	8,5	-20,3	430
	133	9,6	-19,8	487,5
	169	8,9	-20,2	482,5
	220	9,7	-20,8	465
Frauen	9	9,2	-21,1	388
	33	9,3	-21,7	420
	39	8,8	-21,2	402
	71	8,6	-20,7	430
	99	9,9	-21,2	392
	109	8,1	-20,6	392
	122	9,0	-20,7	427,5
	131	8,5	-20,6	430

Tab. 47 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Individuen, für die F1 erhoben werden konnte. Mw = Mittelwert. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 46).



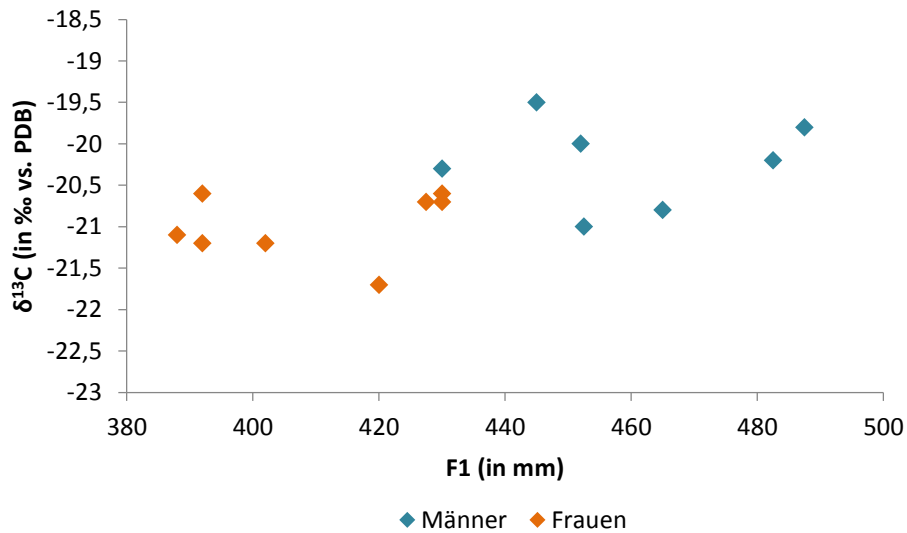


Abb. 85 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern und Frauen, für die F1 erhoben werden konnte.

Bei der Tibia konnte nur jeweils bei zwei Männern und zwei Frauen das T1b-Maß aufgenommen werden, sodass sich die Beziehung zwischen den Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenverhältnissen und der medialen Tibialänge auf einen linearen Zusammenhang nicht prüfen lässt (Tab. 48, Abb. 86).

TIBIA				
	Grab	$\delta^{15}\text{N}$ -Mw	$\delta^{13}\text{C}$ -Mw	T1b (in mm)
Männer	26	8,9	-21,0	366
	133	9,6	-19,8	378
Frauen	109	8,1	-20,6	318
	122	9,0	-20,7	323

Tab. 48 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Individuen, für die T1b erhoben werden konnte. Mw = Mittelwert. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 46).

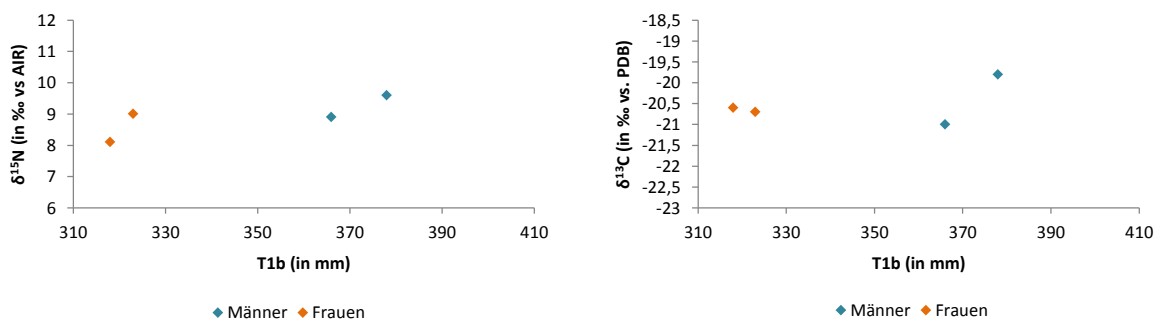


Abb. 86 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern und Frauen, für die T1b erhoben werden konnte.

Der am Femur beobachtete Geschlechtsdimorphismus ist auch am Humerus und am Radius erkennbar, auch wenn er bei den oberen Extremitäten nicht ganz so deutlich wie bei unteren Extremitäten ausgeprägt zu sein scheint. Weder beim Humerus noch beim Radius konnte ein linearer Zusammenhang zwischen $\delta^{15}\text{N}$ oder $\delta^{13}\text{C}$ in den Molaren und der Knochenlänge festgestellt werden (Abb. 87 und Abb. 88, Tab. 49). Lediglich eine schwache positive Korrelation konnte zwischen $\delta^{13}\text{C}$ und der größten Radiuslänge bei Frauen beobachtet werden ($r = 0,489$). Diese Korrelation ist jedoch statistisch knapp nicht signifikant ($p = 0,095$).

HUMERUS					RADIUS						
	Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	H1		Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	R1		
Männer	14	9,1	-20,2	301	Männer	14	9,1	-20,2	226		
	26	8,9	-21,0	330		26	8,9	-21,0	242		
	70	9,0	-19,5	315		70	9,0	-19,5	242		
	93	9,6	-20,0	294		93	9,6	-20,0	232		
	107	8,5	-20,3	307		107	8,5	-20,3	241		
	133	9,6	-19,8	328		133	9,6	-19,8	257		
	169	8,9	-20,2	340		169	8,9	-20,2	265		
	220	9,7	-20,8	315		Frauen	33	9,3	-21,7	215	
	Frauen	9	9,2	-21,1			286	39	8,8	-21,2	210
		33	9,3	-21,7			300	71	8,6	-20,7	220
39		8,8	-21,2	293	99		9,9	-21,2	202		
71		8,6	-20,7	300	100		11,3	-20,6	228		
99		9,9	-21,2	282	109		8,1	-20,6	215		
100		11,3	-20,6	304	114		8,3	-20,5	214		
109		8,1	-20,6	285	122		9,0	-20,7	230		
114		8,3	-20,5	295	131		8,5	-20,6	220		
122		9,0	-20,7	302							
131		8,5	-20,6	305							

Tab. 49 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Individuen, für die H1 (in mm) erhoben werden konnte. Mw = Mittelwert. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 46).

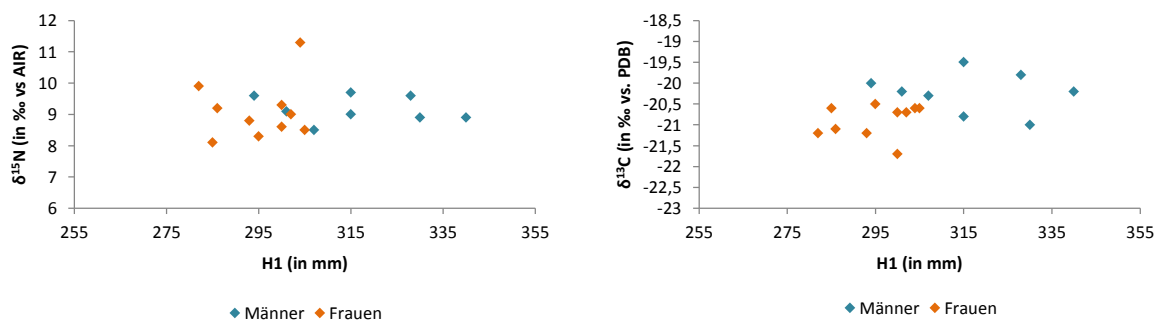


Abb. 87 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern und Frauen, für die H1 erhoben werden konnte.

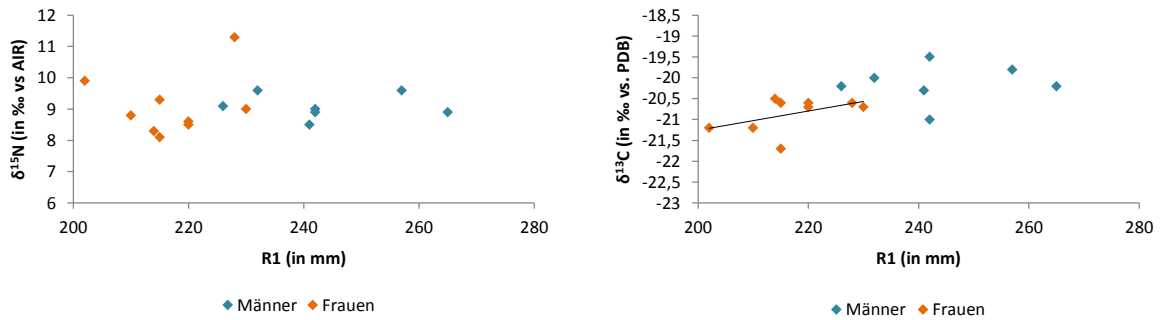


Abb. 88 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern und Frauen, für die R1 erhoben werden konnte.

Im Folgenden soll untersucht werden, ob die Isotopenverhältnisse in einzelnen Molaren besser mit den jeweiligen Langknochenlängen korrelieren, und ob eventuell zu einem bestimmten Zeitpunkt während der Wachstumsphase die Ernährung bzw. die $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in der assimilierten Nahrung einen stärkeren Einfluss auf das Längenwachstum hatten.

Während die Stickstoffisotopenverhältnisse in den ersten Molaren beider Geschlechter keine Unterschiede hinsichtlich ihrer größten Femurlänge aufweisen, zeichnet sich bereits mit dem ersten Molar ein relativ deutlicher Unterschied hinsichtlich ihrer Kohlenstoffisotopenverhältnisse ab (Abb. 89, Tab. 50).

FEMUR									
Männer					Frauen				
Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	F1 (in mm)	Grab	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	F1 (in mm)	Grab
M ₁	8,9	-18,8	445	70	M ₁	9,6	-21,3	388	9
M ₁	8,4	-20,2	430	107	M ₁	9,4	-21,3	420	33
M ₁	9,2	-20,2	487,5	133	M ₁	8,6	-20,6	402	39
M ₁	8,6	-20,0	482,5	169	M ₁	9,0	-20,7	430	71
M ₁	9,6	-21,4	465	220	M ₁	7,9	-20,5	392	109
M ₂	8,9	-21,6	452,5	26	M ₁	11,4	-20,5	420	100
M ₂	8,7	-19,5	445	70	M ₁	9,3	-20,4	427,5	122
M ₂	9,6	-20,0	452	93	M ₁	9,0	-21,4	430	131
M ₂	8,7	-20,5	430	107	M ₂	9,1	-20,7	388	9
M ₂	9,4	-19,5	487,5	133	M ₂	8,9	-21,5	420	33
M ₂	8,3	-20,0	482,5	169	M ₂	9,0	-21,9	402	39
M ₂	9,8	-20,2	465	220	M ₂	8,8	-21,3	430	71
M ₃	9,0	-20,5	452,5	26	M ₂	9,8	-21,9	392	99
M ₃	9,3	-20,2	445	70	M ₂	7,4	-20,1	392	109
M ₃	10,2	-19,8	487,5	133	M ₂	11,5	-20,9	420	100
M ₃	9,8	-20,5	482,5	169	M ₂	8,7	-21,0	427,5	122
					M ₂	8,0	-19,9	430	131
					M ₃	9,0	-21,4	388	9
					M ₃	9,7	-22,4	420	33
					M ₃	8,1	-20,2	430	71
					M ₃	10,0	-20,6	392	99
					M ₃	8,9	-21,0	392	109
					M ₃	11,1	-20,4	420	100
					M ₃	8,6	-20,6	430	131

Tab. 50 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen und Männern, für die F1 erhoben werden konnte. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 46).

Diese Beobachtung deutet möglicherweise darauf hin, dass eine ungleiche Versorgung der Jungen und Mädchen mit Nahrung bereits im frühen Kindesalter einsetzte, was sich mit dem zweiten und dritten Molar bis zur Pubertät fortsetzt. Der Unterschied in ihrer Knochenlänge wird aber eher genetische Ursachen haben. Innerhalb der Geschlechtergruppen ist bis auf eine positive, statistisch knapp nicht signifikante Korrelation ($r = 0,905$, $p = 0,07$) zwischen F1 und $\delta^{15}\text{N}$ in den dritten Molaren der Männer kein Zusammenhang zwischen Isotopendaten in den einzelnen Molaren und den größten Femurlänge sichtbar. Die Anreicherung des schweren ^{15}N in der Pubertät bei den Männern ist jedoch statistisch nicht signifikant ($p = 0,24$).

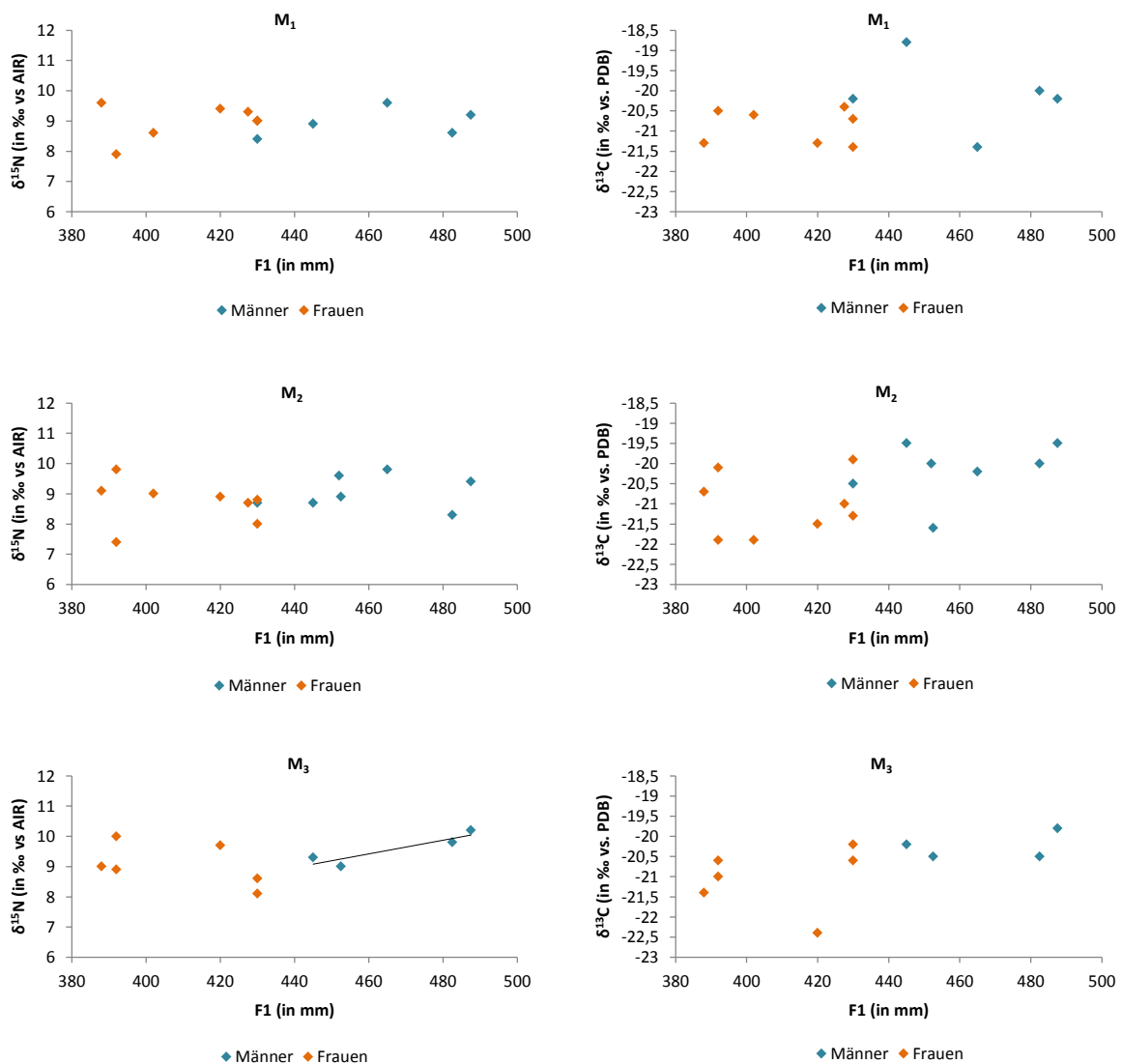


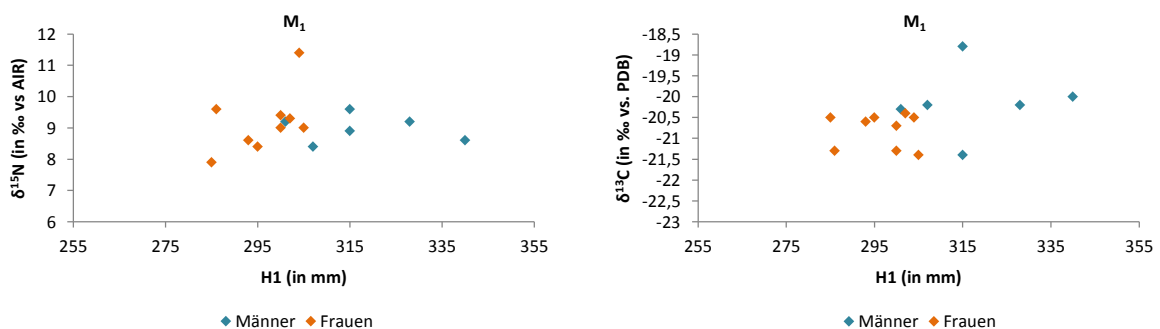
Abb. 89 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen in Korrelation zu F1.

Bezüglich der Tibia konnte, wie oben bereits erwähnt, ein möglicher Zusammenhang zwischen den Isotopendaten in einzelnen Molaren und der Tibialänge aufgrund nur weniger verfügbarer Daten nicht untersucht werden (Tab. 51)¹⁵⁶.

TIBIA					
	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	T1b (in mm)	Grab
Männer	M ₁	9,2	-20,2	378	133
	M ₂	8,9	-21,6	366	26
	M ₂	9,4	-19,5	378	133
	M ₃	9,0	-20,5	366	26
	M ₃	10,2	-19,8	378	133
Frauen	M ₁	7,9	-20,5	318	109
	M ₁	9,3	-20,4	323	122
	M ₂	7,4	-20,1	318	109
	M ₂	8,7	-21,0	323	122
	M ₃	8,9	-21,0	318	109

Tab. 51 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen und Männern, für die T1b erhoben werden konnte. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 46).

Die Prüfung der Beziehung zwischen den Isotopendaten aus den Molaren und der größten Humeruslänge ergab keinen linearen Zusammenhang zwischen einem der drei Molaren und dem H1-Maß (Abb. 90, Tab. 52). Während sich die Knochenlänge während der gesamten Kindheit und Jugend bei beiden Geschlechtern in Abhängigkeit von $\delta^{15}\text{N}$ nicht ändert, scheint sich beim Humerus ein Zusammenhang zwischen positiveren $\delta^{13}\text{C}$ in den Molaren der Männer und ihrer Humeruslänge anzudeuten, auch wenn dieser Zusammenhang nicht linear ist.



¹⁵⁶ Siehe Anhang, Abb. 15.

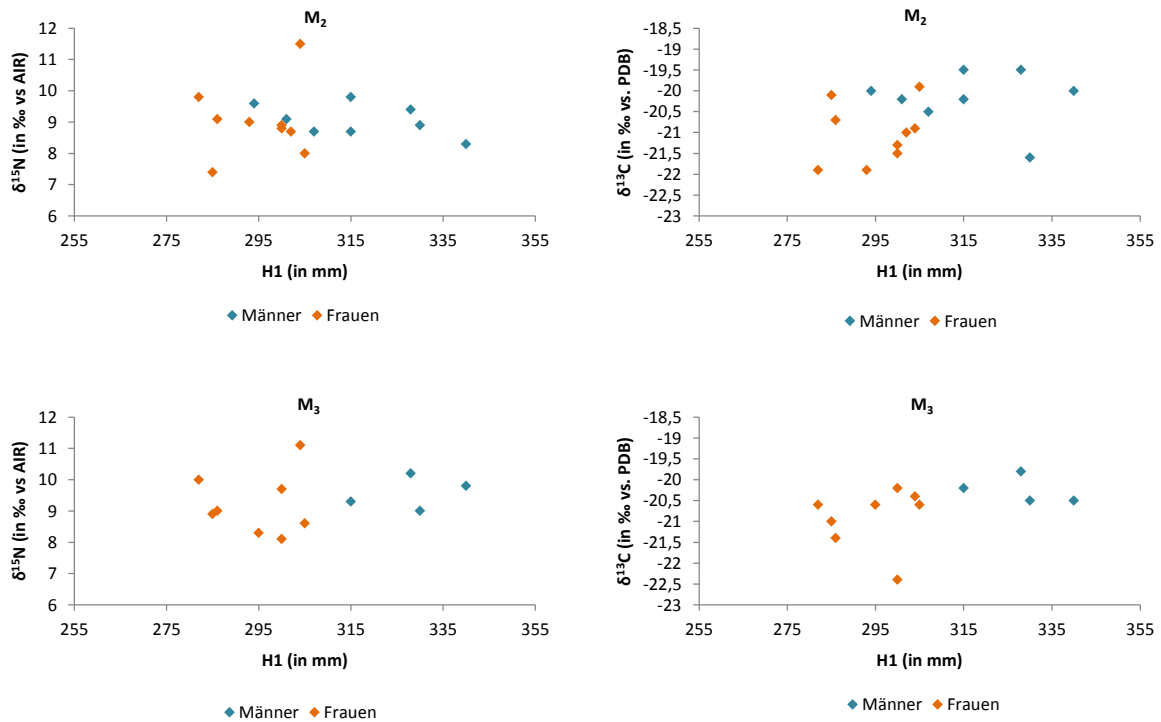


Abb. 90 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen in Korrelation zu H1.

HUMERUS										
Männer					Frauen					
Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	H1 (in mm)	Grab	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	H1 (in mm)	Grab	
M ₁	9,2	-20,3	301	14	M ₁	9,6	-21,3	286	9	
M ₁	8,9	-18,8	315	70	M ₁	9,4	-21,3	300	33	
M ₁	8,4	-20,2	307	107	M ₁	8,6	-20,6	293	39	
M ₁	9,2	-20,2	328	133	M ₁	9,0	-20,7	300	71	
M ₁	8,6	-20,0	340	169	M ₁	11,4	-20,5	304	100	
M ₁	9,6	-21,4	315	220	M ₁	7,9	-20,5	285	109	
M ₂	9,1	-20,2	301	14	M ₁	8,4	-20,5	295	114	
M ₂	8,9	-21,6	330	26	M ₁	9,3	-20,4	302	122	
M ₂	8,7	-19,5	315	70	M ₁	9,0	-21,4	305	131	
M ₂	9,6	-20,0	294	93	M ₂	9,1	-20,7	286	9	
M ₂	8,7	-20,5	307	107	M ₂	8,9	-21,5	300	33	
M ₂	9,4	-19,5	328	133	M ₂	9,0	-21,9	293	39	
M ₂	8,3	-20,0	340	169	M ₂	8,8	-21,3	300	71	
M ₂	9,8	-20,2	315	220	M ₂	9,8	-21,9	282	99	
M ₃	9,0	-20,5	330	26	M ₂	11,5	-20,9	304	100	
M ₃	9,3	-20,2	315	70	M ₂	7,4	-20,1	285	109	
M ₃	10,2	-19,8	328	133	M ₂	8,7	-21,0	302	122	
M ₃	9,8	-20,5	340	169	M ₂	8,0	-19,9	305	131	
					M ₃	9,0	-21,4	286	9	
					M ₃	9,7	-22,4	300	33	
					M ₃	8,1	-20,2	300	71	
					M ₃	10,0	-20,6	282	99	
					M ₃	11,1	-20,4	304	100	
					M ₃	8,9	-21,0	285	109	
					M ₃	8,3	-20,6	295	114	
					M ₃	8,6	-20,6	305	131	

Tab. 52 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen und Männern, für die H1 erhoben werden konnte. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 46).

Abschließend wurden die Isotopendaten in Molaren beider Geschlechter auch mit ihrer größten Radiuslänge in Beziehung gesetzt (Tab. 53). Dabei konnte nach der Signifikanzprüfung mit dem t-Test zwischen $\delta^{15}\text{N}$ in den ersten Molaren der Frauen und R1 eine positive Korrelation und ein hoch signifikanter linearer Zusammenhang ($r = 0,671$, $p = 0,03$), und zwischen $\delta^{13}\text{C}$ in ihren zweiten Molaren und R1 zwar auch eine positive Korrelation und ein linearer, aber klar nicht signifikanter Zusammenhang ($r = 0,471$, $p = 0,13$) festgestellt werden (Abb. 91). Bei den Männern hingegen ist ein mittlerer linearer Zusammenhang und eine negative Korrelation zwischen $\delta^{15}\text{N}$ ihrer zweiten Molaren und R1 ($r = -0,467$, $p = 0,16$), sowie ein starker linearer Zusammenhang und eine positive Korrelation zwischen $\delta^{15}\text{N}$ ihrer dritten Molaren und R1 ($r = 0,797$, $p = 0,14$) erkennbar. Beide Korrelationen sind statistisch knapp nicht signifikant.

RADIUS										
Männer					Frauen					
Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	R1 (in mm)	Grab	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	R1 (in mm)	Grab	
M ₁	9,2	-20,3	226	14	M ₁	9,4	-21,0	215	33	
M ₁	8,9	-19,0	242	70	M ₁	8,6	-21,0	210	39	
M ₁	8,4	-20,0	241	107	M ₁	9,0	-20,7	220	71	
M ₁	9,2	-20,0	257	133	M ₁	11,4	-21,0	228	100	
M ₁	8,6	-20,0	265	169	M ₁	7,9	-21,0	215	109	
M ₂	9,1	-20,2	226	14	M ₁	8,4	-21,0	214	114	
M ₂	8,9	-21,6	242	26	M ₁	9,3	-20,0	230	122	
M ₂	8,7	-19,5	242	70	M ₁	9,0	-21,0	220	131	
M ₂	9,6	-20,0	232	93	M ₂	8,9	-21,5	215	33	
M ₂	8,7	-20,5	241	107	M ₂	9,0	-21,9	210	39	
M ₂	9,4	-19,5	257	133	M ₂	8,8	-21,3	220	71	
M ₂	8,3	-20,0	265	169	M ₂	9,8	-21,9	202	99	
M ₃	9,0	-20,5	242	26	M ₂	11,5	-20,9	228	100	
M ₃	9,3	-20,2	242	70	M ₂	7,4	-20,1	215	109	
M ₃	10,2	-19,8	257	133	M ₂	8,7	-21,0	230	122	
M ₃	9,8	-20,5	265	169	M ₂	8,0	-19,9	220	131	
					M ₃	9,7	-22,4	215	33	
					M ₃	8,1	-20,2	220	71	
					M ₃	10,0	-20,6	202	99	
					M ₃	11,1	-20,4	228	100	
					M ₃	8,9	-21,0	215	109	
					M ₃	8,3	-20,6	214	114	
					M ₃	8,6	-20,6	220	131	

Tab. 53 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen und Männern, für die R1 erhoben werden konnte. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 46).

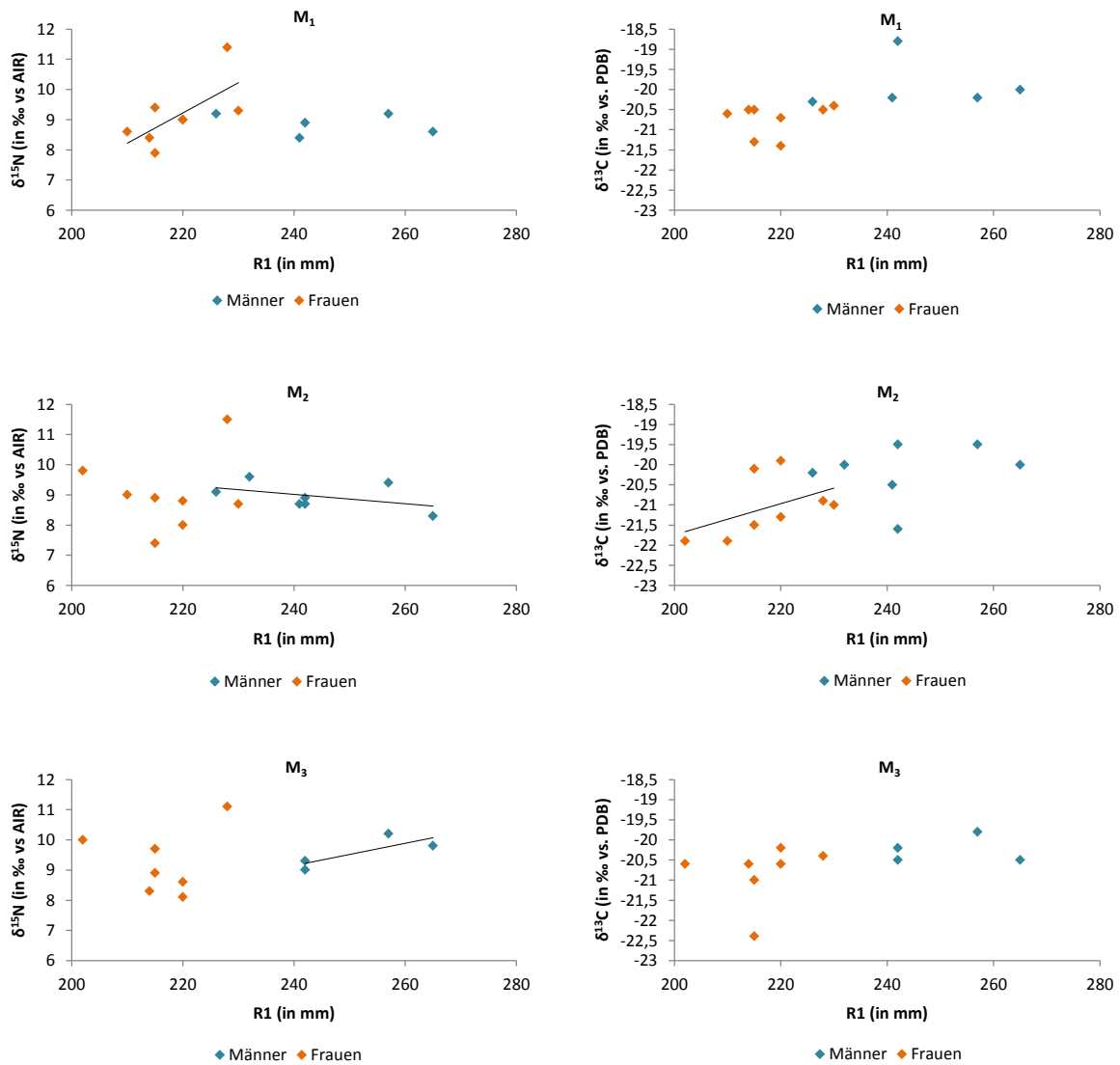


Abb. 91 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen in Korrelation zu R1.

7.2.1.2. Zusammenhang zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Zahndentin und der geschätzten Körperhöhe (nach Pearson 1899)

Die Körperhöhe von Männern und Frauen aus Schwetzingen konnte für alle Individuen anhand der erhaltenen Langknochen bzw. des erhobenen Maßes 1 nach Martin (1928) ermittelt werden. In 15 Fällen erfolgte die Schätzung der Körperhöhe anhand der größten Femurlänge (F1) und in drei Fällen anhand der größten Humeruslänge (H1) (Tab. 46).

Wie im Falle von Stuttgart-Mühlhausen wurden auch für dieses Gräberfeld zunächst die kumulativen Werte der Isotopendaten aus den Molaren mit der Körperhöhe, die ebenfalls

einen kumulativen Charakter hat, in Beziehung gesetzt (Tab. 54), bevor die stabilen Isotopenverhältnisse in einzelnen Molaren dann mit der Körperhöhe korreliert wurden (Tab. 55).

KÖRPERHÖHE							
Männer				Frauen			
Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	KH	Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	KH
14	9,1	-20,2	157,7	9	9,2	-21,1	148,3
26	8,9	-21,0	166,4	33	9,3	-21,7	154,5
70	9,0	-19,5	164,9	39	8,8	-21,2	151,0
93	9,6	-20,0	166,3	71	8,6	-20,7	156,5
107	8,5	-20,3	162,1	99	9,9	-21,2	149,1
133	9,6	-19,8	172,9	100	11,3	-20,6	154,5
169	8,9	-20,2	172,0	109	8,1	-20,6	149,1
220	9,7	-20,8	168,7	114	8,3	-20,5	152,7
				122	9,0	-20,7	156,0
				131	8,5	-20,6	156,5

Tab. 54 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ der Zahnproben von Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. Mw = Mittelwert, KH = Körperhöhe (in cm). Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 46).

Ein linearer Zusammenhang zwischen den stabilen Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenverhältnissen und der Körperhöhe lässt sich, wie bei den meisten Langknochen von Individuen von Schwetzingen, nicht feststellen (Abb. 92). Ein sichtbarer Unterschied in den Körperhöhen innerhalb der beiden Geschlechter scheint unabhängig von $\delta^{15}\text{N}$ zu sein. Dagegen können erneut etwas positivere $\delta^{13}\text{C}$ bei Männern mit größerer Körperstatur vermutet werden, auch wenn keine Aussagen über einen direkten Zusammenhang zwischen $\delta^{13}\text{C}$ und der Körperhöhe getroffen werden können.

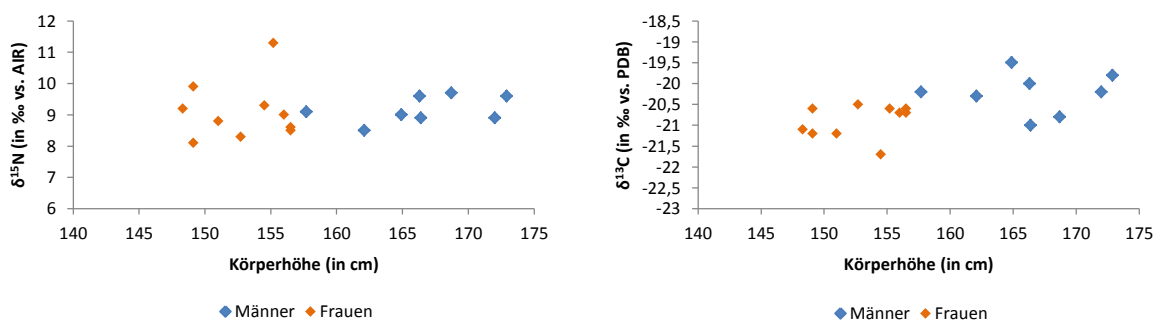


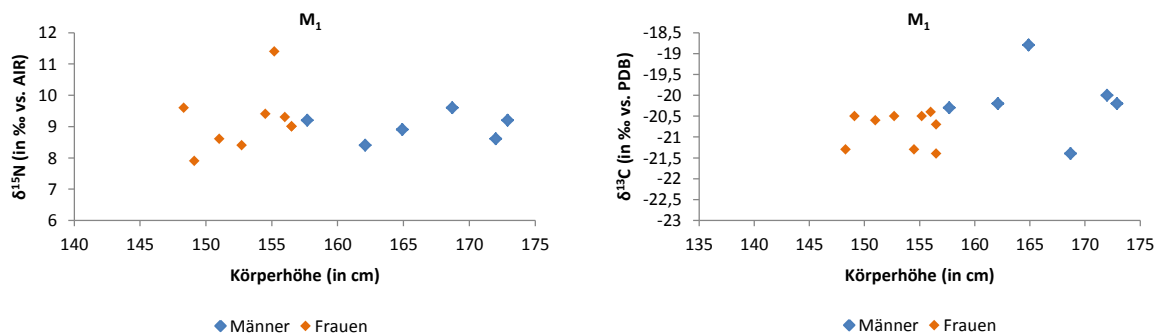
Abb. 92 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen in Korrelation zu ihrer Körperhöhe.

Die Prüfung des Zusammenhangs zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in den einzelnen Molaren und der Körperhöhe zeigte ebenfalls keinen linearen Zusammenhang zwischen diesen beiden Variab-

len (Abb. 93, Tab. 55). Die etwas positiveren $\delta^{13}\text{C}$ bei den Männern, die sich bereits in der frühen Kindheit bemerkbar machen, lassen sich auch hier erkennen.

KÖRPERHÖHE									
Männer					Frauen				
Zahn	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	KH	Grab	Zahn	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	KH	Grab
M ₁	9,2	-20,3	157,7	14	M ₁	9,6	-21,3	148,3	9
M ₁	8,9	-18,8	164,9	70	M ₁	9,4	-21,3	154,5	33
M ₁	8,4	-20,2	162,1	107	M ₁	8,6	-20,6	151,0	39
M ₁	9,2	-20,2	172,9	133	M ₁	9,0	-20,7	156,5	71
M ₁	8,6	-20,0	172,0	169	M ₁	11,4	-20,5	154,5	100
M ₁	9,6	-21,4	168,7	220	M ₁	7,9	-20,5	149,1	109
M ₂	9,1	-20,2	157,7	14	M ₁	8,4	-20,5	152,7	114
M ₂	8,9	-21,6	166,4	26	M ₁	9,3	-20,4	156,0	122
M ₂	8,7	-19,5	164,9	70	M ₁	9,0	-21,4	156,5	131
M ₂	9,6	-20,0	166,3	93	M ₂	9,1	-20,7	148,3	9
M ₂	8,7	-20,5	162,1	107	M ₂	8,9	-21,5	154,5	33
M ₂	9,4	-19,5	172,9	133	M ₂	9,0	-21,9	151,0	39
M ₂	8,3	-20,0	172,0	169	M ₂	8,8	-21,3	156,5	71
M ₂	9,8	-20,2	168,7	220	M ₂	9,8	-21,9	149,1	99
M ₃	9,0	-20,5	166,4	26	M ₂	11,5	-20,9	154,5	100
M ₃	9,3	-20,2	164,9	70	M ₂	7,4	-20,1	149,1	109
M ₃	10,2	-19,8	172,9	133	M ₂	8,7	-21,0	156,0	122
M ₃	9,8	-20,5	172,0	169	M ₂	8,0	-19,9	156,5	131
					M ₃	9,0	-21,4	148,3	9
					M ₃	9,7	-22,4	154,5	33
					M ₃	8,1	-20,2	156,5	71
					M ₃	10,0	-20,6	149,1	99
					M ₃	11,1	-20,4	154,5	100
					M ₃	8,9	-21,0	149,1	109
					M ₃	8,3	-20,6	152,7	114
					M ₃	8,6	-20,6	156,5	131

Tab. 55 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren und die geschätzte Körperhöhe bei Frauen und Männern aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. KH = Körperhöhe in cm. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 46).



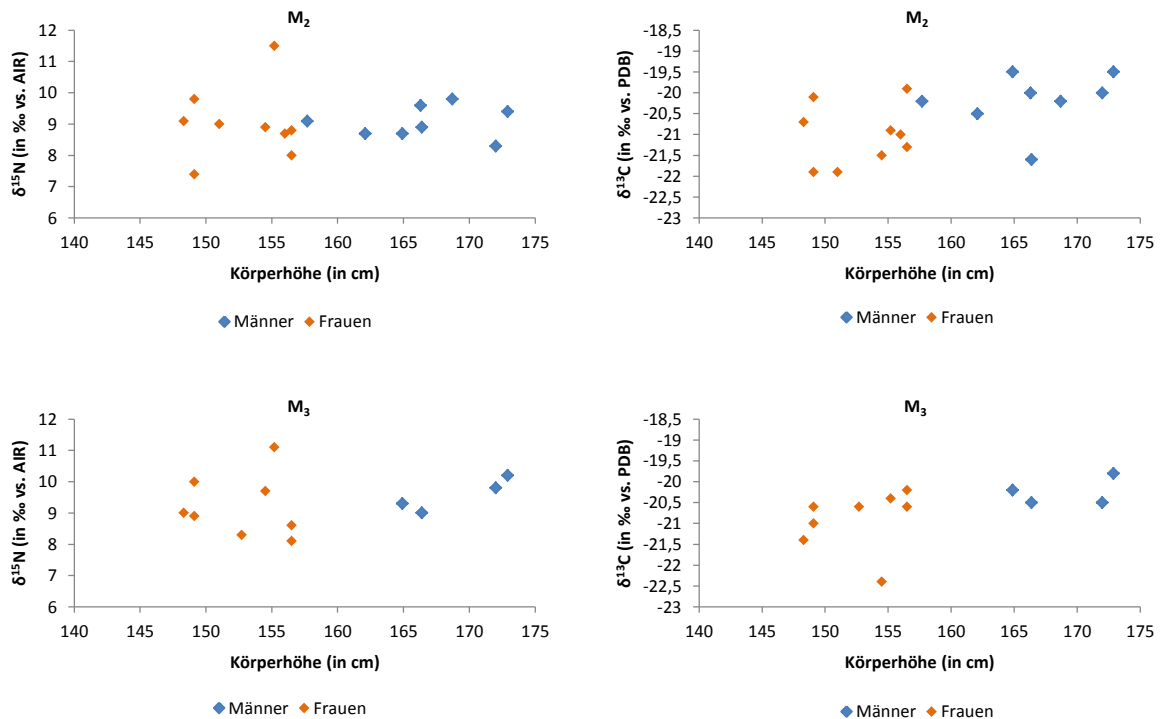


Abb. 93 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ der ersten, zweiten und dritten Molaren von Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen in Korrelation zu ihrer Körperhöhe.

7.2.1.3. Einfluss von unspezifischen Stressindikatoren während der Kindheit auf $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Zahndentin sowie auf die Langknochenlänge und die Körperhöhe

Wie für die Individuen aus dem Gräberfeld von Suttgart-Mühlhausen, wurde auch für die Männer und Frauen von Schwetzingen geprüft, ob die am erhaltenen Skelett beobachteten Krankheiten und Entwicklungsstörungen, die während der Kindheit und Jugend ausgebildet wurden und die sich am Hartgewebe manifestiert bzw. bis ins Erwachsenenalter erhalten haben, negativen Einfluss auf das Längenwachstums und die Endkörperhöhe hatten. Für diesen Zweck wurden auch für dieses Skelettmaterial die Cribra orbitalia, die Zahnschmelzhypoplasien und die Zahnfehlstellungen herangezogen (Tab. 56). Dabei wurden jeweils die gewonnenen N- und C-Isotopenverhältnisse aus den Molaren mit in dieser Studie berücksichtigten Langknochenmaßen sowie mit der Körperhöhe in Beziehung gesetzt.

Grab	Alter	Geschlecht	Cribra orbitalia	Zahnschmelzhypoplasien	Zahnfehlstellung
14	25-30	m			
26	~ 30	m	x	x	x
70	30-40	m			x
93	30-40	m	x	x	x
107	30-40	m	x	x	x
133	adult	m	x	x	x
169	20-30	m	x	x	x
220	20-30	m	x	x	x
9	(20)-30	w			x
33	~ 25-30	w		x	
39	25-30	w	x	x	x
71	25-35	w	x		
99	30-40	w		x	x
100	~ 30	w			x
109	20-30	w	x	x	x
114	adult	w		x	x
122	adult	w		x	x
131	adult	w	x		x

Tab. 56 Unspezifische Stressfaktoren (nach Wahl, unveröff. Gräberfeldkatalog) bei den in dieser Pilotstudie untersuchten Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. m = männlich, w = weiblich.

7.2.1.3.1. Cribra orbitalia

Bei den hier untersuchten Individuen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen konnte bei 6 von 8 Männern und bei 4 von 10 Frauen Cribra orbitalia beobachtet werden. Während bei Männern ein Zusammenhang zwischen Cribra orbitalia und den N- oder C-Isotopenverhältnissen in den Molaren schwer zu belegen ist, scheint die Cribra orbitalia bei Frauen mit niedrigeren $\delta^{15}\text{N}$ assoziiert werden zu können. Die Molaren der beiden Männer aus Grab 26 und Grab 220, die die stärkste Ausprägung dieser Krankheit erkennen lassen, weisen die negativsten $\delta^{13}\text{C}$ -Werte auf. Bei Frauen ist das nicht eindeutig feststellbar, zumal die Molaren der Frau aus Grab 39 mit einem mittlerem Ausprägungsstadium der Cribra orbitalia zwar ebenfalls die negativsten $\delta^{13}\text{C}$ aufweisen, die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Molaren der Frau aus Grab 71 mit mittlerem bis schwerem Ausprägungsgrad jedoch im Spannbereich von Frauen mit beginnender Cribra orbitalia liegen (Tab. 57, Abb. 94).

CRIBRA ORBITALIA									
	Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	F1	T1b	H1	R1	KH	CO
Männer	26	8,9	-21,0	452,5	366	330	242	166,4	x
	133	9,6	-19,8	487,5	378	328	257	172,9	x
	93	9,6	-20,0	452	0	294	232	166,3	x
	107	8,5	-20,3	430	0	307	241	162,1	x
	169	8,9	-20,2	482,5	0	340	265	172,0	x
	220	9,7	-20,8	465	0	315	0	168,7	x
	14	9,1	-20,2	0	0	301	226	157,7	
	70	9,0	-19,5	445	0	315	242	164,9	
Frauen	39	8,8	-21,2	402	0	293	210	151,0	x
	71	8,6	-20,7	430	0	300	220	156,5	x
	109	8,1	-20,6	392	318	285	215	149,1	x
	131	8,5	-20,6	430	0	305	220	156,5	x
	9	9,2	-21,1	388	0	286	0	148,3	
	33	9,3	-21,7	420	0	300	215	154,5	
	99	9,9	-21,2	392	0	282	202	149,1	
	100	11,3	-20,6	420	0	304	228	154,3	
	114	8,3	-20,5	0	0	295	214	152,7	
	122	9,0	-20,7	427,5	323	302	230	156,0	

Tab. 57 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben sowie Langknochenmaße (in mm) und Körperhöhen (in cm) bei Individuen mit und ohne Cribra orbitalia (CO). Mw = Mittelwert, KH = Körperhöhe. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42, Tab. 46 und Tab. 56).

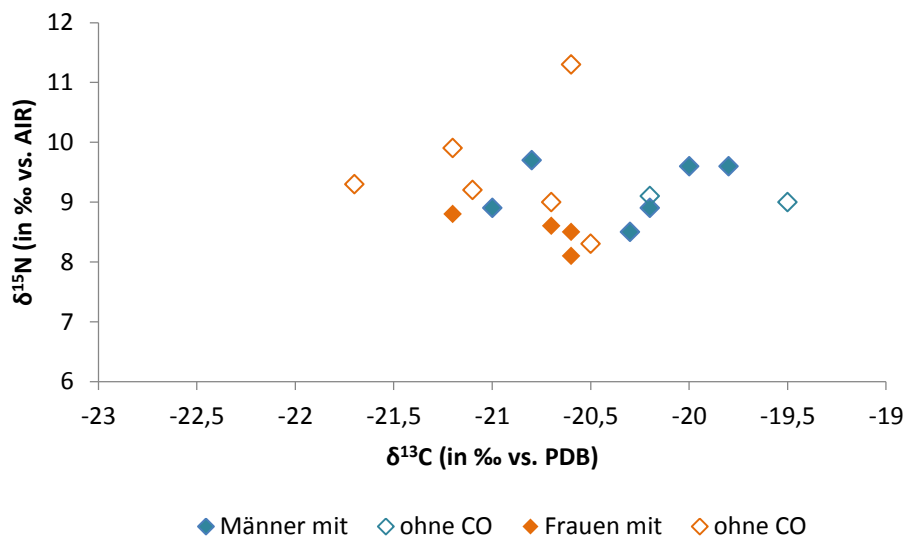


Abb. 94 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern und Frauen mit und ohne Cribra orbitalia (CO).

Bei Betrachtung der Messergebnisse der stabilen Isotopenanalyse für die einzelnen Molaren (Tab. 58) von Männern mit Cribra orbitalia zeigt sich ein knapp nicht signifikanter, linearer Zusammenhang und eine negative Korrelation zwischen den N- und C-Isotopenverhältnissen in ihren ersten Molaren ($r = -0,803$, $p = 0,13$), sowie ein aufgrund der geringen Fallzahl ($n =$

3) nicht signifikanter linearer Zusammenhang und eine positive Korrelation zwischen den N- und C-Isotopenverhältnissen in ihren dritten Molaren ($r = 0,756$, $p = 0,5$) (Abb. 95, oben).

CRIBRA ORBITALIA				
	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Grab
Männer	M ₁	8,4	-20,2	107
	M ₁	9,2	-20,2	133
	M ₁	8,6	-20,0	169
	M ₁	9,6	-21,4	220
	M ₂	8,9	-21,6	26
	M ₂	9,6	-20,0	93
	M ₂	8,7	-20,5	107
	M ₂	9,4	-19,5	133
	M ₂	8,3	-20,0	169
	M ₂	9,8	-20,2	220
	M ₃	9,0	-20,5	26
	M ₃	10,2	-19,8	133
	M ₃	9,8	-20,5	169
Frauen	M ₁	8,6	-20,6	39
	M ₁	9,0	-20,7	71
	M ₁	7,9	-20,5	109
	M ₁	9,0	-21,4	131
	M ₂	9,0	-21,9	39
	M ₂	8,8	-21,3	71
	M ₂	7,4	-20,1	109
	M ₂	8,0	-19,9	131
	M ₃	8,1	-20,2	71
	M ₃	8,9	-21,0	109
	M ₃	8,6	-20,6	131

Tab. 58 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen, bei denen Cribra orbitalia diagnostiziert wurde. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 46 und Tab. 56).

Denkbar ist, dass die Männer in der frühen Kindheit unter Mangelernährung litten, was möglicherweise mit Abstillstress in Verbindung gebracht werden könnte. Die Mangelernährung könnte die Cribra orbitalia in diesem frühen Alter ausgelöst haben, was sich mit der negativen Korrelation zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ erklären ließe. In der Pubertät könnten dann eher Infektionskrankheiten oder andere Stressfaktoren, die nicht mit der Ernährung zusammenhängen, die Cribra orbitalia entweder ausgelöst oder verstärkt haben, zumal ihre verfügbaren Isotopenergebnisse keine Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Nahrungsstress und Cribra orbitalia in diesem Alter liefern. Im Gegensatz zu den Männern konnte bei Frauen mit Cribra orbitalia ein linearer Zusammenhang zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ aller drei Molaren festgestellt werden (Abb. 95, unten). Sowohl im Hinblick auf die ersten ($r = -0,645$, $p = 0,22$), als auch auf die zweiten ($r = -0,902$, $p = 0,07$) und die dritten ($r = -0,989$, $p = 0,5$) Molaren liegt eine negative Korrelation zwischen diesen stabilen Isotopen vor. Nur

beim zweiten Molar lässt sich ein aussagefähiger Trend erkennen, was bereits bei Individuen von Stuttgart-Mühlhausen konstatiert wurde. Die anderen beiden Korrelationen sind nach der Signifikanzprüfung mit dem t-Test klar nicht signifikant. Das Auftreten der Cribra orbitalia während der gesamten Kindheit und Jugend könnte bei Frauen in erster Linie mit einer Mangelernährung einhergegangen sein.

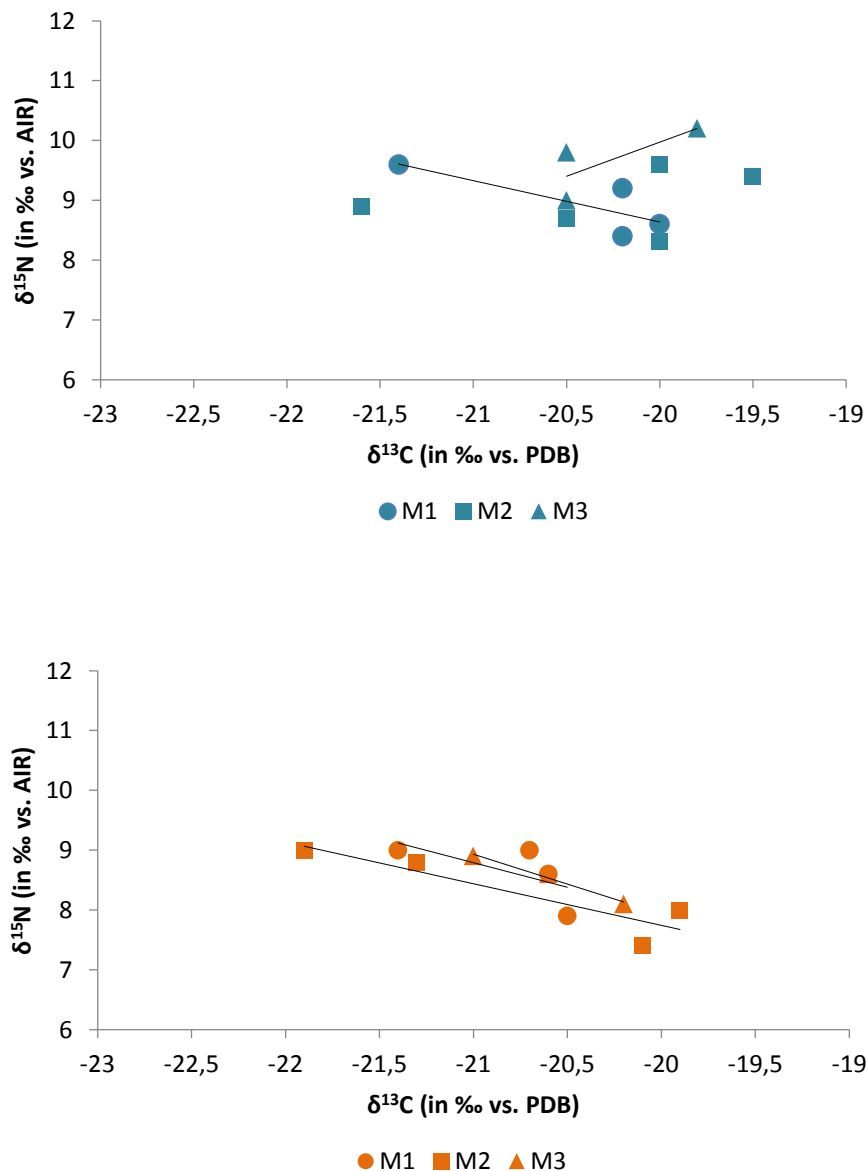


Abb. 95 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ersten, zweiten und dritten Molaren von Männern (oben) und Frauen (unten) mit Cribra orbitalia.

Aufgrund der niedrigeren $\delta^{15}\text{N}$ -Werte bei Frauen mit Cribra orbitalia und den bei ihnen beobachteten negativen Korrelation zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ während der gesamten Wachstumsphase war zu erwarten, dass bei ihnen ein negativer Zusammenhang zwischen den Isotopendaten und den Langknochenmaßen sowie der Körperhöhe festzustellen sein wird.

Weder bei Männern (Abb. 96) noch bei Frauen (Abb. 97) mit Cribra orbitalia war ein deutlicher Unterschied bezüglich ihrer Langknochenlänge und ihrer Körperhöhe im Vergleich zu Männern und Frauen ohne diese Pathologie erkennbar.¹⁵⁷ Hier wird noch einmal deutlich, dass bei Männern kein Unterschied in $\delta^{15}\text{N}$ und kaum ein Unterschied in $\delta^{13}\text{C}$ zwischen den Individuen mit und solchen ohne die Cribra orbitalia besteht, während die Frauen, die Cribra orbitalia aufweisen, niedrigere $\delta^{15}\text{N}$ in ihrem Molaren aufweisen. Bei den Männern drängt sich der Eindruck auf, dass Männer mit Cribra orbitalia größer seien und längere Langknochen hätten als solche, die an dieser Krankheit nicht litten. Solche Aussagen sind aufgrund der niedrigen Individuenzahl ohne Cribra orbitalia jedoch nicht stichhaltig. Zumindest scheint die Cribra orbitalia das Wachstum dieser Individuen nicht negativ beeinflusst zu haben. Der Zusammenhang zwischen der Tibiallänge und Cribra orbitalia konnte weder bei Frauen noch bei Männern geprüft werden, da bei keinem Mann ohne diese Pathologie das T1b-Maß erhoben werden konnte und bei Frauen jeweils nur ein Individuum zum Vergleich zur Verfügung stand, weshalb auf die graphische Darstellung desselben verzichtet wurde (siehe Tab. 57).

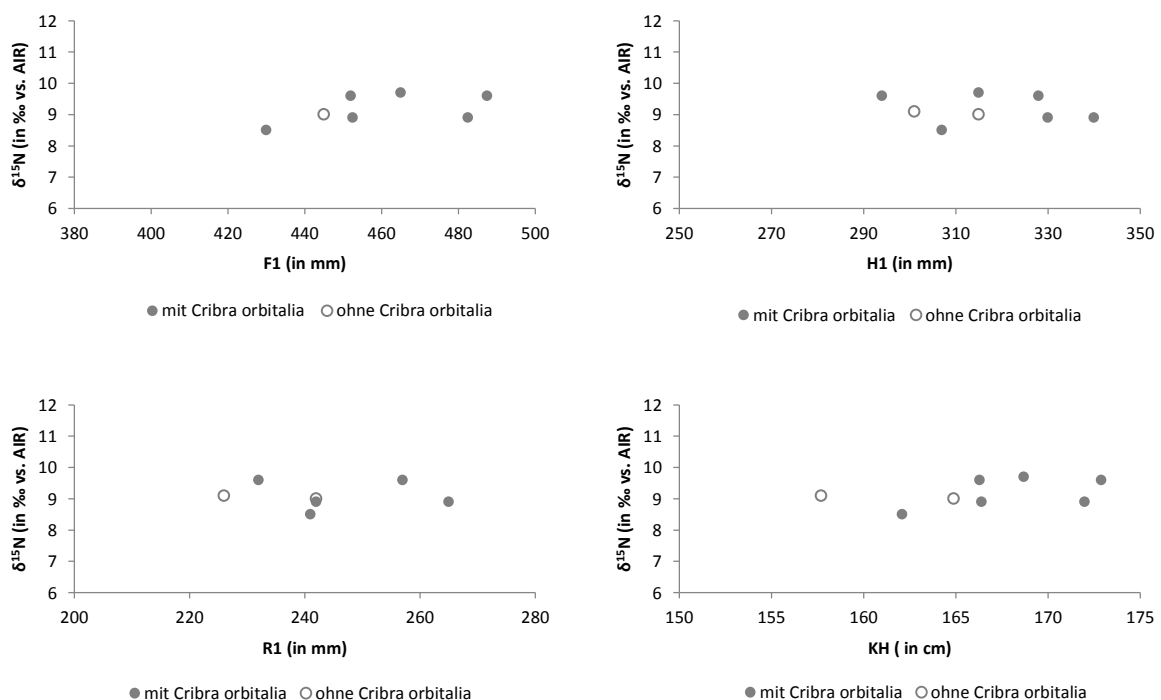


Abb. 96 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern mit und ohne Cribra orbitalia in Korrelation zu ihren verfügbaren Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.

¹⁵⁷ Siehe Anhang, Abb. 16 und Abb. 17 für die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte.

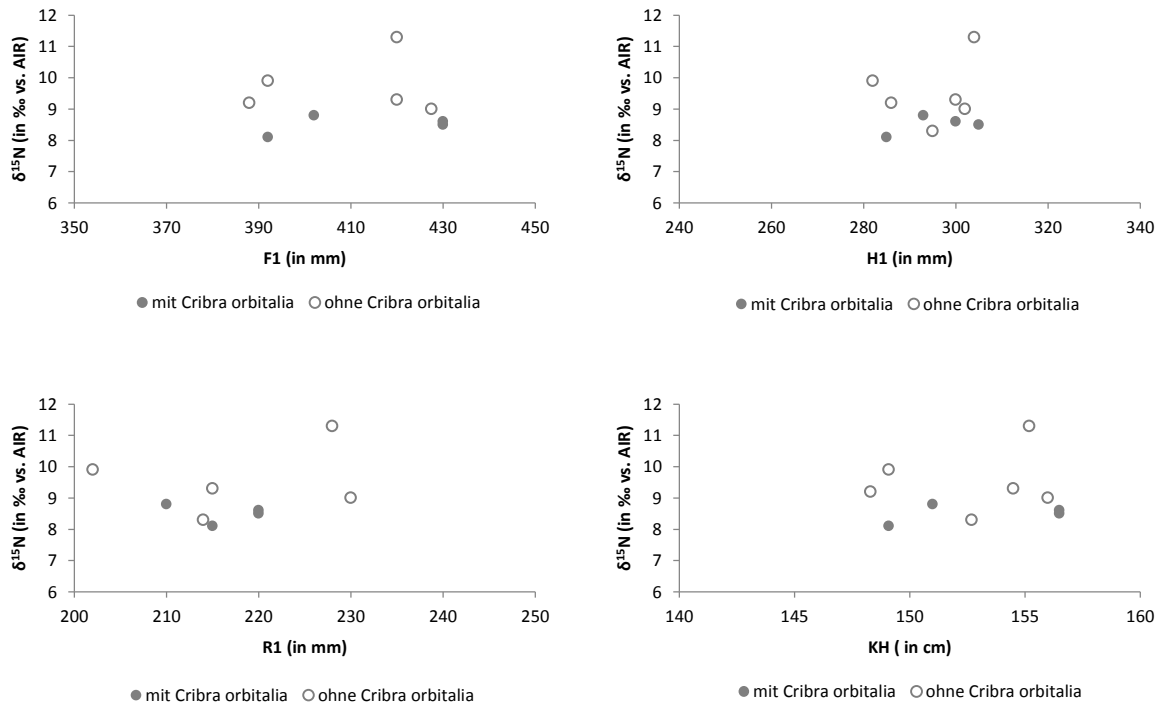


Abb. 97 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen mit und ohne Cribria orbitalia in Korrelation zu ihren verfügbaren Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.

7.2.1.3.2. Zahnschmelzhypoplasien

Die Zahnschmelzhypoplasien wurden bei 6 von 8 Männern und bei 6 von 10 Frauen beobachtet (Tab. 59), wobei, wie bereits erwähnt, zwischen den einzelnen Ausprägungsgraden nicht unterschieden wurde, und mindestens zwei Zähne im Kiefer Zahnschmelzhypoplasien aufweisen mussten, um in die Auswertung einzugehen.

Die Mittelwerte der aus den Zahnproben gewonnenen $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zeigen weder bei Männern noch bei Frauen Unterschiede zwischen Individuen mit und solchen ohne Zahnschmelzhypoplasien (Abb. 98).

ZAHNSCHMELZHYPOPLASIIEN									
	Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	F1	T1b	H1	R1	KH	ZSH
Männer	26	8,9	-21,0	452,5	366	330	242	166,4	x
	93	9,6	-20,0	452	0	294	232	166,3	x
	107	8,5	-20,3	430	0	307	241	162,1	x
	133	9,6	-19,8	487,5	378	328	257	172,9	x
	169	8,9	-20,2	482,5	0	340	265	172,0	x
	220	9,7	-20,8	465	0	315	0	168,7	x
	14	9,1	-20,2	0	0	301	226	157,7	
	70	9,0	-19,5	445	0	315	242	164,9	
Frauen	33	9,3	-21,7	420	0	300	215	154,5	x
	39	8,8	-21,2	402	0	293	210	151,0	x
	99	9,9	-21,2	392	0	282	202	149,1	x
	109	8,1	-20,6	392	318	285	215	149,1	x
	114	8,3	-20,5	0	0	295	214	152,7	x
	122	9,0	-20,7	427,5	323	302	230	156,0	x
	9	9,2	-21,1	388	0	286	0	148,3	
	71	8,6	-20,7	430	0	300	220	156,5	
	100	11,3	-20,6	420	0	304	228	154,3	
	131	8,5	-20,6	430	0	305	220	156,5	

Tab. 59 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben sowie die verfügbaren Langknochenmaße (in mm) und die Körperhöhen (in cm) für Männer und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen mit und ohne Zahnschmelzhypoplasien (ZSH). Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42, Tab. 46 und Tab. 56).

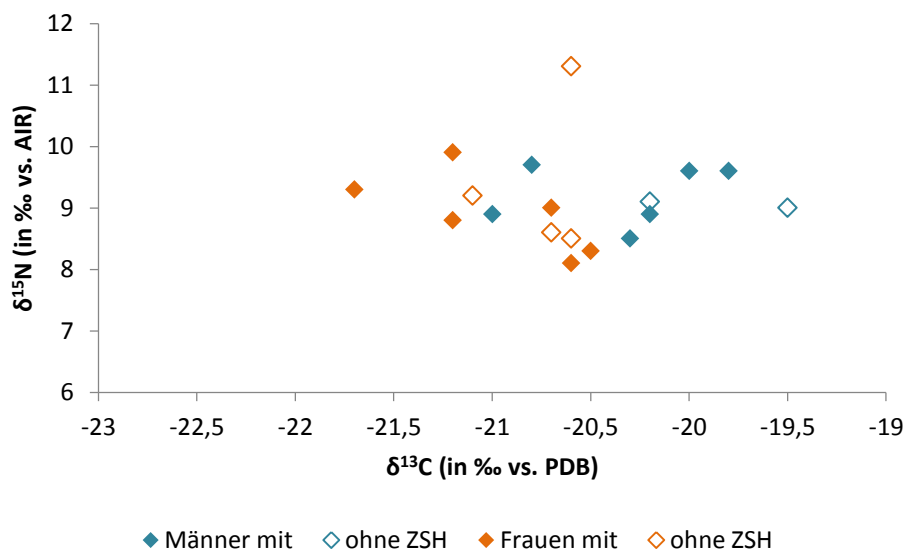


Abb. 98 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen mit und ohne Zahnschmelzhypoplasien (ZSH).

Die Auswertung der Daten der einzelnen Molaren (Tab. 60) ermöglicht eine bessere Einschätzung der Ergebnisse. Da bei denselben männlichen Individuen mit Cribra orbitalia auch die Zahnschmelzhypoplasien diagnostiziert wurden, wird auf die ermittelten Korrelationen (Abb. 99, oben), die bereits im vorherigen Kapitel detailliert beschrieben wurden, an dieser Stelle nicht weiter eingegangen. Eine genauere Untersuchung der Zahn-

schmelzhypoplasien mit der Altersschätzung, in dem es zu dieser Unterentwicklung des Zahnschmelzes gekommen ist, wäre hilfreich, um die hier vorgestellten Isotopendaten von denen für *Cribr orbitalia* etwas abgrenzen zu können.

ZAHNSCHMELZHYPOPLASIEN				
	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Grab
Männer	M ₁	8,4	-20,2	107
	M ₁	9,2	-20,2	133
	M ₁	8,6	-20,0	169
	M ₁	9,6	-21,4	220
	M ₂	8,9	-21,6	26
	M ₂	9,6	-20,0	93
	M ₂	8,7	-20,5	107
	M ₂	9,4	-19,5	133
	M ₂	8,3	-20,0	169
	M ₂	9,8	-20,2	220
	M ₃	9,0	-20,5	26
	M ₃	10,2	-19,8	133
	M ₃	9,8	-20,5	169
	Frauen	M ₁	9,4	-21,3
M ₁		8,6	-20,6	39
M ₁		7,9	-20,5	109
M ₁		8,4	-20,5	114
M ₁		9,3	-20,4	122
M ₂		8,9	-21,5	33
M ₂		9,0	-21,9	39
M ₂		9,8	-21,9	99
M ₂		7,4	-20,1	109
M ₂		8,7	-21,0	122
M ₃		9,7	-22,4	33
M ₃		10,0	-20,6	99
M ₃		8,9	-21,0	109
M ₃		8,3	-20,6	114

Tab. 60 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen, bei denen Zahnschmelzhypoplasien diagnostiziert wurden. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 56).

Bei den Frauen lässt sich, anders als bei der *Cribr orbitalia*, nur ein linearer Zusammenhang und eine negative Korrelation zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ihren zweiten Molaren erkennen ($r = -0,932$), die allerdings statistisch signifikant ist ($p = 0,01$) (Abb. 99, unten). Die Frauen scheinen vor allem in der Altersstufe *infans II*, in der sich der beprobte Zahnabschnitt gebildet hat, besonders anfällig für Umwelteinflüsse gewesen zu sein.

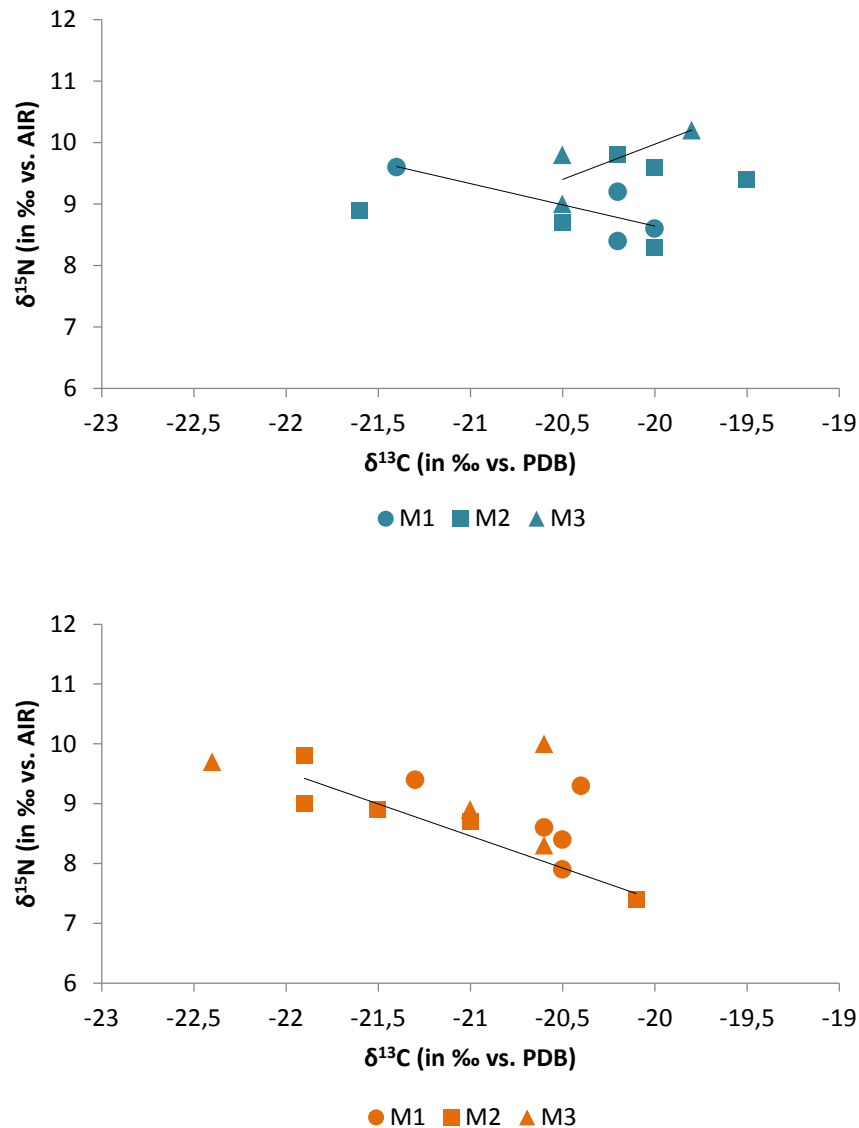


Abb. 99 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ersten, zweiten und dritten Molaren von Männern (oben) und Frauen (unten) mit Zahnschmelzhypoplasien.

Wie oben erwähnt, wurden die Zahnschmelzhypoplasien bei denselben Männern diagnostiziert wie die Cribra orbitalia, weshalb auf die graphische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Zahnschmelzhypoplasien und den Langknochenmaßen sowie der Körperhöhe bei Männern hier verzichtet wird.¹⁵⁸ Dieser Zusammenhang war auch bei den Frauen nicht erkennbar, auch wenn eine geringere Radiuslänge bei Frauen mit Zahnschmelzhypoplasien vermutet werden könnte (Abb. 100).¹⁵⁹

¹⁵⁸ Siehe dafür Anhang, Abb. 18 und Abb. 19.

¹⁵⁹ Siehe Anhang, Abb. 20 für $\delta^{13}\text{C}$ -Werte.

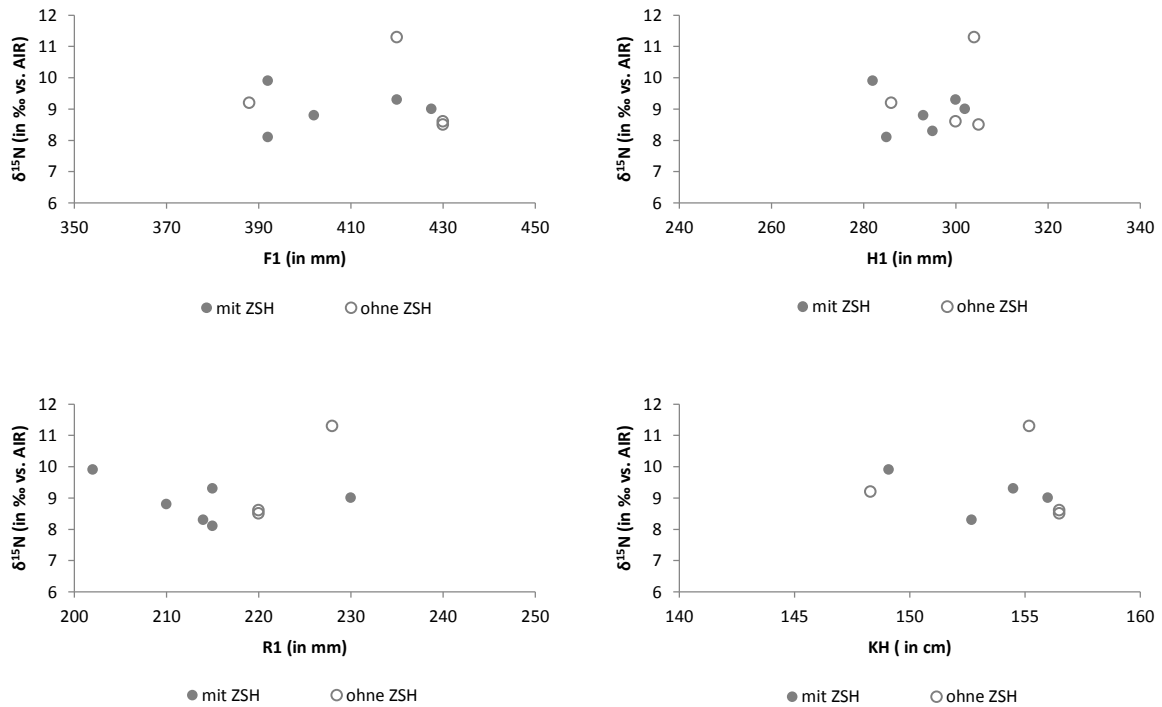


Abb. 100 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen mit und ohne Zahnschmelzhypoplasien (ZSH) in Korrelation zu ihren Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.

7.2.1.3.3. Zahnfehlstellungen

Fast alle hier untersuchten Individuen, 7 von 8 Männern und 8 von 10 Frauen, wiesen Zahnfehlstellungen auf (Tab. 61). Wie bei Individuen aus dem Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen wurden auch bei Männern und Frauen von Schwetzingen die Zahnlücken nicht zu den Zahnfehlstellungen gezählt, weil die meisten von ihnen angeboren und für die hier interessierende Fragestellung unbedeutend sind.

ZAHNFEHLSTELLUNGEN									
	Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	F1	T1b	H1	R1	KH	ZFS
Männer	26	8,9	-21,0	452,5	366	330	242	166,4	x
	70	9,0	-19,5	445	0	315	242	164,9	x
	93	9,6	-20,0	452	0	294	232	166,3	x
	107	8,5	-20,3	430	0	307	241	162,1	x
	133	9,6	-19,8	487,5	378	328	257	172,9	x
	169	8,9	-20,2	482,5	0	340	265	172,0	x
	220	9,7	-20,8	465	0	315	0	168,7	x
	14	9,1	-20,2	0	0	301	226	157,7	
Frauen	9	9,2	-21,1	388	0	286	0	148,3	x
	39	8,8	-21,2	402	0	293	210	151,0	x
	99	9,9	-21,2	392	0	282	202	149,1	x
	100	11,3	-20,6	420	0	304	228	154,3	x
	109	8,1	-20,6	392	318	285	215	149,1	x
	114	8,3	-20,5	0	0	295	214	152,7	x
	122	9,0	-20,7	427,5	323	302	230	156,0	x
	131	8,5	-20,6	430	0	305	220	156,5	x
	33	9,3	-21,7	420	0	300	215	154,5	
	71	8,6	-20,7	430	0	300	220	156,5	

Tab. 61 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben sowie die verfügbaren Langknochenmaße (in mm) und die Körperhöhen (in cm) für Männer und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen mit und ohne Zahnfehlstellungen (ZFS). Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42, Tab. 46 und Tab. 56).

An den Mittelwerten der aus den Molaren gewonnenen $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Werte, bei denen sich um eine kumulative Größe handelt, können keine Unterschiede zwischen Individuen mit und solchen ohne Zahnfehlstellungen festgestellt werden (Abb. 101).

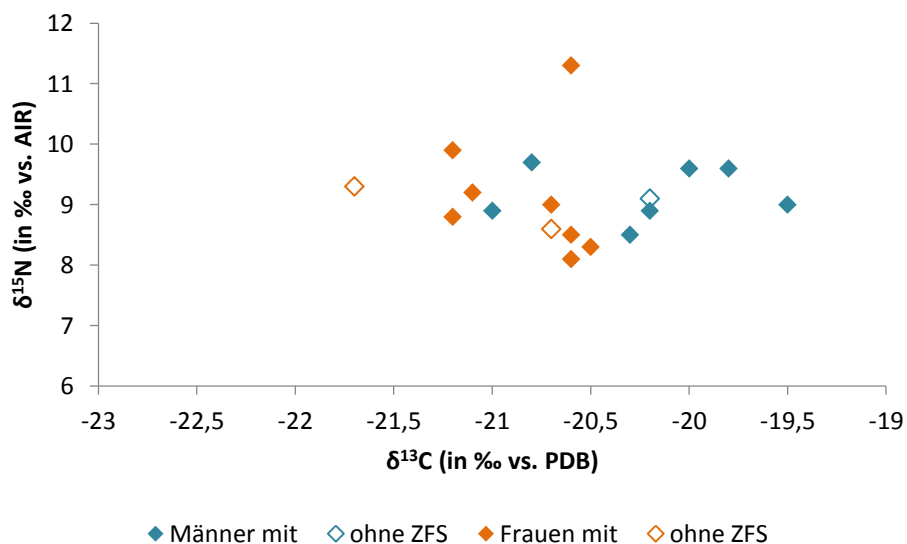


Abb. 101 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern und Frauen mit und ohne Zahnfehlstellungen (ZFS).

Die getrennte Betrachtung der Messergebnisse einzelner Molaren (Tab. 62) zeigte dagegen für die Männer, wie bei den beiden anderen Pathologien, einen linearen Zusammenhang und eine positive, jedoch statistisch nicht signifikante Korrelation zwischen den N- und C-Isotopenverhältnissen in ihren dritten Molaren ($r = 0,671$) ($p = 0,21$) (Abb. 102, oben). Bei Frauen konnte erneut eine negative Korrelation zwischen den N- und C-Isotopenverhältnissen in ihren zweiten Molaren festgestellt werden ($r = 0,485$, $p = 0,14$) (Abb. 102, unten). Dieser Zusammenhang ist nach der Signifikanzprüfung mit dem t-Test statistisch nur knapp nicht signifikant.

ZAHNFEHLSTELLUNGEN					
	Zahn	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Grab	
Männer	M ₁	8,9	-18,8	70	
	M ₁	8,4	-20,2	107	
	M ₁	9,2	-20,2	133	
	M ₁	8,6	-20,0	169	
	M ₁	9,6	-21,4	220	
	M ₂	8,9	-21,6	26	
	M ₂	8,7	-19,5	70	
	M ₂	9,6	-20,0	93	
	M ₂	8,7	-20,5	107	
	M ₂	9,4	-19,5	133	
	M ₂	8,3	-20,0	169	
	M ₂	9,8	-20,2	220	
	M ₃	9,0	-20,5	26	
	M ₃	9,3	-20,2	70	
	M ₃	10,2	-19,8	133	
	M ₃	9,8	-20,5	169	
	Frauen	M ₁	9,6	-21,3	9
		M ₁	8,6	-20,6	39
		M ₁	11,4	-20,5	100
M ₁		7,9	-20,5	109	
M ₁		8,4	-20,5	114	
M ₁		9,3	-20,4	122	
M ₁		9,0	-21,4	131	
M ₂		9,1	-20,7	9	
M ₂		9,0	-21,9	39	
M ₂		9,8	-21,9	99	
M ₂		11,5	-20,9	100	
M ₂		7,4	-20,1	109	
M ₂		8,7	-21,0	122	
M ₂		8,0	-19,9	131	
M ₃		9,0	-21,4	9	
M ₃		10,0	-20,6	99	
M ₃		11,1	-20,4	100	
M ₃		8,9	-21,0	109	
M ₃		8,3	-20,6	114	
M ₃	8,6	-20,6	131		

Tab. 62 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen, bei denen Zahnfehlstellungen diagnostiziert wurden. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 56).

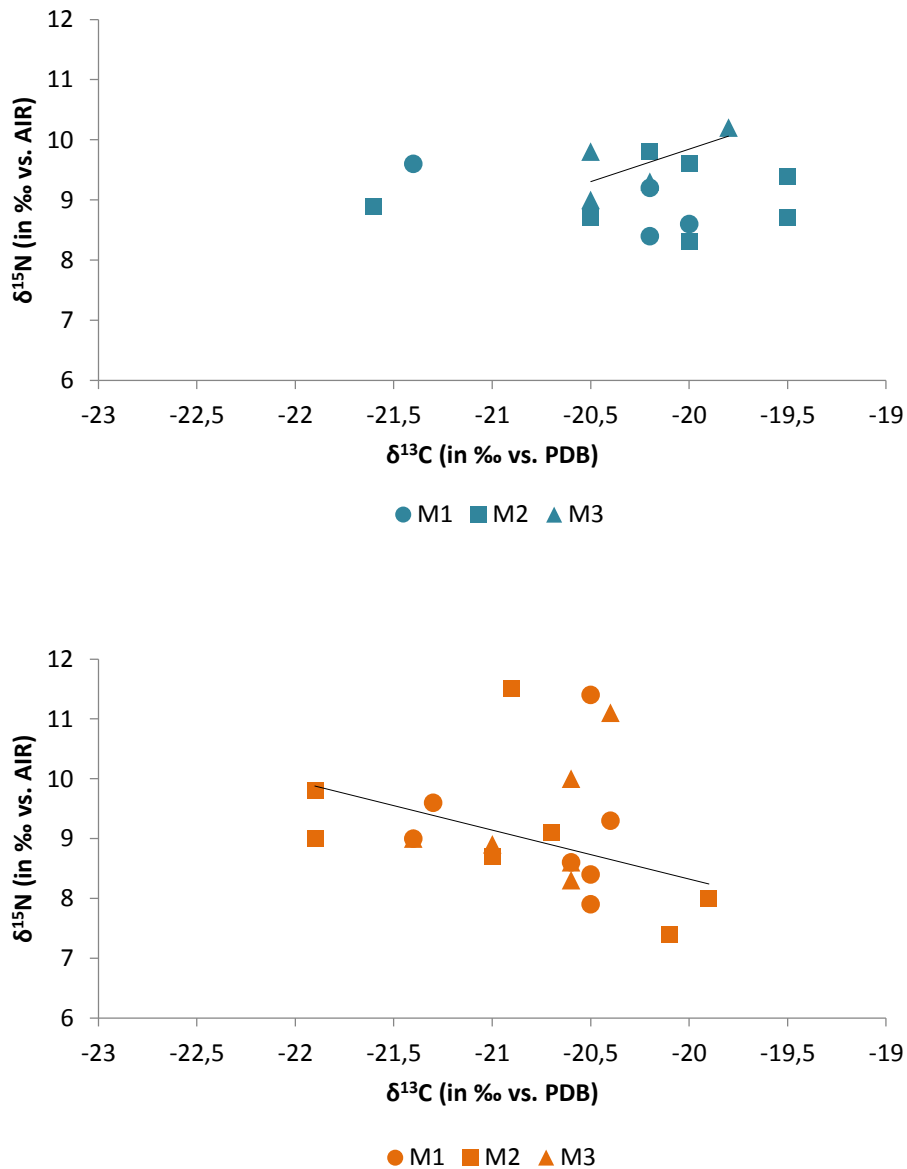


Abb. 102 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ersten, zweiten und dritten Molaren von Männern (oben) und Frauen (unten) mit Zahnfehlstellungen.

Der Zusammenhang zwischen dem Auftreten von fehlgestellten Zähnen und dem Langknochenwachstum sowie der erreichten Endkörperhöhe lässt sich bei den Männern nicht beurteilen, da nur ein Individuen ohne diese Pathologie für den Vergleich zur Verfügung stand (Abb. 103).¹⁶⁰ Dennoch scheinen sich die Männer mit Zahnfehlstellungen bezüglich der Isotopendaten nicht von solchen zu unterscheiden, die diese Krankheit nicht aufweisen. Aufgrund der geringen Anzahl an Individuen ohne Zahnfehlstellungen ($n = 2$) können auch die Frauen hinsichtlich dieses Zusammenhangs nicht verlässlich beurteilt werden (Abb. 104). Zumindest tendenziell scheinen die meisten Frauen mit Zahnfehlstellungen kleinere Femora

¹⁶⁰ Siehe Anhang, Abb. 21 für $\delta^{13}\text{C}$ -Werte.

und Humeri zu haben, was sich jedoch beim Radius und der Körperhöhe nicht feststellen lässt.¹⁶¹

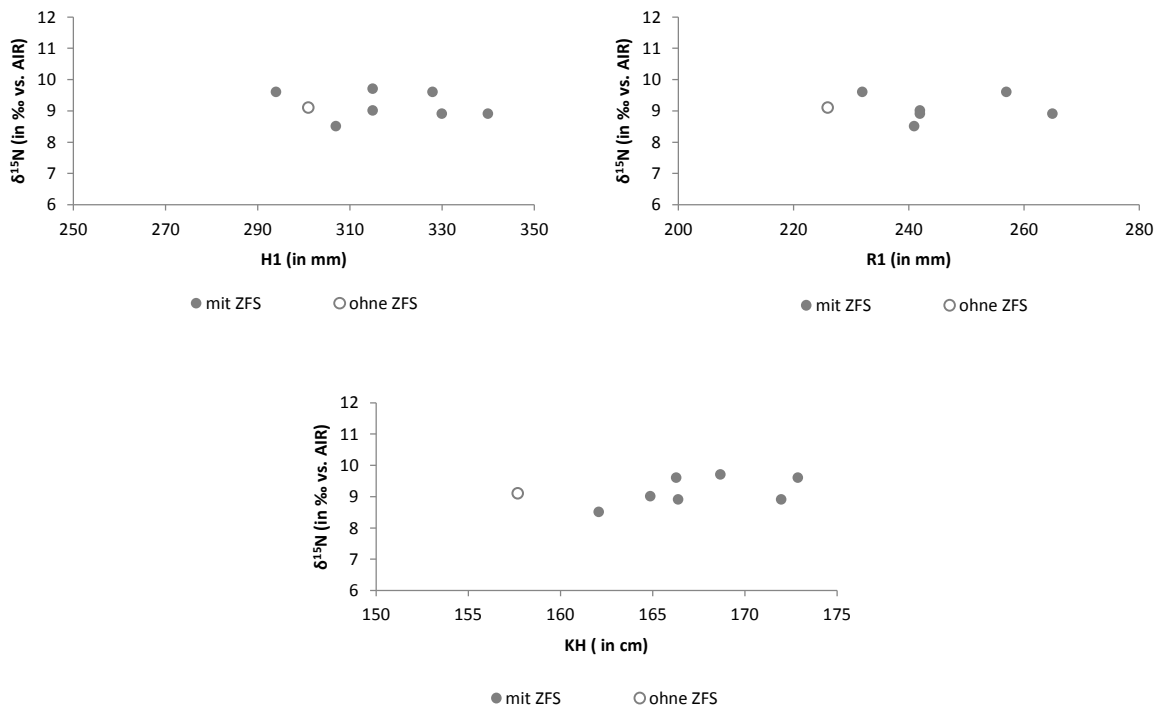
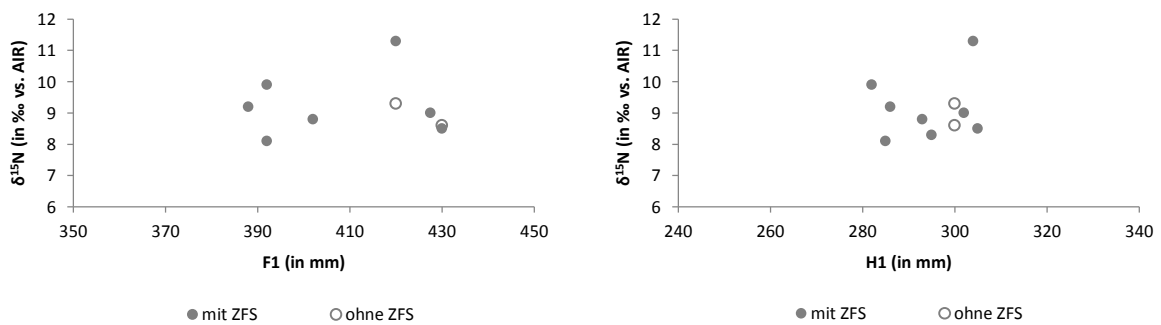


Abb. 103 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern mit und ohne Zahnfehlstellungen (ZFS) in Korrelation zu ihren Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.



¹⁶¹ Siehe Anhang, Abb. 22 für $\delta^{13}\text{C}$ -Werte.

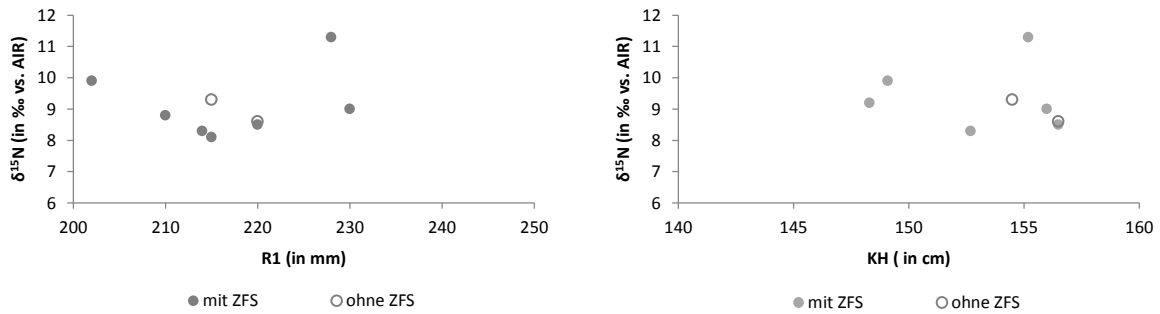


Abb. 104 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen mit und ohne Zahnfehlstellungen (ZFS) in Korrelation zu ihren Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.

7.2.2. $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Zahndentin und Knochen im Vergleich

Um der Frage nachzugehen, ob sich die Ernährung in der Kindheit und Jugend von der im Erwachsenenalter unterschieden hat, wurden von allen Individuen, in deren Molaren $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ gemessen wurden, auch Rippenproben für die stabile Isotopenanalyse entnommen. Bis auf einen Mann aus Grab 14, dessen Rippenprobe ein $\text{C}/\text{N} > 3,9$ erbrachte, konnten für alle anderen Individuen brauchbare Daten gewonnen werden (Tab. 63).

	Grab	Rippen			Zähne	
		C/N	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$ -Mw	$\delta^{13}\text{C}$ -Mw
Männer	14	4,12	9,4	-22,7	9,1	-20,2
	26	3,5	9,0	-20,3	8,9	-21,0
	70	3,5	9,6	-21,0	9,0	-19,5
	93	3,7	8,9	-20,5	9,6	-20,0
	107	3,2	8,8	-20,7	8,5	-20,3
	133	3,5	9,6	-20,7	9,6	-19,8
	169	3,6	8,1	-20,2	8,9	-20,2
	220	3,4	8,8	-19,9	9,7	-20,8
Frauen	9	3,5	9,3	-20,8	9,2	-21,1
	33	3,6	9,3	-20,7	9,3	-21,7
	39	3,6	8,6	-20,6	8,8	-21,2
	71	3,3	8,5	-20,2	8,6	-20,7
	99	3,5	8,2	-20,5	9,9	-21,2
	100	3,6	10,0	-20,4	11,3	-20,6
	109	3,5	8,6	-20,4	8,1	-20,6
	114	3,3	9,2	-20,5	8,3	-20,5
	122	3,5	9,1	-20,7	9,0	-20,7
	131	3,5	9,2	-21,3	8,5	-20,6

Tab. 63 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Frauen und Männern von Schwetzingen (l). $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte in ihren Zahnproben aus Tab. 42(r).

Werden die kumulativen Werte der stabilen Isotopenverhältnisse der Molaren mit denen der Rippen verglichen, so scheint sich die Ernährung sowohl der Männer als auch der

Frauen hinsichtlich der Stickstoffisotopenverhältnisse in der assimilierten Nahrung seit der Kindheit nicht geändert zu haben (Abb. 105). Das bedeutet, dass entweder die Stickstoffquelle oder die Stickstoffzusammensetzung ihrer assimilierten Nahrung unverändert blieb. Im Gegensatz dazu scheinen die Kohlenstoffisotopenverhältnisse in den Rippen der meisten Männer im Vergleich zu denen in ihren Zähnen etwas negativer zu sein, auch wenn dieser Unterschied statistisch klar nicht signifikant ist ($p = 0,29$). Die gewonnenen C-Isotopendaten aus den Rippen der meisten Frauen sind hingegen im Vergleich zu den Zähnen etwas positiver, und der Signifikanztest ergab hierbei ein knapp nicht signifikantes Ergebnis ($p = 0,08$). Der Unterschied in den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten der Rippen ist zwischen den Geschlechtern im Gegensatz zu den Molaren statistisch klar nicht signifikant ($p = 0,41$).

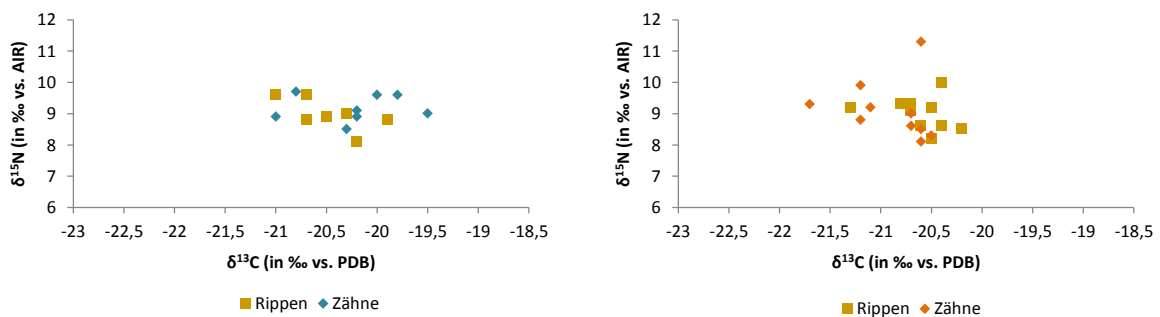


Abb. 105 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben sowie $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern (l) und Frauen (r) aus dem Gräberfeld von Schwetzingen.

Bei Betrachtung der Individualdaten weist das männliche Individuum aus Grab 70 einen besonders starken Unterschied zwischen $\delta^{13}\text{C}$ in seinen Molaren und seinen Rippen auf. Auch der Mann aus Grab 133 sowie die Frau aus Grab 33 lassen vergleichsweise größere Differenzen zwischen den Isotopendaten in ihren Zähnen und Rippen erkennen (Abb. 106, Abb. 107). Bei allen anderen Individuen ist die Differenz zwischen $\delta^{13}\text{C}$ -Werten in den Molaren und in Rippen weniger stark. Die Frau aus Grab 100, bei der deutlich höhere $\delta^{15}\text{N}$ in allen drei Molaren konstatiert wurden, weist nur leicht erhöhte $\delta^{15}\text{N}$ in den Rippen auf. Es wurde an anderer Stelle bereits vermutet, dass die erhöhten Stickstoffisotopenwerte in ihren Molaren möglicherweise mit der Hüftdysplasie zusammenhängen könnten, die bei ihr festgestellt wurde, jedoch erscheint diese Vermutung jetzt wenig sinnvoll. Es wäre zu erwarten, dass diese Frau, wenn die Anreicherung des schweren ^{15}N auf pathologische Prozesse zurückginge, auch im Erwachsenenalter deutlich höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte als andere hier untersuchten Frauen ohne diese Pathologie aufweisen würde. Das ist jedoch nicht der Fall. Die $\delta^{15}\text{N}$ in ihren Molaren sind um 2,4‰ höher, was einer ganzen Trophiestufe entspricht. Es ist deshalb wahrscheinlicher, dass

sie einer Jäger-Sammler Gesellschaft angehörte, die auf einem geologischen Untergrund mit nur leicht erhöhten Strontiumisotopenwerten im Vergleich zu lokalem Löss lebte¹⁶², was die hohen $\delta^{15}\text{N}$ in ihren Zähnen erklären könnte und auf den Konsum des tierischen Proteins höherer Trophiestufe in ihrer Kindheit und Jugend hindeuten würde. In der späten Pubertät bzw. als junge Erwachsene könnte sie in die Schwetzingener Gemeinschaft eingehiratet haben. Die etwas höheren $\delta^{15}\text{N}$ in ihren Rippen im Vergleich zu anderen Frauen könnten mit einer Schwangerschaft oder bereits dem Stillen zusammenhängen, zumal in ihrem Grab ein Neugeborenes bzw. noch jüngeres Individuum entdeckt wurde. Die anderen Individuen mit nicht-lokalem Strontiumsignal zeigen keine Unterschiede zu lokalen Individuen.

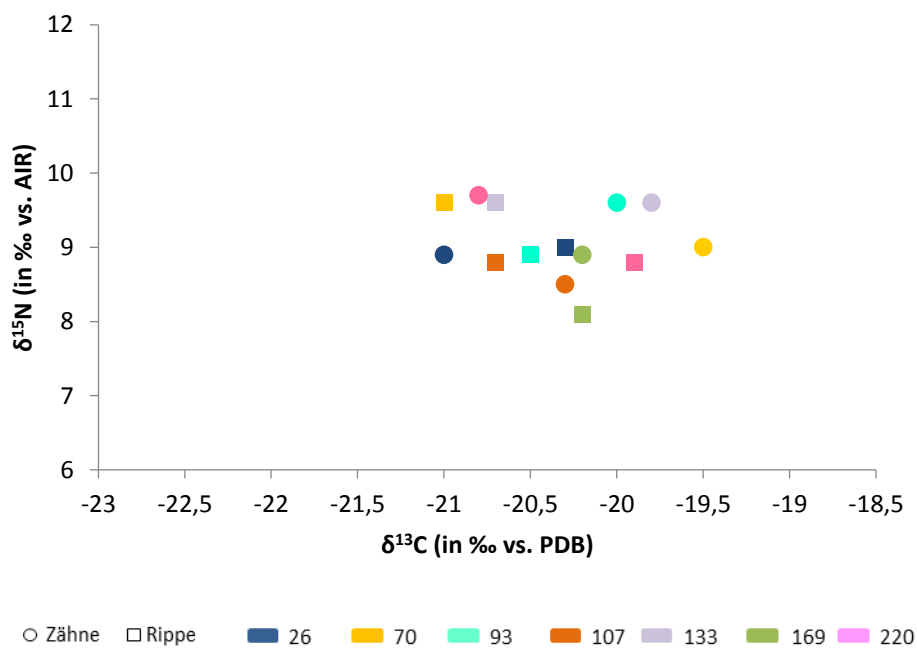


Abb. 106 Individualdaten für Männer mit $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ihren Zähnen und Rippen im Vergleich.

¹⁶² Siehe Bentley et al. 2013, Tab. 7.3. oder Tab. 1 und Abb. 14 im Anhang dieser Arbeit.

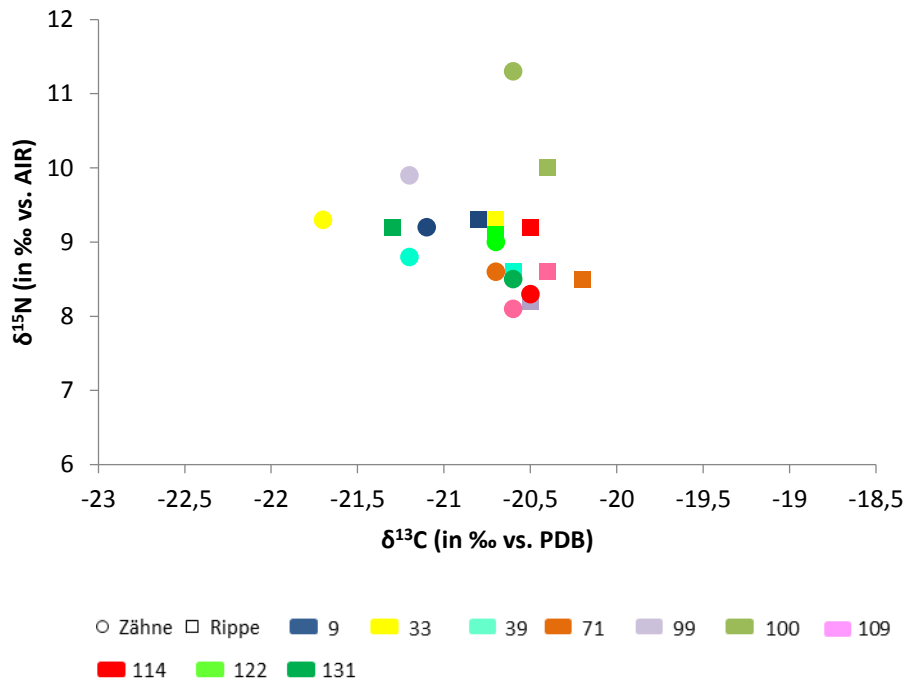
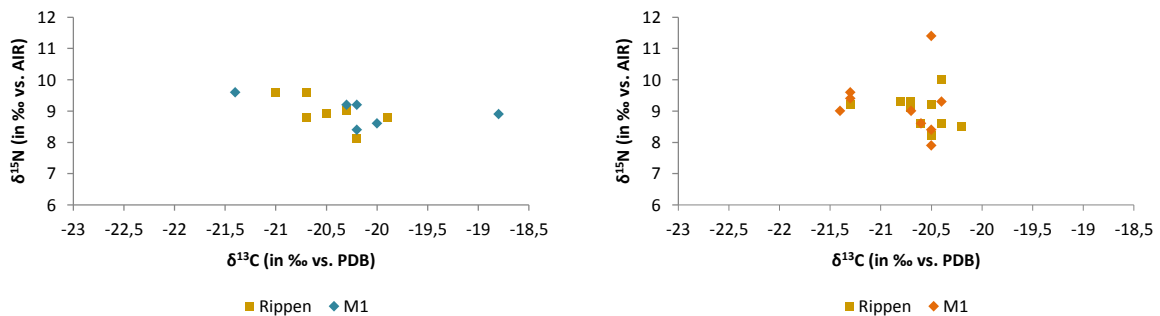


Abb. 107 Individualdaten für Frauen mit ihren $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Zähnen und Rippen im Vergleich.

Der Vergleich zwischen stabilen Isotopenverhältnissen in den einzelnen Molaren und den Rippen ergab für die Männer etwas negativere $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in ihren Rippen, wohingegen bei Frauen das gegensätzliche Bild zu beobachten war (Abb. 108, Tab. 63). Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in ihren Rippen sind etwas positiver im Vergleich zu allen drei Molaren. Diese Unterschiede sind bis auf eine Ausnahme alle statistisch nicht signifikant. Lediglich die Differenz zwischen den Kohlenstoffisotopenverhältnissen in den zweiten Molaren der Frauen und ihren Rippen ist statistisch knapp nicht signifikant ($p = 0,11$).



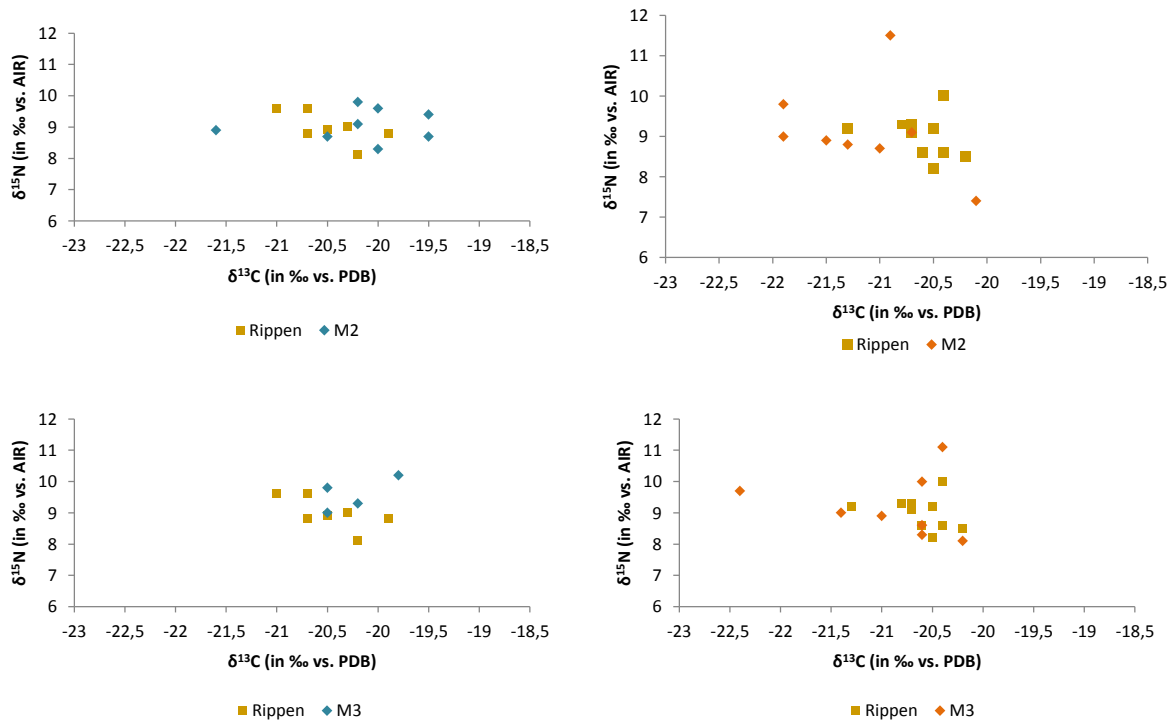


Abb. 108 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in den ersten, zweiten und dritten Molaren und den Rippen von Männern (l) und Frauen (r) im Vergleich.

Die $\delta^{15}\text{N}$ -Isotopenverhältnisse in den Molaren beider Geschlechter sind bis auf die dritten Molaren der Männer insignifikant höher als in den Rippen. Die Signifikanzprüfung zwischen $\delta^{15}\text{N}$ in den dritten Molaren der Männer und ihren Rippen erbrachte ein statistisch knapp nicht signifikantes Ergebnis ($p = 0,09$).

Obwohl keine signifikanten, geschlechtsspezifischen Unterschiede weder hinsichtlich $\delta^{13}\text{C}$ noch $\delta^{15}\text{N}$ festgestellt werden konnten, scheint es dennoch Unterschiede im Ernährungsverhalten zumindest im Hinblick auf $\delta^{13}\text{C}$ ihrer assimilierten Nahrung sowohl zwischen den Geschlechtern während der Kindheit/Jugend gegeben zu haben, wie das die Isotopenanalysen an den drei Molaren gezeigt hat, als auch innerhalb der jeweiligen Geschlechtergruppe zwischen der Ernährung in der Kindheit/Jugend und im Erwachsenenalter. Die Erwachsenenahrung von Männern und Frauen war dagegen offenbar sowohl bezüglich $\delta^{15}\text{N}$ (beide Geschlechter: Mittelwert $9 \pm 0,5$) als auch bezüglich $\delta^{13}\text{C}$ (Männer: Mittelwert $-20,5 \pm 0,4$; Frauen: Mittelwert $-20,6 \pm 0,3$) sehr ähnlich.

7.2.2.1. Einfluss diagnostizierter Pathologien im Erwachsenenalter auf $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Knochenkollagen

Für die Individuen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen konnten nur osteolytische und osteoplastische Prozesse und Exostosen, die am Skelett beobachtet wurden, auf ihren möglichen Einfluss auf die N- und C-Isotopenverhältnisse in ihren Rippenproben untersucht werden. Weitere relevante Pathologien wurden entweder nur an einem oder an fast allen Individuen diagnostiziert, sodass sie für den hier beabsichtigten Vergleich zwischen Individuen mit und solchen ohne die entsprechende Pathologie ungeeignet waren. Drei Männer und vier Frauen wiesen osteolytische oder osteoplastische Veränderungen auf, und bei zwei Männern und vier Frauen wurden Exostosen am Skelett erkannt (Tab. 64). Da für den Mann aus Grab 14 keine verwertbaren Isotopendaten aus seiner Rippenprobe aufgrund des hohen C:N zur Verfügung standen (Tab. 63), konnten die bei ihm festgestellten Exostosen nicht in die Auswertung eingehen.

PATHOLOGIEN					
	Grab	Rippen		osteolyt./osteoplast.	
		$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	Prozesse	Exostosen
Männer	26	9,0	-20,3	x	
	70	9,6	-21,0	x	
	93	8,9	-20,5		x
	107	8,8	-20,7		
	133	9,6	-20,7		x
	169	8,1	-20,2	x	
	220	8,8	-19,9		
Frauen	9	9,3	-20,8	x	
	33	9,3	-20,7		
	39	8,6	-20,6	x	
	71	8,5	-20,2	x	
	99	8,2	-20,5		
	100	10,0	-20,4		x
	109	8,6	-20,4	x	x
	114	9,2	-20,5		x
	122	9,1	-20,7		
	131	9,2	-21,3		x

Tab. 64 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen mit und ohne die untersuchten Pathologien (nach Wahl, unveröff. Gräberfeldkatalog). osteolyt. = osteolytische, osteoplast. = osteoplastische. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Rippendaten aus Tab. 63).

Bei den in dieser Pilotstudie berücksichtigten Individuen konnte weder bei Männern noch bei Frauen, an deren Skeletten osteolytische oder osteoplastische Veränderungen beobachtet wurden, ein Unterschied in N- oder C-Isotopenverhältnissen in den Rippen, im

Vergleich zu Männern und Frauen, die diese Pathologien nicht aufweisen, festgestellt werden (Abb. 109, oben). Das $\delta^{15}\text{N}$ in der Rippenprobe der Frau aus Grab 71 mit osteolytischen Läsionen an der Tabula interna unterscheiden sich nicht vom $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen der Frauen mit osteoplastischen Läsionen am Skelett. Die Vermutung, dass osteolytische Prozesse möglicherweise einen stärkeren Einfluss auf die Isotopenverhältnisse aufgrund ihrer katabolischen Eigenschaften haben könnten, die bei den Männern von Stuttgart-Mühlhausen angestellt wurde, konnte somit hier nicht bestätigt werden. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass diese Krankheit bei den Männern stärker ausgeprägt war, und dass bei ihnen mehrere Knochen betroffen waren.

Die Rippenproben der Männer und Frauen, an deren Knochen Exostosen beobachtet wurden, zeigen ebenfalls keine Unterschiede bezüglich ihrer N- und C-Isotopenverhältnisse im Vergleich zu Individuen ohne diese Pathologie (Abb. 109, unten).

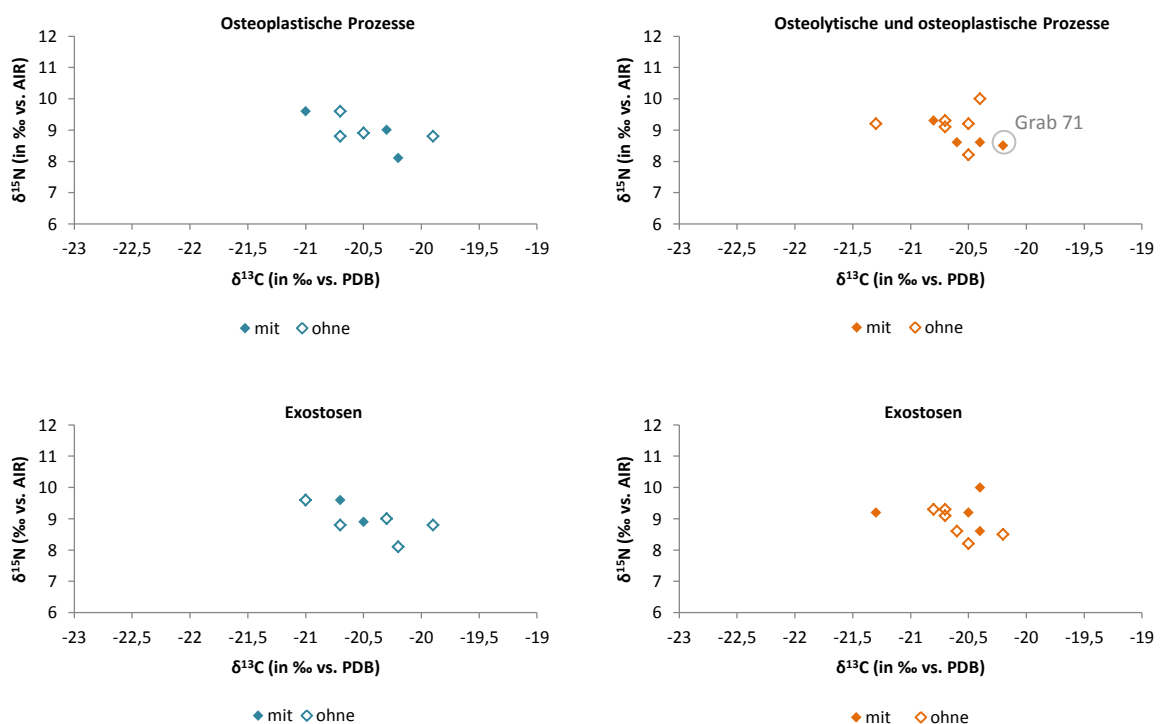


Abb. 109 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern (l) und Frauen (r) mit und ohne entsprechende Pathologien.

7.2.2.2. Zahnerkrankungen an permanenten Zähnen als Proxy für Ernährungsmuster

Um eine möglichen Nahrungsspezialisierung auf Proteine oder auf Kohlenhydrate zu prüfen, wurde auch für die Individuen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen ein *Dental pathology profile* erstellt. Der Mann aus Grab 14 musste aus dem im vorherigen Kapitel genannten

Grund von der Auswertung ausgeschlossen werden, sodass die an seinen Zähnen beobachtete Parodontose und der Zahnstein hier nicht berücksichtigt werden konnten. Da Parodontitis nur bei einem Mann und der Zahnstein, mit Ausnahme von einer Frau, bei allen Individuen festgestellt wurde, wurde auf eine graphische Darstellung dieser beiden Pathologien für den Vergleich mit stabilen Isotopenverhältnisse verzichtet, und diesbezüglich soll an dieser Stelle nur auf die Tabelle 36 verwiesen werden. Beide lassen jedoch keine Unterschiede hinsichtlich ihrer stabilen Isotopenverhältnisse in ihren Rippenproben von Individuen mit und solchen ohne diese Zahnerkrankungen erkennen. Starke Abrasion war, wie bei Individuen aus dem Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen, in erster Linie im Frontzahnbereich zu beobachten, was nach Wahl¹⁶³ eher mit der Verwendung der Frontzähne als ‚dritte Hand‘ in Verbindung zu bringen ist. Da diese Abrasion somit nicht mit der Ernährung zusammenhängt, wird auf sie an dieser Stelle nicht näher eingegangen. Bei den hier untersuchten Individuen wurden weder periapikale Abszesse noch vorzeitige Zahnverluste festgestellt. Für die hier interessierende Frage wurden somit nur Karies und Parodontose in Betracht gezogen (Tab. 65).

Bei 3 Männern und einer Frau wurde mindestens eine kariöse Läsion, und bei 5 Männern und 7 Frauen wurde Parodontose diagnostiziert. Trotz der geringen Probenmenge scheinen auch die Isotopendaten der Individuen von Schwetzingen zu bestätigen, dass das $\delta^{15}\text{N}$ in den Rippenproben sowohl der Männer als auch in der Rippenprobe der Frau, die Karies aufweisen, niedriger sind als bei Individuen, bei denen keine Karies festgestellt wurde (Abb. 110). Nach der statistischen Signifikanzprüfung ist der Unterschied in $\delta^{15}\text{N}$ bei den Männern knapp nicht signifikant ($p = 0,09$). Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte lassen bei Männern keinen Unterschied erkennen, während das etwas positivere $\delta^{13}\text{C}$ in der Rippenprobe der Frau aufgrund des nur einen verfügbaren Wertes keine endgültigen Aussagen zulässt. Da die Rippenprobe des Mannes aus Grab 169 mit zwei kariösen Läsionen im Oberkiefer zwar das niedrigste $\delta^{15}\text{N}$ aufweist, seine Zähne, insbesondere die der linken Kieferhälfte, aber gleichzeitig auch sehr stark von Zahnstein befallen sind, kann diese Beobachtung ein Hinweis darauf sein, dass der Zahnstein nicht immer zwangsläufig mit proteinreicher Nahrung zusammenhängen muss. Denkbar ist, dass auch schlechte Mundhygiene im Allgemeinen sowie auch die Kohlenhydrate ebenfalls zur Bildung von Zahnplaque und damit zur Bildung von Zahnstein beitragen können.

¹⁶³ Schriftlicher Vermerk im unpubliziertem Gräberfeld-Katalog.

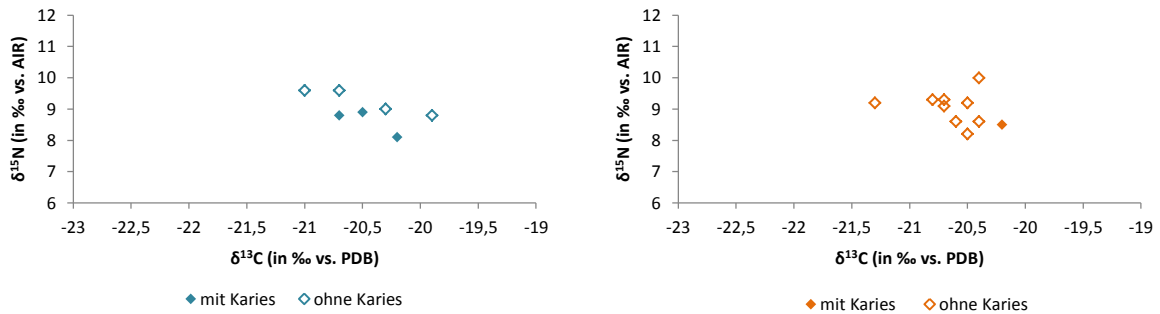


Abb. 110 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern (l) und Frauen (r) mit und ohne kariöse Zähne.

Hinsichtlich der Parodontose lässt sich kein klares Muster beim Vergleich zwischen N- und C-Isotopenverhältnissen von Männern und Frauen mit und ohne diese Zahnkrankheit erkennen. Während bei Männern keine Unterschiede in $\delta^{15}\text{N}$ zu erkennen sind, ihre $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen jedoch eher negativer ausfallen, zeigen die Isotopendaten in Rippenproben der Frauen keine Unterschiede in der Isotopenzusammensetzung zwischen Individuen mit und solchen ohne Parodontose (Abb. 111). Der Unterschied hinsichtlich $\delta^{13}\text{C}$ in den Rippenproben der Männer ist statistisch nur knapp nicht signifikant ($p = 0,09$).

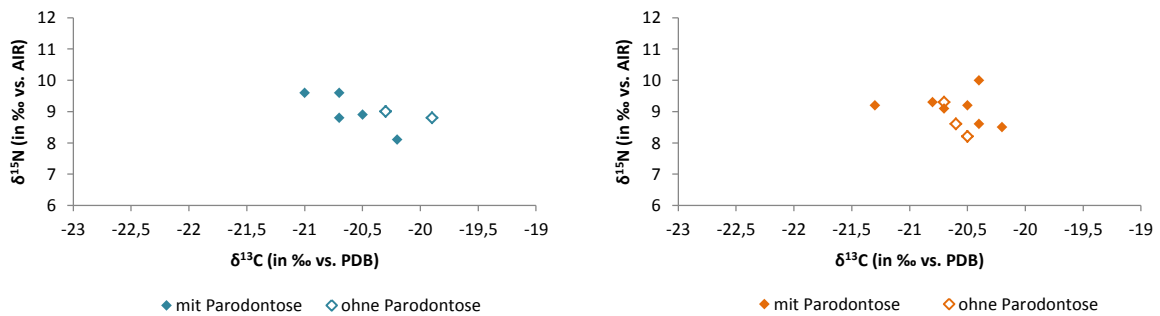


Abb. 111 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern (l) und Frauen (r) mit und ohne Parodontose.

Dental pathology profile										
		Rippen								
	Grab	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Karies	Parodontose	Parodontitis	Zahnstein	p. Abszesse	AMTL	starke AB
Männer	14	9,1	-20,2		x		x			
	26	9,0	-20,3				x			x
	70	9,6	-21,0		x		x			
	93	8,9	-20,5	x	x		x			x
	107	8,8	-20,7	x	x	x	x			x
	133	9,6	-20,7		x		x			
	169	8,1	-20,2	x	x		x			
	220	8,8	-19,9				x			
	Frauen	9	9,3	-20,8		x		x		
33		9,3	-20,7				x			x
39		8,6	-20,6							
71		8,5	-20,2	x	x		x			
99		8,2	-20,5				x			x
100		10,0	-20,4		x		x			x
109		8,6	-20,4		x		x			
114		9,2	-20,5		x		x			
122		9,1	-20,7		x		x			
131		9,2	-21,3		x		x			

Tab. 65 Zahnerkrankungen (nach Wahl, unveröff. Gräberfeldkatalog) an permanenten Zähnen bei Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. p = periapikal, AMTL = *ante mortem tooth loss* (intravitaler Zahnverlust), AB = Abrasion. (Rippendaten aus Tab. 63).

7.2.2.3. Morphometrische Analyse zur Bewertung der Robustizität

Die Prüfung der Robustizität oberer und unterer Extremitäten kann helfen, Hinweise auf mögliche Prävalenz einer Körperseite bei regelmäßigen Tätigkeiten sowie auf die Intensität dieser Bewegungsabläufe zu gewinnen. Wie im vorherigen Kapitel sollte auch für die Individuen aus Schwetzingen für diesen Zweck der Humerus-Längen-Dicken-Index, der Femur Robustizitätsindex und der Femur-Index platymericus ermittelt werden.

7.2.2.3.1. Humerus-Längen-Dicken-Index

Für die Berechnung des Humerus-Längen-Dicken-Index konnten nur 3 Männer und eine Frau herangezogen werden (Tab. 66). Bei allen anderen Individuen waren die hierfür benötigten morphometrischen Maße nicht verfügbar.

Humerus-Längen-Dicken-Index										
	Grab	M1		M7		H-Längen-Dicken-Index		H1		KH
		r	i	r	l	r	l	r	l	
Männer										
	26	330	327	55	51	16,7	15,6	330	327	166,4
	107	307	305	61	61	19,9	20,0	307	305	162,1
	169	340	338	63	62	18,5	18,3	340	338	172,0
Frauen										
	122	302	300	55	54	18,2	18,0	302	300	156,0

Tab. 66 Indexwerte des rechten und linken Humerus-Längen-Dicken-Index von Männern und einer Frau aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. M1 = größte Länge des Humerus, M7 = kleinster Umfang der Humerus-diaphyse, H = Humerus, r = rechts, l = links. H1 = größte Humeruslänge. H1 und KH aus Tab. 46. Alle Maße in mm. (Langknochenmaße aus Wahl, unveröff.).

Die Indexwerte des rechten Humerus-Längen-Dicken-Index der drei diesbezüglich beurteilbarer Männer liegen zwischen 16,7 und 19,9 (Mittelwert: 18,4) und die der linken Körperseite zwischen 15,6 und 20,0 (Mittelwert: 17,9). Unter den Frauen konnte dieser Index nur bei einer Frau berechnet werden. Die Indexwerte bei der Frau aus Grab 122 liegen für die rechte Körperseite bei 18,2 und für die linke bei 18,0 (Tab. 67).

	r			l		
	Min	Max	Mw	Min	Max	Mw
♂	16,7	19,9	18,4	15,6	20,0	17,9
♀	18,2	18,2	18,2	18,0	18,0	18,0

Tab. 67 Variationsbreite und Mittelwerte des rechten und linken Humerus-Längen-Dicken-Index für Männer und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. Min = Minimalwert; Max = Maximalwert, Mw = Mittelwert, r = rechts, l = links.

Eine leichte Bevorzugung der rechten Humeri bei fast allen Individuen kann angenommen werden, was mit der wie heute üblichen mehrheitlichen Rechtshändigkeit zusammenhängen könnte, jedoch ist dieser Unterschied bei den Männern statistisch klar nicht signifikant ($p = 0,81$). Insbesondere die Indexwerte des Mannes aus Grab 26 sind deutlich niedriger, und unterscheiden sich stark von denen der anderen beiden Männer sowie der Frau, für die dieser Indexwert berechnet werden konnte (Abb. 112). Es kann vermutet werden, dass er für andere Aufgaben zuständig war, bei denen er seine Humeri weniger stark belasten musste oder aufgrund einer Krankheit nicht oder kaum belasten konnte.

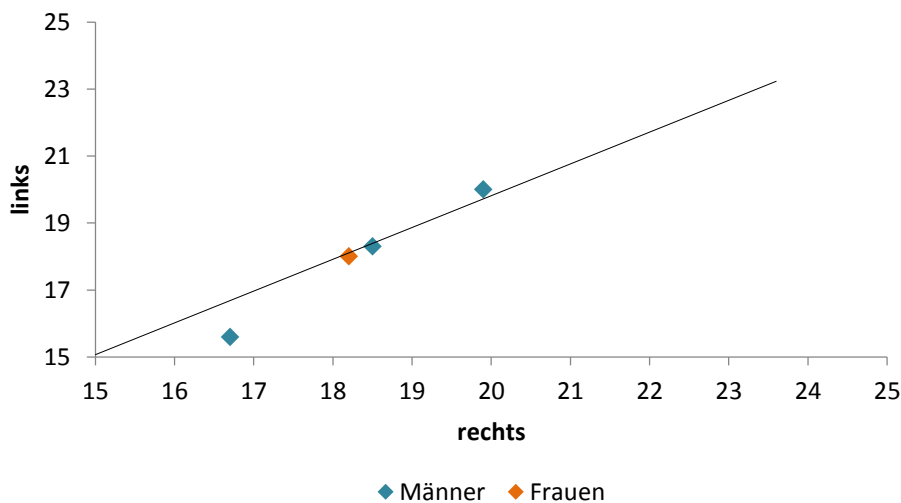


Abb. 112 Indexwerte des Humerus-Längen-Dicken-Index für beide Körperseiten bei Männern und einer Frau aus dem Gräberfeld von Schwetzingen.

Beim Betrachten des Zusammenhangs zwischen der größten Humeruslänge bzw. der Körperhöhe und dem Humerus-Längen-Dicken-Index fällt auf, dass der Mann mit den höchsten Indexwerten für beide Körperseiten (Grab 107) die kleinsten Humeri und die geringste Körperhöhe¹⁶⁴ aufweist (Abb. 113). Außerdem wurde in seiner Rippenprobe das niedrigste $\delta^{15}\text{N}$ im Vergleich zu dem der anderen Männer gemessen. Diese Beobachtung kann

¹⁶⁴ Das Prüfen des Zusammenhangs zwischen der Körperhöhe und dem Humerus-Längen-Dicken-Index ergab dasselbe Muster, weshalb an dieser Stelle auf eine graphische Darstellung verzichtet wird.

auf eine unzureichende Proteinversorgung dieses Mannes hindeuten, bei dem der Energieverbrauch bei der starken körperlichen Aktivität nicht durch assimilierte Nahrung kompensiert werden konnte.

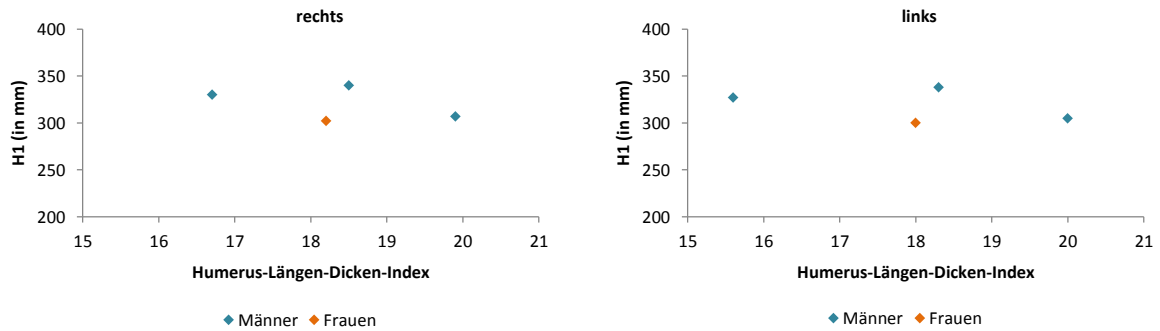


Abb. 113 Zusammenhang zwischen den Indexwerten des rechten und linken Humerus-Längen-Dicken-Index und der größten Humeruslänge (H1) bei Männern und einer Frau aus dem Gräberfeld von Schwetzingen.

7.2.2.3.2. Femur-Robustizitätsindex

Bei keiner Frau aus dem Gräberfeld von Schwetzingen konnten alle für die Ermittlung des Femur-Robustizitätsindex benötigten Maße erhoben werden. Unter den Männern sind es auch nur zwei Individuen, die hinsichtlich dieses Index beurteilt werden konnten (Tab. 68).

Femur-Robustizitätsindex												
	Grab	M2		M6		M7		F-Robustizitätsindex		F1		KH
Männer		r	l	r	l	r	l	r	l	r	l	
	107	428	433	26,4	27,1	25,8	27	12,2	12,5	430	434	162,1
	220	461	461	28,3	27,9	24,8	25,1	11,5	11,5	465	464	168,7

Tab. 68 Indexwerte des rechten und linken Femur-Robustizitätsindex von Männern aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. M2 = ganze Länge des Femurs, M6 = sagittaler Durchmesser der Femurdiaphysenmitte, M7 = transversaler Durchmesser der Femurdiaphysenmitte, F = Femur, r = rechts, l = links, F1 = größte Femurlänge. F1 und KH aus Tab. 46. Alle Maße in mm. (Langknochenmaße aus Wahl, unveröff.).

Entsprechend schwierig gestaltet sich die Auswertung der wenigen verfügbaren Daten. Die Berechnung des Femur-Robustizitätsindex ergab für den Mann aus Grab 107 für die rechte Körperseite einen Indexwert von 12,2 und für die linke Körperseite einen Indexwert von 12,5. Beim Mann aus Grab 220 liegen die Indexwerte hingegen für beide Körperseiten bei nur 11,5.

Das Ergebnis der Untersuchung lässt höchstens die Aussage zu, dass der Mann aus Grab 107 mit den höheren Indexwerten, der folglich seine beiden Femora stärker beansprucht hat, kleinere Femurlängen und auch eine geringere Körperhöhe aufweist. Da auch seine $\delta^{15}\text{N}$ deutlich niedriger sind, könnte für dieses Individuum vermutet werden, dass die Qualität oder

die Quantität der assimilierten Proteine und möglicherweise auch die Energiemenge unzureichend war, um den Energieverbrauch bei seinen täglichen Aktivitäten auszugleichen. Auf eine graphische Darstellungen wurde an dieser Stelle aufgrund der kleinen Stichprobe verzichtet.

7.2.2.3.3. Femur-Index platymericus

Bei 7 von 8 Männern und bei 8 von 10 Frauen konnte der Femur-Index platymericus berechnet werden (Tab. 69). Die Variationsbreite der Indexwerte liegt bei Männern für die rechte Körperseite zwischen 68,0 und 95,4 (Mittelwert: 82,5) und für die linke Körperseite zwischen 63,9 und 91,6 (Mittelwert: 78,3). Die Indexwerte bei Frauen schwanken zwischen 68,6 und 82,9 (Mittelwert: 75,4) für die rechte und zwischen 67,9 und 79,3 (Mittelwert: 72,0) für die linke Körperseite (Tab. 70).

Femur- Index platymericus										
	Grab	M9		M10		F-Index platymericus		F1		KH
		r	l	r	l	r	l	r	l	
Männer										
	26	29,3	29,8	24,3	24,9	82,9	83,5	452,5	0	166,4
	70	33,4	34,1	22,7	21,8	68,0	63,9	0	445	164,9
	93	28,7	30,5	25,8	24,3	89,9	79,7	452	450	166,3
	107	30,5	32,8	24,3	24,2	79,7	73,8	430	434	162,1
	133	33,0	31,6	29,2	27,1	88,5	85,7	487,5	0	172,9
	169	28,1	29,8	26,8	27,3	95,4	91,6	0	482,5	172,0
	220	31,4	31,7	22,9	22,3	72,9	70,3	465	464	168,7
Frauen										
	33	28,0	28,2	19,2	20,3	68,6	72,0	420	0	154,5
	39	28,0	29,0	20,4	19,7	72,8	67,9	402	400	151,0
	71	29,7	28,6	23,3	22,0	78,4	76,9	0	430	156,5
	99	28,6	31,2	23,7	21,8	82,9	69,9	0	392	149,1
	100	31,2	32,0	22,8	22,6	73,1	70,6	420	0	154,5
	109	28,0	28,8	20,0	19,7	71,4	68,4	0	392	149,1
	122	31,0	32,5	23,0	23,0	74,2	70,8	427,5	0	156,0
	131	29,0	30,0	23,8	23,8	82,1	79,3	0	430	156,5

Tab. 69 Indexwerte des rechten und linken Femur-Index platymericus von Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. M9 = oberer sagittaler Durchmesser der Femurdiaphyse, M10 = oberer transversaler Durchmesser der Femurdiaphyse, F = Femur, r = rechts, l = links, F1 = größte Femurlänge, KH = Körperhöhe. F1 und KH aus Tab. 46. Alle Maße in mm. (Langknochenmaße aus Wahl, unveröff.).

	r			l		
	Min	Max	Mw	Min	Max	Mw
♂	68,0	95,4	82,5	63,9	91,6	78,3
♀	68,6	82,9	75,4	67,9	79,3	72,0

Tab. 70 Variationsbreite und Mittelwerte des rechten und linken Femur-Index platymericus für Männer und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. Min = Minimalwert; Max = Maximalwert, Mw = Mittelwert, r = rechts, l = links.

Bis auf eine Ausnahme bei beiden Geschlechtern (Grab 26 und Grab 33) ist die Bevorzugung der linken Körperseite erkennbar (Abb. 114). Bei beiden Geschlechtergruppen sind mindestens zwei Gruppen mit unterschiedlichem Index platymericus erkennbar. Innerhalb der Gruppe der Männer kann zwischen Individuen mit hyperplatymeren und solchen mit platymeren und eurymeren proximalen Femurdiaphysen unterschieden werden. Dieser Unterschied im Flachheitsgrad ist zwischen diesen beiden Männergruppen für beide Körperseiten statistisch klar signifikant (rechts: $p = 0,02$, links: $p = 0,03$). Unter den Frauen befinden sich keine Individuen mit eurymeren Femurdiaphysen, dafür sind sie bei den meisten Frauen hyperplatymer. Bei den Frauen kristallisieren sich somit ebenfalls zwei Gruppen heraus, die sich bezüglich beider Körperseiten statistisch signifikant voneinander unterscheiden (rechts: $p = 0,001$, links: $p = 0,06$). Aufgrund dieser Beobachtung scheinen die Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen deutlich mobiler und damit stärker ihre Femora belastet zu haben, als die Männer, zumal die meisten von ihnen hyperplatymere Femora auf beiden Seiten aufweisen. Wie im Falle von Individuen aus Stuttgart-Mühlhausen kann von einer geschlechtsspezifischen aber auch innerhalb beider Geschlechtergruppen existierenden Arbeitsteilung ausgegangen werden, was sich in der unterschiedlichen Belastung ihrer Unterextremitäten erkennbar macht.

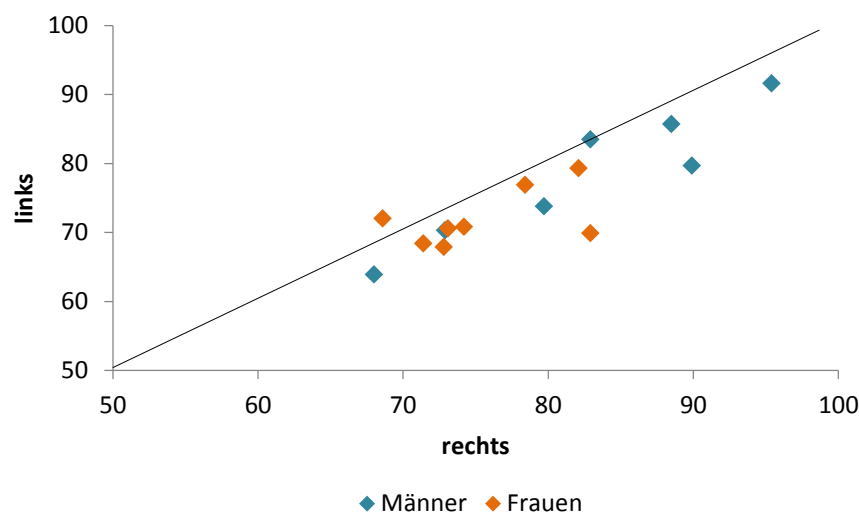


Abb. 114 Indexwerte des Femur-Index platymericus für beide Körperseiten bei Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen.

Um zu prüfen, ob sich bei diesen Individuen die stärkere physische Aktivität auf das Längenwachstum ihrer Oberschenkel und auf ihre Körpergröße ausgewirkt hat, wurden die errechneten Indexwerte mit der Femurlänge bzw. Körpergröße von Männern und von Frauen,

für welche die Indexwerte gewonnen werden konnten, in Zusammenhang gebracht. Da beide Geschlechter bevorzugt das linke Femur beansprucht haben, ließ vor allem die linke Körperseite sowohl für Männer ($r = 0,669$, $p = 0,13$) als auch für Frauen ($r = 0,946$, $p = 0,01$) einen linearen Zusammenhang und jeweils eine positive Korrelation zwischen diesen beiden Merkmalen erkennen (Abb. 115). Je höher die Indexwerte des Femur-Index platymericus waren, also je geringer die Belastung des Femurs, umso größer war das Femur gewachsen. Und je stärker die Femora belastet waren, umso kleiner war ihre größte Knochenlänge. Diese Korrelation ist jedoch nur bei den Frauen klar signifikant.

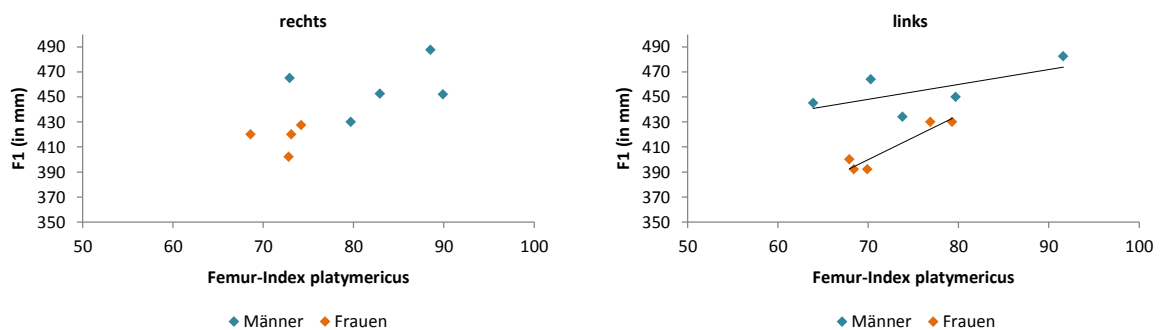


Abb. 115 Zusammenhang zwischen den Indexwerten des rechten und linken Femur-Index platymericus und der größten Femurlänge (F1) bei Männern und einer Frau aus dem Gräberfeld von Schwetzingen.

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Betrachtung des Einflusses auf die Körperhöhe. Insbesondere für die linke Körperseite lässt sich erneut für beide Geschlechter ein linearer Zusammenhang und eine positive Korrelation zwischen der erreichten Körperhöhe und den Indexwerten des Femur-Index platymericus erkennen (Abb. 116). Bei den Männern liegt eine grenzwertig signifikante ($r = 0,650$, $p = 0,06$) und bei den Frauen eine klar signifikante ($r = 0,726$, $p = 0,02$) Korrelation zwischen diesen Variablen vor. Möglicherweise könnte das als ein Hinweis auf eine bereits in der Kindheit begonnene physische Arbeit gewertet werden, die sich auf das Längenwachstum dieser Individuen ausgewirkt hat. Ein Zusammenhang zwischen den Indexwerten des Femur-Index platymericus und den aus den Rippenproben gewonnenen Isotopendaten ist bei diesen Individuen nicht feststellbar.

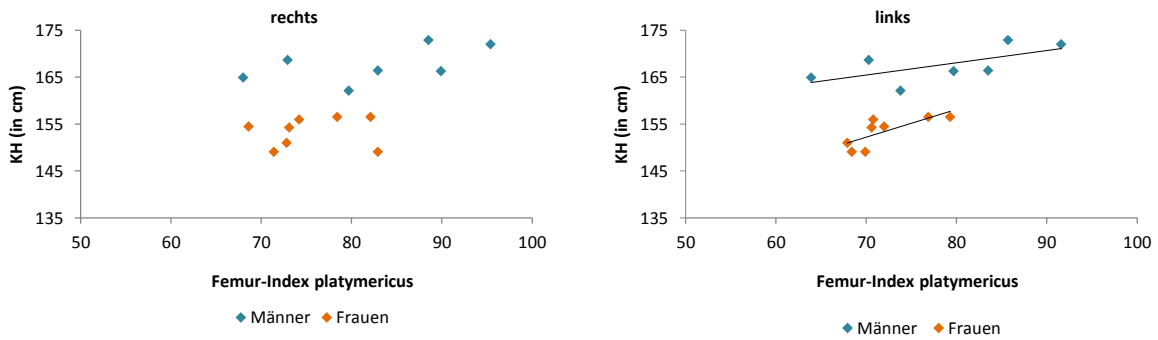


Abb. 116 Zusammenhang zwischen den Indexwerten des rechten und linken Femur-Index platymericus und der Körperhöhe (KH) bei Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen.

7.2.2.4. Grabbeigaben

Der Zusammenhang zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in den Rippen bzw. der Ernährung im Erwachsenenalter von Individuen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen und den Grabbeigaben konnte für die Gruppe der Männer nicht geprüft werden, weil allen im Rahmen dieser Pilotstudie untersuchten männlichen Individuen Beigaben ins Grab mitgegeben wurden (Tab. 71). In sieben von zehn der für die Pilotstudie ausgewählten Frauengräber wurden Beigaben gefunden, sodass bei diesen Individuen ein Vergleich mit solchen Frauen, die in keinen Beigaben führenden Gräbern entdeckt wurden, möglich war.

GRABBEIGABEN									
	Grab	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Beigaben		Grab	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Beigaben
Männer	14	-	-	x	Frauen	33	9,3	-20,7	x
	26	9,0	-20,3	x		39	8,6	-20,6	x
	70	9,6	-21,0	x		71	8,5	-20,2	x
	93	8,9	-20,5	x		99	8,2	-20,5	x
	107	8,8	-20,7	x		109	8,6	-20,4	x
	133	9,6	-20,7	x		122	9,1	-20,7	x
	169	8,1	-20,2	x		131	9,2	-21,3	x
	220	8,8	-19,9	x		9	9,3	-20,8	
						100	10,0	-20,4	
						114	9,2	-20,5	

Tab. 71 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen mit und ohne Grabbeigaben. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Daten zu Grabbeigaben aus Gerling 2007).

Drei Frauen, deren Gräber keine Beigaben führten, unterscheiden sich bis auf die Frau aus Grab 100, weder in ihren $\delta^{15}\text{N}$ noch in ihren $\delta^{13}\text{C}$ von den Frauen mit Grabbeigaben. Die Frau aus Grab 100, bei der keine Grabbeigaben gefunden wurden, weist, wie oben bereits angemerkt, wahrscheinlich aufgrund der Schwangerschaft oder des Stillens, höhere $\delta^{15}\text{N}$ in ihren Rippen auf, sodass es, zumindest bei den hier berücksichtigten Frauen, keinen Zusammen-

hang zwischen den N- und C-Isotopenverhältnissen in ihren Rippen und dem Sozialstatus zu geben scheint, sofern man diesen an die Grabbeigaben koppeln möchte (Abb. 117).

Die verfügbaren Isotopendaten für die Frauen geben ebenso wenig Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der erreichten Endkörperhöhe und der Mitgabe von Grabbeigaben (Abb. 118).

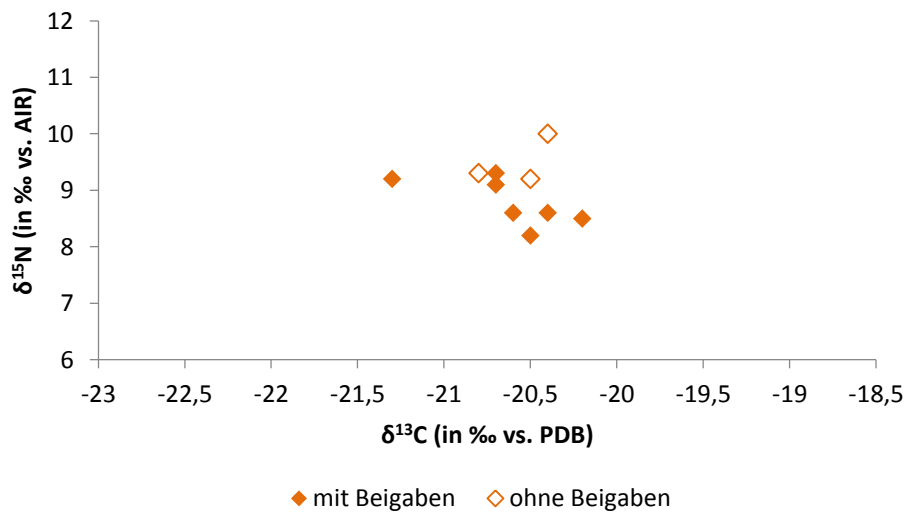


Abb. 117 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ bei Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen mit und ohne Grabbeigaben.

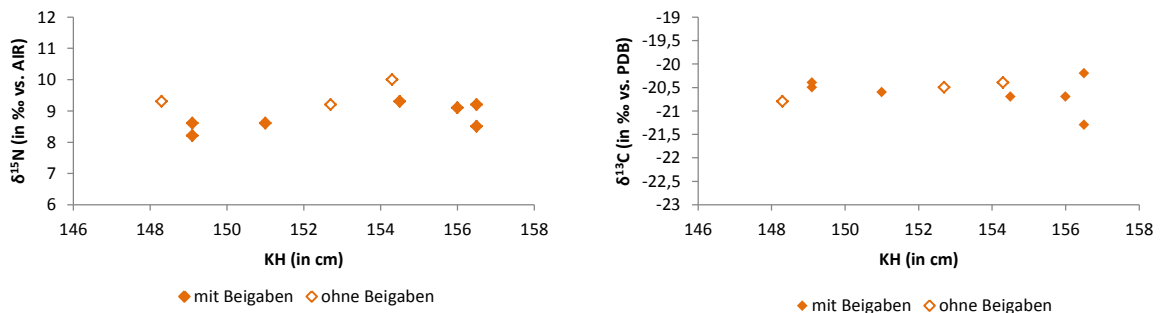


Abb. 118 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ bei Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen mit und ohne Grabbeigaben in Korrelation mit der Körperhöhe (KH).

8. Interpretation und Diskussion

Die in der vorliegenden Pilotstudie untersuchten Individuen aus dem Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen ‚Viesenhäuser Hof‘, der älteren und mittleren-jüngeren Phase der Linienbandkeramik zeigen ein relativ homogenes Bild hinsichtlich ihrer Ernährung im Erwachsenenalter, jedoch lässt die separate Auswertung der $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in ihren ersten, zweiten und dritten Molaren Unterschiede im Ernährungsverhalten während der Kindheit und Jugend, zumindest während der vom analysierten Zahnabschnitt reflektierten Wachstumsphase, sowohl zwischen den beiden Arealen als auch zwischen den Geschlechtern erkennen. Während die Männer aus der älteren Linienbandkeramik in ihrer Kindheit in ihren ersten und zweiten Molaren höhere $\delta^{15}\text{N}$ aufweisen als die Männer aus Areal I, konnten bei Männern aus Areal I in ihren dritten Molaren, in der Pubertät, etwas höhere $\delta^{15}\text{N}$ festgestellt werden. Trotz der Anreicherung des ^{15}N ab der Pubertät und den signifikant höheren $\delta^{15}\text{N}$ in den dritten Molaren der Männer aus Areal I im Vergleich zu Männern aus Areal II reichte offenbar allein die Proteinverfügbarkeit für das größere Wachstum nicht aus, und die Männer aus dem Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen sind am Übergang zur mittleren-jüngeren Linienbandkeramik im Hinblick auf ihre Körpergröße kleiner geworden (Tab. 72). Es ist anzunehmen, dass die kontinuierliche und ausreichende Versorgung mit Proteinen und Energie durch die gesamte Kindheit hindurch für das Körperwachstum bedeutender war, als eine kurzzeitig qualitativere und quantitativere Versorgung des Körpers mit wichtigen Nährstoffen.

$\delta^{15}\text{N}$	ältere LBK	m/j LBK		KH	ältere LBK	m/j LBK	
♀	9,6 (8 ID)	9,9 (6 ID)	↑	♀	148,1 (5 ID)	150,6 (6 ID)	↑
♂	9,8 (9 ID)	9,7 (6 ID)	↓	♂	165,8 (7 ID)	162,3 (6 ID)	↓
$\delta^{13}\text{C}$							
♀	-21,3 (8 ID)	-21,2 (6 ID)	↑	♀	148,1 (5 ID)	150,6 (6 ID)	↑
♂	-20,9 (9 ID)	-21,0 (6 ID)	↓	♂	165,8 (7 ID)	162,3 (6 ID)	↓

Tab. 72 Zusammenhang zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Molaren von Frauen und Männern aus dem Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen und der Körperhöhe am Übergang von der älteren zur mittleren/jüngeren Linienbandkeramik.

Die Frauen aus der älteren Belegungsphase weisen die höchsten $\delta^{15}\text{N}$ in ihren ersten Molaren und die niedrigsten $\delta^{15}\text{N}$ in ihren zweiten Molaren auf, was eventuell mit längerer Stillzeit und dem auf diese folgenden Abstillstress zusammenhängen könnte. Die Versorgung der Frauen aus Areal I scheint hingegen in der späteren Kindheit und der Pubertät offenbar besser gewesen zu sein. Die Anreicherung des ^{15}N bereits ab dem zweiten Molar, im Gegen-

satz zu den Männern aus diesem Gräberfeldbereich, war möglicherweise ausschlaggebend für die Entwicklung höherer Körpergröße der Frauen aus dieser mittleren bis jüngeren Belegungsphase des Gräberfeldes im Vergleich zu Frauen aus der älteren Phase. Dieser Unterschied in $\delta^{15}\text{N}$ ist auch bei den Frauen klar signifikant. Die $\delta^{13}\text{C}$ variieren bei beiden Geschlechtern dagegen kaum. Es lässt sich erkennen, dass die geschätzte Körperhöhe am Übergang von der älteren zur mittleren-jüngeren Linienbandkeramik bei untersuchten Frauen mit höher werdenden $\delta^{15}\text{N}$ sowie etwas positiveren $\delta^{13}\text{C}$ um 2,5cm steigt, während sie bei untersuchten Männern mit niedriger werdenden $\delta^{15}\text{N}$ und leicht negativeren $\delta^{13}\text{C}$ um 3,5cm fällt (Tab. 72).

Bei Männern aus beiden Gräberfeldarealen sowie bei Frauen aus Areal I ist ein kontinuierlicher Anstieg in $\delta^{15}\text{N}$ von M1 bis M3 zu verzeichnen, sodass weder das Stillsignal noch das Abstillsignal erkennbar ist. Die isotopische Zusammensetzung des Dentins in den beproben Zahnabschnitten reflektiert somit bereits die feste Nahrung. Nur die Frauen aus Areal II bilden hierbei mit den hohen $\delta^{15}\text{N}$ in ihren ersten Molaren, die höher sind als die N-Isotopendaten in ihren Rippen, eine Ausnahme, auf die später noch zurückzukommen sein wird.

Die Prüfung des Zusammenhangs zwischen den Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenverhältnissen in den Molaren und den Langknochenlängen ergab für die Männer aus der älteren Linienbandkeramik einen linearen Zusammenhang und eine positive Korrelation vor allem zwischen $\delta^{15}\text{N}$ in ihren zweiten Molaren und den Knochenmaßen, F1, T1b und R1, sowie eine negative Korrelation zwischen $\delta^{13}\text{C}$ in ihren zweiten Molaren und F1 und R1 sowie zwischen $\delta^{13}\text{C}$ in den dritten Molaren und T1b. Mit höheren $\delta^{15}\text{N}$ und mit niedrigeren $\delta^{13}\text{C}$ stieg die Länge ihrer Langknochen. Die Isotopendaten deuten darauf hin, dass diese Männer mit tierischem Protein und wahrscheinlich auch mit der Gesamtkalorienmenge ausreichend versorgt waren, was sich positiv auf ihr Längenwachstum ausgewirkt hat. Hierbei muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass der Anteil am tierischen Protein bei Stickstoffisotopenanalysen im Kollagen oft überschätzt wird, weil einerseits die tierischen Proteine generell mehr Stickstoff als Pflanzen enthalten¹⁶⁵, und weil andererseits proteinreiche Pflanzensamen und Pflanzenöle mit Stickstoffisotopenanalysen nicht nachgewiesen werden können. Eventuell könnten sie mit negativen $\delta^{13}\text{C}$ assoziiert werden (Jahren, Kraft 2008). Dem gegenüber zeigen die Männer aus der mittleren-jüngeren Phase einen linearen Zusammenhang und eine negative Korrelation zwischen $\delta^{15}\text{N}$ vor allem in ihren dritten Molaren und T1b, H1 und R1. Ein Zusammenhang zwischen $\delta^{13}\text{C}$ in den Molaren und den Langknochenlängen lässt sich an

¹⁶⁵ Persönliche Mitteilung von Prof. Dr. Gisela Grupe (16.02.2015).

den verfügbaren Daten nicht feststellen. Da ihre Langknochen trotz der ausreichenden Proteinmenge kleiner wurden, könnte vermutet werden, dass möglicherweise die Gesamtkalorienmenge nicht ausreichte, die für die Bioproteinsynthese notwendig gewesen wäre. Diese Wechselbeziehung zwischen Proteinen und Energie wurde bereits in verschiedenen Studien beschrieben (Kashyap et al. 1988; Sanders 1988; Denne et al. 1991; Deschner et al. 2012; Shils et al. 1999¹⁶⁶). Nach Sanders (1988) lässt sich die ungenügende Energieaufnahme in erster Linie auf geringen Konsum von Fett zurückführen. Ob sich die hier beobachteten Ergebnisse damit erklären lassen, oder ob hierfür andere Gründe vorliegen, lässt sich nicht abschließend klären. Da der Kohlenstoff im Kollagen nur den Kohlenstoff aus Nahrungsproteinen reflektiert und nicht solchen aus Nahrungsfetten oder Kohlenhydraten, erlaubt die stabile Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenanalyse im Kollagen keine Aussagen über die potenziellen Energieträger. Chronische Mangelernährung, bei der auch die eigenen Proteinreserven erschöpft wären, am Skelett erkennbare Pathologien oder auch der Einfluss von Düngemitteln, welche zu höheren $\delta^{15}\text{N}$ führen (Bogaard et al. 2013; Fraser et al. 2013; Knipper et al. 2012), genauso wenig wie der Verzehr von Hülsenfrüchten, was deutlich niedrigere $\delta^{15}\text{N}$ aufzeigen würde, können als Erklärung für diese negative Korrelation zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und den Langknochenmaßen ausgeschlossen werden. Der Einfluss von Dünger kann in diesem Fall auch deshalb ausgeschlossen werden, da zu erwarten wäre, dass nicht nur die Männer, sondern auch die untersuchten Frauen aus diesem Areal durchgehend deutlich höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte nicht nur in ihren Molaren, sondern auch in ihren Rippen aufweisen würden.

Während bei Frauen aus der älteren Linienbandkeramik der Zusammenhang zwischen den Isotopendaten in ihren Molaren und ihren Langknochenlängen nicht geprüft werden konnte, weil nur sehr wenige hier berücksichtigte Langknochenmaße verfügbar waren, konnte bei Frauen aus der mittleren-jüngeren Linienbandkeramik vor allem zwischen $\delta^{13}\text{C}$ in ihren ersten Molaren und F1, T1b und H1 ein linearer Zusammenhang und eine, anders als bei Männern aus Areal II, positive Korrelation festgestellt werden. Wie bei Männern aus demselben Areal I zeigen die $\delta^{15}\text{N}$ in ihren zweiten und dritten Molaren auch negative Korrelation mit dem R1-Maß. Ein häufiger Zusammenhang zwischen $\delta^{15}\text{N}$ oder $\delta^{13}\text{C}$ in den Molaren und einem der Langknochenmaßen, bzw. einem der oberen oder unteren Extremitätenknochen und damit auch die Beobachtung von Welte und Wahl (2010), dass die Wachstumsschübe v. a. am Femur und Humerus sichtbar werden, war im Rahmen dieser Pilotstudie nicht erkennbar.

¹⁶⁶ Shils et al. (1999) unterscheiden zwischen milder, moderater und schwerer Protein-Energie-Mangelernährung (PEM), wobei bei der milden PEM, im Gegensatz zu den anderen beiden Arten von PEM, nur eine Unterversorgung mit Energie zu verzeichnen ist, was bei den Männern aus Areal I vermutet werden könnte.

Hinsichtlich der Langknochenlänge machte sich ein stärkerer Geschlechtsdimorphismus zwischen Männern und Frauen aus Areal II bemerkbar. Da auch der Unterschied in $\delta^{15}\text{N}$ in den Molaren von Männern und Frauen aus Areal II stärker ist, wäre das ein Hinweis darauf, dass bei diesen Individuen der Stickstoff und möglicherweise das tierische Protein, weil Stickstoff, wie bereits erwähnt, v. a. in tierischen Nahrungsmitteln vorkommt, ein wichtiger Faktor bezüglich des Knochenwachstums war. Die beobachteten positiven Korrelationen zwischen $\delta^{15}\text{N}$ in den Zähnen und den Langknochenlängen bei Individuen aus der älteren Phase der LBK stimmen mit der Annahme besserer Lebensbedingungen, höherer Lebenserwartungen und eines besseren Gesundheitszustandes überein. Trotz geschlechtsspezifischer Unterschiede haben sie möglicherweise mehr rotes Fleisch verzehrt, was sie weniger anfällig für Krankheiten machte (Larsen 1997). Zudem konnte in einer Untersuchung von Price et al. (2003) am selben Material festgestellt werden, dass sich die Individuen aus Areal II viel abwechslungsreicher ernährt haben, was sich positiv auf das Wachstum ausgewirkt haben könnte, wie im Kapitel II ausführlicher diskutiert wurde.

Die anhand der Langknochenmaße geschätzte Körperhöhe korreliert bei Männern aus Areal I, wie bei den Langknochen, negativ mit $\delta^{15}\text{N}$ in allen drei Molaren und bei Frauen positiv mit $\delta^{13}\text{C}$ in ihren ersten Molaren. Ganz andere Ergebnisse als bei den Langknochen lieferte die Prüfung des Zusammenhangs zwischen den Isotopendaten in den Molaren und der Körperhöhe von Männern und Frauen aus Areal II. Bei den Männern konnte eine positive Korrelation zwischen $\delta^{13}\text{C}$ in ihren ersten Molaren sowie eine negative Korrelation zwischen $\delta^{15}\text{N}$ in ihren dritten Molaren und der Körperhöhe beobachtet werden. Bei Frauen lag sowohl zwischen $\delta^{15}\text{N}$ in ihren ersten und zweiten Molaren als auch zwischen $\delta^{13}\text{C}$ in ihren ersten Molaren und der Körperhöhe eine positive Korrelation vor. Diese Diskrepanz zwischen den Korrelationen mit den Langknochen und der Körperhöhe zumindest bei Männern aus Areal II, zumal der Zusammenhang mit den Langknochen bei Frauen aus diesem Gräberfeldareal nicht beurteilt werden konnte, könnte damit zusammenhängen, dass nur bei der Hälfte der in diese Untersuchung eingegangenen Individuen die Körperhöhe anhand von F1 geschätzt werden konnte, im Gegensatz zu Individuen aus Areal I, bei denen fast ausschließlich F1 für die Schätzung der Körperhöhe herangezogen werden konnte. Die Ermittlung der Körperhöhe eines Individuums anhand von verschiedenen Langknochen kann nach eigenen Erkenntnissen zu Unterschieden von bis zu 10cm führen, was bei Weiterverwendung dieses Ergebnisses für andere Analysen zu starken Abweichungen und damit zu keinen klaren Mustern in den Ergebnissen führen kann. Aus diesem Grund, und wie bereits von Klein Goldewijk und Jacobs (2013) empfohlen wurde, ist es ratsamer, zumindest bei gut erhaltenen Langknochen und ho-

her Stichprobenzahl, mit Rohdaten, in diesem Fall mit erhobenen Langknochenmaßen, als mit aus diesen ermittelten Körperhöhen zu arbeiten. F1 scheint somit verlässliche Daten zu liefern, sodass eine Schätzung der Körperhöhe anhand von diesem Femur-Maß weiterhin empfohlen werden kann.

Die aus den Rippen gewonnenen Isotopendaten zeigen ein relativ homogenes Bild und lassen nur geringe Unterschiede zwischen den beiden Arealen oder den Geschlechtergruppen erkennen. Die $\delta^{15}\text{N}$ in den Rippen der Männer aus beiden Arealen sind etwas höher als die in den Rippenproben der Frauen, und der Unterschied in $\delta^{15}\text{N}$ zwischen Männern und Frauen ist im Areal II größer als im Areal I. Somit scheinen die Männer aus beiden Arealen im Erwachsenenalter einen bevorzugten Zugang zu Proteinquellen gehabt zu haben. Das würde bedeuten, dass die erwachsenen Männer über die gesamte Linienbandkeramik hindurch besseren Zugang zu tierischem Protein hatten als die Frauen. Dieser geschlechtsspezifische Unterschied hinsichtlich des Ernährungsverhaltens erwachsener Individuen konnte an anderen linienbandkeramischen Fundstellen, etwa in Mitteldeutschland (Oelze et al. 2011a) oder Bayern (Bickle et al. 2011), nicht festgestellt werden. Die Isotopenanalyse an Tierresten von Stuttgart-Mühlhausen (Knipper, im Druck) ergab, dass die Individuen eine hinsichtlich der Kohlenstoffquelle hauptsächlich, wie zu erwarten war, auf C3-Pflanzen basierende Nahrung konsumiert haben. Da der aus der Nahrung assimilierte Stickstoff eine Trophiestufe (2,3‰) über den Herbivoren und Omnivoren lag, kann davon ausgegangen werden, dass hauptsächlich das Fleisch dieser Tiere, und zwar in erster Linie Rind, gefolgt von Schwein und Schaf/Ziege, in beiden Arealen verzehrt wurde (Stephan 2005). Nach Hedges et al. (2007a) bedeutet ein Unterschied in $\delta^{15}\text{N}$ von 3,5-4‰ zwischen Menschen und Tieren von derselben Fundstelle, dass über 50% tierisches Protein konsumiert wurde. Da die Trophiestufe für die Individuen aus Stuttgart-Mühlhausen etwas niedriger ist, kann davon ausgegangen werden, dass weniger tierisches Protein konsumiert wurde. Es ist zwar anzunehmen, dass die Individuen aus Areal II, und hier vor allem die Männer, aufgrund der Hinweise auf die Jagd, mehr Wildtierfleisch verzehrt haben, jedoch weisen beide hier beprobten Geschlechtergruppen aus Areal I, etwas höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte. Dies ließe sich möglicherweise mit Konsum von Milch und Milchprodukten erklären, welches in einer separaten Untersuchung am Zahnstein derselben Individuen geprüft wird. Für die Individuen aus dem Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen kann daher eine Mischnahrung aus Komponenten pflanzlichen, v. a. Einkorn und Emmer (Rösch 1992), und tierischen Ursprungs postuliert werden (Knipper, im Druck).

Beim Vergleich der aus den Rippen von Männern und Frauen von Stuttgart-Mühlhausen gewonnenen N- und C-Isotopendaten mit denen aus ihren Molaren, lässt sich

weder zwischen den ersten, noch zwischen den zweiten oder den dritten Molaren von Männern aus Areal II und ihren Rippen ein eindeutiger Unterschied erkennen. Bis auf die hohen $\delta^{15}\text{N}$ in ihren ersten Molaren zeigen die anderen Molaren der Frauen aus diesem Gräberfeldareal ebenfalls kaum nennenswerte Unterschiede zu den Isotopenverhältnissen in ihren Rippen. Eine klare Trennung bezüglich der Ernährungsgewohnheiten zwischen Erwachsenen und Heranwachsenden, wobei ein großer Unterschied in N- und C-Isotopenverhältnissen insbesondere zwischen drei und neun Jahren in den Molaren und Rippen zu erwarten wäre (Richards et al. 2002), scheint es bei den hier untersuchten Individuen aus der älteren Linienbandkeramik nicht gegeben zu haben. Im Gegensatz dazu werden die $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ bei Männern aus Areal I mit dem dritten Molar höher bzw. negativer als die Isotopenverhältnisse in ihren Rippen, und bei Frauen aus demselben Gräberfeldbereich werden diese Unterschiede bereits mit dem zweiten Molar sichtbar. Möglicherweise war das, wie bereits erwähnt, der entscheidende Grund für den Anstieg der Körperhöhe dieser Frauen, weil sie über einen längeren Zeitraum besser als Männer mit Proteinen und eventuell auch mit Energie versorgt waren (vgl. auch Rosenstock 2014, Abb. 3). Außerdem zeigen ihre Individualdaten, wie die der Männer aus Areal II, meist nur geringfügige Differenzen zwischen den Isotopenverhältnissen in ihren Molaren und den Rippen, was für eine kontinuierlich gute Nährstoffversorgung während der gesamten Wachstumsphase und im Erwachsenenalter sprechen würde. Es könnte vermutet werden, dass bei Männern aus Areal I trotz verbesserter Nährstoffversorgung ab der Pubertät vielleicht die Gesamtkalorienmenge nicht ausreichte, um die niedrigen $\delta^{15}\text{N}$ in der Kindheit wettzumachen, weshalb ihre Körperhöhe unter der der Männer aus Areal II blieb. Weiterhin wäre die stärkere physische Aktivität, wie sie an den beiden Femur-Robustizitätsindices zum Vorschein kommt, die einen höheren Energieverbrauch zur Folge hatte, als weiterer Grund für die niedrige Körperhöhe der Männer in der mittleren und jüngeren Linienbandkeramik in Erwägung zu ziehen.

Dass die im Durchschnitt höheren Stickstoffisotopenverhältnisse in den zweiten und dritten Molaren der Frauen aus Areal I im Vergleich zu ihren Rippen mit erhöhter Proteinbiosynthese während der Wachstumsphase und dem Katabolismus zusammenhängen könnten, ist unwahrscheinlich, da dieser Effekt auch an den Molaren von Frauen aus Areal II zu erwarten wäre.¹⁶⁷ Beide Geschlechter aus Areal I scheinen in ihrer Pubertät, bzw. die Frauen noch früher, eher etwas konsumiert zu haben, was später im Erwachsenenalter kein fester Bestandteil ihrer täglichen Nahrung mehr war. Es wäre denkbar, dass die Kinder, bzw. besonders die

¹⁶⁷ Höhere Proteinbiosynthese führt zu einer höheren Produktion von Stoffwechselprodukten, wodurch isotopisch leichter Stickstoff (^{14}N) verloren geht und sich das schwere Stickstoffisotop (^{15}N) im wachsenden Gewebe anreichert (Roth, Hobson 2000).

Frauen als junge Mädchen für das Melken der Tiere und die Verarbeitung von Milch zuständig waren, was bereits in vielen Kulturen beobachtet wurde (Bodley 2011; Myrdal 2008; Simonton 1998; Finke 2005; Fagan 2004).¹⁶⁸

Der Konsum von Fleisch und Milch lässt sich allein anhand von Stickstoffisotopenverhältnissen jedoch nicht unterscheiden. Die Präsenz des Hausrindes ist in Mitteleuropa zwar seit ca. 5500 v. Chr. belegt, ein sicherer Nachweis über die Verwendung von Milch in der Linienbandkeramik steht aber noch aus. Das Schlachtprofil von Rindern und Ziegen lässt für Südosteuropa und Süddeutschland den Beginn der Milchwirtschaft zwischen 7000 und 6500 BP vermuten (Benecke 1994). Die von Bogucki (1984) als zum Zweck der Herstellung von Käse aus Milch interpretierten Siebgefäße im linienbandkeramischen Fundmaterial können, müssen aber nicht zwangsläufig (nur) diesem Zweck gedient haben. So konnte Rottländer in solchen Siebgefäßen an zwei Fundplätzen, Aldenhoven und Zambujal, Fett öltreicher Pflanzensamen nachweisen (Rottländer 1995). Durch Lipidanalysen mittels $\delta^{13}\text{C}$ von Hauptfettsäuren in Keramikgefäßen aus dieser Zeit konnten bereits MilCHFette nachgewiesen werden (Evershed et al. 2008; Salque 2012, Salque et al. 2013).¹⁶⁹ Die Autoren vermuten, dass Milch bereits vor 6500 BC im Nahen Osten und in Südosteuropa verarbeitet und haltbar gemacht wurde, und dass die Menschen dieselbe trotz des fehlenden Nachweises des Allels -13,910*T für die Laktosetoleranz (Burger et al. 2007) verzehren konnten.^{170,171} Einen Schwachpunkt hat diese Methode allerdings, nämlich, dass es mit ihr noch nicht gelungen ist, MilCHFettsäuren vom Rind, Schaf und von der Ziege voneinander zu unterscheiden (Hong et al. 2012).

¹⁶⁸Verschiedene Behandlungsverfahren von Milch können unterschiedliche Auswirkungen auf unterschiedliche Bestandteile in der Milch, wie Vitamine und Mineralstoffe, aber auch auf die biologische Wertigkeit des Proteins haben (Kohn 1947). Die entsprechenden Einflussdifferenzen auf das Wachstum scheinen aber nur sehr gering zu sein (Orr 1928; Leighton, Clark 1929).

¹⁶⁹Die beiden Hauptfettsäuren, die untersucht werden, sind $\text{C}_{16:0}$ (Palmitinsäure) und $\text{C}_{18:0}$ (Stearinsäure). Da C_{16} von den Milchdrüsen selbst gebildet wird, und C_{18} aus der Nahrung stammt, reichern sie sich unterschiedlich stark an, sodass zwischen Milch und Körperfett ein Unterschied von ca. 3,3‰ besteht (Copley 2003). Nach Evershed et al. (2008, Fig. 3) sind $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von Fettsäuren aus dem MilCHFett von Wiederkäuern um ca. 2,8‰ niedriger als solche aus dem Körperfett von Wiederkäuern und Schweinen.

¹⁷⁰Vor ca. 5000 Jahren soll es in Europa zu einer Mutation gekommen sein, bei der das Protein Beta Casein bei ursprünglichen Rinderrassen, den sog. A2-Kühen, mutiert ist, und welches bei der Verdauung zu Beta Casomorphin 7 umgebaut wird. Diese Kühe werden A1-Kühe genannt, und die Mutation hat die Verdauung der Milch dieser Kühe für den Menschen zusätzlich erschwert und verschiedene Krankheiten mit sich gebracht (Woodford 2008).

¹⁷¹Seit wann Menschen in Mitteleuropa das Enzym Laktase zur Spaltung des Milchzuckers Laktose auch im Erwachsenenalter besitzen, ist noch nicht bekannt. Burger (2011,78) verwendet dafür den Begriff ‚adulte Laktasepersistenz‘ (<http://www.uni-mainz.de/FB/Biologie/Anthropologie/MoLA/Deutsch/Downloads/Burger%20Universitas%202011.pdf>) (Stand: 02.12.2014), der jedoch irreführend ist, da es keine infantile oder juvenile Laktasepersistenz gibt, sondern das Enzym Laktase im Erwachsenenalter entweder persistiert, also weiterhin produziert wird, oder nicht. Das bedeutet, dass sich Laktasepersistenz von Anfang an auf den erwachsenen Menschen bezieht. Auch wenn Laktosetoleranz für die Linienbandkeramik genetisch nicht nachgewiesen werden konnte, muss es nicht bedeuten, dass gar keine Milch oder Milchprodukte konsumiert wurden und dass Milchwirtschaft gänzlich ausgeschlossen werden muss, da geringe Mengen an Laktose, wie sie sich in vielen Käsesorten, in der Butter oder dem Butterschmalz finden, oft trotz des fehlenden Enzyms Laktase verdaut werden können (Obermayer-Pietsch 2008; Reynard et al. 2011; Duerr 2007). Außerdem ist wissenschaftlich nachgewiesen, dass Joghurt Milchsäurebakterien enthält, die die Laktose auch ohne das Laktase-Enzym abbauen können. Dies ist aber laut Autoren nur möglich, wenn im Joghurt eine ausreichende Menge noch lebender Milchsäurebakterien vorhanden ist (Pelletier et al. 2001).

Laut Obermayer-Pietsch (2008) und Ledochowski et al. (2003) ist die häufigste Form der Laktoseintoleranz, die angeborene sog. ‚primäre adulte Laktoseintoleranz‘, die sich erst deutlich später manifestieren kann. Dies würde bedeuten, dass die Kinder und Jugendlichen aus der hier vorgestellten Stichprobe noch nebenwirkungsfrei unverarbeitete Milch getrunken haben könnten, und dass erst die Erwachsenen die Unfähigkeit entwickelt haben könnten, Laktose aufgrund des Laktase-Mangels zu spalten und zu verdauen. Diese Vermutung ließe sich mit den Isotopendaten aus Rippenproben von Männern und Frauen aus Areal I erklären, wobei die $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in den Rippen der Männer niedriger sind als in ihren dritten Molaren, bzw. bei Frauen in den zweiten und dritten Molaren. Basierend auf dieser Tatsache sollte in diesem Zusammenhang nach Obermayer-Pietsch besser von ‚Hypolaktasie‘ und ‚Laktose-Maldigestion‘ gesprochen werden, da unbekannt ist, ob diese Stoffwechselveränderung zu klinischen Symptomen, also tatsächlich zu einer Laktoseintoleranz, geführt hat (siehe auch Ledochowski et al. 2003). Um die Hypothese des möglichen Milchkonsums seitens der Individuen aus der mittleren-jüngeren Linienbandkeramik aus dem Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen zu prüfen, würde es sich anbieten, zusätzlich entweder die oben genannte Rückstandsanalyse zum Nachweis von Milchfetten in erhaltenen Keramikgefäßen, eine molekulargenetische Analyse an den hier untersuchten Individuen hinsichtlich der Hypolaktasie oder eine Ca-Isotopenanalyse ($^{44}\text{C}/^{42}\text{C}$) durchzuführen (Reynard et al. 2011). Mittels der Ca-Isotopenanalyse kann der Milchkonsum direkt am zu untersuchenden Individuum nachgewiesen werden. Da die Ca-Isotopenverhältnisse in Milch niedriger sind als in Pflanzen und im Fleisch, müssten Individuen, die Milch und Milchprodukte konsumieren, niedrigere Ca-Isotopenverhältnisse aufweisen als Individuen, die keine Milchprodukte konsumieren. Wie beim $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ sind Ca-Isotopendaten von Tieren und optimalerweise auch von Pflanzen von derselben Fundstelle notwendig, um eine vernünftige Auswertung der Daten zu ermöglichen. Was zusätzlich für einen (intensiveren) Konsum von Milch oder Joghurt in der mittleren-jüngeren Linienbandkeramik sprechen könnte, ist die geringere Häufigkeit von Kariesbefall bei Männern und Frauen aus Areal I. Wie in einer Untersuchung von Patti und Tarsitani (2000) gezeigt werden konnte, kann der achtwöchige Konsum von Joghurt die Anzahl der Schleimstreptokokken und Laktobacilli reduzieren, weshalb die Autoren von Joghurt als kariesspräventives Lebensmittel sprechen. Außerdem ließ die Untersuchung des Humerus-Längendicken-Index nur bei Frauen aus Areal I einen Zusammenhang mit $\delta^{15}\text{N}$ in ihren Rippen erkennen. Je höher die Indexwerte waren, umso höher waren auch die Stickstoff-, aber nicht Kohlenstoffisotopenverhältnisse in ihren Rippen. Es ist denkbar, dass die Frauen, die Tiere gemolken haben, einen regelmäßigen Zugang zu dieser Proteinquelle hatten, von der letztlich

auch ihr Längenwachstum profitierte. Die Untersuchung des Femur-Index platymericus ergab für Frauen aus Areal I eine signifikant geringere Belastung der Femora und geringere Mobilität als für Frauen aus Areal II, was die Annahme der Zuständigkeit der Frauen für das Melken und die Verarbeitung von Milch unterstützen würde, also Aufgaben, bei denen eher ihre Ober- als Unterextremitäten belastet wurden. Außerdem blieb durch die geringere körperliche Belastung mehr Energie für ihr Längenwachstum übrig. Der Konsum roher Milch hätte nicht nur höhere Protein- und Calziumaufnahme zur Folge gehabt, sondern es blieben auch mehr Proteine für das Wachstum verfügbar, weil Rohmilch im Vergleich zu fermentierter Milch mehr Energie enthält und IGF-1 in fermentierter Milch denaturiert wird. Wie zu Beginn dieser Arbeit erwähnt, ist es jedoch fraglich, ob oral eingenommener IGF-1 überhaupt anabol wirken kann. Eine Untersuchung pathologischer Veränderungen an Skeletten der Individuen aus Areal I im Hinblick auf eine mögliche Brucellose¹⁷² wäre ebenfalls sinnvoll, zumal laut der Bearbeiterin des anthropologischen Materials, Eva Burger-Heinrich, an vielen adulten und älteren Skelettindividuen entzündliche Prozesse am ganzen Körper zu beobachten waren. Davon sind insbesondere die Wirbel und Rippen betroffen, und flächige sekundäre Knochenneubildungen finden sich bei über einem Drittel der ausgegrabenen Individuen. Als problematisch erweist sich hierbei aber die Tatsache, dass diese Krankheit am Skelettmaterial bisher kaum beschrieben wurde, und dass wenig über das diagnostische Erscheinungsbild und Variationen desselben bekannt ist.

Für die Prüfung des Einflusses von unspezifischen Stressindikatoren auf das Längenwachstum bei Individuen von Stuttgart-Mühlhausen standen nur wenige Daten zur Verfügung, die folglich kein eindeutiges Ergebnis lieferten. Die positive Korrelation und der lineare Zusammenhang zwischen den N- und C-Isotopenverhältnissen in den zweiten Molaren von Individuen mit Cribra orbitalia überraschte nicht, zumal in anderen Studien bereits gezeigt werden konnte, dass diese Porosität im Dach der Augenhöhle am häufigsten in der Altersstufe infans II auftritt (siehe Kapitel 3.1.1.2). Ein Zusammenhang zwischen Cribra orbitalia und der Körperhöhe konnte nicht beobachtet werden. Die Molaren der männlichen Individuen aus beiden Gräberfeldarealen, bei denen Zahnschmelzhypoplasien diagnostiziert wurden, weisen niedrigere $\delta^{15}\text{N}$ und die weiblichen Individuen eher höhere $\delta^{15}\text{N}$ als Individuen ohne Zahnschmelzhypoplasie auf. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass die Frauen und Männer unterschiedlicher Art von Stress litten, oder die Dauer und Intensität von Stress war bei den

¹⁷² Die Brucellose ist eine bakterielle Infektionskrankheit, die durch *Brucella spp.* ausgelöst wird, welche als Parasiten in Säugetieren leben, und vor allem durch den Konsum von roher Milch und Milchprodukten übertragen wird (Trautmann, Trautmann 2011).

Geschlechtern verschieden.¹⁷³ Die Ergebnisse vermitteln kein klares Bild, doch lässt sich, wie bereits in anderen Studien gezeigt wurde (Ribot, Roberts 1996; Jatautis et al. 2011; Haidle 1997) zumindest kein negativer Einfluss auf die Langknochenlängen und die erreichte Körperhöhe weder bei Individuen mit *Cribr orbitalia* noch bei solchen mit Zahnschmelzhypoplasien feststellen. Das Gleiche gilt auch für Zahnfehlstellungen, bei denen kein, wie in anderen Studien angenommen wurde, Zusammenhang mit einem Proteinmangel oder allgemein mit Mangelernährung erkennbar war. Offenbar haben die Männer und Frauen diese Kinderkrankheiten gut überstanden, und mögliche Wachstumsstörungen oder Wachstumsverzögerungen konnten durch das *catch-up growth* aufgeholt werden, sodass sich diese Pathologien an den Langknochen und an der Körpergröße zumindest an den hier untersuchten Individuen nicht negativ ausgewirkt haben.

Auch bezüglich der Pathologien, die sich wahrscheinlich erst im Erwachsenenalter ausgebildet haben, scheint die Intensität und vermutlich auch die Dauer der Krankheit eine entscheidende Rolle zu spielen, wenn es um die Frage geht, ob eine bestimmte Pathologie am Skelett die Isotopendaten beeinflussen kann, und ob der entsprechende, pathologische Knochen von der Isotopenanalyse besser ausgeschlossen werden sollten. Eine genaue Aufnahme aller osteolytischen und osteoplastischen Veränderungen am Skelett kann hierbei hilfreich sein. Bei den hier untersuchten Individuen finden sich Exostosen vor allem im Bereich der Wirbelsäule, und nur in zwei Fällen an Langknochen. Obwohl Exostosen je nach Lokalisation das Längenwachstum beeinflussen können, scheinen sie beispielsweise beim Mann aus Grab I-25 keinen negativen Einfluss auf seine Endkörperhöhe gehabt zu haben, zumal er mit Abstand der größte Mann (172,8cm) unter den berücksichtigten Individuen in diesem Areal ist. Weitere Studien mit höherer Individuenzahl und stärker ausgeprägten Pathologien sind notwendig, um deren Einfluss auf die stabilen N- und C-Isotopenverhältnisse zu prüfen.

Ob im Tertiärdentin ein anderes N- und C-Isotopenverhältnis als im Primärdentin herrscht, wie es zu erwarten wäre, weil sich das Tertiärdentin einerseits zu einem anderen Zeitpunkt bildet und damit andere Ernährung reflektieren müsste, und weil andererseits vermutet werden kann, dass die Mikroorganismen aus der Zahnplaque durch ihre Atmung die Isotopenverhältnisse verändern könnten¹⁷⁴ (siehe Kapitel 4), sollte in dieser Arbeit an wenigen Zähnen ebenfalls geprüft werden. Als problematisch erweist sich dabei jedoch die Tatsache, dass bei der Probenentnahme nicht sicher davon ausgegangen werden kann, dass das Ter-

¹⁷³ In der Regel wird bei der Beurteilung der Zahnschmelzhypoplasien auch die Anzahl der betroffenen Zähne, ihre Stärke sowie die Häufigkeit, mit welcher sie auf einzelnen Zähnen auftreten, berücksichtigt. Diese präzise Befundaufnahme war im Rahmen der vorliegenden Studie jedoch nicht das primäre Anliegen, weshalb sie nicht durchgeführt wurde.

¹⁷⁴ Davon auszuschließen ist das Tertiärdentin, das sich aufgrund starker Abrasionskräfte im betroffenen Bereich der Pulpa bildet.

tiärdentin auch mitbeprobte wurde, und dass die gewonnenen Isotopendaten tatsächlich die Isotopenverhältnisse im Tertiärdentin reflektieren. Ohne Röntgenaufnahmen der untersuchten Zähne und der gezielten Beprobung des Tertiär- und Primärdentins im selben Zahn sowie dem direkten Vergleich derer Isotopendaten können solche Untersuchungen nicht vorgenommen werden. Zudem ließe sich ein erkennbarer Unterschied in Isotopenverhältnissen in diesen beiden Dentinarten nicht immer eindeutig auf die Tätigkeit von Mikroorganismen zurückführen. Es wäre möglich, dass sich die Ernährung während der Bildungszeit des Tertiärdentins von der Ernährung in der Zeit als sich das Primärdentin gebildet hat, unterscheidet, was unterschiedliche Isotopenverhältnisse in beiden Dentinarten zur Folge hätte, und dass die Mikroorganismen beispielsweise in der kariogenen Zahnplaque keinen Einfluss auf die Isotopenverhältnisse im Tertiärdentin hatten. Andererseits wäre es aber bei abweichenden Isotopendaten auch denkbar, dass sie auf die zum ersten Mal in der menschlichen Zahnplaque beobachtete Denitrifikation, bei der u. a. auch Stickstoff entsteht, zurückzuführen sind. Ob dabei die Art und die Intensität des Defektes bzw. der Pathologie eine Rolle spielen, ist allerdings noch ungeklärt. Röntgengestützte Untersuchung einer größeren Stichprobe sowie genaue Aufnahme des Defektgrades könnten helfen, um dieser Problemstellung weiter nachzugehen.

Ein Zusammenhang zwischen Grabbeigaben und dem höheren $\delta^{15}\text{N}$ in den Rippen der untersuchten Individuen von Stuttgart-Mühlhausen konnte nicht gefunden werden (siehe auch), was mit Beobachtungen etwa von Siegmund (2010) und Obertová (2008), aber auch von Knipper (im Druck) am selben Skelettmaterial übereinstimmt. Genauso wenig war eine Beziehung zwischen Grabbeigaben und der Körperhöhe erkennbar. Da der soziale Status anscheinend nicht an eine bestimmte Tätigkeit oder an einen bestimmten Beruf gekoppelt war, bedeutet das zugleich, dass auch alle anderen Tätigkeiten, die eventuell nicht der gesamten Gesellschaft und dem Gemeinwohl dienten, wahrscheinlich auch eine gewisse Anerkennung erfahren haben. Da bei der Berechnung der Robustizitätsindices trotzdem nicht nur Unterschiede zwischen den Geschlechtern, sondern auch innerhalb der Geschlechtergruppen zum Vorschein gekommen waren, kann von einer Arbeitsteilung, allerdings ohne starke soziale Differenzierung ausgegangen werden (Seitz 1987).

Beim Vergleich der Stickstoff- und Kohlenstoffisotopendaten von Individuen im Areal I aus dem Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen mit solchen von Schwetzingen, die demselben Zeithorizont angehören, fällt auf, dass die $\delta^{15}\text{N}$ in den Molaren sowohl bei Männern als auch bei Frauen von Schwetzingen niedriger und die $\delta^{13}\text{C}$ positiver sind. Anders als in beiden Gräberfeldarealen von Stuttgart-Mühlhausen konnte zwischen Männern und Frauen aus dem

Gräberfeld vom Schwetzingen kein Unterschied in $\delta^{15}\text{N}$, aber ein hoch signifikanter Unterschied in $\delta^{13}\text{C}$ in allen drei Molaren, das heißt im Verlauf der gesamten Kindheit und Jugend, festgestellt werden, wobei die Männer positivere $\delta^{13}\text{C}$ aufweisen. Klare Unterschiede lassen sich zwischen Individuen mit nicht-lokalem und lokalem Strontiumisotopensignal nicht erkennen, sodass davon ausgegangen werden kann, dass beide Individuengruppen die gleichen Proteinquellen konsumiert haben. Eine Anreicherung des schweren ^{15}N ist bei Männern wie bei Männern aus Areal I von Stuttgart-Mühlhausen zu beobachten, wohingegen die Frauen von Schwetzingen, im Gegensatz zu Frauen aus Areal I, die niedrigsten Stickstoffisotope in ihren zweiten Molaren und keine Unterschiede in ihren zweiten und dritten Molaren aufweisen. Anders als bei Frauen aus Areal II mit ebenfalls niedrigsten $\delta^{15}\text{N}$ in ihren zweiten Molaren, kann bei den Frauen aus Schwetzingen nicht eindeutig davon ausgegangen werden, dass dieses Ergebnis mit dem Abstillstress zusammenhängen könnte, zumal die $\delta^{15}\text{N}$ ihrer ersten im Vergleich zu ihren zweiten und dritten Molaren nur leicht bzw. gar nicht erhöht sind.¹⁷⁵

Trotz der sehr ähnlichen $\delta^{15}\text{N}$ in ihren Molaren macht sich ein deutlicher Geschlechtsdimorphismus bei Individuen von Schwetzingen hinsichtlich ihrer Langknochenlängen bemerkbar. Bei Männern konnten positive Korrelationen zwischen den $\delta^{15}\text{N}$ in ihren dritten Molaren und F1 und R1, sowie eine negative Korrelation zwischen $\delta^{15}\text{N}$ in ihren zweiten Molaren und R1 konstatiert werden. Anders als bei Frauen aus Areal I besteht eine positive Korrelation zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und den ersten Molaren bei Frauen von Schwetzingen und eine negative Korrelation zwischen $\delta^{13}\text{C}$ und ihren zweiten Molaren. Wie bei Individuen von Stuttgart-Mühlhausen scheinen die linearen Zusammenhänge auch bei Männern aus diesem Gräberfeld v. a. in der späten Kindheit und der Pubertät vorzuliegen, während sich diese Zusammenhänge bei Frauen erneut eher in der frühen Kindheit andeuten.

Ein linearer Zusammenhang zwischen den ermittelten Körperhöhen und den gewonnenen Isotopendaten in den einzelnen Molaren konnte weder für Frauen noch für Männer beobachtet werden. Die Körperhöhe scheint unabhängig von Stickstoff aus den assimilierten Nahrungsproteinen zu sein, jedoch signalisieren erneut leicht positivere Kohlenstoffisotopendaten bei Männern in allen drei Molaren einen, auch wenn nicht linearen, Zusammenhang mit der Körperhöhe. Dies wird auch beim Vergleich der beiden Gräberfelder deutlich (Tab. 73). Trotz der niedrigeren $\delta^{15}\text{N}$ bei beiden Geschlechtern aus dem Gräberfeld von Schwetzingen weisen diese größere Körperhöhe auf als die Individuen aus Areal I von Stuttgart-

¹⁷⁵ Da in den Prämolaren, die zwischen 3 und 8 Jahren mineralisieren, und die von Bentley et al. (2013) für die stabile Isotopen- und Strontiumisotopenuntersuchung an Individuen aus Schwetzingen beprobt wurden, erhöhte $\delta^{15}\text{N}$ gemessen wurden, vermuten die Autoren, dass diese auf ein Stillsignal zurückzuführen sind. Die Ergebnisse der hier untersuchten Individuen aus Schwetzingen können dieses Ergebnis nicht klar bestätigen und die niedrigeren $\delta^{15}\text{N}$ in ihren zweiten Molaren können nicht eindeutig als Abstillstress in Folge des Übergangs zur festen Nahrung interpretiert werden.

Mühlhausen. Hier scheinen v. a. die pflanzlichen Proteine aus dem Getreide, aus verschiedenen Nüssen und Beeren eine, hinsichtlich der Nahrung, stärkere Rolle beim Längenwachstum gespielt zu haben.

	$\delta^{15}\text{N}$	SM (AI)	SW		KH	SM (AI)	SW	
m/j LBK	♀	9,9 (6 ID)	9,1 (10 ID)	↓	♀	150,6 (6 ID)	152,8 (10 ID)	↑
	♂	9,7 (6 ID)	9,1 (8 ID)	↓	♂	162,3 (6 ID)	166,4 (8 ID)	↑
		$\delta^{13}\text{C}$						
	♀	-21,2 (6 ID)	-20,9 (10 ID)	↑	♀	150,6 (6 ID)	152,8 (10 ID)	↑
	♂	-21,0 (6 ID)	-20,2 (8 ID)	↑	♂	162,3 (6 ID)	166,4 (8 ID)	↑

Tab. 73 Zusammenhang zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Molaren von Frauen und Männern aus den Gräberfeldern von Stuttgart-Mühlhausen und Schwetzingen der mittleren/jüngeren Linienbandkeramik und der Körperhöhe im Vergleich.

Bei Betrachtung der Langknochenlängen innerhalb beider Geschlechtergruppen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen und dem Areal I von Stuttgart-Mühlhausen zeigt sich ein deutlicher Unterschied hinsichtlich aller in dieser Studie berücksichtigten Langknochenlängen. Dabei weisen die Männer aus dem Gräberfeld von Schwetzingen merklich längere Knochen auf und sind ca. 4cm größer, während dieser Unterschiede bei Frauen etwas geringer ist und ca. 2cm beträgt, wobei auch hier die Frauen von Schwetzingen größer sind als die Frauen aus dem Areal I von Stuttgart-Mühlhausen. Aufgrund der Tatsache, dass die Männer aus dem Gräberfeld von Schwetzingen ihre Ober- und Unterextremitäten sowie die Frauen ihre Oberextremitäten weniger stark beansprucht haben, könnte diese moderate physische Aktivität zu einer größeren Körperhöhe dieser Individuen im Vergleich zu denen aus Areal I von Stuttgart-Mühlhausen beigetragen haben. Der deutlich niedrigere Femur Index platymericus bei Frauen aus Schwetzingen im Vergleich zu solchen aus Areal I von Stuttgart-Mühlhausen ist mit stärkerer Mobilität derselben zu erklären und der Tatsache, dass viele Frauen kein lokales Strontiumisotopensignal aufweisen und keine Einheimischen waren. Trotz des scheinbar negativen Einflusses höherer Belastung der Femora auf die Körperhöhe der Individuen aus Schwetzingen, wie dies an den Zusammenhänge zwischen dem Femur-Index platymericus und der Körperhöhe festgestellt werden konnte, überragten beide Geschlechter in ihrer Statur die Frauen und Männer aus Stuttgart-Mühlhausen. Auch im Vergleich zu Individuen aus anderen linienbandkeramischen Fundstellen, wie Trebur oder Ensisheim, weisen die Individuen von Schwetzingen signifikant grazilere Knochen auf (Meyer, Alt 2005). Für eine stärkere Belastung des Körpers bei Männern und Frauen aus Areal I spricht auch die doppelt so häufige Feststellung von Exostosen an ihren Skeletten (66,7% im Vergleich zu 33,3% für Schwetzingen). Die

beobachteten Unterschiede in Aktivitätsmuster zwischen Individuen aus Areal I von Stuttgart-Mühlhausen und von Schwetzingen können auf unterschiedliche Wirtschaftsweisen oder auf Unterschiede hinsichtlich des technologischen Fortschrittes hindeuten. Überdies könnte vermutet werden, dass die drei Männer von Schwetzingen mit nicht-lokalem Strontiumsignal (Grab 93, 169 und 220) mit ihrer größeren Körperhöhe das Ergebnis verfälschen, allerdings weisen die Frauen aus demselben Gräberfeld größere Körperhöhen als die Frauen aus Areal I von Stuttgart-Mühlhausen auf, obwohl für die drei Frauen (Grab 9, 99 und 109) mit eindeutig fremdem Strontiumisotopensignal die niedrigsten Körperhöhen gemessen wurden.¹⁷⁶

Die Korrelationen zwischen stabilen Isotopenverhältnissen in den zweiten und dritten Molaren bzw. in beprobten Abschnitten derselben und den Langknochenmaßen bei Männern aus beiden Gräberfeldern könnten dem Zeitpunkt für das Einsetzen des ersten Gestaltwandels einerseits, den Welte und Wahl (2010) für die subadulten Jungen und Mädchen aus beiden Gräberfeldern auf 6-7 Jahre festlegten, sowie des pubertären Wachstumsschubs andererseits, dem *adolescent growth spurt*, den die beiden Autoren für subadulte Jungen im Alter von 14,5 Jahren beobachten konnten, entsprechen. Im Gegensatz zu den Männern konnten diese Korrelationen bei den Frauen aus beiden Gräberfeldern eher bei den ersten und zweiten Molaren festgestellt werden, was v. a. dem ersten Gestaltwandel entsprechen würde. Dies könnte daran liegen, dass Mädchen früher reifen als Jungen, und dass sie deshalb stärkeren Zusammenhang zwischen dem Knochenwachstum und der Ernährung in früher Kindheit und die Jungen eher in später Kindheit und Jugend zeigen, was auch den bisher in rezenten Studien beobachteten und zu Beginn dieser Arbeit beschriebenen Wachstumsprozessen bei Jungen und Mädchen entspricht. Die Frage, ob dieser vermutete Zusammenhang zwischen erhöhtem Proteinbedarf und der Wachstumsschübe in Wahrheit gar nicht gegeben ist, wie Aerenhouts et al. (2013) in ihrer Studie behaupten, oder ob möglicherweise eher höherer Energiebedarf in Zeiten intensiven Wachstums besteht, kann anhand der verfügbaren Daten nicht beantwortet werden.

Obwohl sich Unterschiede im Ernährungsverhalten bezüglich $\delta^{13}\text{C}$ zwischen den Geschlechtern und innerhalb der Geschlechtergruppen während der Kindheit und Jugend andeuten, was aus den Isotopendaten in Molaren hervorgeht, sind fast keine Unterschiede mehr im Erwachsenenalter erkennbar und die $\delta^{13}\text{C}$ in ihren Rippenproben sind sehr ähnlich.¹⁷⁷ Eine Ausnahme bildet die Frau aus Grab 131 mit negativeren $\delta^{13}\text{C}$ -Werten im Vergleich zu anderen untersuchten Frauen aus diesem Gräberfeld. Eine fortgeschrittene *Cribra orbitalia*, die bei

¹⁷⁶ Siehe Bentley et al. (2013, Tab. 7.3) oder Anhang Tab. 1 und Abb. 14.

¹⁷⁷ Eine stabile N- und C-Isotopenanalyse vorwiegend an Rippen von 109 Individuen aus Schwetzingen (Bentley et al. 2013) erbrachte sehr ähnliche Ergebnisse wie sie an nur 18 Individuen im Rahmen dieser Pilotstudie zum Vorschein kamen. Der Mittelwert für $\delta^{15}\text{N}$ in Rippenproben der Männer lag bei 9,0‰ und für $\delta^{13}\text{C}$ bei -20,1 ‰. Bei Frauen lagen die entsprechenden Werte bei 8,9‰ bzw. bei -20,2‰ (Bentley et al. 2013, Tab. 7.6).

ihr konstatiert wurde, kann diese Beobachtung kaum erklären, da hinsichtlich dieser Krankheit bei Frauen eher ein Zusammenhang mit niedrigen $\delta^{15}\text{N}$ -Werten festgestellt wurde. Möglicherweise unterschied sich ihre Ernährung bezüglich der Kohlenstoffquelle von anderen untersuchten Frauen, jedoch lassen sich solche Individualdaten nur sehr schwer zufriedenstellend interpretieren. Ein Vergleich zwischen den Stickstoffisotopenwerten in Molaren und Rippenproben erbrachte bei Männern, wie im Falle von Männern aus Areal I, höhere $\delta^{15}\text{N}$ in ihren dritten Molaren im Vergleich zu ihren Rippen. Im Gegensatz zu den Frauen aus Areal I waren nicht die $\delta^{15}\text{N}$ in den zweiten und dritten, sondern in den ersten und dritten Molaren der Frauen von Schwetzingen höher als dieselben in ihren Rippen. Wie bereits an anderer Stelle erwähnt, könnten die erhöhten Stickstoffwerte in den ersten Molaren eventuell mit dem Stillsignal zusammenhängen. Für die höheren Werte in den dritten Molaren muss, wie bei Frauen aus Areal I, eine andere Erklärung, eventuell ebenfalls der Konsum von Milch oder Milchprodukten in der Pubertät, gefunden werden.

Hinsichtlich der in dieser Studie berücksichtigten Pathologien in der Kindheit und Jugend kann festgehalten werden, dass sie keine negativen Auswirkungen auf das Längenwachstum auch der hier untersuchten Individuen von Schwetzingen gehabt haben. Ein klarer Zusammenhang zwischen diesen Pathologien und den Isotopendaten war nur bei Zahnfehlstellungen erkennbar, wobei bei allen Individuen eher höhere Stickstoffisotopenverhältnisse in ihren Molaren gemessen wurden, was gegen die Annahme spricht, dass diese Krankheit durch einen Proteinmangel verursacht wird. Bezüglich der Cribra orbitalia und den Zahnschmelzhypoplasien ließ sich kein klares Muster feststellen, weshalb von unterschiedlichen Ursachen für diese beiden Pathologien bei Männern und Frauen ausgegangen werden muss. Wie bei den Individuen aus Areal I von Stuttgart-Mühlhausen kann vermutet werden, dass diese Beobachtung möglicherweise mit dem unterschiedlichen Ernährungsverhalten, der aufgrund der Isotopendaten angenommen wird, zusammenhängen könnte. Anders als für Stuttgart-Mühlhausen, soll es nach Trautmann (2006) bei den Individuen von Schwetzingen Hinweise auf Vitamin D-Mangel oder Mangelernährung in der Kindheit geben. Da in dieser Studie nur die erwachsenen Individuen untersucht wurden, lässt sich nur schlussfolgern, dass diese Individuen nichtsdestotrotz offenbar in der Lage waren, die Krankheiten zu überwinden und zu überleben, was besonders in Bezug auf Schwetzingen, wo deutlich häufiger sowohl die Cribra orbitalia (55,6% der untersuchten Individuen von Schwetzingen im Vergleich zu 8,3% der Individuen im Areal I von Stuttgart-Mühlhausen), als auch die Zahnschmelzhypoplasien (66,7% im Vergleich zu 58,3%) und die Zahnfehlstellungen (83,3% im Vergleich zu 33,3%)

beobachtet wurden, im Hinblick auf die hohe Sterblichkeitsrate unter den Subadulten (36,5% nach Gerling 2012) markant ist.

Für die Beurteilung der potenziellen Nahrungsquellen der Individuen von Schwetzingen wurde von Bentley et al. (2013) eine stabile Isotopenanalyse an Tierknochen von Heilbronn-Neckargartach durchgeführt, welche chronologisch mit dem Gräberfeld von Schwetzingen gleichzusetzen ist, weil Schwetzingen bisher keine Siedlung zugeordnet werden konnte. Da das $\delta^{15}\text{N}$ in den Tierknochen starke Ähnlichkeiten mit den Menschenknochen zeigte, war es nicht möglich, eine Trophiestufe zu bestimmen. Auch die Fauna von Herxheim erwies sich hierbei aufgrund der geringen Probenmenge als wenig hilfreich. So konnte von den Autoren anhand der verfügbaren Daten nur vermutet werden, dass die Individuen mit deutlich negativeren $\delta^{13}\text{C}$ ihre Nahrung möglicherweise aus bewaldetem Bergland beschafften. Somit konnten sie zwei Individuengruppen erkennen, nämlich eine, die sich nur von Nahrungsressourcen aus dem lokalen Flachland ernährte, zu der die meisten Individuen gehörten, und eine andere, die wahrscheinlich sowohl die Nahrungsressourcen vom Flach- als auch vom Bergland nutzte.

Angesichts der Zahnerkrankungen kann auch für die Individuen von Schwetzingen von einer Mischwirtschaft ausgegangen werden, wobei diese vermutlich stärker als in Stuttgart-Mühlhausen auf Getreide basierte, was nicht nur der häufigere Kariesbefall (91,7% im Vergleich zu 72,2% für Individuen aus Areal I), sondern auch die niedrigeren $\delta^{15}\text{N}$ sowie die Tatsache, dass bisher keine Trophiestufe weder bei Isotopenanalysen an Tierknochen aus Heilbronn-Neckargartach noch aus Herxheim ermittelt werden konnte, signalisieren. Wie bei Individuen aus Stuttgart-Mühlhausen weisen auch in diesem Gräberfeld die Männer wie Frauen mit kariösen Läsionen niedrigere $\delta^{15}\text{N}$ auf. Unter den untersuchten Individuen scheinen die Männer und Frauen aus Areal I häufiger unter Entzündungen im Mundraum gelitten zu haben, worauf die deutlich höhere Häufigkeit von Parodontitisfällen hinweist (41,7% im Vergleich zu 5,6% für Schwetzingen). Da das beginnende Stadium der Parodontitis eine Gingivitis ist, d. h. eine Zahnfleischentzündung, die am Skelettmaterial nicht mehr nachweisbar ist, können die beobachteten Parodontitisfälle nur eine Mindestzahl angeben. Der Zahnsteinbefall ist sowohl bei Individuen aus Schwetzingen (94,4%) als auch bei denen aus Areal I von Stuttgart-Mühlhausen, wo bei allen berücksichtigten Individuen Zahnstein festgestellt wurde, sehr hoch, sodass in beiden Fällen auch eine unzureichende Mundhygiene angenommen werden kann.

Ein Zusammenhang zwischen Grabbeigaben und der Körperhöhe konnte auch für die Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen nicht nachgewiesen werden. Bei den Männern

war dieselbe nicht beurteilbar, weil die Gräber aller im Rahmen dieser Studie untersuchten Männer Beigaben enthielten. Dieser Zusammenhang scheint jedoch bei älteren Männern aus diesem Gräberfeld gegeben zu sein, zumal in einer anderen Untersuchung ein Zusammenhang zwischen Schuhleistenkeilen, die nur in Gräbern älterer Männer vorzufinden waren, und einem erst im höheren Alter erworbenen Status, nicht zuletzt anhand der abweichenden Isotopendaten von diesen Individuen, angenommen wird (Bentley et al. 2013). Da davon ausgegangen wird, dass die Keramikgefäße, die zu den häufigsten Grabbeigaben zählen, wahrscheinlich mit Nahrungsmittel gefüllt waren (Gerling 2007), empfiehlt es sich, einige dieser Gefäße auch von diesem Gräberfeld in einer anderen Studie auf Nahrungsmittelrückstände zu prüfen, und die Ergebnisse mit denen aus dieser Arbeit in Bezug zu setzen.

Allgemein konnten bei der Auswertung der Daten von Schwetzingen seltener Korrelationen und klare Muster konstatiert werden, was sicherlich zum größten Teil mit der großen Variabilität hinsichtlich der Herkunft der Individuen aus diesem Gräberfeld zusammenhängen könnte. Die für diese Zeit durch isotopische und anthropologische Untersuchungen belegten Migrationsbewegungen (Bentley et al. 2002, 2004; Price et al. 2003, 2001; Beja-Pereira et al. 2002) und Vermischung unterschiedlicher ethnischer Gruppen (Haak 2006) könnten, wie im Kapitel 2.1 ausgeführt, vor allem bei den Individuen von Schwetzingen eine genetische Grundlage für das verstärkte Körperwachstum gegeben haben. Dazu kommt, dass für das Ende der Linienbandkeramik anhand der sogenannten Homogenitätsanalyse eine Phase der Trockenheit zwischen 5600 v. Chr. und 4600 v. Chr. rekonstruiert werden konnte (Schmidt et al. 2004, Abb. 1, Marke 2).¹⁷⁸ Dies könnte zu Missernten und Hunger, und folglich auch zu gewalttätigen und kriegerischen Auseinandersetzungen um das Territorium und um die Nahrungsressourcen in dieser Zeit geführt haben, worauf auch Konstruktionen von möglichen Verteidigungsanlagen aus dieser Zeit hindeuten (Orschiedt, Haidle 2007). Ein großer Sprung in Bevölkerungszunahme ist in Mitteleuropa nur während der Linienbandkeramik zu beobachten (Zimmermann 2012, Fig. 1). Eine höhere Bevölkerungszahl bedeutet auch einen höheren Bedarf an Nahrung, und kann zu einer geringeren Lebenserwartung, zu schlechteren hygienischen Bedingungen, zu verschiedenen Krankheiten und zu Mangelernährung führen. Wie der Anstieg der Bevölkerungszahl die Körperhöhe beeinflussen kann, hat Bernstein (2010, Fig. 6) dargestellt. Eine kleine Statur ist dabei als Antwort auf unzureichende Nahrungsaufnahme und auf höheren Krankheitsbefall zu erwarten. Auf die Individuen der hier untersuchten Stichprobe aus Areal I aus dem Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen könnte

¹⁷⁸ Die Homogenitätsanalyse ist ein Verfahren zur Berechnung der Wuchshomogenität von Bäumen, das weder an eine bestimmte Baumart noch an eine bestimmte Klimaregion gebunden ist, und somit global für dendroklimatische Untersuchungen einsetzbar ist (Schmidt, Gruhle 2006).

dies zutreffen, da im Vergleich zu Individuen aus Areal II nicht nur häufiger Traumata an ihren Skeletten beobachtet, sondern auch eine Bodenversauerung und mehr Unkräuter in dieser späteren Phase der Linienbandkeramik nachgewiesen werden konnten (Rösch 2014). Das macht sich insbesondere bei den männlichen Individuen bemerkbar, da diese die verschlechterten Lebensbedingungen weniger gut kompensieren können, und weil das Wachstum der Mädchen dadurch weniger beeinflussbar ist, was mit den beiden X-Chromosomen in Verbindung gebracht wird (Frisancho et al. 1970; Acheson, Hewitt 1954; Widdowson, McCance 1954). Bei den Männern von Schwetzingen konnte dies nicht beobachtet werden, und obwohl das Gräberfeld chronologisch ebenfalls in diese Trockenheitsphase fällt und die Subadulten anscheinend häufig unter Mangelernährung gelitten haben, konnten für die hier untersuchten adulten Individuen keine negativen Folgen zumindest hinsichtlich ihres Längenwachstums dokumentiert werden. Der Beginn der Milchwirtschaft, und das damit verbundene zusätzliche Proteinangebot sowie die mit der Rohmilch aufgenommenen Wachstumshormone könnten zu einem Anstieg der Körperhöhe bei den frühneolithischen Frauen insbesondere aus Stuttgart-Mühlhausen geführt haben. An diesen beiden Gräberfeld-Beispielen wird deutlich, wie Genetik und Umwelt miteinander zusammenhängen, und wie die Vermischung beider, abhängig u. a. vom Alter, und damit vom Entwicklungsstadium, für individuelle Unterschiede sorgen kann, sodass ein einfaches *'nature versus nurture'* (Scheuer, Black 2000, 4; siehe auch Frisancho et al. 1970; Rogol et al. 2002) kaum vertretbar ist. Die Ursachen für solche Unterschiede sind sehr komplex und die verschiedenen Einflussfaktoren lassen sich nur schwer voneinander isolieren und einzeln betrachten. Auch unsere individuelle Ernährung ist auf unseren jeweiligen Genotyp zurückzuführen, denn wie Velázquez (2001, 93) schreibt *„Diet, just as shoes, must fit the individual, and this depends to a large extent on her or his genome.“*.

Es bleiben einige Fragen, insbesondere auf dem Gebiet der Isotopenforschung, offen, die in zukünftigen Studien näher untersucht werden müssten. So wird davon ausgegangen, dass sich Menschen und Tiere von ähnlichen Pflanzen mit demselben $\delta^{15}\text{N}$ ernährt haben, worauf schließlich die Bestimmung der Trophiestufe basiert, obwohl nicht ausgeschlossen werden kann, dass diese Pflanzen aus verschiedenen Habitaten stammen können, und obwohl bekannt ist, dass verschiedene Teile derselben Pflanzen unterschiedliche $\delta^{15}\text{N}$ haben können (Bogaard et al. 2007; Fraser et al. 2011; Deines 1980). Darüber hinaus werden stabile Isotopenverhältnisse im Knochenkollagen der Menschen mit den stabilen Isotopenverhältnissen im Kollagen der Tiere miteinander verglichen, um die Trophiestufe zu ermitteln, auch wenn sicher davon ausgegangen werden muss, dass die Menschen keine Knochen, sondern das

Fleisch dieser Tiere konsumiert haben. Natürlich hat sich das Fleisch im archäologischen Befund nicht erhalten, dennoch ist es notwendig zwischen Knochenkollagen und Fleisch isotopisch zu unterscheiden. Huebner (1985) beispielsweise konnte in seiner Isotopenanalyse an unterschiedlichen Körpergeweben zeigen, dass $\delta^{13}\text{C}$ -Werte, etwa im Muskelfleisch, negativer sind als im Kollagen. Seitens des Verfassers wurden experimentelle Untersuchungen in dieser Hinsicht an drei rezenten Spezies durchgeführt, um zu prüfen, ob und wenn ja, wie groß der Unterschied zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Knochenkollagen, im mageren und fettigen Fleisch ist, sowie, ob und wie die Zubereitung des Fleisches die isotopische Zusammensetzung beeinflusst. Diese Ergebnisse werden in einem separaten Aufsatz vorgestellt. Die unterschiedliche isotopische Zusammensetzung kann auch bei verschiedenen Milchprodukten festgestellt werden, wie Privat et al. (2005) für Molke gezeigt haben, sodass auch hier ein Forschungsbedarf besteht. Darüber hinaus bestehen noch Unsicherheiten bezüglich der zeitlichen Dauer, die notwendig ist, bis das neue Isotopensignal bedingt durch veränderte Ernährungssituation im Kollagen vollständig inkorporiert wird. So kann es Monate oder Jahre, je nach Gewebeart, dauern, bis das entsprechende Gewebe die neue Nahrung isotopisch reflektieren kann, sodass häufige Veränderungen des Nahrungsverhaltens die Interpretation erschweren können bzw. gar nicht erst erkannt werden. Ein weiteres Problem in der Isotopenforschung ist die bislang unbekannte Variationsbreite der $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen den einzelnen Individuen, und wo die Grenzen zu setzen sind, das heißt, wann die Ergebnisse auf Ernährung, wann auf Physiologie, wann auf Genetik u. a. zurückzuführen sind. Aus diesem Grund ist es kaum möglich, die unterschiedlichen Isotopenverhältnisse zwischen zwei Individuen als klaren Unterschied in ihrem Ernährungsverhalten zu deuten (Hedges, Reynard 2007). Weiterhin vermuteten Von Endt und Ortner (1984), dass Knochen, die bei $14,5^\circ\text{C}$ gelagert werden, nach 4600 Jahren 63% ihres Stickstoffgehaltes verlieren würden, und dass die Knochenlänge umgekehrt proportional zu der Stickstoffmenge ist, die verloren geht. Aus diesem Grund müssten bei metrischen und isotopischen Analysen auch Lagerungsbedingungen der Skelette und die Lagerungsdauer berücksichtigt werden. Da einige Proteine wie beispielsweise Glycine, Serine und Threonine im Vergleich etwa zu der Glutaminsäure oder zu den Alaninen weniger hohe Stickstoff- und dafür positivere Kohlenstoffisotopenverhältnisse aufweisen (Schoeninger, Moore 1992; Schoeller 1999), kann ein Verlust bestimmter Aminosäuren aufgrund dieser isotopischen Fraktionierung zwischen den einzelnen Aminosäuren in ein anderes Isotopenverhältnis resultieren, welches folglich ein falsches Signal zur Ernährung senden würde. Deshalb, aber auch, weil nicht alle Aminosäuren am Aufbau von Muskeln oder Bindegewebe

beteiligt sind (siehe Kapitel 2.2.2.5), wäre es wichtig zu wissen, wenn ein Proteinmangel besteht oder angenommen wird, welche Proteine genau betroffen sind.

Neben diesen Unklarheiten bei der Isotopenanalyse wäre es vorteilhafter gewesen, serielle Probenentnahme an Molaren durchzuführen, weil nur diese einen direkten, individuellen Vergleich zwischen den einzelnen Wachstumsphasen, und damit auch direkte Detektion von Phasen erhöhten Wachstums ermöglicht hätte. So war bei Mädchen sowohl aus Stuttgart-Mühlhausen als auch aus Schwetzingen der *adolescent growth spurt*, der nach Welte und Wahl (2010) bei ihnen mit 12,5 Jahren beginnt, an den hier beprobten Zahnabschnitten aufgrund der zeitlichen Differenz nicht direkt fassbar. Selbst die klassischen Selektionskriterien wie das Alter und das Geschlecht lassen sich für Skelettindividuen nicht immer zweifelsfrei bestimmen, weshalb es sinnvoll wäre, bei Skelettindividuen, bei denen das Geschlecht nur mit großen Unsicherheiten anthropologisch bestimmt werden konnte, zumindest bei wichtigen Fragen, molekulargenetisch bestimmen, und das Alter im gleichen Fall mittels physikalischer Altersbestimmungsmethode berechnen zu lassen. So konnte beispielsweise der 25-35-jährige Mann aus Grab I-25 im Areal I mit einer überdurchschnittlichen Femurlänge von 487mm sowie auch deutlich größeren anderen Langknochen, und der aufgrund seiner großen Statur eher aus der älteren Phase der Linienbandkeramik stammen könnte, nur allgemein in die Linienbandkeramik eingeordnet werden. Eine genauere Datierung für dieses Individuum liegt leider nicht vor. Hinsichtlich der Schätzung von Körperhöhen bei Skelettindividuen ist im hier vorgestellten Projekt in erster Linie von Marcus Groß geplant, verschiedene Regressionsformeln für verschiedene Knochen (-kombinationen) optimal über ein statistisches Informationskriterium zu gewichten und eine Metaanalyse über verschiedene Veröffentlichungen, die sich mit Körperhöhenschätzungen beschäftigen, durchzuführen. Des Weiteren liegt bei Untersuchungen verhaltensbezogener Belastungsmuster ein grundsätzliches Problem darin, dass niemals alle Aktivitäten erfasst werden können, und dass eine Differenzierung zwischen verschiedenen Tätigkeiten nicht immer, bzw. eine genaue Spezifizierung kaum möglich ist, zumal der Ausprägungsgrad bestimmter Belastungsmerkmale auch vom Alter abhängt, ab welchem mit dieser Tätigkeit begonnen wurde, und von der Häufigkeit und der Intensität, mit welcher diese vorgenommen bzw. durchgeführt wurde. Außerdem können verschiedene Tätigkeiten zu gleichen oder ähnlichen Belastungsspuren am Knochen führen, oder einfach nur physiologisch bedingt sein, wie beispielsweise bei Rechtshändern. Da oft mehrere Pathologien gemeinsam und in unterschiedlichem Ausprägungsstadium sowie an unterschiedlichen Knochen, die eventuell auch unterschiedliche Umbauraten haben, vorkommen können, kann am Skelettmaterial nie gänzlich ausgeschlossen werden, dass es weitere Pathologien, auch solche, die nur

das Weichgewebe befallen, und die sich am Skelett nicht manifestieren, gegeben hat. Folglich kann die Entscheidung, ob ein Individuum gesund war oder nicht, die nur aufgrund des Vorhandenseins oder Nichtvorhandenseins von pathologischen, am Knochen sichtbaren Läsionen getroffen werden kann, nicht als fraglos richtig gelten. Da nur 20% der linienbandkeramischen Population auf den Gräberfeldern inhumiert wurde (Nieszery 1995), ist generell fraglich, ob die exhumierten Individuen überhaupt repräsentativ für die damals lebende Bevölkerung sind. Möglich ist, dass eine andere Bestattungsform, wie die Kremation (Trautmann 2006), die Hauptbestattungsform war, und dass die Männer und Frauen auf den Gräberfeldern allein schon durch ihre Körperbestattung eine Ausnahme bildeten, und aus ihrer Gemeinschaft herausstachen. Es wäre deshalb nicht richtig, die an den verstorbenen Individuen erhobenen Daten auf die Gesamtbevölkerung aus dieser Zeit zu übertragen. Mindestens genauso schwierig lässt sich eine geringe Körperhöhe, unabhängig von anderen, das Wachstum beeinflussenden Faktoren mit Nahrungsstress gleichsetzen, zumal zwischen Nahrungsverfügbarkeit und Nahrungskonsum unterschieden werden muss. Dabei muss berücksichtigt werden, dass beispielsweise aus kulturellen oder religiösen Gründen bestimmte Lebensmittel nicht konsumiert werden, auch wenn sie verfügbar sind, und dass eine Mangelernährung auch ohne Nahrungsstress entstehen kann.

Für zukünftige Studien erscheint es sinnvoll, auch den Kohlenstoff in der Carbonatfraktion ($\Delta^{13}\text{C}$) zu analysieren, da der Carbonat im Gegensatz zum Kollagen das gesamte Nahrungsspektrum, d. h. nicht nur die Proteine, sondern auch die Kohlenhydrate und Fette reflektiert (Ambrose, Norr 1993; Lee-Thorp et al. 1989). Beim Vergleich von $\Delta^{13}\text{C}_{\text{Car}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{Koll}}$ ließe sich der Fleisch- bzw. Fettkonsum der Individuen ermitteln. Um etwas mehr Licht ins Dunkel zu bringen, ist es geplant, proteomische Analysen am Zahnstein von denselben, hier untersuchten Individuen an der University of York (UK) durchzuführen, um Ernährungsmarker zu identifizieren, die auch die Identifizierung von speziesspezifischen Proteinüberresten im Zahnstein erlauben. So ist es beispielsweise mit dem Molkenprotein β -Lactoglobulin (BLG) möglich, nicht nur den Milchkonsum bzw. den Konsum von Milchprodukten nachzuweisen, sondern auch die Tierart, von welcher die Milch stammt, d. h. Kuh-, Schafs- oder Ziegenmilch, zu bestimmen (Warinner et al. 2014; Hong et al. 2012). Die Proteomik kann auch an erhaltenen Keramikgefäßen angewandt werden (Solazzo et al. 2008), allerdings lässt sich mit der Zahnsteinanalyse ein direkter Nachweis von Milchkonsum an einem Individuum feststellen.

Aufgrund der evolutionsbedingten Individualität der Lebewesen wird der Individualfaktor, insbesondere bei retrospektiven Studien, immer ein großes Problem bleiben, da die

Antwort auf die Frage, wie viel Protein ein Mensch benötigt, vom Alter, von körperlicher Aktivität, vom Gesundheitszustand und vor allem auch von der Qualität¹⁷⁹ der Proteine abhängt. Aus diesem Grund, und weil die genaue zeitliche und räumliche Einordnung, das Kennen der Topographie und des Klimas des damaligen Habitats, die genaue Bestimmung des biologischen Geschlechts, des sozialen Status sowie die exakte Zuordnung beobachteter pathologischer Erscheinungen zwar vorausgesetzt werden müssten, aber nicht immer möglich sind, und auch aufgrund der Tatsache, dass Individuen, die keine Pathologien auf ihrem Skelett aufweisen, nicht zwangsläufig als gesund zu bewerten sind, und auch bei Berücksichtigung des sog. osteologischen Paradox¹⁸⁰, können solche Studien am prähistorischen Material keine klaren Ergebnisse liefern, und lassen somit keine eindeutigen Aussagen zu. Dennoch konnte diese Arbeit einen wichtigen und ergänzenden Beitrag zu Studien hinsichtlich des Einflusses der Nahrungsproteine und weiterer Proxys für den Lebensstandard auf das Wachstum und pathologischer Erscheinungen an Knochen und Zähnen auf die Kohlenstoff- und Stickstoffisotopenverhältnisse leisten. Eine besondere Bedeutung könnte der Arbeit auch hinsichtlich anthropometrischer und auxologischer Fragen wie etwa der Entwicklung der Körperhöhe in Europa seit dem Paläolithikum sowie der Anfänge der Milchwirtschaft in Süddeutschland, was noch in der an dieselbe anschließende Studie geprüft wird, beigemessen werden.

Die Verifizierung der hier aufgestellten Hypothesen bedarf zwar weiterer isotopischer, metrischer, aber auch zusätzlich molekulargenetischer Analysen an Zähnen und Knochen, die vorliegende Pilotstudie konnte aber zeigen, dass es erstrebenswert wäre, den hier begonnenen Ansatz auch mit größerer Anzahl der zu untersuchenden Individuen weiter zu verfolgen, um einen kleineren Stichprobenfehler und zuverlässigere Ergebnisse zu gewinnen.

¹⁷⁹ Die Qualität der assimilierten Proteine ist insofern wichtig, weil sie einerseits aus unterschiedlichen Aminosäuren zusammengesetzt sind, und andererseits weil sie folglich unterschiedliche Menge an essentiellen und nicht-essentiellen Aminosäuren enthalten, und somit nicht gleichermaßen für die Bioproteinsynthese genutzt werden können (Löffler et al. 2007).

¹⁸⁰ Der Begriff impliziert die Annahme, dass Individuen mit pathologischen Veränderungen am Skelett eine gewisse Zeitlang diese Krankheit überlebt haben, sodass sie sich an den Knochen manifestieren konnten, was zugleich aber auch bedeutet, dass alle Individuen, bei denen solche krankhaften Läsionen an Knochen nicht beobachtet wurden, nicht zwangsläufig gesünder gewesen sein müssten, sondern an Krankheiten gelitten haben könnten, die nur das Weichgewebe betroffen haben (Wood et al. 1992). Darüber hinaus hängt der Nachweis von Pathologien auch von der Anzahl und dem Erhaltungsgrad der Skelettelemente sowie nicht zuletzt auch vom Erfahrungsgrad des Bearbeiters ab.

9. Zusammenfassung

In der vorliegenden Doktorarbeit wurde das erste Mal eine retrospektive Studie an Zähnen und Langknochen prähistorischer Skelettindividuen hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen der kindlichen Ernährung und der im Erwachsenenalter erreichten Endkörpergröße durchgeführt. Für diesen Zweck wurden nach Möglichkeit alle drei Unterkiefermolaren auf $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ihrem Primärdentin untersucht, welche dann mit den Langknochenmaßen und der Körperhöhe unter Berücksichtigung weiterer Indikatoren für Nährstoffversorgung korreliert wurden. Des Weiteren wurde dieselbe Isotopenanalyse an einer Rippenprobe durchgeführt, um mögliche Unterschiede in der Ernährung während der Kindheit und im Erwachsenenalter sichtbar zu machen. Zum Schluss sollte einer methodischen Frage nachgegangen werden, nämlich, ob sich Abweichungen in $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primär- und Tertiärdentin erkennen lassen, und ob die Zähne, die Tertiärdentin aufweisen, von stabilen Isotopenanalysen ausgeschlossen werden sollten, wozu $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in kariösen Molaren mit solchen ohne kariöse Läsionen verglichen wurden.

Die im Rahmen dieser Pilotstudie untersuchten 14 weibliche und 15 männliche Individuen aus dem Gräberfeld Stuttgart-Mühlhausen ‚Viesenhäuser Hof‘ bei der älteren (Areal II) und jüngeren-mittleren Linienbandkeramik (Areal I) und 10 weibliche und 8 männliche Individuen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen aus der jüngeren Phase der Linienbandkeramik zeigen ein relativ homogenes Bild hinsichtlich der $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ihren Rippen und damit hinsichtlich ihrer Ernährung im Erwachsenenalter. Anhand der $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ihren ersten, zweiten und dritten Molaren lassen sich jedoch Unterschiede im Ernährungsverhalten während der Kindheit und Jugend sowohl zwischen den beiden Gräberfeldern als auch zwischen den Geschlechtern erkennen. Als besonders interessant erwies sich dabei die beobachtete Anreicherung des ^{15}N in den zweiten und dritten Molaren der Frauen aus Areal I von Stuttgart-Mühlhausen und in den dritten Molaren der Männer aus demselben Gräberfeldbereich im Vergleich zu ihren Rippenproben. Auch bei Frauen aus Schwetzingen waren die $\delta^{15}\text{N}$ in allen drei Molaren etwas höher als in den Rippen und eine Anreicherung des ^{15}N war auch bei den Männern aus diesem Gräberfeld vor allem am dritten Molar erkennbar. Beide Geschlechter aus der mittleren bzw. jüngeren Linienbandkeramik scheinen im Gegensatz zu Männern und Frauen aus Stuttgart-Mühlhausen der älteren Linienbandkeramik in ihrer Pubertät, bzw. die Frauen noch früher, etwas konsumiert zu haben, was später im Erwachsenenalter nicht mehr fester Bestandteil ihrer täglichen Nahrung war. Möglicherweise sind die Kinder, und insbesondere die Frauen, in der späten Kindheit und frühen Jugend für das Melken der Tiere und

für die Verarbeitung von Milch zuständig gewesen, wofür auch weitere in der Arbeit diskutierte Indizien sprechen würden. Diese vermutete zusätzliche Proteinquelle scheint sich jedoch besonders bei Frauen aus Areal I positiv auf ihre Körperhöhe ausgewirkt zu haben, was damit erklärt werden könnte, dass sie mit diesen Proteinen im Gegensatz zu den Männern aus demselben Gräberfeldbereich über einen längeren Zeitraum versorgt waren. Somit würde sich die bereits in verschiedenen Studien postulierte Annahme bestätigen, dass eine kontinuierliche und ausreichende Versorgung mit Proteinen und Energie für das Körperwachstum bedeutender ist, als eine kurzzeitig verbesserte Versorgung des Körpers mit wichtigen Nährstoffen.

Während bei Männern die häufigsten Korrelationen zwischen ihren zweiten und dritten Molaren, d. h. in der späteren Kindheit und Jugend, und den Langknochenmaßen und Körperhöhen vorliegen, was sich mit dem bereits von Welte und Wahl (2010) an subadulten Individuen aus denselben Gräberfeldern identifizierten ersten Gestaltwandel (*mid-growth spurt*) und dem *adolescent growth spurt* deckt, treten die meisten Korrelationen bei Frauen mit dem ersten und zweiten Molar auf und somit früher als bei Jungen, und könnten mit dem von beiden Autoren bestimmten Zeitpunkt für den ersten Gestaltwandel assoziiert werden. Ein häufigeres Auftreten von Korrelationen mit bestimmten Langknochenmaßen konnte nicht festgestellt werden, allerdings scheint sich zu bestätigen, dass das F1-Maß am besten für die Schätzung der Körpergröße geeignet ist, zumal da, wo die Körperhöhe anhand von anderen Langknochen ermittelt werden musste, Abweichungen bei Korrelationstendenzen beobachtet wurden. Da sowohl Stickstoff als auch Kohlenstoff im Kollagen aus Nahrungsproteinen stammt, und beide folglich nicht mit Fetten oder Kohlenhydraten assoziiert werden können, und weil bei beiden positive wie negative Zusammenhänge mit Langknochen und der Körperhöhe festgestellt wurden, muss davon ausgegangen werden, dass einerseits nicht nur tierische Proteine, in denen mehr Stickstoff enthalten ist, sondern auch Proteine aus pflanzlichen Quellen zum Längenwachstum beigetragen haben. Andererseits ist auch bei hoher Proteinverfügbarkeit kein Wachstum möglich, wenn die Energiemenge, die für eine funktionierende Bioproteinsynthese notwendig ist, unzureichend ist. Damit scheint die aufgenommene Gesamtkalorienmenge eine mindestens genauso wichtige Rolle bei Wachstumsprozessen zu spielen wie die Proteine, oder wie Komlos (1989, 28) schreibt: "...the mix of calorie and protein intake matters for growth". Diese sog. *protein-energy-interaction* und der Zusammenhang zwischen Ernährung und dem Längenwachstum lassen sich am Skelettmaterial jedoch nicht immer erkennen, zumal es im Gegensatz zu prospektiven Studien nicht immer möglich ist, die Probanden für die geplante Studie so auszuwählen, dass die Selektionskriterien immer gleich sind.

Ein Zusammenhang zwischen unspezifischen Stressindikatoren, Cribra orbitalia, Zahnschmelzhypoplasien und Zahnfehlstellungen, während der Kindheit und den Langknochenmaßen ließ sich nicht erkennen, allerdings muss dabei berücksichtigt werden, dass in dieser Studie nur erwachsene Individuen untersucht wurden, die diese Krankheiten überwunden und überlebt haben. Mögliche Wachstumsstörungen oder Wachstumsverzögerungen könnten durch das *catch-up growth* aufgeholt worden sein, sodass sich diese Pathologien auf die Langknochen und die Körpergröße der hier untersuchten Individuen nicht negativ ausgewirkt haben. Hinsichtlich der Pathologien im Erwachsenenalter, wie osteolytische und osteoplastische Prozesse und Exostosen, konnten keine klaren Muster festgestellt werden, was sicherlich nicht zuletzt daran liegt, dass mehrere Pathologien an einem Skelett vorkommen können, die mit unterschiedlicher Intensität verschiedene Knochen mit womöglich unterschiedlicher Knochenumbaurate befallen, oder die nur das Weichgewebe betreffen, und somit am Skelett nicht sichtbar sind. Aus diesem Grund können die Ergebnisse zwar nur richtungsweisend sein, sie leisten aber dennoch einen wichtigen Beitrag zur Studie über stabile Isotopenverhältnisse in pathologischen Knochen, zumal auf diesem Gebiet bisher kaum geforscht wurde. Wichtige Zusammenhänge konnten zwischen den hier berechneten Indices, Humerus-Längen-Dicken-Index, Femur-Robustizitätsindex und Femur-Index platymericus und den Langknochenlängen bzw. der Körperhöhe festgestellt werden, sodass die am Skelett erkennbaren Belastungsmuster bei der Beurteilung der Körperhöhe möglichst berücksichtigt werden sollten.

Als problematisch erwies sich die Prüfung der Unterschiede hinsichtlich $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primär- und Tertiärdentin, weil bei der Probenentnahme nicht sicher davon ausgegangen werden konnte, dass das Tertiärdentin tatsächlich mitbeprobte wurde, und folglich auch keine sicheren Aussagen darüber getroffen werden können, ob und wie sich die Beprobung pathologischer Zähne auf das Ergebnis auswirken würde. Zudem ließe sich ein erkennbarer Unterschied in Isotopenverhältnissen in diesen beiden Dentinarten wahrscheinlich nicht immer eindeutig auf die Tätigkeit von Mikroorganismen oder auf eventuelle Unterschiede zwischen der Ernährung in der Kindheit und derselben im Erwachsenenalter zurückführen. Weitere Analysen an Zähnen, beispielsweise mit unterschiedlichem Grad der Karies, und einer höheren Stichprobe sowie röntgengestützte Untersuchungen könnten hilfreich sein, um dieser Frage weiter nachzugehen.

Die im Rahmen der Studie geprüften Kausalitäten können in diesem Fall nicht endgültig geklärt werden, denn wie Suby und Guichón (2009, 334) schreiben: "*Nutrition is a complex concept that includes the quality and quantity of food, the metabolic responses to specific*

nutrients, the social and cultural preferences of human populations, and seasonal factors of resources, which depend upon ecological and environmental factors". Trotz der vielen, das Wachstum beeinflussenden Individualfaktoren, die sich durch Rückkopplungsprozesse, auch abhängig von genetischer Prädisposition, gegenseitig beeinflussen und verstärken, und auch im Hinblick auf die Herkunft der Individuen und das Ernährungsverhalten, konnte diese Pilotstudie zumindest Tendenzen in Richtung eines Zusammenhangs zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Nahrungsproteinen und dem Längenwachstum aufzeigen, und damit die Ergebnisse der ihr vorangegangenen Studien stützen, sodass es erstrebenswert wäre, die hier vorgestellten und nur bedingt repräsentativen Ergebnisse mit einer angemessen ausgeweiteten Stichprobe dahingehend zu überprüfen, und die aufgeworfenen, nicht mehr klärbaren Fragen zu untersuchen.

Summary

This thesis presents the first retrospective study of a potential connection between childhood nutrition and adult body height using teeth and long bones of the same prehistoric skeletons as sources. For this purpose $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in primary dentin of all three, first, second and third mandibular molars, if this was possible, were analyzed and correlated with the long bone lengths and the body height. Moreover, this isotope analysis was performed on a rib sample of the same individuals so that the comparison of both can indicate possible differences in diet during the childhood and the adulthood. Finally, the $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in only few decayed molars were compared to those without carious lesions to investigate the question if there are discrepancies to be detected in $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in primary and tertiary dentin, and if teeth showing tertiary dentin should be avoided in stable isotope analysis.

This research is based on the examination of 14 female and 15 male individuals, found in the cemetery of Stuttgart-Mühlhausen 'Viesenhäuser Hof' from older (area II) and middle-younger (area I) Linienbandkeramik (LBK), as well as 10 females and 8 males of the cemetery of Schwetzingen of the younger LBK. It rather shows homogeneous results regarding the $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in individuals' ribs and therefore in their nutrition as adults. However, findings of $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in their first, second and third molars indicate differences in dietary habits during childhood and adolescence between both cemeteries as well as between sexes. Specifically interesting is an encountered enrichment of ^{15}N in the second and third molars of females in area I in Stuttgart-Mühlhausen as well as in males' third molars of the same cemetery area compared to their rib samples. The females from Schwetzingen also showed higher $\delta^{15}\text{N}$ in all three molars compared to their rib samples and an enrichment in ^{15}N was also detectable in men from this cemetery, especially in their third molars. Both sexes from middle-younger Linienbandkeramik seemed to have consumed something in their puberty, or in case of the females even earlier, which ceased to be part of daily nutrition in adulthood. It is possible, that children, especially females, were responsible for milking of animals and processing of milk. This is backed up further by additional indicators as discussed in this thesis. This assumed that the additional source of protein seem to only have had a positive effect on women in regards to their body height. It could be explained by them having had access to this protein for a much longer period than men. Thus, the assumption postulated in various studies, that a continuous and sufficient nutrition with protein and energy is more important for the body growth than a shortterm improved sustenance of the body with important nutrients.

The men show the most frequent correlations between their second and third molars, i.e. in their late childhood and adolescent, and the long bone measurements as well as body height, which corresponds to the results of Welte and Wahl (2010), who identified a *mid-growth spurt* and an *adolescent growth spurt* on subadult individuals of this particular cemetery. In contrast, the highest correlations of women were found earlier than in men with their first and second molars. These findings could be associated with the *mid-growth spurt* observed again by Welte and Wahl. There was no indication of an even higher rate of correlations with certain long bone measurements. However, it seems to be proven, that the F1 measure is the best tool to estimate body heights, the more so as in cases in which body height was assessed using other long bones, variations in tendencies of correlations occurred. Since nitrogen as well as carbon in collagen are sourced from dietary protein and therefore cannot be associated with fats or carbohydrates, and because for both positive as well as negative correlations with long bone lengths and body height were observed, it has to be presumed, that not only animal proteins, which contain more nitrogen, but also plant proteins contribute to longitudinal growths. Furthermore, it indicates that even with a high rate of protein availability, there is no possible growth if the energy quantity is insufficient, which is necessary for functioning protein-energy-interaction. Hence, it appears that the amount of calorie intake in total is as important for the growth process as are proteins, or as stated by Komlos (1989, 28): "...the mix of calorie and protein intake matters for growth". This so-called '*protein-energy-interaction*' and the correlation between diet and the longitudinal growth cannot always be detected in skeleton matter due to the fact that in contrast to prospective studies it is not always possible to pick test subjects with completely matching selection criteria.

This study was unable to determine a connection between experienced different stress indicators during childhood, cribra orbitalia, enamel hypoplasia and tooth malposition, and long bone measurements. However, it must be taken into account, that research for this study was only conducted on mature individuals, who overcame diseases and survived. Potential growth disorders or growth retardation could have been made up by the *catch-up growth*, so that these pathologies did not have any negative effect on the long bone growth of examined individuals. Clear patterns regarding pathologies in adulthood could not be determined, resulting from the fact, that one skeleton could have various pathologies, which could infest different bones with possible varying bone remodelling rate or which only infest soft tissue and therefore would not be detectable on the skeleton. It is for this reason, that the here presented results can only be directional. Nevertheless, they make an important contribution to the study of stable isotope ratios in pathological bone, particularly, as this subject area has been barely

researched. Important correlations have been found between calculated indices and long bone measurements and body height respectively, hence activity patterns, which are visible on the skeletons should always be factored in when body height is assessed.

The examination of differences regarding $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in primary and tertiary dentin proved to be problematic, because it was uncertain, if tertiary dentin has been extracted with the sample collection at all and therefore, no reliable claims can be made if, and if so, how the sampling of pathological teeth influences the results. Additionally, a recognisable variation in isotope ratios in these two types of dentin could not clearly be reducible to microorganism activity or possible differences in diet in childhood and adulthood. More research on teeth, e.g. with varying degrees of caries and larger sample size, supported by X-ray examinations, could be useful to further exploit this matter.

The causalities examined in this study could not be resolved definitely for, according to Suby and Guichón (2009, 334) "Nutrition is a complex concept that includes the quality and quantity of food, the metabolic responses to specific nutrients, the social and cultural preferences of human populations, and seasonal factors of resources, which depend upon ecological and environmental factors". Despite many individual factors, which influence growth, also with regard to individual's origin and dietary habits, the pilot study presented here was able to identify tendencies towards a positive correlation between $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in dietary protein and longitudinal growth and with it to support previous studies. Hence it would be worthwhile to review the only conditionally representative findings of this study with a larger sample size and to examine the questions raised and which could not be answered in this investigation.

10. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Stark vereinfachtes Schema der wichtigsten endogenen und exogenen Einflussfaktoren auf das Körperwachstum (Quelle: Hujic).	8
Abb. 2 Schema für die Umwandlung von im Speichel enthaltenem Nitrat (NO ₃ ⁻) in Stickoxid (NO) und Lachgas (N ₂ O) durch Denitrifikation im Zahnbelag.....	79
Abb. 3 Lage der beiden im Rahmen dieser Pilotstudie untersuchten Gräberfelder von Stuttgart-Mühlhausen und Schwetzingen. Dunkelgraue Fläche markiert die geographische Ausbreitung der LBK in Mitteleuropa (aus Price et al. 2003, Abb. 1). ..	82
Abb. 4 Übersichtsplan vom ‚Viesenhäuser Hof‘ in Stuttgart-Mühlhausen mit den beiden Arealen der älteren (II) und der mittleren und jüngeren (I) Linienbandkeramik (aus Price et al. 2003, Abb. 3).	83
Abb. 5 Lage des Gräberfeldes südlich des Schwetzingener Schlossgartens (Ref. 26 Denkmalpflege, RP Karlsruhe, aus Gerling 2007).	89
Abb. 6 Dremel der Firma KOMET für die Probenentnahme.....	95
Abb. 7 Probenentnahme an der Initialwurzel des ersten und zweiten Molars (Quelle: Hujic).95	
Abb. 8 Zahnbildungsphasen für die Dauermolaren im Unterkiefer. Orange eingerahmt ist der Abschnitt des Zahnes, aus dem die Dentinproben für die vorliegende Studie entnommen wurden. (nach Moorrees et al. 1963, Fig. 2, modifiziert).	96
Abb. 9 Zahnentwicklungsschema für die Molaren (M1-M3) für Jungen. Die Pfeile markieren den Abschnitt des Zahnes, der für die vorliegende Studie beprobt wurde (nach Moorrees et al. 1963, Fig. 5, leicht modifiziert).	97
Abb. 10 Zahnentwicklungsschema für die Molaren (M1-M3) für Mädchen. Die Pfeile markieren den Abschnitt des Zahnes, der für die vorliegende Studie beprobt wurde (nach Moorrees et al 1963, Fig. 6, leicht modifiziert).	98
Abb. 11 Längsschnitt eines Oberkiefer-Eckzahnes (Steiniger et al. 2010, Abb. 5.5a, modifiziert).	99
Abb. 12 Zahnaufbau am Beispiel eines Molars (l) und schematische Darstellung der Dentinstruktur (r) (aus Hellwig et al. 2009, Abb. 1.5).....	100
Abb. 13 Probenentnahme aus einer Rippe (Quelle: Hujic).	103
Abb. 14 Formel zur Messung des Verhältnisses der stabilen Stickstoffisotope ¹⁵ N zu ¹⁴ N (l) und der stabilen Kohlenstoffisotope ¹³ C zu ¹² C, (r). R stellt das Verhältnis des schweren zum leichten Isotop dar (Schoeninger, Moore 1992, leicht modifiziert).....	105

Abb. 15	Idealisierte durchschnittliche Wachstumsgeschwindigkeit für gesunde Mädchen und Jungen. I = infancy, C = childhood, J = juvenile, A = adolescence, M = mature adult (aus Bogin, Smith 1996, Fig. 3).	109
Abb. 16	$\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Molaren adulter Individuen aus Areal I und Areal II. Dargestellt sind alle Molaren von beiden Geschlechtern, für die verlässliche Isotopendaten gewonnen werden konnten (siehe Tab. 4).	116
Abb. 17	$\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Molaren adulter Individuen aus Areal I und Areal II. Dargestellt sind alle nach Geschlecht getrennten Molaren, für die verlässliche Isotopendaten gewonnen werden konnten (m = Männer; f = Frauen).	117
Abb. 18	$\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen und Männern aus Areal I und Areal II im Vergleich.....	118
Abb. 19	$\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern aus beiden Gräberfeldarealen, Areal I und Areal II, im Vergleich.	120
Abb. 20	$\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im beprobten Abschnitt der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern aus beiden Gräberfeldarealen im Vergleich.	121
Abb. 21	$\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen aus beiden Gräberfeldarealen im Vergleich.	122
Abb. 22	$\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im beprobten Abschnitt der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen aus beiden Gräberfeldarealen im Vergleich.....	123
Abb. 23	$\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben aller untersuchten Individuen aus beiden Gräberfeldarealen, für die F1 erhoben werden konnte.	126
Abb. 24	$\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen, für die F1 erhoben werden konnte (m = Männer; f = Frauen).	127
Abb. 25	$\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben für beide Geschlechter (oben) und jeweils für Männer und Frauen (unten) aus beiden Gräberfeldarealen, für die T1b erhoben werden konnte (m = Männer; f = Frauen).	128
Abb. 26	$\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben beider Geschlechter (oben) und jeweils von Männern und Frauen (unten) aus beiden Gräberfeldarealen, für die H1 erhoben werden konnte (m = Männer; f = Frauen).	130
Abb. 27	$\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben beider Geschlechter (oben) und jeweils von Männern und Frauen (unten) aus beiden Gräberfeldarealen, für die R1 erhoben werden konnte (m = Männer; f = Frauen).	130
Abb. 28	$\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern aus Areal I und Areal II in Korrelation zu F1.....	132

Abb. 29 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen aus Areal I und Areal II in Korrelation zu F1.	133
Abb. 30 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern aus Areal I und Areal II in Korrelation zu T1b.	136
Abb. 31 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten und dritten Molaren bei Frauen aus Areal I und Areal II in Korrelation zu T1b.	136
Abb. 32 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern aus Areal I und Areal II in Korrelation zu H1.	138
Abb. 33 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen aus Areal I und II in Korrelation zu H1.	140
Abb. 34 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der zweiten und dritten Molaren bei Männern aus Areal I und II in Korrelation zu R1.	142
Abb. 35 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der zweiten und dritten Molaren bei Frauen aus Areal I und II in Korrelation zu R1.	145
Abb. 36 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte in Zahnproben von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen in Korrelation zur Körperhöhe, für die die Körperhöhe ermittelt werden konnte (m = Männer; f = Frauen).	147
Abb. 37 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ der ersten, zweiten und dritten Molaren von Männern aus beiden Gräberfeldarealen in Korrelation zu ihrer Körperhöhe.	149
Abb. 38 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ der ersten, zweiten und dritten Molaren von Frauen aus beiden Gräberfeldarealen in Korrelation zu ihrer Körperhöhe.	150
Abb. 39 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen aus Areal II und Männern aus beiden Gräberfeldarealen mit und ohne Cribra orbitalia (CO) (m = Männer; f = Frauen).	155
Abb. 40 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ersten, zweiten und dritten Molaren von Frauen aus Areal II und Männern aus beiden Gräberfeldarealen mit Cribra orbitalia.	156
Abb. 41 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Individuen mit und ohne Cribra orbitalia in Korrelation zu ihren verfügbaren Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.	157
Abb. 42 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen und Männern aus beiden Gräberfeldarealen mit und ohne Zahnschmelzhyoplasien (ZSH) (m = Männer; f = Frauen).	160
Abb. 43 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ersten, zweiten und dritten Molaren von Frauen und Männern mit Zahnschmelzhyoplasien aus beiden Gräberfeldarealen.	160

Abb. 44 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern aus Areal I mit und ohne Zahnschmelzhypoplasien in Korrelation zu ihren verfügbaren Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.	162
Abb. 45 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen aus Areal I mit und ohne Zahnschmelzhypoplasien in Korrelation zu ihren verfügbaren Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.	163
Abb. 46 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern aus Areal II mit und ohne Zahnschmelzhypoplasien in Korrelation zu ihren verfügbaren Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.	164
Abb. 47 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen aus Areal II mit und ohne Zahnschmelzhypoplasien in Korrelation zu ihrer Körperhöhe.	165
Abb. 48 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen und Männern mit und ohne Zahnfehlstellungen (ZFS) aus beiden Gräberfeldarealen.	167
Abb. 49 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ersten, zweiten und dritten Molaren von Frauen und Männern mit Zahnfehlstellungen aus beiden Gräberfeldarealen.	167
Abb. 50 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern aus Areal I mit und ohne Zahnfehlstellungen in Korrelation zu ihren jeweiligen Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.	170
Abb. 51 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern aus Areal II mit und ohne Zahnfehlstellungen in Korrelation zu den jeweiligen Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.	170
Abb. 52 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen aus Areal II mit und ohne Zahnfehlstellungen in Korrelation zu ihrem H1 und zu ihrer Körperhöhe.....	171
Abb. 53 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Zähnen und Rippen von Männern (l) und Frauen (r) aus Areal II im Vergleich. Mann aus Grab II-21 und Frau aus Grab II-43 mit nicht-lokalem Strontiumisotopensignal.	173
Abb. 54 Individualdaten für Männer aus Areal I mit $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ihren Zähnen und Rippen im Vergleich.	173
Abb. 55 Individualdaten für Frauen aus Areal II mit $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ihren Zähnen und Rippen im Vergleich.	174
Abb. 56 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Zähnen und Rippen von Männern (l) und Frauen (r) aus Areal I im Vergleich.....	175
Abb. 57 Individualdaten für Männer aus Areal I mit $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ihren Zähnen und Rippen im Vergleich.	175

Abb. 58 Individualdaten für Frauen aus Areal I mit $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ihren Zähnen und Rippen im Vergleich.	176
Abb. 59 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in den ersten, zweiten und dritten Molaren der Männer aus Areal I im Vergleich zu denen ihrer Rippen.	179
Abb. 60 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in den ersten, zweiten und dritten Molaren der Frauen aus Areal I im Vergleich zu denen ihrer Rippen.	180
Abb. 61 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in den ersten, zweiten und dritten Molaren der Männer aus Areal II im Vergleich zu denen ihrer Rippen.	181
Abb. 62 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in den ersten, zweiten und dritten Molaren der Frauen aus Areal II im Vergleich zu denen ihrer Rippen.	181
Abb. 63 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern aus Areal I mit und ohne entsprechende Pathologie.	184
Abb. 64 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Frauen aus Areal I mit und ohne entsprechende Pathologie.	185
Abb. 65 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern aus Areal II mit und ohne entsprechende Pathologie.	186
Abb. 66 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Frauen aus Areal II mit und ohne osteolytische und osteoplastische Prozesse im Knochengewebe.	186
Abb. 67 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen mit und ohne kariöse Zähne.	189
Abb. 68 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern aus Areal II und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen mit und ohne Parodontose.	190
Abb. 69 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen mit und ohne Parodontitis.	191
Abb. 70 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Frauen aus Areal II mit und ohne Zahnstein.	191
Abb. 71 Indexwerte des rechten und linken Humerus-Längen-Dicken-Index von Männern und Frauen aus Areal I.	194
Abb. 72 Zusammenhang zwischen den Indexwerten des rechten und linken Humerus-Längen-Dicken-Index und der größten Humeruslänge (H1) bei Männern und Frauen aus Areal I.	195
Abb. 73 Indexwerte des rechten und linken Femur-Robustizitätsindex für Männer und Frauen aus Areal I (AI) und für Männer aus Areal II (AII).	197

Abb. 74 Zusammenhang zwischen den Indexwerten des rechten und linken Femur-Robustizitätsindex und der größten Femurlänge (F1) bei Männern und Frauen aus Areal I sowie bei Männern aus Areal II (m = Männer; f = Frauen).	198
Abb. 75 Indexwerte des rechten und linken Femur-Index platymericus für Männer und Frauen aus Areal I und Areal II (m = Männer; f = Frauen).	200
Abb. 76 Zusammenhang zwischen den Indexwerten des rechten und linken Femur-Index platymericus und der größten Femurlänge (F1) bei Männern und Frauen aus Areal I und II (m = Männer; f = Frauen).	202
Abb. 77 Zusammenhang zwischen den Indexwerten des rechten und linken Femur-Index platymericus und der Körperhöhe (KH) bei Männern und Frauen aus Areal I und Areal II (m = Männer; f = Frauen).	202
Abb. 78 Zusammenhang zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen mit und ohne Grabbeigaben.	204
Abb. 79 Zusammenhang zwischen der Körperhöhe (KH) und $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen mit und ohne Grabbeigaben.	205
Abb. 80 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Molaren mit und ohne kariöse Läsionen bei Frauen aus Areal I sowie bei Frauen und Männern aus Areal II.	207
Abb. 81 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Molaren adulter Individuen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. Dargestellt sind alle nach Geschlecht getrennten Molaren, für die verlässliche Isotopendaten gewonnen werden konnten.	211
Abb. 82 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen und Männern.	212
Abb. 83 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen.	214
Abb. 84 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im beprobten Abschnitt der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen.	216
Abb. 85 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern und Frauen, für die F1 erhoben werden konnte.	219
Abb. 86 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern und Frauen, für die T1b erhoben werden konnte.	219
Abb. 87 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern und Frauen, für die H1 erhoben werden konnte.	220
Abb. 88 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern und Frauen, für die R1 erhoben werden konnte.	221
Abb. 89 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen in Korrelation zu F1.	222

Abb. 90 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen in Korrelation zu H1.	224
Abb. 91 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen in Korrelation zu R1.	226
Abb. 92 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen in Korrelation zu ihrer Körperhöhe.	227
Abb. 93 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ der ersten, zweiten und dritten Molaren von Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen in Korrelation zu ihrer Körperhöhe.	229
Abb. 94 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern und Frauen mit und ohne Cribra orbitalia (CO).	231
Abb. 95 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ersten, zweiten und dritten Molaren von Männern (oben) und Frauen (unten) mit Cribra orbitalia.	233
Abb. 96 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern mit und ohne Cribra orbitalia in Korrelation zu ihren verfügbaren Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.	234
Abb. 97 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen mit und ohne Cribra orbitalia in Korrelation zu ihren verfügbaren Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.	235
Abb. 98 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen mit und ohne Zahnschmelzhypoplasien (ZSH).	236
Abb. 99 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ersten, zweiten und dritten Molaren von Männern (oben) und Frauen (unten) mit Zahnschmelzhypoplasien.	238
Abb. 100 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen mit und ohne Zahnschmelzhypoplasien (ZSH) in Korrelation zu ihren Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.	239
Abb. 101 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern und Frauen mit und ohne Zahnfehlstellungen (ZFS).	240
Abb. 102 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ersten, zweiten und dritten Molaren von Männern (oben) und Frauen (unten) mit Zahnfehlstellungen.	242
Abb. 103 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern mit und ohne Zahnfehlstellungen (ZFS) in Korrelation zu ihren Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.	243
Abb. 104 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen mit und ohne Zahnfehlstellungen (ZFS) in Korrelation zu ihren Langknochen bzw. zu ihrer Körperhöhe.	244
Abb. 105 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben sowie $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern (l) und Frauen (r) aus dem Gräberfeld von Schwetzingen.	245
Abb. 106 Individualdaten für Männer mit den $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ihren Zähnen und Rippen im Vergleich.	246

Abb. 107 Individualdaten für Frauen mit ihren $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Zähnen und Rippen im Vergleich.....	247
Abb. 108 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in den ersten, zweiten und dritten Molaren und den Rippen von Männern (l) und Frauen (r) im Vergleich.	248
Abb. 109 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern (l) und Frauen (r) mit und ohne entsprechende Pathologien.	250
Abb. 110 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern (l) und Frauen (r) mit und ohne kariöse Zähne.	252
Abb. 111 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern (l) und Frauen (r) mit und ohne Parodontose.	252
Abb. 112 Indexwerte des Humerus-Längen-Dicken-Index für beide Körperseiten bei Männern und einer Frau aus dem Gräberfeld von Schwetzingen.	255
Abb. 113 Zusammenhang zwischen den Indexwerten des rechten und linken Humerus-Längen-Dicken-Index und der größten Humeruslänge (H1) bei Männern und einer Frau aus dem Gräberfeld von Schwetzingen.	256
Abb. 114 Indexwerte des Femur-Index platymericus für beide Körperseiten bei Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen.	258
Abb. 115 Zusammenhang zwischen den Indexwerten des rechten und linken Femur-Index platymericus und der größten Femurlänge (F1) bei Männern und einer Frau aus dem Gräberfeld von Schwetzingen.	259
Abb. 116 Zusammenhang zwischen den Indexwerten des rechten und linken Femur-Index platymericus und der Körperhöhe (KH) bei Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen.	260
Abb. 117 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ bei Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen mit und ohne Grabbeigaben.....	261
Abb. 118 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ bei Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen mit und ohne Grabbeigaben in Korrelation mit der Körperhöhe (KH).	261

11. Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Vergleich zwischen der älteren (Areal II) und mittlere-jüngeren (Areal I) LBK von Stuttgart-Mühlhausen ‚Viesenhäuser Hof‘. TB = Tuberkulose. Prot. occ. ex. = Protuberancia occipitalis externa (Daten zusammengestellt aus Burger-Heinrich, unveröff. Manuskript, und Price et al. 2003).....	86
Tab. 2 Zahn- und Knochenproben von adulten Skelettindividuen aus Areal I und Areal II aus Stuttgart-Mühlhausen ‚Viesenhäuser Hof‘, für die stabile Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenanalyse im Rahmen der vorliegenden Pilotstudie durchgeführt wurde. Knochenproben (Rippen), die bereits von Knipper isotopisch untersucht wurden, wurden entsprechend gekennzeichnet, und werden in die Auswertung der eigenen Daten einfließen. m = männlich, w = weiblich.	87
Tab. 3 Zahn- und Knochenproben von adulten Skelettindividuen aus Schwetzingen (Kreis Heidelberg), für die stabile Stickstoff- und Kohlenstoffisotopenanalyse im Rahmen der vorliegenden Pilotstudie durchgeführt wurde.....	90
Tab. 4 Ergebnisse der stabilen N- und C-Isotopenanalyse an Zähnen von Individuen aus Stuttgart-Mühlhausen. Grau = C/N-Verhältnis > 3,9; m = männlich, w = weiblich, kD = keine Daten. Mw = Mittelwert. Datierung nach Knipper, im Druck und Price et al. 2003. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰.....	115
Tab. 5 Variationsbreite und Mittelwerte der $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ (in ‰) in Zähnen von Individuen aus Stuttgart-Mühlhausen. Min = Minimalwert, Max = Maximalwert, Mw = Mittelwert.	117
Tab. 6 Messergebnisse der stabilen N- und C- Isotopenanalyse an ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen, Areal I und Areal II, von Stuttgart-Mühlhausen (Ausschnitt aus Tab. 4). Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰.	119
Tab. 7 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der ersten, zweiten und dritten Molaren von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen.....	120
Tab. 8 Langknochenmaße (aus Burger-Heinrich, unveröff. Manuskript) für die in dieser Pilotstudie isotopisch untersuchten Individuen, sowie die anhand dieser Langknochen geschätzten Körperhöhen (KH) (nach Pearson 1899). m = männlich; w = weiblich. Wenn nicht anderes angegeben, handelt es sich um die Knochen der rechten Körperseite. (l) = links.	124
Tab. 9 Formeln zur Berechnung der Körperhöhe (KH) für Skelettindividuen für die im Rahmen dieser Pilotstudie berücksichtigten Langknochen nach Pearson (1899).	125

Tab. 10 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Molaren von Individuen, für die F1 (in mm) erhoben werden konnte. Mw = Mittelwert. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4 und Tab. 8).	125
Tab. 11 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Individuen, für die T1b, H1 und R1 (in mm) erhoben werden konnte. Mw = Mittelwert. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4 und Tab. 8).	129
Tab. 12 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen und Männern aus Areal I und Areal II, für die F1 erhoben werden konnte. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. F1 in mm. (Ausschnitt aus Tab. 6).	134
Tab. 13 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen und Männern aus Areal I und Areal II, für die T1b (in mm) erhoben werden konnte. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 6).	137
Tab. 14 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen und Männern aus Areal I und Areal II, für die H1 (in mm) erhoben werden konnte. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 6).	139
Tab. 15 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen und Männern aus Areal I und Areal II, für die R1(in mm) erhoben werden konnte. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4 und Tab. 8).	143
Tab. 16 Die aus Molaren gewonnenen $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte für Individuen, für die die Körperhöhe geschätzt werden konnte. Mw = Mittelwert, KH = Körperhöhe (in cm). Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4 und Tab. 8).	146
Tab. 17 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen und Männern aus Areal I und Areal II, für die die Körperhöhe geschätzt werden konnte. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. KH = Körperhöhe in cm. (Ausschnitt aus und Tab. 8).	151
Tab. 18 Unspezifische Stressindikatoren (aus Burger-Heinrich, unveröff. Manuskript) bei den in dieser Pilotstudie untersuchten Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen der mittleren-jüngeren (Areal I) und älteren (Areal II) Linienbandkeramik (m = Männer; f = Frauen).....	153
Tab. 19 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Individuen mit und ohne Cribra orbitalia. Mw = Mittelwert, CO = Cribra orbitalia. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4 und Tab. 18).	154
Tab. 20 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen aus Areal II und Männern aus Areal I und II, bei denen Cribra orbitalia diagnostiziert wurde. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 6).	155

Tab. 21 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin sowie Langknochenmaße (in mm) und Körperhöhe (in cm) bei Individuen mit Cribra orbitalia. Mw = Mittelwert, KH = Körperhöhe. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4, Tab. 8 und Tab. 18).	156
Tab. 22 Die aus Molaren gewonnenen $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte von Individuen mit und ohne Cribra orbitalia, sowie die dazugehörigen Daten zu Langknochenmaßen (in mm) und den Körperhöhen (in cm), sofern sie verfügbar waren. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4, Tab. 8 und Tab. 18).....	158
Tab. 23 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben sowie die verfügbaren Daten zu den Langknochenmaßen (in mm) und den Körperhöhen (in cm) von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen mit und ohne Zahnschmelzhypoplasien. Mw = Mittelwert, ZSH = Zahnschmelzhypoplasien. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4, Tab. 8 und Tab. 20).	159
Tab. 24 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen, bei denen Zahnschmelzhypoplasien diagnostiziert wurden. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 6).....	161
Tab. 25 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin sowie Langknochenmaße und Körperhöhe bei Individuen mit Zahnschmelzhypoplasien. Mw = Mittelwert, KH = Körperhöhe. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰ (Ausschnitt aus Tab. 4 und Tab. 8).	162
Tab. 26 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben für Individuen mit und ohne Zahnfehlstellungen. Mw = Mittelwert, ZFS = Zahnfehlstellung. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4 und Tab. 18).	166
Tab. 27 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen, bei denen Zahnfehlstellungen diagnostiziert wurden. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 6).....	168
Tab. 28 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Individuen mit und ohne Zahnfehlstellungen, sowie die Langknochenmaßen (in mm) und die Körperhöhen (in cm), sofern sie verfügbar waren. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4, Tab. 8 und Tab. 18).	169
Tab. 29 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Frauen und Männern aus beiden Gräberfeldarealen (l). $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben (r). Daten von Knipper wurden der Autorin freundlicherweise zur Verfügung gestellt (aus Knipper, im Druck).	172
Tab. 30 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in einzelnen Molaren und in Rippen von Frauen und Männern aus Areal I. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 4 und Tab. 29).	177

Tab. 31 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in einzelnen Molaren und in Rippen von Frauen und Männer aus Areal II. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰ (Ausschnitt aus Tab. 4 und Tab. 29).	178
Tab. 32 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen mit und ohne die untersuchten Pathologien (Daten zu Pathologien aus Burger-Heinrich, unveröff. Manuskript). osteolyt. = osteolytische, osteoplast. = osteoplastische. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰.	183
Tab. 33 Zahnerkrankungen (aus Burger-Heinrich, unveröff. Manuskript) an permanenten Zähnen bei Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen. p. = periapikale, AMTL = <i>ante mortem tooth loss</i> (intravitale Zahnverlust), AB = Abrasion. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰.	188
Tab. 34 Indexwerte des rechten und linken Humerus-Längen-Dicken-Index von Männern und Frauen aus Areal I. M1 = größte Länge des Humerus, M7 = kleinster Umfang der Humerusdiaphyse, H = Humerus, r = rechts, l = links, H1 = größte Humeruslänge, KH = Körperhöhe. H1 und KH aus Tab. 8. Alle Maße in mm. (osteometrische Daten aus Burger-Heinrich, unveröff. Manuskript).	193
Tab. 35 Variationsbreite und Mittelwerte des rechten und linken Humerus-Längen-Dicken-Index für Männer und Frauen aus Areal I. Min = Minimalwert; Max = Maximalwert, Mw = Mittelwert, r = rechts, l = links.....	193
Tab. 36 Indexwerte des rechten und linken Femur-Robustizitätsindex von Frauen und Männern aus Areal I sowie von Männern aus Areal II. M2 = ganze Länge des Femurs, M6 = sagittaler Durchmesser der Femurdiaphysenmitte, M7 = transversaler Durchmesser der Femurdiaphysenmitte, F = Femur, F1 = größte Femurlänge, KH = Körperhöhe, r = rechts, l = links. F1 und KH aus Tab. 8. Alle Maße in mm. (osteometrische Daten aus Burger-Heinrich, unveröff. Manuskript).	196
Tab. 37 Variationsbreite und Mittelwerte des rechten und linken Femur-Robustizitätsindex für Männer und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen. Min = Minimalwert; Max = Maximalwert, Mw = Mittelwert, r = rechts, l = links, AI = Areal I, AII = Areal II.	196
Tab. 38 Indexwerte des rechten und linken Femur-Index platymericus von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen. M9 = oberer sagittaler Durchmesser der Femurdiaphyse, M10 = oberer transversaler Durchmesser der Femurdiaphyse, F = Femur, r = rechts, l = links. F1 und KH aus Tab. 8. Alle Maße in mm. (osteometrische Daten aus Burger-Heinrich, unveröff. Manuskript).	198

Tab. 39 Variationsbreite und Mittelwerte des rechten und linken Femur-Index platymericus für Männer und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen. Min = Minimalwert; Max = Maximalwert, Mw = Mittelwert, r = rechts, l = links, AI = Areal I, AII = Areal II.	199
Tab. 40 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen mit und ohne Grabbeigaben. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Daten zu Beigaben aus Burger-Heinrich, unveröff. Manuskript).	203
Tab. 41 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in beprobten Molaren mit und ohne kariöse Läsionen von Frauen aus Areal I sowie Frauen und Männern aus Areal II. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Daten zu Karies aus Burger-Heinrich, unveröff. Manuskript).....	206
Tab. 42 Ergebnisse der stabilen $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Isotopenanalyse an Zähnen von Individuen aus Schwetzingen. m = männlich, w = weiblich, kD = keine Daten, Mw = Mittelwert. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰.....	210
Tab. 43 Variationsbreite und Mittelwerte der $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ (in ‰) in Zahnproben von Individuen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. Min = Minimalwert, Max = Maximalwert, Mw = Mittelwert.	210
Tab. 44 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42).	213
Tab. 45 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen.....	215
Tab. 46 Langknochenmaße (nach Wahl, unveröff. Gräberfeldkatalog) für die in dieser Pilotstudie isotopisch untersuchten Individuen, sowie die anhand dieser Langknochen geschätzten Körperhöhen (KH) (nach Pearson 1899). Wenn nicht anders angegeben, handelt es sich um Knochen rechter Körperseite. (l) = links.....	217
Tab. 47 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Individuen, für die F1 erhoben werden konnte. Mw = Mittelwert. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 46).....	218
Tab. 48 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Individuen, für die T1b erhoben werden konnte. Mw = Mittelwert. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 46).....	219
Tab. 49 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Individuen, für die H1 (in mm) erhoben werden konnte. Mw = Mittelwert. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 46).	220

Tab. 50 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen und Männern, für die F1 erhoben werden konnte. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 46).	221
Tab. 51 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen und Männern, für die T1b erhoben werden konnte. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 46).	223
Tab. 52 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen und Männern, für die H1 erhoben werden konnte. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 46).	224
Tab. 53 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Frauen und Männern, für die R1 erhoben werden konnte. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 46).	225
Tab. 54 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ der Zahnproben von Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. Mw = Mittelwert, KH = Körperhöhe (in cm). Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 46).	227
Tab. 55 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren und die geschätzte Körperhöhe bei Frauen und Männern aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. KH = Körperhöhe in cm. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 46).	228
Tab. 56 Unspezifische Stressfaktoren (nach Wahl, unveröff. Gräberfeldkatalog) bei den in dieser Pilotstudie untersuchten Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen.	230
Tab. 57 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben sowie Langknochenmaße (in mm) und Körperhöhen (in cm) bei Individuen mit und ohne Cribra orbitalia (CO). Mw = Mittelwert, KH = Körperhöhe. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42, Tab. 46 und Tab. 56).	231
Tab. 58 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen, bei denen Cribra orbitalia diagnostiziert wurde. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 46 und Tab. 56).	232
Tab. 59 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben sowie die verfügbaren Langknochenmaße (in mm) und die Körperhöhen (in cm) für Männer und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen mit und ohne Zahnschmelz- hypoplasien (ZSH). Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42, Tab. 46 und Tab. 56).	236

Tab. 60 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen, bei denen Zahnschmelzhypoplasien diagnostiziert wurden. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 56).	237
Tab. 61 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben sowie die verfügbaren Langknochenmaße (in mm) und die Körperhöhen (in cm) für Männer und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen mit und ohne Zahnfehlstellungen (ZFS). Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42, Tab. 46 und Tab. 56).	240
Tab. 62 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren bei Männern und Frauen, bei denen Zahnfehlstellungen diagnostiziert wurden. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Ausschnitt aus Tab. 42 und Tab. 56).	241
Tab. 63 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Frauen und Männern von Schwetzingen (I). $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte in ihren Zahnproben aus Tab. 42 (r).	244
Tab. 64 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen mit und ohne die untersuchten Pathologien (nach Wahl, unveröff. Gräberfeldkatalog). osteolyt. = osteolytische, osteoplast. = osteoplastische. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Rippendaten aus Tab. 63).	249
Tab. 65 Zahnerkrankungen (nach Wahl, unveröff. Gräberfeldkatalog) an permanenten Zähnen bei Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. p = periapikal, AMTL = <i>ante mortem tooth loss</i> (intravitaler Zahnverlust), AB = Abrasion. (Rippendaten aus Tab. 63).	253
Tab. 66 Indexwerte des rechten und linken Humerus-Längen-Dicken-Index von Männern und einer Frau aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. M1 = größte Länge des Humerus, M7 = kleinster Umfang der Humerusdiaphyse, H = Humerus, r = rechts, l = links. H1 = größte Humeruslänge. H1 und KH aus Tab. 46. Alle Maße in mm. (Langknochenmaße aus Wahl, unveröff.).	254
Tab. 67 Variationsbreite und Mittelwerte des rechten und linken Humerus-Längen-Dicken-Index für Männer und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. Min = Minimalwert; Max = Maximalwert, Mw = Mittelwert, r = rechts, l = links.	255
Tab. 68 Indexwerte des rechten und linken Femur-Robustizitätsindex von Männern aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. M2 = ganze Länge des Femurs, M6 = sagittaler Durchmesser der Femurdiaphysenmitte, M7 = transversaler Durchmesser der Femurdiaphysenmitte, F = Femur, r = rechts, l = links, F1 = größte Femurlänge. F1 und KH aus Tab. 46. Alle Maße in mm. (Langknochenmaße aus Wahl, unveröff.).	256

Tab. 69	Indexwerte des rechten und linken Femur-Index platymericus von Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. M9 = oberer sagittaler Durchmesser der Femurdiaphyse, M10 = oberer transversaler Durchmesser der Femurdiaphyse, F = Femur, r = rechts, l = links, F1 = größte Femurlänge, KH = Körperhöhe. F1 und KH aus Tab. 46. Alle Maße in mm. (Langknochenmaße aus Wahl, unveröff.).	257
Tab. 70	Variationsbreite und Mittelwerte des rechten und linken Femur-Index platymericus für Männer und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. Min = Minimalwert; Max = Maximalwert, Mw = Mittelwert, r = rechts, l = links.	257
Tab. 71	$\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Rippen von Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen mit und ohne Grabbeigaben. Alle $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in ‰. (Daten zu Grabbeigaben aus Gerling 2007).	260
Tab. 72	Zusammenhang zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Molaren von Frauen und Männern aus dem Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen und der Körperhöhe am Übergang von der älteren zur mittleren/jüngeren Linienbandkeramik.	262
Tab. 73	Zusammenhang zwischen $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in Molaren von Frauen und Männern aus den Gräberfeldern von Stuttgart-Mühlhausen und Schwetzingen der mittleren/jüngeren Linienbandkeramik und der Körperhöhe im Vergleich.	274

12. Bibliographie

Acheson, R. M., Hewitt, D.: Oxford child health survey: Stature and skeletal maturation in the preschool child. In: *British Journal of Preventive and Social Medicine*. Vol. 8. 1954:59-65.

Adler, C. J., Dobney, K., Weyrich, L. S., Kaidonis, J., Walker, A. W., Haak, W., Bradshaw, C. J. A., Townsend, G., Soltysiak, A., Alt, K. W., Parkhill, J., Cooper, A.: Sequencing ancient calcified dental plaque shows changes in oral microbiota with dietary shifts of the Neolithic and Industrial revolutions. In: *Nature Genetics*. Vol. 45. 2013:450-455.

Aerenhouts, D., Van Cauwenberg, J., Poortmans, J. R., Hauspie, R., Clarys, P.: Influence of growth rate on nitrogen balance in adolescent sprint athletes. In: *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. Vol. 23, Nr. 4. August 2013:409-417.

Ahrensburg, B.: Ancient dental calculus and diet. In: *Human Evolution*. Vol. 11, Issue 2. April-June 1996:139-145.

Alfonso, M. P., Thompson, J. L., Standen, V. G.: Reevaluating Harris lines-a comparison between Harris lines and enamel hypoplasia. In: *Collegium Antropologicum*. Vol. 29, No. 2. Dec. 2005:393-408.

Almonaitiene, R., Balciuniene, I., Tutkuvienė, J.: Factors influencing permanent teeth eruption. Part one - general factors. In: *Stomatologija, Baltic Dental and Maxillofacial Journal*. Vol. 12. 2010:67-71.

Alt, K., Röder, B.: Das biologische Geschlecht ist nur die halbe Wahrheit: der steinige Weg zu einer anthropologischen Geschlechterforschung. In: *Zwischen Diskursanalyse und Isotopenforschung: Methoden der archäologischen Geschlechterforschung: Bericht der 3. Sitzung der AG Geschlechterforschung auf der 78. Tagung des Nordwestdeutschen Verbandes für Altertumsforschung e.V. in Schleswig 2007*. Münster. 2009:85-129.

Alter, G.: Height, frailty, and the standard of living: modelling the effects of diet and disease on declining mortality and increasing height. In: *Population Studies (Camb)*. Vol. 58, No. 3.

2004:265-79.

Ambrose, S. H.: Isotopic analysis of paleodiets: Methodological and interpretive considerations. In: M. K. Sandford, (ed.): Investigations of ancient human tissue: Chemical analysis in anthropology. Langhorne, PA: Gordon and Breach Science Publishers. 1993:59-129.

Ambrose, S. H.: Effects of diet, climate and physiology on nitrogen isotope abundances in terrestrial foodwebs. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol.18. 1991:293-317.

Ambrose, S. H.: Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 17. 1990:431-451.

Ambrose, S. H.: Chemical and isotopic techniques of diet reconstruction in Eastern North America. In: Keegan, W.F. (ed.): Emergent horticultural economies of the eastern woodlands. Occasional Paper No. 7. Center for Archaeological Investigations, Southern Illinois University, Carbondale. 1987:87-107.

Ambrose, S. H.: Stable carbon and nitrogen isotope analysis of human and animal diet in Africa. In: *Journal of Human Evolution*. Vol. 15. 1986:707-731.

Ambrose, S. H., Butler, B. M., Hanson, D. B., Hunter-Anderson, R. L. Krueger, H. W.: Stable isotopic analysis of human diet in the Marianas archipelago, western Pacific. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 104. 1997:343-361.

Ambrose, S. A., DeNiro, M. J.: Bone nitrogen isotope composition and climate. In: *Nature*. Vol. 325. 1987:201.

Ambrose, S. A., DeNiro, J.: The isotopic ecology of East African mammals. In: *Oecologia*. Vol: 69. 1986:395-406.

Ambrose, S. H., Norr, L.: 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, J. B., Grupe, G. (eds.): Prehistoric human bone: Archaeology at the molecular level. Springer-Verlag. Berlin. 1993. 1-37.

Antonov, Yu. A., Tolstoguzov, V. B.: Food protein from green plant leaves. In: *Nahrung*. Vol. 34.1990:125-134.

Armstrong, L. E., Curtis, W. C., Hubbard, R. W., Francesconi, R. P., Moore, R., Askew, E. W.: Symptomatic hyponatremia during prolonged exercise in heat. In: *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Vol. 25. 1993:543-549.

Arneborg, J., Heinemeier, J., Lynnerup, N., Nielsen, H. L., Rud, N., Sveinbjornsdottir, A. E.: Change of diet of the Greenland Vikings determined from stable carbon isotope analysis and ^{14}C dating of their bones. In: *Radiocarbon*. Vol. 41, Nr. 2. 1999:157-168.

Aster, J. C.: Red blood cell and bleeding disorders. In: Kumar, V., Fausto, N., Abbas, A. (eds.): *Robbins and Cotrain - Pathological Basis of Diseases*. Seventh Edition. Saunders W. B.. 2004:619-60.

Aßmann, C., Hermanussen, M.: Modeling determinants of growth: evidence for a community-based target in height? In: *Pediatric Research*. Vol. 74, No.1. July 2013:88-95.

Aufderheide, A. C.: *The Cambridge encyclopedia of human paleopathology*. Cambridge University Press. Auflage: Reissue. Oktober 2011.

Aufderheide, A. C., Rodriguez-Martin, C.: *The Cambridge encyclopedia of human paleopathology*. Cambridge University Press. 1998.

Avery, J. K.: *Oral development and histology*. Thieme Press. 2002.

Bach, F.: Untersuchungen über Körpergröße und Körpergewicht bei Kindern verschiedener sozialer Berufsgruppen. In: *Anthropologischer Anzeiger*. Jahrgang 27. Nr. 3/4. 1965:289-296.

Bach, H., Jaeger, U., Zellner, K.: Die sekuläre Akzeleration der Körperhöhe. In: Göhler, W. (Hrsg.): *Medizinische und gesellschaftliche Probleme der Humangenetik*. Berlin. 1985:63-72.

Backer, P. T.: Ecological and physiological adaptation in indigenous South Americans. In: Baker, P. T., Weiner, J. S. (eds.): *The biology of human adaptability*. Clarendon Press, Ox-

ford. 1966:275-303.

Bánffy, E.: The 6th Millennium BC boundary in Western Transdanubia and its role in the Central European transition (The Szentgyörgyvölgy-Pityerdomb settlement). Budapest. 2004.

Barasi, M.: Human nutrition. A health perspective. 2nd Edition. Taylor and Francis Group. Chapter 12. 2003:251-279.

Barker, D.: The fetal origins of coronary heart disease. In: *British Medical Journal*. Vol. 311. 1995:171-4.

Barker, D.: The fetal and infant origins of adult disease. In: *British Medical Journal*. Vol. 301, No. 6761.1990:1111.

Barker, D., J., P., Osmond, C.: Infant mortality, childhood nutrition, and ischaemic heart disease in England and Wales. In: *The Lancet*. May 10. 1986:1077-1081.

Barnes, E.: Diseases and human evolution. Albuquerque. University of New Mexico Press. 2005.

Barnes, M. J.: Function of ascorbic acid in collagen metabolism. In: *Annals of the New York Academy of Sciences*. Vol. 258. 1975:264-278.

Baten, J., Böhm, A.: Children's height and parental employment: A large-scale anthropometry study on Eastern Germany, 1994-2006. Cesifo Working Paper No. 2189. Category 3: Social Protection. January. 2008:1-35.

Baten, J., Murray, J.: Heights of men and women in nineteenth century Bavaria: economic, nutritional, and disease influences. In: *Explorations in economic history*. Vol. 37. 2000:351-369.

Baten, J., Stegl, M., van der Eng, P.: The biological standard of living and body height in colonial and post-colonial Indonesia, 1770–2000. In: *Journal of Bioeconomics*. Vol. 15, Issue 2. July 2013:103-122.

Battles, H. T.: Long bone bilateral asymmetry in the nineteenth-century Stirrup Court Cemetery collection from London, Ontario. Nexus: In: The Canadian Student Journal of Anthropology. Vol. 21, No.1. 2009:1-15.

Baume, L. J.: The biology of pulp and dentine. A historic, terminologic-taxonomic, histologic-biochemical, embryonic and clinical survey. In: Myers, H.M. (ed.): Monographs in oral science. Vol. 8. S. Karger. Basel. München. Paris. London. New York. Sydney. 1980.

Beaton, G.: Small but healthy? Are we asking the right questions? In: *Human Organization*. Vol. 48, No. 1. 1989:30-39.

Beja-Pereira, A., Luikart, G., England, P. R., Bradley, D. G., Jann, O. C., Bertorelle, G., Chamberlain, A. T., Nunes, T. P., Metodiev, S., Ferrand, N., Erhardt, G.: Milk drinkers: Gene-culture coevolution between cattle milk protein genes and human lactase genes. In: *Nature Genetics*. Vol.35. 2003:311-313.

Beja-Pereira, A., Luikart, G., England, P. R., Bradley, D. G., Jann, O. C., Bertorelle, G., Bentley, R. A., Price, T. D., Lüning, J., Gronenborn, D., Wahl, J., Fullagar, P. D.: Prehistoric migration in Europe: Strontium isotope analysis of early neolithic skeletons. In: *Current Anthropology*. Vol. 43, Nr.5. December 2002:799-804.

Bender, D. A.: Nitrogen balance and proteinturnover - protein and amino acids in human nutrition. In: Bender, D. A. (ed.): Amino acid metabolism. 3rd Edition. Wiley-Blackwell. 2012:67-104.

Bender, M. M.: Variations in the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of plants in relations to the pathway of photosynthetic carbon dioxide fixation. In: *Phytochemistry*. Vol. 10. 1971:1239-1244.

Bender, M. M., Baerreis, D. A., Steventon, R. L.: Further light on carbon isotopes and Hopewell agriculture. In: *American Antiquity*. Vol. 46. 1981:346-353.

Benecke, N.: Der Mensch und seine Haustiere. Die Geschichte einer jahrtausendealten Beziehung. Konrad Theiss, Stuttgart.1994.

Bennholdt-Thomsen, C.: Die Entwicklungsbeschleunigung der Jugend. In: *Ergebnisse der Inneren Medizin und Kinderheilkunde*. Vol. 62. 1942:1153-1237.

Bentley, R. A.: Human mobility and the prehistoric spread of farming: isotope evidence from human skeletons. In: *Archaeology International*. Issue 8. 2004:29-32.

Bentley, G. R.: How did prehistoric women bear "men the hunter"? Reconstruction fertility from the archaeological record. In: Wright, R. P. (ed.): *Gender and archaeology*. University of Pennsylvania Press. Chapter 1. 1996:23-50.

Bentley, R. A., Bickle, P., Francken, M., Gerling, C., Hamilton, J., Hedges, R., Stephan, E., Wahl, J., Whittle, A.: Baden-Württemberg. In: Bickle, P., Whittle, A., (eds.): *The First farmers of Central Europe: Diversity in LBK lifeways*. Oxbow Books. 2013:251-290.

Bentley, R. A., Price, T. D., Lüning, J., Gronenborn, D., Wahl, J., Fullagar, P. D.: Prehistoric migration in Europe: Strontium isotope analysis of early neolithic skeletons. In: *Current Anthropology*. Vol. 43, Number 5. December 2002:799-804.

Bentley, R. A., Price, T. D., Stephan, E.: Determining the 'local' Sr-87/Sr-86 range for archaeological skeletons: a case study from Neolithic Europe. In: *Journal of Archaeological Sciences*. Vol. 31. 2004:365-375.

Berg, L.: *Introductory botany: plants, people and environment*. Second edition. Thomson Brooks/Cole. 2008.

Berghold, F., Schaffert, W.: *Handbuch der Trekking- und Höhenmedizin. Praxis der Höhenanpassung -Therapie der Höhenkrankheit. Richtlinien der Österreichischen Gesellschaft für Alpin- und Höhenmedizin und der Deutschen Gesellschaft für Berg- und Expeditionsmedizin*. 7. Auflage. 2009

Bergmann, C.: Über die Verhältnisse der Wärmeökonomie der Thiere zu ihrer Grösse. In: *Göttinger Studien*. Band 3, Nr.1. 1847:595-708.

Bernstein, R. M.: The big and small of It: How body size evolves. In: *Yearbook of Physical Anthropology*. Vol. 53. 2010:46-62.

Bickle, P., Hofmann, D., Bentley, R. A., Hedges, R. E. M., Hamilton, J., Laiginhas, F., Nowell, G., Pearson, D. G., Grupe, G., Whittle, A.: Roots of diversity in a Linearbandkeramik community: isotope evidence at Aiterhofen (Bavaria, Germany). In: *Antiquity*. Vol. 85. 2011:1243-1253.

Biesalski, H. K.: Ernährung und Evolution. In: Biesalski, H. K., Bischoff, S. C., Puchstein, C.: *Ernährungsmedizin. Nach dem neuen Curriculum Ernährungsmedizin der Bundesärztekammer*. 4. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Thieme Verlag. 2010:4-19.

Blackburn, T. M., Gaston, K. J., Loder, N.: Geographic gradients in body size: A clarification of Bergmann's Rule. In: *Diversity and Distributions*. Vol. 5. 1999:165-174.

Bodley, J. H.: Cultural anthropology: Tribes, states, and the global system. AltaMira Press; 5th Edition edition. 2011.

Bogaard, A., Frasers, R., Heaton, T. H. E., Wallace, M., Vaiglova, P., Charles, M., Jones, G., Evershed, R. P., Styring, A. K., Andersson, N. H., Arbogast, R.-M., Bartosiewicz, L., Gardeisen, A., Kanstrup, M., Maier, U., Marinova, E., Ninova, L., Schäfer, M., Stephan, E.: Crop manuring and intensive land management by Europe's first farmers. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. Vol. 110, No. 31. July 30, 2013:12589-12594.

Bogaard, A., Heaton, T. H. E., Poulton, P., Merbach, I.: The impact of manuring on nitrogen isotope ratios in cereals: Archaeological implications for reconstruction of diet and crop management practices. In: *Journal of Archaeological Sciences*. Vol. 34, No.3. 2007:335-343.

Bogin, B., Hermanussen, M., Blum, W. F., Aßmann, C.: Sex, sport, IGF-1 and the community effect in height hypothesis. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Vol. 12. 2015:4816-4832.

Bogin, B., Smith, B. H.: Evolution of the human life cycle. In: *American Journal of Human Biology*. Vol. 8. 1996:703-716.

Bogucki, P. I.: Ceramic sieves of the Linear Pottery Culture and their economic implications. In: *Oxford Journal of Archaeology*. Vol. 3. 1984:15-30.

Bollongino, R.: Bœuf oriental. Die Herkunft unserer Hausrinder aus genetischer Sicht. 2012
http://www.journal-culinaire.de/ausgaben/jc14_bollongino.pdf (Stand: 02.02.2015)

Bollongino, R., Burger, J., Powell, A., Mashkour, M., Vigne, J.-D., Thomas, M. G.: Modern taurine cattle descended from small number of Near-Eastern founders. In: *Molecular Biology and Evolution*. Advance Access publication. March 14, 2012.

Bonafini, M., Pellegrini, M., Ditchfield, P., Pollard, A. M.: Investigation of the 'canopy effect' in the isotope ecology of temperate woodlands. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 40, Issue 11. November 2013:3926-3935.

Boutton, T. W.: Stable carbon isotope ratios of natural materials: II. Atmospheric, terrestrial, marine, and freshwater environments. In: Coleman, D. C., Fry, B. (eds.): *Carbon isotope techniques*. Academic Press. 1991:171-183.

Bramanti, B., Thomas, M. G., Haak, W., Unterlaender, M., Jores, P., Tambets, K., Antanaitis-Jacobs, I., Haidle, M. N., Jankauskas, R., Kind, C.-J., Lueth, F., Terberger, T., Hiller, J., Matsumura, S., Forster, P., Burger, J.: Genetic discontinuity between local hunter-gatherers and Central Europe's first farmers. In: *Science*. Vol. 326. 2 October. 2009:137-140.

Bräuer, G.: Osteometrie. In: R. Knußmann (Hrsg.): *Anthropologie, Handbuch der Vergleichenden Biologie des Menschen*. Stuttgart New York, Gustav Fischer Verlag. 1988:160-232.

Breitinger, E.: Zur Berechnung der Körperhöhe aus den langen Gliedmaßenknochen. In: *Anthropologischer Anzeiger*. Jahrg. 14, H. 3/4. 1937:249-274.

Breul, D.: Methoden der Geschlechts-, Körperlängen- und Lebensalterbestimmung von Skeletten. In: Weinig, E., Berg, S. (Hrsg.): Arbeitsmethoden der medizinischen und naturwissenschaftlichen Kriminalistik. Band 12. Max Schmidt-Römhild Verlag. Lübeck. 1974.

Brickley, M., Ives, R.: The Bioarchaeology of metabolic bone disease. Academic Press, San Diego. 2008.

Brothwell, D. R.: Digging up bones. The excavation, treatment and study of human skeletal remains. Third Edition. Oxford University Press. United Kingdom. 1981.

Brothwell, D. R.: Digging up bones. The excavation, treatment and study of human skeletal remains. Second Edition. Oxford University Press. United Kingdom. 1972.

Brown, T. A., Brown, K.: Biomolecular Archaeology: An Introduction. Wiley-Blackwell; 1 edition. 2011.

Büchi, E. C.: Änderungen der Körperform beim erwachsenen Menschen. Eine Untersuchung nach der Individualmethode. Berger. Wien. 1950.

Buchta, M., Sönnichsen, A.: Das Physikum. 1. Auflage. Urban and Fischer Verlag. München, Jena. 2003.

Büchting, A.: Kunststoffinfiltration natürlicher approximaler kariöser Läsionen unterschiedlicher Krankheitsstadien in vitro. Dissertation, Berlin. 2013.

Buddecke, E.: Biochemische Grundlagen der Zahnmedizin. Walter de Gruyter. Berlin. New York. 1981.

Buikstra, J. E., Ubelaker, D. H.: Standards for data collection from human skeletal remains. Fayetteville, Arkansas: Arkansas Archaeological Survey Report. Number 44. 1994.

Burger, J.: Die Milch macht's! Die ersten Bauern Europas und ihre Rinder. 2011:75-80.
<http://www.uni-mainz.de/FB/Biologie/Anthropologie/MoIA/Deutsch/Downloads/Burger%20Universitas%202011.pdf>

Burger, J., Gronenborn, D., Foster, P., Matsumura, S., Bramanti, B., Haak, W.: Response to comment on "Ancient DNA from the first European farmers in 7500-Year-Old Neolithic Sites". In: *Science*. Vol. 312. 2006:1875-1876.

Burger, J., Kirchner, M., Bramanti, B., Haak, W., Thomas, M.G.: Absence of the lactase-persistence-associated allele in early Neolithic Europeans. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol.104, No. 10. March 6. 2007:3736-3741.

Burger-Heinrich, E.: Die menschlichen Skelettreste aus dem Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen, 'Viesenhäuser Hof'. Anthropologische Befunde der Grabungen aus den Jahren 1977, 1982 und 1991-1993. unpubl. Manuskript.

Burke, B. S., Beal, V. A., Kirkwood, S. B., Stuart, H. C.: The influence of nutrition during pregnancy upon the condition of the infant at birth. In: *Journal of Nutrition*. Vol. 26. 1943: 569-583.

Bürki, C. D.: Wachstumshormon (GH) und Insulin-ähnliche Wachstumsfaktoren (IGF) beim wachsenden Hund in Relation zur Körpergröße am Modell des Pudels. Dissertation, Zürich. 2000.

Byahatti, S., Ingafou, M. S. H.: Prevalence of eruption status of third molars in Libyan students. In: *Dental Research Journal (Isfahan)*. Vol. 9, Nr. 2. Mar-Apr 2012:152-157.

Cahill, G. F. Jr., Aoki, T. T.: Starvation and body nitrogen. In: *Transactions of the American Clinical and Climatological Association*. Vol. 82. 1971:43-51.

Cameron, N.: Wachstum im 21. Jahrhundert: der Einfluss von Ernährungs- und Wirtschaftsfaktoren. In: Alt, K. W., Kemkes-Grottenthaler, A. (Hrsg.): *Kinderwelten. Anthropologie-Geschichte-Kulturvergleich*. Böhlau Verlag. Köln. Weimar. Wien. 2002:413-421.

Cameron, N., Demerath, E. W.: Critical periods of growth and their relationship to diseases of aging. In: *Yearbook of Physical Anthropology*. Vol. 45. 2002:159-184.

Campbell, T. D.: Dentition and palate of the Australian Aboriginal. Hassell Press, Adelaide. 1925.

Cardoso, H. F.: Environmental effects on skeletal versus dental development: Using a documental subadult skeletal sample to test a basic assumption in human osteological research. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol.132. 2007:223-233.

Carli-Thiele, P., Schultz, M.: Ätiologie und Epidemiologie der Krankheiten des Kindesalters im Neolithikum. In: *Beiträge zur Archäozoologie und Prähistorischen Anthropologie*. Vol. II. 1999.

Carli-Thiele, P., Schultz, M.: Microscopic differential diagnosis of so called cribra orbitalia—a contribution to the etiology of orbital porotic hyperostosis. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. [Suppl.24]. 1997:88.

Carlson, S. E., Werkman, S. H., Peeples, J. M., Cooke, R. J., Tolley, E. A.: Arachidonic acid status correlates with first year growth in preterm infants. In: *Proceeding of National Academy of Science USA*. Vol. 90.1993:1073-1077.

Carlson, S. E., Werkman, H., Tolley, E.: Effect of long-chain n-3 fatty acid supplementation on visual acuity and growth of preterm infants with and without bronchopulmonary dysplasia. In: *American Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 63. 1996:687-697.

Caselitz, P.: Caries ancient plague of humankind. In: Alt, K. W., Rösing, F. W., Teschler-Nicola, M. (eds.): *Dental Anthropology. Fundamentals, Limits, and Prospects*. Springer, Wien, New York.1998:203-226.

Cernerud, L.: Height and social mobility. A Study of the height of 10 year olds in relation to socio-economic background and type of formal schooling. In: *Scandinavian Journal of Social Medicine*. Vol. 23, No. 1. 1995.

Chaia, A. P., Oliver, G.: Intestinal microflora and metabolic activity. In: Fuller, R., Perdigón, G. (eds.): *Gut flora, nutrition, immunity and health*. Blackwell Publishing Ltd. Chapter 4. 2003:77-98.

Chakraborty, P. K., Stewart, A. P., Seager, W. J.: Relationship of growth and serum growth hormone concentration in the prepubertal Labrador bitch. In: *Laboratory Animal Science*. Vol. 33. 1983:51-55.

Chambers, R., Longhurst, R., Pacey, A. (eds.): Seasonal dimensions to rural poverty. Frances Pinter. London. 1981.

Chamberlain, A. T., Nunes, T. P., Metodiev, S., Ferrand, N., Erhardt, G.: Gene-culture coevolution between cattle milk protein genes and human lactase genes. In: *Nature Genetics*. Vol. 35, No.4. December 2003:1-3.

Chen, J.: Aerobic exercise, gene expression and chronic diseases. In: Simopoulos, A. P., Pavlou, K. N. (eds.): *Nutrition and fitness: Diet, genes, physical activity and health*. 4th International Conference on Nutrition and Fitness Athens, May 25–29, 2000. Karger. Basel, Freiburg, Paris, London, New York, New Delhi, Bangkok, Singapore, Tokyo, Sydney. 2001:108-117.

Chibba, K., Bidmos, M. A.: Using tibia fragments from South Africans of European descent to estimate maximum tibia length and stature. In: *Forensic Science International*. Vol. 169 (2-3). 4 July 2007:145-51.

Chisholm, B. S., Nelson, D. E., Schwarcz, H. P.: Stable-carbon isotope ratios as a measure of marine versus terrestrial protein in ancient diets. In: *Science*. Vol. 216 (4550). 4 June 1982:1131-1132.

Cloos, P. A., Jensen, A. L.: Age-related de-phosphorylation of proteins in dentin: a biological tool for assessment of protein age. In: *Biogerontology*. Vol. 1, No. 4. 2000:341-356.

Cohen, M. N., Armelagos, G. J.: Paleopathology at the origins of agriculture. In: Cohen, M. N., Armelagos, G. J. (eds.): *Paleopathology at the origins of agriculture*. Orlando, FL: Academic Press. 1984:585-602.

Connett, M.: Tooth decay trends in fluoridated vs. unfluoridated countries. <http://fluoridealert.org/studies/caries01/> (Stand: 21.10.2014).

Copley, M. S., Berstan, R., Dudd, S. N., Docherty, G., Mukherjee, A. J., Straker, V., Payne, S., Evershed, R. P.: Direct chemical evidence for widespread dairying in prehistoric Britain. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol.100. 2003:1524-1529.

Coppa, A., Bondioli, L., Cucina, A., Frayer, D. W., Jarrige, C., Jarrige, J.-F., Quivron, G., Rossi, M., Vidale, M., Macchiarelli, R.: Palaeontology: Early Neolithic tradition of dentistry. In: *Nature*. Vol. 440. April 2006:755-756.

Cox, G., Sealy, J.: Investigating identity and life history: isotopic analysis and historical documentation of slave skeletons found in the Cape Town foreshore, South Africa. In: *International Journal of Historical Archaeology*. Vol. 1. 1997:207-224.

Coyle, E. F.: Physical activity as a metabolic stressor. In: *American Journal of Clinical Nutrition*. 2000. 72 [Suppl.]:512-520.

Cramon-Taubadel, von N.: Global human mandibular variation reflects differences in agricultural and hunter-gatherer subsistence strategies. In: *Proceedings of National Academy of Sciences*. Vol. 108, No. 49. December 6. 2011:19546-19551.

Crosby, W. M., Metcalf, J., Costiloe, K. P., Mameesh, M., Sandstead, H. H., Jacob, R. A., McClain, P. E., Jacobson, G., Reid, W., Burns, G.: Fetal malnutrition: An appraisal of correlated factors. In: *American Journal of Obstetrics and Gynecology*. Vol. 128, No. 1. May 1. 1977:22-31.

Cross, M. L., Gill, H. S.: Can immunoregulatory lactic acid bacteria be used as dietary supplements to limit allergies? In: *International Archives of Allergy and Immunology*. Vol. 125. 2001:112-119.

Cunha, E., Ramirez Rozzi, F. R., Bermúdez de Castro, J. M., Martinon-Torres, M., Wasterlain, S. N., Sarmiento, S.: Enamel hypoplasias and physiological stress in the Sima de los Huesos Middle Pleistocene hominins. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 125. 2004:220-231.

Czermak, A. M.: Soziale Stratifizierung im frühen Mittelalter - Aussage- und Nachweismöglichkeiten anhand von biologischen Indikatoren. Dissertation, München. 2006.

Černý, M., Komenda, S.: Reconstruction of body height based on humerus and femur lengths (material from Czech lands). 2nd Anthropological Congress of Aleš Hrdlička. Praha: Univerzita Karlova, 1982:475-479.

Čuk, T., Leben-Seljak, L., Štefančič, M.: Lateral asymmetry of human long bones. In: *Variability and Evolution*. Vol. 9. 2001:19-32.

Dahlberg, G.: Vererbung und Rasse. Phönix-Verlag Christen & CO. Hamburg. 1947.

Dahlberg, A. A.: The dentition of the American Indian. In: Laughlin, W. S. (ed.): *The physical anthropology of the American Indian*. New York, Viking Fund Inc..1951:138-76.

Dallman, P. R.: Nutritional anemia of infancy: iron, folic acid, and vitamin B12. In: Tsang, R. C., Nichols, B. L. (eds.): *Nutrition during Infancy*. Henley and Belfus, Philadelphia, PA.1988:216-235.

D'Ercole, J. A., Applewhite, G. T., Underwood, L. E.: Evidence that somatomedin is synthesized by multiple tissues in the fetus. In: *Developmental Biology*. Vol. 75, Issue 2. 15 March 1980:315-328.

Dean, C. M.: Retrieving chronological age from dental remains of early fossil hominins to reconstruct human growth in the past. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society. B*. Vol. 365. 2010:3397-3410.

Deines, P.: The isotopic composition of reduced organic carbon. In: Fritz, P., Fontes, J. C. (eds.): *Handbook of environmental isotope geochemistry*. Volume 1. The terrestrial environment, A. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam, Oxford, New York. Chapter 9. 1980:329-406.

DeLong, L., Burkhart, N.: General and oral pathology for dental hygienists. 1st Edition. Lippincott Williams and Wilkins. March 28. 2008.

DeLuca, H. F., Cantorna, M. T.: Vitamin D: its role and uses in immunology. In: *FASEB Journal*. Vol. 15. December 2001:2579-2585.

Demirjian, A.: Dentition. In: Falkner, F., Tanner, J. M. (eds.): *Human growth*. Academic Press. New York, London. 1986:269-298.

Demirjian, A.: Dental development: a measure of physical maturity. In: Johnston, F. E., Roche, A. F., Susanne, C. (eds.): *Human physical growth and maturation*. Plenum Press, New York. 1980:83-100.

Demirjian, A., Goldstein, H., Tanner, J. M.: A new system of dental age assessment. In: *Human Biology*. Vol. 45, Nr. 2. May 1973:211-227.

DeNiro, M. J.: Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to paleodietary reconstruction. In: *Nature*. Vol. 31. 1985:806-809.

DeNiro, M. J., Epstein, S.: Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. In: *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Vol. 45. 1981:341-351.

DeNiro, M. J., Epstein, S.: Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. In: *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Vol. 42. 1978:495-506.

DeNiro, M. J., Schoeninger, M. J.: Stable carbon and nitrogen isotope ratios of bone collagen: Variations within individuals, between sexes, and within populations raised on monotonous diets. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 10. 1983:199-203.

Denne, S. C., Patel, D., Kalhan, S. C.: Leucine kinetics and fuel utilization during a brief fast in human pregnancy. In: *Metabolism*. Vol. 40. 1991:1249-1256.

DePaola, D. P., Touger-Decker, R., Rigassio-Radler, D., Faine, M. P.: Nutrition and dental medicine. In: Shils, M. E., Shike, M., Ross, A. C., Caballero, B., Cousins, R. J. (eds.): *Modern nutrition in health and disease*. Tenth edition. Lippincott Williams & Wilkins. 2006:1152-1178.

Deschner, T., Fuller, B. T., Oelze, V. M., Boesch, C., Hublin, J.-J., Mundry, R., Richards, M. P., Ortmann, S., Hohmann, G.: Identification of energy consumption and nutritional stress by isotopic and elemental analysis of urine in bonobos (*Pan paniscus*). In: *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. Vol. 26. 2012:69-77.

Dhir, S.: Biofilm and dental implant: The microbial link. In: *Journal of Indian Society of Periodontology*. Vol. 17. 2013:5-11.

Diamond, J.: Father's Milk. In: *Discover Magazine*. February 1995.

Diecke, M.: Vergleichende Untersuchung zur Validität und Reliabilität unterschiedlicher Methoden der Okklusalkariesdiagnostik. Dissertation, Berlin. 2009.

Dittmann, W.: Untersuchung über die Abhängigkeit von Zahn-und Körpergröße. Dissertation, München. 1986.

Dittmann, K., Grupe, G.: Biochemical and palaeopathological investigations on weaning and infant mortality in the early Middle Ages. In: *Anthropologischer Anzeiger*. Jahrgang 58, Heft 4. Dezember 2000:345-355.

Douglas, D. C., Handcock, W. D., Young, G. M. (eds.): English historical documents, 1833-1874. Routledge. Vol. IX: 1956.

Drews, U.: Anthropometrische Messungen an Kindern im Alter von vier bis fünf Jahren in Wiesloch bei Heidelberg. Teilbereich Körpergröße und Körpergewicht. Dissertation, Frankfurt am Main. 1988.

Dudgeon, J. V., Tromp, M.: Diet, geography and drinking water in Polynesia: microfossil research from archaeological human dental calculus. Rapa Nui (Easter Island). In: *International Journal of Osteoarchaeology*. Vol. 24, Issue 5. September/October 2014: 634-648.

Duerr, J.: Zum Beginn der Milchnutzung in Mitteleuropa. *Ethnographisch-Archäologische Zeitschrift* 48. 2007:335-373.

Dupras, T. L., Schwarcz, H. P., Fairgrieve, S. I.: Infant feeding and weaning practices in Roman Egypt. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 115. 2001:204-211.

Dvorak, B., Fituch, C. C., Williams, C. S., Hurst, N. M., Schanler, R. J.: Increased epidermal growth factor levels in human milk of mothers with extremely premature infants. In: *Pediatric Research*. Vol. 54, Nr. 1. July 2003:15-9.

Eerksen, J. W., Berget, A. G., Bartelink, E. J.: Estimating weaning and early childhood diet from serial micro-samples of dentin collagen. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 38. 2011:3101-3111.

EFSA (European Food Safety Authority): Scientific opinion on the substantiation of a health claim related to iodine and the growth of children pursuant to article 14 of regulation (EC) No 1924/2006. In: *EFSA Journal*. Vol. 7, No. 11. 2009:1359.

Eigenmann, E. J., De Bruijne, J. J., Froesch, E. R.: Insulin-like growth factor I and growth hormone in canine starvation. In: *Acta Endocrinol. (Copenh)*. Vol. 108. 1985:161-166.

Eilert, J.: Psychologie der Menschenrechte. Menschenrechtsverletzungen im deutschen Heimsystem (1945-1973). V&R Unipress. Göttingen. 2012.

El-Najjar, M. Y., Lozoff, B., Ryan, D. J.: The Paleoepidemiology of porotic hyperostosis in the American Southwest. Radiological and ccological considerations. In: *American Journal of Roentgenol*. Vol. 125. 1975:918-924.

Engel, M.: Deutschland wächst - um 15 Zentimeter. In: *Die Welt*. 21.08. 2012.

Enwonwu, C. O.: Interface of malnutrition and periodontal diseases. In: *American Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 61 [Suppl.].1995:430-436.

Enwonwu, C. O.: Noma: A neglected scourge of children in Sub-Saharan Africa. In: *Bulletin of the World Health Organization*. Vol. 73. 1995:541-45.

Eriksson, G., Lidén, K.: Dietary life histories in Stone Age Northern Europe. In: *Journal of Anthropological Archaeology*. Vol. 32. 2013:288-302.

ESFA (European Food Safety Authority): Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to vitamin C and protection of DNA, proteins and lipids from oxidative damage (ID 129, 138, 143, 148), antioxidant function of lutein (ID 146), maintenance of vision (ID 141, 142), collagen formation (ID 130, 131, 136, 137, 149), function of the nervous system (ID 133), function of the immune system (ID 134), function of the immune system during and after extreme physical exercise (ID 144), non-haem iron absorption (ID 132, 147), energy-yielding metabolism (ID 135), and relief in case of irritation in the upper respiratory tract (ID 1714, 1715) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. In: *EFSA Journal*. Vol. 7, No. 9. 2009:1226.

Eshed, V., Gopher, A., Hershkovitz, I.: Tooth wear and dental pathology at the advent of agriculture: new evidence from the Levant. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol.130, Issue 2. June 2006:145-59.

EFSA (European Food Information Council): Child and adolescent nutrition. The Basics. June 2006.

<http://www.efsa.europa.eu/en/page/BARCHIVE/expid/basics-child-adolescent-nutrition/>
(Stand: 12.12.2014)

Eveleth, P. B., Tanner, J. M.: Worldwide variation in human growth. Cambridge University Press. 2nd edition. Cambridge. New York, Melbourne.1990.

Eveleth, P. B., Tanner, J. M.: Worldwide variation in human growth. International Biological Programme 8. Cambridge University Press. 1976.

Evershed, R. P., Payne, S., Sherratt, A. G., Copley, M. S., Coolidge, J., Urem-Kotsu, D., Kotsakis, K., Özdoğan, M., Özdoğan, A. E., Nieuwenhuys, O., Akkermans, Peter, M. M. G., Bailey, D., Andeescu, R.-R., Campbell, S., Farid, S., Hodder, I., Yalman, N., Özbaşaran, M., Biçakci, E., Garfinkel, Y., Levy, T., Burton, M. M.: Earliest date for milk use in the Near East and southeastern Europe linked to cattle herding. In: *Nature*. Letters. Vol. 455. 25 September 2008:528-531.

Fagan, B. M.: The long summer: How climate changed civilization. Basic Books; Auflage: Reprint. 2004.

Fashing, M. T.: Paleoepidemiology of periodontal disease and dental calculus in the Windover population (8BR246). Electronic Theses, Treatises and Dissertations. 2008.

Fearne, J. M., Elliott, J. C., Wong, F. S., Davis, G. R., Boyde, A., Jones, S. J.: Deciduous enamel defects in low-birth-weight children: correlated X-ray microtomographic and backscattered electron imaging study of hypoplasia and hypomineralization. In: *Anatomy and Embryology (Berl)*. Vol. 189, No. 5. May 1994:375-81.

Fernald, L. C., Grantham-McGregor, S. M.: Growth retardation is associated with changes in the stress response system and behavior in school-aged Jamaican children. In: *Journal of Nutrition*. Vol. 132, No. 12. December 1, 2002:3674-3679.

Ferrari, S. L.: Osteoporosis, vitamin D receptor gene polymorphisms and response to diet. In: Simopoulos, A.P., Pavlou, K.N. (eds.): Nutrition and fitness: Diet, genes, physical activity and health. In: *World Review of Nutrition and Dietetics*. Vol. 89. Basel, Karger. 2001:83-92.

Fields, S.: Global nitrogen: Cycling out of control. In: *Environmental Health Perspectives*. Vol. 112, No. 10. Jul 2004:A556-A563.

Fierman, A. H., Dreyer, B. P., Quinn, L., Shulman, S., Courtlandt, C. D., Guzzo, R.: Growth delay in homeless children. In: *Pediatrics*. Vol. 88, No. 5. November 1991:918-25.

Finke, P.: Nomaden im Transformationsprozess: Kasachen in der post-sozialistischen Mongolei. In: *Kölner Ethnologische Studien*. Bd. 29. LIT Verlag Münster. 2005.

Fischer, E.: Postmortale Knochenschrumpfung und SUDECKsche Knochendystrophie. Zur Lösung der Frage nach den Gebeinen Herzog Heinrichs. In: *Zeitschrift für morphologische Anthropologie*. Vol. 48, Nr. 2. 1957:113-125.

Fizet, M., Mariotti, A., Bocherens, H.: Effects of diet, physiology and climate on carbon and nitrogen stable isotopes of collagen in a Late Pleistocene anthropic palaeoecosystem: Marillac, Charente, France. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 22. 1995:67-79.

Floud, R.: Measuring the transformation of the European economies: Income, health and welfare. CEPR Diskussion paper. No. 33. 1984.

Floud, R., Wachter, K., Gregory, A.: Height, health and history. Nutritional status in the United Kingdom, 1750-1980. Cambridge University Press. New York. Port Chester, Melbourne. Sydney. 1990.

Flügel, B., Greil, H., Sommer, K.: Anthropologischer Atlas- und Geschlechtsvariabilität des Menschen. 1. Auflage. Wötzel Verlag. Frankfurt a. M. 1986

Flügel, B., Flügel, R.: Zu einigen Problemen des Wachstums und zur Kenntnis der Wachstumsverhältnisse bei männlichen und weiblichen Kindern und Jugendlichen im Alter von 6 1/2 bis 18 1/2 Jahren. Dissertation, Berlin. 1978.

Fogel, M. L., Tuross, N., Owsley, D.: Nitrogen isotope tracers of human lactation in modern and archaeological populations. In: *Annual report of the Director, Geophysical Laboratory*. Washington, DC. Carnegie Institution of Washington. 1989:111-116.

Fogel, R. W., Engerman, S. L., Floud, R., Steckel, R. H., Trussell, J., Wachter, K. W., Sokoloff, K., Villaflor, G., Margo, R., Friedman, G.: Changes in american and british stature since the mideighteenth century: a preliminary report on the usefulness of data on height for the analysis of secular trends in nutrition labor productivity, and labor welfare. NBER Working Paper No. 890. 1982.

Forbes, J. C., Watson, D.: Plants in agriculture. Chapter 3: Plants and Minerals. University Press Cambridge 1996: 62-80.

Formicola, V.: Stature reconstruction from long bones in ancient population. Samples: An approach to the problem of this reliability. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 90. 1993:351-358.

Foster, F., Collard, M.: A Reassessment of Bergmann's Rule in Modern Humans. In: *PLoS ONE*. Vol. 8, Issue. 8. August 2013:e72269.

Fouts, H. N., Hewlett, B. S., Lamb, M. E.: A bio-cultural approach to breastfeeding interactions in Central Africa. In: *American Anthropologist*. Vol. 114, No. 1. 2012:123-136.

Fox C. L., Juan, J., Albert, R. M.: Phytolith analysis on dental calculus, enamel surface, and burial soil: information about diet and paleoenvironment. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 101, Issue 1. September 1996:101-113.

Fraser, R. A., Bogaard, A., Schäfer, M., Arbogast, R., Heaton, T. H. E.: Integrating botanical, faunal and human stable carbon and nitrogen isotope values to reconstruct land use and palaeodiet at LBK Vaihingen an der Enz, Baden-Württemberg. In: *World Archaeology*. Vol. 45, No.3. 2013:492-517.

Fraser, R. A., Bogaard, A., Heaton, T., Charles, M., Jones, G., Christensen, B. T., Halstead, P., Merbach, I., Poulton, P. R., Sparkes, D., Styring, A. K.: Manuring and stable nitrogen isotope ratios in cereals and pulses: towards a new archaeobotanical approach to the inference of land use and dietary practices. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 38. 2011:2790-2804.

Frisancho, A. R., Garn, S. M., Ascoli, W.: Childhood retardation resulting in reduction of adult body size due to lesser adolescent skeletal delay. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 33, No. 3. November 1970:325-36.

Fuller, B. T., Fuller, J. L., Harris, D. A., Hedges, R. E. M.: Detection of breastfeeding and weaning in modern human infants with carbon and nitrogen stable isotope ratios. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 129. 2006:279-293.

Fuller, B. T., Molleson, T. I., Harris, D. A., Gilmour, L. T., Hedges, R. E.: Isotopic evidence for breastfeeding and possible adult dietary differences from Late/Sub-Roman Britain. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 129, No. 1. January 2006a:45-54.

Fuller, B. T., Richards, M. P., Mays, S. A.: Stable carbon and nitrogen isotope variations in tooth dentine serial sections from Wharram Percy. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 30. 2003:1673-1684.

Fully, G., Pineau, H.: Determination de la stature au moyen du squelette. In: *Annales de medecine legale*. Vol. 40. 1960:145-154.

Gabler, O. H., Vitti, T. G., Vukmirovich, R.: Isotope effects in metabolism of ^{14}N and ^{15}N from unlabeled dietary proteins. In: *Canadian Journal of Biochemistry*. Vol. 44. 1966:1249-1257.

Galloway, J. N., Schlesinger, W. H., Levy, H., Muchat, A., Schnoor, J. L.: Nitrogen fixation: Anthropogenic enhancement-environmental response. In: *Global Biogeochemical Cycles*. No. 9. 1995:235-252.

Gängler, P., Hoffmann, T., Willershausen, B. (Hrsg.): Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde. Lehrbuchreihe zur Aus- und Weiterbildung: Zahn-, Mund-, Kieferheilkunde 4: Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie. Thieme; Auflage: 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. 2005.

Garn, S. M., Smith, B. H.: Developmental communalities in tooth emergence Timing. In: *Journal of dental Research*. Vol. 59, No. 7. July 1980:1178.

Gerhardt, K.: Oberrheinische und hochrheinische Frühbronzezeitler im anthropologischen Gruppenvergleich. In: *Badische Fundberichte*. Bd. 22. Freiburg/Breisgau. 1962:203-212.

Gerling, C.: Das linearbandkeramische Gräberfeld von Schwetzingen, Rhein-Neckar-Kreis. In: *Fundberichte aus Baden-Württemberg*. Band 32. Stuttgart 2012:7-263.

Gerling, C.: Der Tod in der jüngeren Bandkeramik. Das Gräberfeld von Schwetzingen. In: *Denkmalpflege in Baden-Württemberg. Nachrichtenblatt der Landesdenkmalpflege*. 36. Jahrgang. 3. 2007:159-163.

Gerling, C., Francken, M: Das linearbandkeramische Gräberfeld von Schwetzingen. In: *Archäologische Informationen*. Band 31/1. 2007:43-50.

Giacaman, R. A., Jobet-Vila P., Muñoz-Sandoval, C.: Fatty acid effect on sucrose-induced enamel demineralization and cariogenicity of an experimental biofilm-caries model. In: *Odon-tology*. April 11, 2014.

Gibbons, A.: Paleoanthropology. Glasnost for hominids: seeking access to fossils. In: *Sci-ence*. Vol. 297, No. 5586. August 2002:1464-1468.

Gilde, E.: 'Stressed to the bone': Comparing stature and non-specific indicators of stress in a Dutch rural post-Medieval population. Master thesis. Leiden University, Faculty of Archaeol-ogy. 2013.

Gleerup, A., Rossander-Hulthen, L., Gramatkovski, E., Hallberg, L.: Iron absorption from the whole diet: comparison of the effect of two different distributions of daily calcium intake. In: *American Journal of Clinical Nutrition*. Vol.61, No. 1. January 1995:97-104.

Gleiser, I., Hunt Jr., E. E.: The permanent mandibular first molar: its calcification, eruption and decay. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 13, No. 2. June 1955:253-283.

Goldberg, M., Kulkarni, A.B., Young, M., Boskey, A.: Dentin: Structure, composition and mineralization: The role of dentin ECM in dentin formation and mineralization. In: *Frontiers in Bioscience (Elite Ed)*. Vol. 3. 2012:711-735.

González-Reimers, E., Pérez-Ramírez, A., Santolaria-Fernández, F., Rodríguez-Rodríguez, E., Martínez-Riera, A., Durán-Castellón, M. C., Alemán-Valls, M. R., Gaspar, M. R.: Association of Harris lines and shorter stature with ethanol consumption during growth. In: *Alcohol*. Vol. 41. 2007:511-515.

Goodman, A. H., Martin, D. L.: Reconstructing health profiles from skeletal remains. In: Steckel, R. H., Rose, J. C. (eds.): *The Backbone of History: Health and Nutrition in the West-ern Hemisphere*. Cambridge University Press, Cambridge. 2002:11-60.

Goodman, A. H., Martinez, C., Chavez, A.: Nutritional supplementation and the development of linear enamel hypoplasias in children from Tezonteopan, Mexico. In: *American Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 53, No. 3. March 1991:773-81.

Goodman, A. H., Lallo, A., Armelagos, G. J., Rose, J. C.: Health changes at Dickson Mounds, Illinois (A.D. 950–1300). In: Cohen, M. N., Armelagos, G. J. (eds.): *Paleopathology and the Origins of Agriculture*. London Academic Press. 1984:271-305.

Goodman, A. H., Rose, J. C.: Assessment of systemic physiological perturbations from dental enamel hypoplasias and associated histological structures. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 33. 1990:59-110.

Goodman, A. H., Thomas, R. B., Swedlund, A. C., Armelagos, G. J.: Biocultural perspectives on stress in prehistoric, historical, and contemporary population research. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 31, Issue Supplement 9. 1988:169-202.

Gould, G. M., Pyle, W. L.: *Anomalies and curiosities of medicine*. Blue Unicorn Editions. November 27, 1997.

Granjeiro, J. M., Oliveira, R. C., Bustos-Valenzuela, J. C., Sogayar, M. C., Taga, R.: Bone morphogenetic proteins: from structure to clinical use. In: *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. Vol. 38. 2005:1463-1473.

Greil, H.: Körperproportionen und ihr Bezug zum biologischen Alter. In: Alt, K. W., Kemkes-Grottenthaler, A. (Hrsg.): *Kinderwelten. Anthropologie-Geschichte-Kulturvergleich*. Böhlau Verlag. Köln. Weimar. Wien. 2002:422-435.

Griffin, S. O., Regnier, E., Griffin, P. M., Huntley, V.: Effectiveness of fluoride in preventing caries in adults. In: *Journal of dental Research*. Vol. 86. 2007:410-415.

Griffin, C. N.: Symmetrical ilial pseudofractures: a complication of chronic renal failure. A case report with a review of the literature. In: *Skeletal Radiology*. Vol. 8. 1982:295-298.

Grillenberger, M., Neumann, C. G., Murphy, S. P., Bwibo, N. O., vant't Veer, P., Hautvast, Joseph, G. A. J., West, C. E.: Food supplements have a positive impact on weight gain and the addition of animal source foods increases lean body mass of kenyan schoolchildren. In: *Journal of Nutrition*. Vol. 133. November 2003:3957-3964.

Grimm, H., Jähne, H., Cobet, G.: Körperliche Entwicklung von Kindern mit Phenylketonurie unter Diätbehandlung. In: *Acta Facult. Med. Univ. Brunensis*. Vol. 57. Brno. 1976: 481-486.

Gröber, U.: Orthomolekulare Medizin. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft. Stuttgart. 2008.

Grøn, P., van Campen, G. J., Lindstrom, I.: Human dental calculus. Inorganic chemical and crystallographic composition, In: *Archives of Oral Biology*. Vol. 12, Issue 7. July 1967:829-837.

Gronenborn, D.: Klimaveränderung und Kulturwandel in neolithischen Gesellschaften Mitteleuropas, 6700-2200 v.Chr. In: *RGZM. Forschungsinstitut für Vor-und Frühgeschichte. Tagungen*. Bd.1. Verlag des Römisch-Germanischen Zentralmuseums. Mainz. 2005.

Gropper, S. S., Smith, J. L.: Advanced nutrition and human metabolism. 6th edition. Belmont: Wadsworth. 2013.

Grupe, G.: Zur Ätiologie der Cribra orbitalia: Auswirkungen auf das Aminosäureprofil im Knochenkollagen und den Eisengehalt des Knochenminerales. In: *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie*. Vol. 81. 1995:125-137.

Grupe, G.: Spurenanalyse -Auf der Spur menschlicher Ernährungs- und Lebensweise in der Vorzeit. Horizonte. Wie weit reicht unsere Erkenntnis heute? In: *Verhandlungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte*. Vol. 117. Versammlung, Aachen. 1992b:301-312.

Grupe, G., Christiansen, K., Schröder, I., Wittwer-Backofen, U.: Anthropologie. Einführendes Lehrbuch. 2. Auflage. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg. 2012.

Grupe, G., Christiansen, K.: Anthropologie: Ein einführendes Lehrbuch. Springer. 2005.

Gühring, W., Barth, J.: Anatomie. Spezielle Biologie des Kausystems. Grundwissen für Zahntechniker. Verlag Neuer Merkur GmbH. München. 1992.

Gunnell, D., Rogers, J., Dieppe, P.: Height and health: predicting longevity from bone length in archaeological remains. In: *Journal of Epidemiology and Community Health*. Vol. 55. 2001:505-507.

Guntupalli, A., Baten, J.: Measuring gender well-being with biological welfare Indicators. In: Harris, B., Gálvez, L., Machado, H. (eds.): *Gender and well-being in Europe: Historical and contemporary perspectives*. Chapter 3. 2009:43-58.

Gupta, R., Basu, A.: Variations in body dimensions in relation to altitude among the Sherpas of the eastern Himalayas. In: *Annals of Human Biology*. Vol. 8. 1981:145-152.

Gurdon, J. B., Tiller, E., Roberts, J., Kato, K.: A community effect in muscle development. In: *Current Biology*. Vol 3, No. 1. January 1993:1-11.

Guthmiller, J. M., Novak, K. F.: Periodontal diseases. In: Brogden, K. A., Guthmiller, J. M. (eds.): *Polymicrobial diseases*. Washington (DC): ASM Press. Chapter 8. 2002.

Haak, W.: Populationsgenetik der ersten Bauern Mitteleuropas Eine aDNA-Studie an neolithischem Skelettmaterial. Dissertation, Mainz. 2006.

Haak, W., Foster, P., Bramanti, B., Matsumara, S., Brandt, G., Tanzer, M., Villems, R., Renfrew, C., Gronenborn, D., Alt, K. W., Burger, J.: Ancient DNA from the first European farmers in 7500-year old neolithic sites. In: *Science*. Vol. 310. 2005:1016-1018.

Haidle, M. N.: Erfahrungen mit der Rekonstruktion des Ernährungszustandes prähistorischer Skelette: In: *Bulletin de la Société Suisse d'Anthropologie*. Vol. 4, No. 2. 1998:13-25.

Haidle, M.-N.: Mangel-Krisen-Hungersnöte? Ernährungszustände in Süddeutschland und der Nordschweiz vom Neolithikum bis ins 19. Jahrhundert. In: *Urgeschichtliche Materialhefte*. No.11. Mo Vince Verlag Tübingen. Bonn. 1997.

Halcrow, S. E., Harris, N. J., Beavan, N., Buckley, H. R.: First bioarchaeological evidence of probable scurvy in Southeast Asia: Multifactorial etiologies of vitamin C deficiency in a tropical environment. In: *International Journal of Paleopathology*. Vol. 5. 2014:63-71.

Hall, B. K.: Bones and cartilage: Developmental and evolutionary skeletal biology. Chapter 32: Long bone growth: A case of crying Wolff? Elsevier (USA). 2005:409-414.

Hallberg, L., Rossander-Hulten, L., Brune, M., Gleerup, A.: Calcium and iron absorption: mechanism of action and nutritional importance. In: *European Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 46. 1992:317-27.

Hare, P.E, Fogel, M. L., Stafford Jr., T. W., Mitchell, A. D., Hoering, T. C.: The isotopic composition of carbon and nitrogen in individual amino acids isolated from modern and fossil proteins. In: *Journal of Archaeological sciences*. Vol. 18. 1991:277-292.

Harman, R. J. (ed.): Handbook of pharmacy health education. 2. edition. Pharmaceutical Press. Cornwell. 2001.

Harris, H. A.: Bone growth in health and disease. London: Oxford University Press. 1933.

Haussler, M. R., Haussler, C. A., Jurutka, P. W., Thompson, P. D., Hsieh, J. C., Remus, L. S., Selznick, S. H., Whitfield, G. K.: The vitamin D hormone and its nuclear receptor: molecular actions and disease states. In: *Journal of Endocrinology*. Vol. 154 [Suppl. September]. 1997:57-73.

Hawkins, S. A., Wiswell, R. A.: Rate and mechanism of maximal oxygen consumption decline with aging implications for exercise training. In: *Sports Medicine*. Vol. 33, No. 12. 2003:877-888.

Heaton, T. H. E.: Spatial, species, and temporal variations in the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of C3 plants: Implications for palaeodiet studies. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 26. 1999:637-649.

Hedges, R. E. M.: On bone collagen-apatite-carbonate isotopic relationships. In: *International Journal of Osteoarchaeology*. Vol. 13. 2003:66-79.

Hedges, R. E. M., Clement, J. G., Thomas, C. D. L., O'Connell, T. C.: Collagen turnover in the adult femoral mid-shaft: Modeled from anthropogenic radiocarbon tracer measurements. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 133. 2007:808-816.

Hedges, R. E. M., Reynard, L. M.: Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 34. 2007:1240-1251.

Hedges, R. E. M., Stevens, R. E., Pearson, J. A.: Carbon and nitrogen stable isotope composition of animals and human bone. In: Benson, D., Whittle, A. (eds.): Building memories. The neolithic Cotswold Long Barrow at Ascott-Under-Wychwood, Oxfordshire. Cardiff Studies in Archaeology for English Heritage. Oxbow Books. 2007a:255-262.

Hellwig, E., Klimet, J., Attin, T.: Einführung in die Zahnerhaltung. Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie. 5. überarbeitete und erweiterte Auflage. Deutscher Zahnärzte Verlag. 2009.

Hellwig, E., Klimek, J., Attin, T.: Einführung in die Zahnerhaltung. Urban und Schwarzenberg, München. 1995.

Henry, A. G., Piperno, D. R.: Using plant microfossils from dental calculus to recover human diet: a case study from Tell al-Raqā'i, Syria. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 35, Issue 7. July 2008:1943-1950.

Herberth, K.: Paläopathologische Untersuchungen zur chronischen Anämie mit molekularer Analyse von aDNA zum Plasmodien-Nachweis (Malaria) in Skelettmaterial aus dem 15.-18. Jahrhundert aus Süddeutschland (Rain am Lech). Dissertation, München. 2004.

Herrmann, B., Grupe, G., Hummel, S., Piepenbrink, H., Schutkowski, H.: Prähistorische Anthropologie. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, New York. 1990.

Hermanussen, M. (ed.): Auxology. Studying human growth and development. Schweizerbart Science Publishers. Stuttgart. 2013.

Hermanussen, M., Bogin, B.: Auxology - an editorial. In: *Italian Journal of Pediatrics*. Vol. 40, No. 8. 2014:1-3.

Hermanussen, M., Geiger-Benoit, K., Burmeister, J., Sippell, W. G.: Periodical changes of short term growth velocity ('mini growth spurts') in human growth. In: *Annals of Human Biology*. Vol. 15, Issue 2. March-April 1988:103-109.

Hermanussen, M., Kühl, I.: Adolescent growth in Bronze Age and Iron Age people (Pubertäres Wachstum in der Bronze-und Eisenzeit). In: *Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie*. Vol. 12, No. 2. 2006:19-23.

Hermanussen, M., Meigen, C.: Phase variation in child and adolescent growth. In: *The International Journal of Biostatistics*. Vol. 3, Issue 1. Article 9. 2007.

Hermanussen, M., Rol de Lama, M., Tresguerres, J. A. F., Grasedyck, L., Burmeister, J.: Short term growth: evidence for chaotic series of mini growth spurts in rat growth. In: *Physiological Behavior*. Vol. 64. 1998:7-13.

Herold, M.: Sex differences in mortality in lower Austria and Vienna in the Early Medieval Period: An investigation and evaluation of possible contributing factors. Dissertation, Wien 2008.

Herrscher, E.: Alimentation d'une population historique. Analyse des données isotopiques de la nécropole Saint-Laurent de Grenoble (XIIIe-XVe siècles, France). In: *Bulletin et Memoires de la Societe d'Anthropologie de Paris*. Vol.15. 2003:145-320.

Hershkovitz, I., Rothschild, B. M., Latimer, B., Dutour, O., Léonetti, G., Greenwald, C. M., Rothschild, C., Jellema, L. M.: Recognition of sickle cell anemia in skeletal remains of

children. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 104, No. 2. October 1997:213-26.

Hesse, V., Siafarikas, A.: Historische Entwicklungen und aktuelle Aspekte der Auxologie. Blackwell Verlag GmbH, Berlin. Wien. 2003.

Hetzel, B. S.: Iodine. Deficiency disorders. In: Sadler, M. J., Strain, J. J., Caballero, B. (eds.): *Encyclopedia of human nutrition* 2E. San Diego. Academic Press. 1999:74-82.

Heupke, W.: Milch, das Schutz- und Heilmittel für Gesunde und Kranke. Verein zur Förderung des Milchverbrauchs e.V. 2. Aufl. 1958.

Hewlett, B. S.: Fathers and infants among Aka Pygmies. In: LeVine, R. A., New, R. S. (eds.): *Anthropology and Child Development: A Cross-Cultural Reader* (Blackwell Anthologies in Social & Cultural Anthropology). Wiley-Blackwell, 1st edition. February 19, 2008:84-99.

Heyner, S., Farber, M., Rosenblum, I. Y.: The insulin families of peptides in early mammalian development. In: Nilsen-Hamilton, M. (ed.): *Growth factors and development*. In: *Current topics in developmental biology*. Vol. 24. Academic Press, Inc. Chapter 5. 1990:137-160.

Hiernaux, J.: Weight/height relationship during growth in Africans and Europeans. In: *Human Biology*. Vol. 36. 1964:273-294.

Hillson, S.: The current state of dental decay. In: Irish, J. D., Nelson, G. C. (eds.): *Technique and application in dental anthropology*. Cambridge University Press. Cambridge. UK. 2008:111-135.

Hillson, S.: *Dental Anthropology*. Cambridge, Cambridge University Press. 2003.

Hillson, S.: Recording dental caries in archaeological human remains. *International Journal of Osteoarchaeology*. Vol. 11. 2001:249-289.

Hillson, S.: *Teeth*. Cambridge Manuals in Archaeology. Cambridge University Press. 1986.

Hillson, S.: Diet and dental disease. In: *World Archeology*. Vol. 2. 1979:147-162.

Hiramoto, Y.: Right-left differences in the lengths of human arm and leg bones. In: *Kaibogaku Zasshi*. Vol. 68, No. 5. Oct. 1993:536-43.

Hirschmann, J. V., Raugi G. J.: Adult scurvy. In: *Journal of American Academy of Dermatology*. Vol. 41, Issue 6. December 1999:895-906.

Hobson, K. A., Alisaikas, R. T., Clark, R. G.: Stable-nitrogen isotope enrichment in avian tissues due to fasting and nutritional stress: Implications for isotopic analyses of diet. In: *The Condor*. Vol. 95, No. 2. May, 1993:388-394.

Hoefs, J.: Isotope fractionation processes of selected elements. *Stable Isotope Geochemistry*. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg. 2009:35-92.

Holick, M. F.: Vitamin D deficiency. In: *New England Journal of Medicine*. Vol. 357. 2007:266-281.

Holland, T. D.: Estimation of adult stature from fragmentary Tibias. In: *Journal of Forensic Sciences*. Vol. 37, No. 5. 1992:1223-1229.

Hollinger, J. O.: Bone dynamics: morphogenesis, growth, modeling, and remodeling. In: Lieberman, J. R., Friedlaender, G. E. (eds.): *Bone regeneration and repair: biology and clinical applications*. Totowa, New Jersey: Humana Press. 2005:1-19.

Hollmann, W., Strüder, H. K., Tagarakis, C. V.: *Spiroergometrie: Kardiopulmonale Leistungsdiagnostik des Gesunden und Kranken*. Verlag Schattauer. 1. Auflage. 2006.

Honda, M. J., Hata, K.-I.: *Enamel tissue engineering*. INTECH Open Access Publisher. 2010.

Hong, C., Jiang, H., Lü, E., Wu, Y., Guo, L., Xie, Y., Wang, C., Yang, Y.: Identification of milk component in ancient food residue by proteomics. In: *PLoS ONE*. Vol. 7, Issue 5. May 2012:37053.

Hoppe, C., Mølgaard, C., Michaelsen, K. F.: Cow's milk and linear growth in industrialized and developing countries. In: *Annual Review of Nutrition*. Vol. 26. 2006: 131-173.

Hopwood, N. J., Becker, D.: Psychosocial dwarfism: detection, evaluation and management. In: *Child Abuse and Neglect*. Vol. 3. 1979: 439-447.

Houston, R.: Iodine. Physiology, dietary sources and requirements. In: Sadler, M. J., Strain, J. J., Caballero, B. (eds.): *Encyclopedia of human nutrition* 2E. San Diego. Academic Press. 1999:66-74.

Howe, P. E., Schiller, M.: Growth responses of the school child to changes in diet and environmental factors. In: *Journal of Applied Physiology*. Vol. 5. 1952:51-61.

Huebner, H.: Geographische Variationen der Isotopenzusammensetzung leichter Elemente im tierischen, insbesondere menschlichen Organismus. In: *Mitteilungen des Zentralinstituts für Isotopen- und Strahlenforschung*. Leipzig. Bd. 106. 1985:1-91.

Hujić, A.: Paläodontologische Untersuchungen an Skelettresten der bandkeramischen Grubenanlage von Herxheim bei Landau /Pfalz. Magisterarbeit. Eberhard Karls Universität Tübingen. 2009.

Hujić, A.: Breastfeeding and trophic level effect: who is “eating” whom? In Vorb.

Humphrey, L. T., Dean, M. C., Jeffries, T. E.: An evaluation of changes in strontium/calcium ratios across the neonatal line in human deciduous teeth. In: Bailey, S. E., Hublin, J.-J. (eds.): *Dental perspectives on human evolution: State of the art research in dental paleoanthropology*. Vertebrate paleobiology and paleoanthropology series. Springer 2007:303-320.

Humphreya, L. T., De Groota, I., Moralesc, J., Bartone, N., Colcuttf, S., Bronk Ramsey, C., Bouzouggarh, A.: Earliest evidence for caries and exploitation of starchy plant foods in Pleistocene hunter-gatherers from Morocco. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol. 111, No. 3. January 2014:954-959.

Ibraheem, S. A.-R.: Dental manifestation of generalized enamel hypoplasia and the calcium role due to environmental vitamin D deficiency in rickets and osteomalacia patients. In: *Medical Journal of Babylon*. Vol. 10, No. 2. 2013:362-371.

Ingvarsson-Sundström, A., Richards, M. P., Voutsaki, S.: Stable Isotope Analysis of the Middle Helladic Population from two Cemeteries at Asine: Barbouna and the East cemetery. In: *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*. Vol. 9, No. 2. 2009:1-14.

Isaksson, O. G. P., Jansson, J. O., Gause, I. A. M.: Growth hormone stimulates longitudinal bone growth directly. In: *Science*. Vol. 216. 1982:1237-1239.

İşcan, M. Y., Kennedy, K. A. R. (Hrsg.): Reconstruction of life from the skeleton. Alan R. Liss, Inc. New York.1989.

Jaeger, U., Bruchhaus, H., Finke, L., Kromeyer-Hauschild, K., Zellner, K.: Säkularer Trend bei der Körperhöhe seit dem Neolithikum. In: *Anthropologischer Anzeiger*. Vol. 56. 1998:117-130.

Jahren, A. H., Kraft, R. A.: Carbon and nitrogen stable isotopes in fast food: Signatures of corn and confinement. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*: Vol. 105, No. 46. November 18, 2008:17855-17860.

Jakse, N.: Retinierte Zähne. Skriptum Orale Chirurgie I. Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Graz. 2011.

<https://www.medunigraz.at/zahnklinik/AmbulanzSkripten/RetinierteZaehne1.pdf>

Jastrow, H.: Knochen (Ossa) und Knochenbildung (Ossifikation). 2012.

<http://www.unimainz.de/FB/Medizin/Anatomie/workshop/EM/EMKnochen.html#Knochenumbau> (23.03.2014)

Jaswal, S.: Age and sequence of permanent-tooth emergence among Khasis. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 62. 1983:177-186.

Jatautis, Š., Mitokaitė, I., Jankauskas, R.: Analysis of cribra orbitalia in the earliest

inhabitants of medieval Vilnius. In: *Anthropological Review*. Vol. 74. 2011:57-68.

Jay, M., Fuller, B. T., Richards, M. P., Knüsel, C. J., King, S. S.: Iron Age breastfeeding practices in Britain: isotopic evidence from Wetwang Slack, East Yorkshire. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 136, No. 3. 2008:327-337.

Jelliffe, D. B.: Protein-calorie malnutrition in tropical pre-school children: a review of recent knowledge. In: *Journal of Pediatrics*. Vol. 54. 1959:277.

Jenkins, W. M. M., Heasman, P. A.: The prevention and control of periodontal disease. In: Murray, J. J., Nunn, J. H., Steele, J. G. (eds.): *Prevention of oral disease*. Fourth Edition. Oxford University Press. Chapter 8. 2003.

Jenkins, S. G., Partridge, S. T., Stephenson, T. R., Farley, S. D., Robbins, C. T.: Nitrogen and carbon isotope fractionation between mothers, neonates, and nursing offspring. In: *Oecologia*. Vol. 129, No. 3. November, 2001:336-341.

Jim, S., Ambrose, S. H., Evershed, R. P.: Stable carbon isotopic evidence for differences in the dietary origin of bone cholesterol, collagen and apatite: implications for their use in palaeodietary reconstruction. In: *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Vol. 68. 2004:61-72.

Johnston, F. E.: Nutrition and growth. In: Johnston, F. E., Roche, A. F., Susanne, C. (eds.): *Human Physical Growth and Maturation*. Plenum Press, New York. 1980:291-301.

Jungklaus, B.: Die Krankheitsbelastung der mittelalterlichen und frühneuzeitlichen Kinderpopulation von Tasdorf (Ldk. Märkisch-Oderland). Ergebnisse der osteologischen - paläopathologischen Untersuchungen. Dissertation, Berlin. 2010.

Jürgens, H. W.: Über die Reifung der Proportionen in der Akzeleration. In: *Zeitschrift für morphologische Anthropologie*. Vol. 51, Nr. 1.1960:26-34.

Jürgens, H. W.: Über sexualdifferenzierte Proportionsveränderungen beim Wachstum des Menschen. In: *Zeitschrift für morphologische Anthropologie*. Vol. 50, Nr. 2. 1960a:210-219.

Kahl, B., Schwarze C. W.: Aktualisierung der Dentitionstabelle von I. Schour und M. Massler von 1941. In: *Fortschritte der Kieferorthopädie*. Vol. 49. 1988:432-443.

Kandlbinder, S.: Entwicklung einer In-vitro-Methode zur Prüfung der antibakteriellen Wirkung von Desinfektionsmitteln für die Wurzelkanalbehandlung. Dissertation, Regensburg. 2009.

Kashyap, S., Schulze, K. F., Forsyth, M., Zucker, C., Dell, R. B., Ramakrishnan, R., Heird, W. C.: Growth, nutrient retention, and metabolic response in low birth weight infants fed varying intakes of protein and energy. In: *Journal of Pediatrics*. Vol. 113.1988:713-21.

Katzenberg, M. A.: Stable isotope analysis: a tool for studying past diet, demography, and life history. In: Katzenberg, M. A., Saunders, S. R. (eds.): *Biological anthropology of the human skeleton*. Wiley-Liss, Inc. New York, Chichester, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto. Chapter 13. 2008:413-460.

Katzenberg, M. A., Lovell, N. C.: Stable isotope variation in pathological bone. In: *International Journal of Osteoarchaeology*. Vol. 9. 1999:316-324.

Kaur, B., Sheikh, S., Pallagatti, S.: Radiographic assessment of agenesis of third molars and para-radicular third molar radiolucencies in population of age group 18-25 years old - a radiographic survey. In: *Archives of Oral Research*. Vol. 8, No. 1. January/April 2012:13-8.

Kayser, K.: Height and weight in human beings. Autopsy report. Verlag für angewandte Wissenschaften. München GmbH. 1987.

Keene, H. J.: The relationship between third molar agenesis and the morphologic variability of the molar teeth. In: *Angle Orthodontist*. Vol. 35. 1965:289-298.

Kennedy, K. A. R.: Skeletal markers of occupational stress. In: Işcan, M. Y., Kennedy, K. A. R. (eds.): *Reconstruction of life from the skeleton*. Chapter 8. Alan R.Liss, Inc., New York. 1989:129-160.

Kielmann, A. A., Taylor, C. E., Desweemer, C., Parker, R. L., Chernichovsky, D., Reinke, W. A., Uberoi, I. S., Kakar, D. N., Masih, I., Sarma, R. S. S.: Child and maternal health services in rural India: The Narangwal experiment. In: *Integrated Nutrition and Health Care*. Vol. 1. The Johns Hopkins University Press: Baltimore. A World Bank Research Publication. 1983.

Kini, U., Nandeesh, B. N.: Physiology of bone formation, remodeling, and metabolism. In: Fogelman, I., Gnanasegaran, G., van der wall, H. (eds.): *Radionuclide and hybrid bone imaging*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Chapter 2. 2012:29-57.

Klein Goldewijk, G., Jacobs, Jan, P. A. M.: The relation between stature and long bone length in the Roman Empire. Groningen Institute of Archaeology. University of Groningen. 2013.

http://som.eldoc.ub.rug.nl/FILES/reports/2013/EEF-13002/13002_EEF_paper_def.pdf
(23.03.2014)

Klein, P. D., Klein, E. R.: Stable isotope usage in developing countries: Safe tracer tools to measure human nutritional status "Silent tracers" can help health professionals answer some important questions. In: *IAEA BULLETIN*. Vol. 4. 1987:41-44.

Klimm, W.: Endodontologie: Grundlagen und Praxis. Deutscher Zahnärzterverlag. Köln. 2003

Klok, C. J.: O₂ levels may not determine gigantism. In: *The Journal of experimental biology*. Vol. 212, No. 4. April 2009.

Knipper, C., Peters, D., Meyer, C., Maurer, A.-F., Muhl, A., Schöne, B. R., Alt, K. W.: Dietary reconstruction in migration period Central Germany: a carbon and nitrogen isotope study. In: *Archaeological and Anthropological Sciences*. Vol. 5, Issue 1. March 2013:17-35.

Knipper, C.: Kohlenstoff- und Stickstoff-Isotopenanalysen an bandkeramischen Bestattungen vom „Viesenhäuser Hof“ bei Stuttgart-Mühlhausen: Implikationen zur Ernährungsrekonstruktion, Geschlechtsspezifität und Siedlungsdynamik. In: Meyer, C., Held, P., Knipper, C., Nicklisch, N. (Hrsg.): *Der Zahn der Zeit. Mensch und Kultur im Spiegel interdisziplinärer*

Forschung. Festschrift für Kurt W. Alt. Halle/Saale: Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt. Landesmuseum für Vorgeschichte (im Druck).

Knußmann, R.: Vergleichende Biologie des Menschen. Lehrbuch der Anthropologie und Humangenetik. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart. Jena. Lübeck. Ulm. 1996.

Koch, E. W.: Die Längen- und Gewichtszunahme der Jugend in den beiden letzten Jahrzehnten, ihre Ursachen und Auswirkungen. In: *Deutsche medizinische Wochenschrift*. Vol. 61, No. 4. 1935:143-144.

Koch, E. W.: Über die Veränderung menschlichen Wachstums im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts: Ausmaß, Ursache und Folgen für den Einzelnen und für den Staat. J.A. Barth Verlag. Leipzig. 1935a.

Kochhar, R., Richardson, A.: The chronology and sequence of eruption of human permanent teeth in Northern Ireland. In: *International Journal of Paediatric Dentistry*. Vol. 8. 1998:243-252.

Kodicek E.: The story of vitamin D from vitamin to hormone. In: *Lancet*. Vol. 303, Issue 7853. 1974:325-329.

Koepke, N.: Regional differences and temporal development of the nutritional status in Europe from 8th century B. C. to 18th century A. D. Dissertation, Tübingen. 2008.

Koepke, N., Baten, J.: Anthropometric methods and the interdisciplinary conversation between archaeology and economics. In: Posluschny, A., Lambers, K., Herzog, I. (eds.): Layers of perception of the 35th international conference on computer applications and quantitative methods in archaeology (CAA) in Berlin, April 2-6, 2007. Koll. Vor- und Frühgeschichte. 10. Bonn. 2008:345-352.

Koepke, N., Baten, J.: The biological standard of living in Europe during the last two millennia. *European Review of Economic History*. Cambridge University Press. Cambridge University Press. Vol. 9, No.1. April 2005:61-95.

Koepke, N., Baten, J.: The biological standard of living in Europe during the last two millennia. In: *Tübinger Diskussionsbeitrag*. No. 265. September 2003.

Köhler, S., Schmelzle, R., Loitz, C., Püschel, K.: Die Entwicklung des Weisheitszahnes als Kriterium der Lebensalterbestimmung. In: *Annales of Anatomy*. Vol. 176. 1994:339-345.

Kohn, S. K.: A survey of the place of cow's milk in the human diet and of the effect of processing on its nutritive value. In: *National Institute for Research in Dairying*. Vol. 915. Great Britain. 1947.

Kollar, E. J.: The role of collagen during tooth morphogenesis: Some genetic implications. In: Butler, P.M., Joysey, K. A. (eds.): *Development, function and evolution of teeth*. Academic Press. London, New York, San Francisco. 1978:1-12.

Komárek, A., LeSaffre, E., Harkanen, T., Declerck, D., Virtanen, J. I.: A Bayesian analysis of multivariate doubly-interval-censored dental data. In: *Biostatistics*. Vol. 6. 2005:145-155.

Komlos, J.: Modernes ökonomische Wachstum und biologischer Lebensstandard. In: *Anthropologischer Anzeiger*. Jahrgang 58, No. 4. Dezember 2000: 357-366.

Komlos, J. (ed.): *Stature, living standards, and economic development*. Chicago: The University of Chicago Press. 1994.

Komlos, J.: Anthropometric history: What is it? In: *OAH Magazine of History*. Vol. 6, No. 4. Spring 1992:3-5.

Komlos, J.: *Nutrition and economic development in the eighteenth-century Habsburg Monarchy. An anthropometric history*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey. 1989.

Komlos, J.: The height and weight of west point cadets: dietary change in Antebellum America. In: *Journal of Economic History*. Vol. 47. 1987: 897-927.

Komlos, J., Baten, J.: The biological standard of living in comparative perspective: Contributions to the conference Held in Munich, January 18-22, 1997, for the XIIth Congress of the International Economic History Association. Franz Steiner Verlag, Stuttgart. 1998.

Kozak, J.: Stature reconstruction from long bones. The estimation of the usefulness of some selected methods for skeletal populations from Poland. In: *Variability and Evolution*. Vol. 5. 1996: 83-94.

Kraus, B. S., Jordan, R. E.: The human dentition before birth. Philadelphia, Lea and Febiger. 1965.

Krause, R.: Die endneolithischen und frühbronzezeitlichen Grabfunde auf der Nordstadterrasse von Singen am Hohentwiel. Kommissionsverlag K. Theiss. Stuttgart. 1988.

Krombholz, H.: Körperliche und motorische Entwicklung im Säuglings- und Kleinkindalter. Überarbeitete Version eines Beitrages aus: Deutscher Familienverband (Hrsg.): Handbuch Elternbildung. Band 1. Opladen: Leske & Budrich 1999:533-557.

<http://www.familienhandbuch.de/cms/Kindheitsforschung-Koerperentwicklung.pdf>

(23.03.2015)

Krzyżanowska, M., Umlawska, W.: Measured versus self-reported body height. In: *International Journal of Anthropology*. Vol. 17, Issue 2. April-June 2002:113-120.

Kullman, L., Johanson, G., Akesson, L.: Root development of the lower third molar and its relation to chronological age. In: *Swedish Dental Journal*. Vol. 16. 1992:161-167.

Kurth, G.: Ein Beitrag zur Vergleichbarkeit errechneter Körperhöhen (nach Manouvrier, Pearson, Telkkä und Breitingen). In: *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie*. Vol. 46, No. 3. Stuttgart. August 1954:317-370.

Kurz, G.: Archäologische Untersuchungen beim Viesenhäuser Hof, Stuttgart-Mühlhausen. In: *Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg*. 1991. Stuttgart 1992:50-53

Kurz, G.: Die Vorgeschichtliche Siedlungen und Gräber beim Viesenhäuser Hof, Stuttgart-Mühlhausen. In: *Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg*. 1992. Stuttgart 1993: 61-64.

Kurz, G.: Zum Abschluß der Ausgrabungen beim Viesenhäuser Hof, Stuttgart-Mühlhausen. In: *Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg*. 1993. Stuttgart 1994:34-38.

Laes, C.: Children in the Roman Empire: Outsiders Within. Cambridge University Press. Cambridge. 2012.

Lamb, A. L., Evans, J. E., Buckley, R., Appleby, J.: Multi-isotope analysis demonstrates significant lifestyle changes in King Richard III. In: *Journal of Archaeological Sciences*. Vol. 50. 2014:559-565.

Lampl, M., Johnston, F. E., Malcolm, L. A.: The effects of protein supplementation on growth and skeletal maturation of New Guinean schoolchildren. In: *Annals of Human Biology*. Vol. 5, No. 3. 1978:209-217.

Lampl, M., Veldhuis, J. D., Johnson, M. L.: Saltation and stasis: a model of human growth. In: *Science*. Vol. 30, Issue 258 (5083). Oct 1992:801-803.

Lanfranco, L. P., Eggers, S.: The usefulness of caries frequency, depth, and location in determining cariogenicity and past subsistence: a test on early and later agriculturalists from the Peruvian coast. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 143, No. 1. September 2010:75-91.

Langstein, L., Rott, F.: Atlas der Hygiene des Säuglings und Kleinkindes. Reprint der Ausg. Berlin 1918. Lübeck. 1989.

Laron, Z.: Disorders of growth hormone resistance in childhood. In: *Current opinion in Pediatrics*. Vol.5. 1993:474-480.

Laron, Z., Kowadlo-Silbergeld, A., Eshet, R., Pertzalan, A.: Growth hormone resistance. In: *Annals of Clinical Research*. Vol. 12. 1980:269-277.

Larsen, C. S.: Bioarchaeology: interpreting behavior from the human skeleton. Cambridge University Press. 1997.

Laughlin, W. S.: Genetical and anthropological characteristics of arctic populations. In: Baker, P. T., Weiner, J. S. (eds.): The biology of human adaptability. Oxford. 1966:469-508.

Law, V., Seow, W. K., Townsend, G.: Factors influencing oral colonization of mutans streptococci in young children. In: *Australian Dental Journal*. Vol. 52. 2007:93-100.

Lawrence, R. A., Lawrence, R. M.: Breastfeeding. A guide for the medical profession. 7. edition. Elsevier Mosby. 2011.

Ledochowski, M., Bair, H., Fuchs, D.: Laktoseintoleranz. In: *Journal für Ernährungsmedizin*. Bd. 5, No. 1. Ausgabe für Österreich. 2003:7-14.

Lee, R. B.: Lactation, ovulation, infanticide, and women's work: A study of hunter-gatherer population regulation. In: Cohen, M. N., Malpass, R. S., Klein, H. G. (eds.): Biosocial Mechanisms in Population Regulation. Yale University Press. 1980:321-348.

Lee-Thorp, J. A., Sealy, J. C., Van der Merwe, N. J.: Stable carbon isotope ratio difference between bone collagen and bone apatite, and their relationship to diet. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 16.1989:585-599.

LeGeros, R. Z.: Ultrastructural properties of human enamel apatite. In: Lazzari, E. P. (ed.): Handbook of experimental aspects of oral biochemistry. CRC Press. Florida. 1983:159-179.

Lehmann, K. M., Hellwig, E., Wenz, H.-J.: Zahnärztliche Propädeutik. Einführung in die Zahnheilkunde. Deutscher Zahnärztlicher Verlag. Köln. 2012.

Leighton, G., Clark, M. L.: Milk consumption and the growth of schoolchildren. In: *British Medical Journal*. Vol.1, No. 3541. 5th Jan.1929:23-25.

Lenz, W.: Medizinische Genetik. Eine Einführung in ihre Grundlagen und Probleme. Georg Thieme Verlag. Stuttgart. 1961.

Lenz, W., Kellner, H.: Die körperliche Akzeleration. Juventa Verlag. München. 1965.

Létolle, R.: Nitrogen-15 in the natural environment. In: Fritz, P., Fontes, J. C. (eds.): Handbook of environmental isotope geochemistry. Volume 1. The terrestrial environment, A. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam, Oxford, New York. Chapter 10. 1980:407-433.

Levesque, G.-Y., Demirjian, A., Tanguay, R.: Sexual dimorphism in the development, emergence, and agenesis of the mandibular third molar. In: *Journal of Dental Research*. Vol. 60, Nr.10. October 1981:1735-1741.

Lewis, M. E.: The bioarchaeology of children. Perspectives from biological and forensic anthropology. Cambridge University Press. 2007.

Lewis, M.: The impact of industrialisation: comparative study of child health in four sites from medieval and post-medieval England (850-1859 AD). In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 119. 2002:211-223.

Li, H., Stein, A., Barnhart, H., Ramakrishnan, U., Martorell, R.: Associations between prenatal and postnatal growth and adult body size and composition. In: *American Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 77, No. 6. 2003:1498-1505.

Libby, W. F., Berger, R., Mead, J. F., Alexander, G. V., Ross, J. F.: Replacement rates for human tissue from atmospheric radiocarbon. In: *Science*. Vol. 146. 1964:1170-1171.

Lillie, M., Richards, M. P.: New radiocarbon dates and palaeodietary evidence from the Ukrainian Mesolithic. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 27. 2000:965-972.

Lilien, R. H., Farid, H. Donald, B. R.: Probabilistic disease classification of expression-dependent proteomic data from mass spectrometry of human serum. In: *Journal of Computational Biology*. Vol. 10. 2003:925-946.

Linder, M. C.: Nutrition and metabolism of proteins. In: Linder, M. C. (ed.): Nutritional biochemistry and metabolism. With clinical applications. Elsevier. New York, Amsterdam, Ox-

ford. Chapter 4. 1986:51-68.

Lippl, F. J., Neubauer, S., Schipfer, S., Lichter, N., Tufman, A., Otto, B., Fischer, R.: Hypobaric hypoxia causes body weight reduction in obese subjects. In: *Obesity*. Vol. 18. 2010:675-681.

Lißner, B.: Zu den frühbronzezeitlichen Gruppen in Süddeutschland. In: Rieckhoff, S., Tee-
gen, W.-R. (Hrsg.): Leipziger Online-Beiträge zur ur- und frühgeschichtlichen Archäologie.
Nr. 13. 2004:1-20.

**Liu, F., Hendriks, A. E., Ralf, A., Boot, A. M., Benyi, E., Säwendahl, L., Oostra, B. A.,
van Duijn, C., Hofman, A., Rivadeneira, F., Uitterlinden, A. G., Drop, S. L., Kayser, M.:**
Common DNA variants predict tall stature in Europeans. In: *Human Genetics*. Vol. 133, No.
5. May 2014:587-97.

Lodish, H., Berk, A., Zipursky, S. L., Matsudaira, P., Baltimore, D., Darnell, J.: Molec-
ular cell biology. 4th edition. New York: W. H. Freeman. 2000.

Loomis, W. F.: Rickets. In: *Scientific American*. Vol. 223. 1970:76-91.

Löffler, G., Petrides, P. E., Heinrich, P. C.: Biochemie und Pathobiochemie. 8. Auflage.
Springer Verlag. Heidelberg. 2007.

Lorke, D., Münzner, H., Walter, E.: Zur Rekonstruktion der Körpergröße eines Menschen
aus den langen Gliedmaßenknochen. In: *Deutsche Zeitschrift für die gesamte gerichtliche
Medizin*. Vol. 42, Issue 2. 1953:189-202

Lösch, S.: Paläopathologisch-anthropologische und molekulare Untersuchungen an mittelal-
terlichen und frühneuzeitlichen Bevölkerungsgruppen Ernährung und Gesundheitszustand
süd- und nordbayerischer Bevölkerungsstichproben. Dissertation, München. 2009.

Lukacs, J. R.: Fertility and agriculture accentuate sex differences in dental caries rates. In:
Current Anthropology. Vol. 49, Nr. 5. 2008:901-914.

Lukacs, J. R.: Dental paleopathology and agricultural intensification in South Asia: New evidence from Bronze Age Harappa. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 87. 1992:133-50.

Lukacs, J. R.: Dental palaeopathology: Methods for reconstructing dietary patterns. In: İşcan, M.Y., Kennedy, K.A.R. (eds.): *Reconstruction of life from the skeleton*. Alan R. Liss, Inc., New York. 1989:261-286.

Lunt, D. A.: Molar attrition in medieval Danes: In: Butler, P. M., Joysey, K. A. (eds.): *Development, function and evolution of teeth*. Academic Press. London, New York, San Francisco. 1978:465-482.

Maat, G. J. R.: Scurvy in adults and youngsters: the Dutch experience. A review of the history and pathology of a disregarded disease. In: *International Journal of Osteoarchaeology*. Vol. 14, Issue 2. 2004:77-81.

Macpherson, R. K.: Physiological adaptation, fitness, and nutrition in the peoples of the Australian and new guinea regions. In: Baker, P. T., Weiner, J. S. (eds.): *The biology of human adaptability*. Clarendon Press, Oxford. 1966:431-468.

Malcolm, L. A.: Growth and development in New Guinea: A study of the Bundi people of the Madang District. Institute of Human Biology. Madang. 1970.

Malhotra, M. S.: People of India including primitive tribes-a survey on physiological adaptation, physical fitness, and nutrition. In: Baker, P. T., Weiner, J. S. (eds.): *The biology of human adaptability*. Clarendon Press, Oxford. 1966:329-355.

Malina, R. M.: Physical activity, growth, and functional capacity. In: *Zeitschrift für morphologische Anthropologie*. Vol. 51, Nr. 1. 1960:303-327.

Männel, T. T., Auerswald, K., Schnyder, H.: Altitudinal gradients of grassland carbon and nitrogen isotope composition are recorded in the hair of grazers. In: *Global Ecology and Biogeography*. Vol. 16, Nr. 5. 2007:583-592.

Manouvrier, L.: La détermination de la taille d'après les grands os des membres. In: *Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 4. 1892:347-402.

Mappes, M. S., Harris, E. F., Behrents, R. G.: An example of regional variation in the tempo of tooth mineralization and hand-wrist ossification. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. Vol. 101, Nr. 2. February 1992:145-151.

Marañón, G.: Zum Problem des Kleinwuchses. In: *CIBA-Symposium*. Bd. 8, Heft 4, Oktober 1960:146-150.

Mariotti, A.: Atmospheric nitrogen is a reliable standard for natural ¹⁵N abundance measurements. In: *Nature*. Vol. 303, No. 23. June 1983:685-687.

Marks, T. A., Schellenberg, D., Metzler, C.M., Oostveen, J., Morey, M. J.: Effect of dog food containing 480 ppm fluoride on rat reproduction. In: *Journal of Toxicology and Environmental Health*. Vol. 14. 1984:707-714.

Marsh, P., Martin, M. V.: Orale Mikrobiologie. Georg Thieme Verlag. Stuttgart. 2003.

Marshall, W. A.: Geographical and ethnic variations in human growth. In: *British Medical Bulletin*. Vol. 37. 1981:273-279.

Marshall, W. A.: The relationship of variations in children's growth rates to seasonal climatic variations. In: *Annals of Human Biology*. Vol. 2, Nr. 3. 1975:243-250.

Martin, R. B., Burr, D. B., Sharkey, N. A.: Skeletal tissue mechanics. New York: Springer. Chapter 2. 1998:29-78.

Martin, R., Saller, K.: Lehrbuch der Anthropologie. Bd. 4. Fischer Gustav Verlag. Stuttgart. 1966.

Martin, R., Saller, K.: Lehrbuch der Anthropologie. Bd. 3. Fischer Gustav Verlag. Stuttgart. 1957.

Martin, R.: Lehrbuch der Anthropologie in systematischer Darstellung mit besonderer Berücksichtigung der anthropologischen Methoden für Studierende Ärzte und Forschungsreisende. 2. Auflage. Kraniologie und Osteologie. Gustav Fischer Verlag. Jena. 1928.

Martinelli, L. A., Howarth R.W. (eds.): Nitrogen Cycling in the Americas: Natural and Anthropogenic. In: *Springer*. IV. 2006.

Martorell, R., Habicht, J.-P.: Growth in early childhood in developing countries. In: Falkner, F., Tanner, J. M. (eds.): Human growth. Methodology. Ecological, genetic, and nutritional effects on growth. 2nd Edition. Vol. 3. Plenum Publishing Corporation. New York. 1986:241-262.

Marya, C. M.: A textbook of public health dentistry. Jaypee Brothers Medical Publishers. 2011.

Mason, P.: Dietary management. In: Harman, R. J. (ed.): Handbook of pharmacy health education. 2. edition. Pharmaceutical Press. Cornwell 2001. Chapter 3. 2001:17-62.

Masson, A., Rosenstock, E.: Das Rind in Vorgeschichte und traditioneller Landwirtschaft: archäologische und technologisch-ergologische Aspekte. In: *Mitteilungen der Berliner Gesellschaft für Anthropologie, Ethnologie und Urgeschichte*. Bd. 32. 2011:81-106.

Mathieson, I., Lazaridis, I., Rohland, N., Mallick, S., Llamas, B., Pickrell, J., Meller, H., Rojo Guerra, M. A., Krause, K., Anthony, D., Brown, D., Fox, C. L., Cooper, A., Alt, K. W., Haak, W., Patterson, N., Reich, D.: Eight thousand years of natural selection in Europe. Online-Publikation, 14. März 2015.

<http://biorxiv.org/content/biorxiv/early/2015/03/13/016477.full.pdf> (Stand: 29.05.2015)

Mays, S.: The archaeology of human bones. Routledge, Auflage: Revised. 2010.

Mays, S.: The relationship between Harris Lines and other aspects of skeletal development in adults and juveniles. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 22, Issue 4. 1995:511-520.

McCue, M. D., Pollock, E. D.: Stable isotopes may provide evidence for starvation in reptiles. In: *Rapid Communication in Mass Spectrometry*. Vol. 22. 2008:2307-2314.

McGlynn, G.: Using ^{13}C -, ^{15}N - and ^{18}O 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. Dissertation, München. 2007.

McHenry, H. M.: How big were early hominids? In: *Evolutionary Anthropology*. Vol. 1, Issue 1. 1992:15-20.

McKee, J. P., Eichorn, D. H.: The relation between metabolism and height and weight during adolescence. In: *Child Development*. Vol. 26, No. 3. 1955:205-212.

McKern, T. W., Stewart, T. D.: Skeletal age changes in young American males. Quartermaster Research and Development Command Technical Report EP-45, Natick, Massachusetts. 1957.

MDS-Foundation: What does my bone marrow do? The yelodysplastic syndromes foundation. 2012.

Medina E, Sternberg L, Cuevas E.: Vertical stratification of $\delta^{13}\text{C}$ values in closed natural and plantation forests in the Luquillo mountains, Puerto Rico. In: *Oecologia*. Vol. 87. 1991:369-372.

Merimee, T. J., Rimoin, D. L., Cavalli-Sforza, L. L.: Metabolic studies in the African Pygmy. In: *Journal of Clinical Investigation*. Vol. 51. 1972:965-968.

Merimee, T. J., Zapf, J., Froesch, E. R.: Dwarfism in the Pygmy: An isolated deficiency of insulin-like growth factor I. In: *New England Journal of Medicine*. Vol. 305. 1981:965-968.

Metcoff, J.: Association of fetal growth with maternal nutrition. In: Falkner, Tanner (eds.): *Human growth: A comprehensive treatise*. 1978:415-460.

Metwalli, K. H., Shariq, A., Bastiaan, K., Krom, P., Jabra-Rizk, M. A.: Streptococcus mutans, Candida albicans, and the human mouth: A sticky situation. In: *PLOS Pathogens*. Vol. 9, Issue 10. October 2013:1-5.

Meyer, C., Alt, K. W.: Kultur- und Bevölkerungswandel am Oberrhein? Ein osteometrischer Vergleich früh- und mittelneolithischer Populationen. In: Gronenborn, D. (Hrsg.): Klimaveränderung und Kulturwandel in neolithischen Gesellschaften Mitteleuropas, 6700-2200 v. Chr. Verlag des Römisch-Germanischen Zentralmuseums. Mainz. 2005.

Meyer-Lückel, H., Paris, S., Ekstrand, K. R.: **Karies.** Wissenschaft und klinische Praxis. Georg Thieme Verlag. Stuttgart. 2012.

Migliano, A. B., Vinicius, L., Lahr, M. M.: Life history trade-offs explain the evolution of human pygmies. In: *Proceedings in Natural Academic Sciences*. Vol. 104, No. 51. December 18, 2007:20216-20219.

Mikaelsson, K., Eliasson, K., Lysholm, J., Nyberg, L., Michaelson, P.: Physical capacity in physically active and non-active adolescents. In: *Journal of Public Health*. Vol. 19, Issue 2. April 2011:131-138.

Miles, A. E. W., Bulman, J. S.: Growth curves of immature bones from a Scottish Island population of sixteenth to mid-nineteenth century: limb-bone diaphyses and some bones of the hand and foot. In: *International Journal of Osteoarchaeology*. Vol. 4. 1994:121-136.

Miles, A. E. W.: Teeth as an indicator of age in man. In: Butler, P.M., Joysey, K.A. (eds.): Development, function and evolution of teeth. Academic Press. London, New York, San Francisco. 1978:455-464.

Millard, A. R.: An evaluation of the possible use of nitrogen isotopes to detect milking in cattle. In: Bailey, G. und Charles, R. (eds.): Human ecodynamics: Proceedings of the AEA conference of September 1998. Oxford. 2000:134-140.

Mincer, H. H., Harris, E. F., Berryman, H. E.: The A.B.F.O. study of third molar develop-

ment and its use as an estimator of chronological age. In: *Journal of Forensic Sciences*. Vol. 38. 1993:379-390.

Mindell, E.: Die neue Vitaminbibel. Heyne Verlag. 2007.

Mittler, D. M., Van Gerven, D. P.: Developmental, diachronic, and demographic analysis of cribra orbitalia in the medieval Christian populations of Kulubnarti. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 93, No. 3. March 1994:287-97.

Mølgaard, C., Kæstel, P., Michaelsen, K. F.: Long-term calcium supplementation does not affect the iron status of 12–14-y-old girls. In: *American Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 82. 2005:98-102.

Molnar, S., Molnar, I.: Observations of dental diseases among prehistoric populations in Hungary. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 67. 1985:51-63.

Montgomery, H. E.: Genetic variation and the response to exercise. In: Simopoulos, A. P., Pavlou, K. N. (eds.): *Nutrition and fitness: Diet, genes, physical activity and health*. 4th International Conference on Nutrition and Fitness Athens, May 25–29, 2000. Karger. Basel, Freiburg, Paris, London, New York, New Delhi, Bangkok, Singapore, Tokyo, Sydney. 2001:118-133.

Moorrees, C. F. A., Fanning, E. A., Hunt, E. E.: Age variation of formation stages for ten permanent teeth. In: *Journal of Dental Research*. Vol. 42. 1963:1490-1502.

Morgan, J.: The invisible hunger: Is famine identifiable from the archaeological record? In: *Antrocom Online Journal of Anthropology*. Vol. 9, No. 1. 2013:115-129.

Morgenroth, K., Philippou, S.: *Oralpathologie II. Zahnsystem und Kiefer*, Springer, Berlin. 1998:60-105.

Moss, M. L.: Analysis of developmental processes possibly related to human dental sexual dimorphism. In: Butler, P. M., Joysey, K. A. (eds.): *Development, function and evolution of Teeth*. Academic Press. London, New York, San Francisco. 1978:135-148.

- Mueller, H.-P.:** Periodontology. The Essentials. Georg Thieme Verlag. Stuttgart. 2005.
- Müldner, G., Richards, M. P.:** Fast or feast: reconstructing diet in later medieval England by stable isotope analysis. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 32. 2005:39-48.
- Müldner, G., Richards, M. P.:** Stable isotope evidence for 1500 years of human diet at the City of York, UK. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 133. 2007:682-697.
- Murray, P. D. F., Kodicek, E.:** Bones, muscles and vitamin C; partial deficiencies of vitamin C and mid-diaphyseal thickenings of the tibia and fibula in guinea-pigs. In: *Journal of Anatomy*. Vol. 83 (Pt. 3). July 1949:205-23.
- Myrdal, J.:** Women and cows - Ownership and work in medieval Sweden. In: *Ethnologica Scandinavica*. Vol. 38. 2008:61-80.
- Naeem, Z.:** Vitamin D deficiency- an ignored epidemic. In: *International Journal of Health Science (Qassim)*. Vol. 4, Issue 1. Jan 2010:V-VI.
- Nagaraja, R. G.:** Oral health status of certified school children of Mysore state - A report. In: *Journal of Indian Dental Association*. Vol. 57, Issue. 2. 1985:61-64.
- Nicholas, D.:** Child and adolescent labour in the late medieval city: A Flemish model in regional perspective. In: *The English Historical Review*. Vol. 110, No. 439. November 1995:1103-1131.
- Nieszery, N.:** Linearbandkeramische Gräberfelder in Bayern. In: *International Archives*. Bd. 16. Rahden/Westf. 1995.
- NOAA Earth System research laboratory global monitoring division.** The cooperative global air sampling network newsletter. Issue 6. Spring 2011.
- Nold, F.:** Körpergröße und Akzeleration. Die Körpergrößenzunahme im Raume Freiburg (Breisgau) als Folge der genetischen Vermischung der Bevölkerung; ein Beitrag zur Akzelerationsforschung. Darmstadt. 1963.

Nold, R.: Ist die Wachstumssteigerung beim Menschenaufzuhalten? In: *Kosmos*. Heft 6. Franckh'sche Verlagshandlung. Postverlagsort Stuttgart. 1958:240-242.

Norman, A. W.: From vitamin D to hormone D: fundamentals of the vitamin D endocrine system essential for good health. In: *American Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 88, No. 2. August 2008:491-499.

Nylin, G.: Periodical variations in growth, standard metabolism and oxygen capacity of the blood in children. In: *Acta medica scandinavica. Supplementum*. Vol.31. P.A. Norstedt and Söner. 1929:1-207.

Obermayer-Pietsch, B.: Osteoporose und Laktoseintoleranz. In: *Journal für Mineralstoffwechsel*. Vol. 15, No. 1. 2008:22-25.

Obertová, Z.: The early medieval alemannic population at Horb-Altheim (450-510 A.D). In: *BioArchaeologica*. Band 4. Verlag Marie Leidorf GmbH. Rahden/Westfalen. 2008.

Obertová, Z., Thurzo, M.: Cribra orbitalia as an indicator of stress in the early medieval Slavic population from Borovce (Slovakia). In: *Anthropologie*. Vol. XLII, Nr.2. 2004:189-194.

O'Connell, T. C., Hedges, R. E. M.: Investigations into the effect of diet on modern human hair isotopic values. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 108. 1999:409-425.

Oelze, V. M., Fullera, B. T., Richardsa, M. P., Fruth, B., Surbeck, M., Hublin, J.-J., Hohmann, G.: Exploring the contribution and significance of animal protein in the diet of bonobos by stable isotope ratio analysis of hair. In: *Proceedings in Natural Sciences*. Early Edition. Vol. 108, No. 24. June 14, 2011:9792-9797.

Oelze V. M., Siebert, A., Nicklisch, N., Meller, H., Veit, D., Alt, K. W.: Early Neolithic diet and animal husbandry: stable isotope evidence from three Linearbandkeramik (LBK) sites in Central Germany. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 38. 2011:270-279.

Olivier, G., Aaron, C., Fully, G., Tissier, G.: New estimation of stature and cranial capacity in modern men. In: *Journal of Human Evolution*. Vol. 7. 1978:513-518.

Olsen, K. C.: A multi-isotope investigation of two medieval german populations: Insight into the relationship among diet, disease, and tissue isotopic compositions. Dissertation, Western Ontario. 2013.

Olsen, K. C., White, C. D., Longstaffe, F. J., von Heyking, K., McGlynn, G., Grupe, G., Rühli, F. J.: Intraskelletal isotopic compositions ($\delta(13) C$, $\delta(15) N$) of bone collagen: nonpathological and pathological variation. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 153, No. 4. April 2014:598-604.

Olze, A., Schmeling, A., Rieger, K., Kalb, G., Geserick, G.: Untersuchungen zum zeitlichen Verlauf der Weisheitszahnmineralisation bei einer deutschen Population. In: *Rechtsmedizin*. No.13. 2003:5-10.

Olze, A., Schmeling, A., Rieger, K., Kalb, G., Geserick, G.: Untersuchungen zum Mineralisationsstand der dritten Molaren an einer europäischen Population. In: *Newsletter AKFOS*. Bd. 8. 2001:47-50.

Orr, J. B.: Influence of amount of milk consumption on the rate of growth of schoolchildren. In: *British Medical Journal*. Vol. 1, No. 3499. 28th Jan.1928:140-141.

Orr, J. B.: Minerals in pastures and their relation to animal nutrition. H. K. Lewis. London. 1929.

Orr, J. B., Thomson, W., Garry, R. C.: A long term experiment with rats on a human dietary. In: *Journal of Hygiene*. Vol. 35, No. 4. Dec. 1935:476-497.

Orr, J. B.: Food health and income. Macmillan and Co.. London. 1936.

Orschiedt, J., Haidle, N. M.: The LBK enclosure at Herxheim: theater of war or ritual centre? References from osteoarchaeological investigations. In: Pollard, T., Banks, I. (eds.): War

and sacrifice. *Studies in the archaeology of conflict*. Koninklijke Brill NV, Leiden, Netherlands. 2007:153-167.

Ortner, D. J.: Identification of pathological conditions in human skeletal remains. 2nd edition. Elsevier Science/Academic Press, New York. 2003.

Ortner, D. J.: Bone lesions in a probable case of scurvy from Metlatavic, Alaska. *MASCA J*. Vol. 3.1984:79-81.

Ortner, D. J., Ericksen, M. F.: Bone changes in the human skull probably resulting from scurvy in infancy and childhood. In: *International Journal of Osteoarchaeology*. Vol. 7. 1997:212-220.

Ortner, D. J., Kimmerle, E. H., Diez, M.: Probable evidence of scurvy in subadults from archeological sites in Peru. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 108. 1999:321-331.

Ortner, D. J., Putschar, W. G. J.: Identification of pathological conditions in human skeletal Remains. Smithsonian Institution Press. City of Washington 1981.

Pacey, A., Payne, P.: Agricultural development and nutrition. Hutchinson. London. 1985.

Paewinsky, E., Pfeiffer, H., Brinkmann, B.: Quantification of secondary dentine formation from orthopantomograms - a contribution to forensic age estimation methods in adults. In: *International Journal of Legal Medicine*. Vol. 119. 2005:27-30.

Palomäki, E.: Children's weaning patterns and diet. Stable carbon, nitrogen and sulphur isotopic analyses conducted on inhumations from the Roman Iron Age site Smörkullen 24:1, Alvastra in Östergötland. Dissertation, Stockholm. 2009.

Palosaari, H.: Matrix metalloproteinases (MMPS) and their specific tissue inhibitors (TIMPS) in mature human odontoblasts and pulp tissue. The regulation of expressions of fibrillar collagens, MMPs and TIMPs by growth factors, transforming growth factor- β 1 (TGF- β 1) and bone morphogenetic protein-2 (BMP-2). Dissertation, Oulu. 2003.

Pankaj, S., Pankaj, J. P., Sharma, V. K., Katara, P.: Prevalence of eruption status of third molars in college students of Bikaner (India). In: *International Journal of Medical Science and Education*. Vol. 1, Issue 2. April-June 2014:69-74.

Papageorgopoulou, C., Suter, S. K., Rühli, F. J., Siegmund, F.: Harris Lines revisited: Prevalence, comorbidities, and possible etiologies. In: *American Journal of Human Biology*. Vol. 23, No. 3. May-Jun 2011:381-91.

Papaloucas, M., Papaloucas, C., Tripolitsioti, A., Stergioulas, A.: The asymmetry in length between right and left humerus in humans. In: *Pakistan Journal of Biological Sciences*. Vol. 11, No. 21. 2008:2509-2512.

Papathanasiou, A.: Stable isotope analysis in neolithic Greece and possible implications on human health. In: *International Journal of Osteoarchaeology*. Vol. 13. 2003:314-324.

Pardo, L. H., Nadelhoffer, K. J.: Using nitrogen isotope ratios to assess terrestrial ecosystems at regional and global scales. In: West, J. B., Bowen, G. J., Dawson, T. E., Tu, K. P. (eds.): *Isoscapes. Understanding movement, pattern, and processes on earth through isotope mapping*. 1st Edition. Springer Science & Business Media B.V. 2010:221-244

Parfitt, A. M., Travers, R., Rauch, F., Glorieux, H.: Structural and cellular changes during bone growth in healthy children. In: *Bone*. Vol. 27, No. 4. October 2000:487-494.

Pařízková, J.: Nutritional status, somatic and functional development in preschool children as related to ecological factors and exercise. In: *Acta Facult. Med. Univ. Brunensis*. Vol. 57. Brno.1976:333-340.

Park, R., Epstein, S.: Carbon isotope fractionation during photosynthesis. In: *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Vol. 21. 1960:110-26.

Pashley, H., Ciucchi, B., Sano, H.: Dentin as a bonding substrate. In: *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*. Vol. 49. 1994:760-763.

Patti, S., Tarsitani, G., D'Arca, A.: A randomised clinical trial of the effect of yoghurt on the human salivary microflora. In: *Archives of Oral Biology*. Vol. 46. 2001:705-712.

- Paulus, S., Knipper, C.:** Vergleich der Winter- und Sommergebietverteilung von sauerstoff-Isotopenverhältnissen in Rinderzähnen zweier bandkeramischer Siedlungen Südwestdeutschlands: ein statistischer Versuch. In: De Beauclair, R., Münzel, S., Napierala, H. (Hrsg.): Knochen pflastern ihren Weg. Festschrift für Margarethe und Hans-Peter Uerpmann. *BioArchaeologica*. Band 5. 2009:203-215.
- Pavúk, J.:** Typologische Geschichte der Linearbandkeramik. In: Lüning, J., Friedrich, C., Zimmermann, A. (Hrsg.): Die Bandkeramik im 21. Jahrhundert: Symposium in der Abtei Brauweiler bei Köln. 2005:17-39.
- Pearson, K.:** Mathematical contributions to the theory of evolution. On the reconstruction of the stature of prehistoric races. In: *Philosophical transactions of the Royal Society of London*. Vol. 192. 1899:169-244.
- Pechenkina, E. A., Benfer, Jr., R. A., Zhijun, W.:** Diet and health changes at the end of the Chinese Neolithic: The Yangshao/Longshan transition in Shaanxi Province. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 117. 2002:15-36.
- Peine, S.:** Grenzen des Wachstums. In: *Bild der Wissenschaft Online*. Heftausgabe 4. 2005: 24-29.
- Peitel, D.:** Rekonstruktion der Ernährung und weiterer Subsistenzgrundlagen dreier frühneolithischer Bevölkerungen anhand der Analyse stabiler Isotope und Spurenelemente. Dissertation, Berlin. 2006.
- Pelletier, X., Laure-Boussuge, S., Donazzolo, Y.:** Hydrogen excretion upon ingestion of dairy products in lactose-intolerant male subjects: importance of live flora. In: *European Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 55. 2001:509-512.
- Peterson, B. J., Fry, B.:** Stable isotopes in ecosystem studies. In: *Annual Review of Ecology and Systematics*. Vol. 18. 1987:293-320.
- Petrovečki, V., Mayer, D., Slaus, M., Strinović, D., Skavić, J.:** Prediction of stature based on radiographic measurements of cadaver long bones: a study of the Croatian population. In:

Journal of Forensic Sciences. Vol 52, No. 3. May 2007:547-52.

Pfeiffer, S., Harrington, L.: Child growth among Southern African foragers in the past. In: Moffat, T., Prowse, T. (eds.): *Human diet and nutrition in biocultural perspective: Past meets present*. 2014:35-56.

Pfretzschner, H.-U.: Biomechanik des Zahnschmelzes. In: Alt, K. W., Türp, J. C. (Hrsg.). *Die Evolution der Zähne*. Quintessenz-Verlag, Berlin. 1997:391-400.

Phillips, K., Matheny, J.: Quantitative genetic analysis of longitudinal trends in height: preliminary results from the Louisville twin study. In: *Acta Geneticae Medicae et Gemellologiae*. Vol. 39. 1990:143-163.

Pinhasi, R., Timpson, A., Thomas, M., Šlaus, M.: Bone growth, limb proportions and non-specific stress in archaeological populations from Croatia. In: *Annals of Human Biology*. Vol. 41, No. 2. March-April 2014:127-137.

Piontek, J., Vančata, V.: Transition to agriculture in Central Europe: Body size and body shape amongst the first farmers. In: *Interdisciplinaria archaeologica - Natural sciences in archaeology*. Vol. III, Issue 1. 2012:23-42.

Piperno, D. R.: *Phytoliths: A comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists*. Alta Mira Press. 2006.

Pirnay, F., Lacroix, M., Mosora, F., Luyckx, A., Lefebvre, P.: Effect of glucose ingestion on energy substrate utilization during prolonged muscular exercise. In: *European Journal of applied Physiology*. Vol. 36. 1977:247-254.

Polet, C., Katzenberg, M. A.: Reconstruction of the diet in a mediaeval monastic community from the coast of Belgium. In: *Journal of archaeological Science*. Vol. 30. 2003:525-533.

Prader, A.: Normales Wachstum und Wachstumsstörungen bei Kindern und Jugendlichen. In: *Klinische Wochenschrift*. Vol. 59. Springer Verlag. 1981:977-984.

Prader, A. Tanner, J., M., Harnack, G. A.: Catch up growth following illness and starvation. In: *Journal of Pediatrics*. Vol. 61. 1963:646-59.

Preece, M. A.: The genetic contribution to stature. In: *Hormone Research*. Vol. 45. 1996:56-58.

Preus, H. R., Marvik, O. J., Selvig, K. A., Bennike, P.: Ancient bacterial DNA (aDNA) in dental calculus from archaeological human remains. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 38, Issue 8. August 2011:1827-1831.

Price, T. D., Bentley, R. A., Lüning, J., Gronenborn, D., Wahl, J.: Human migration in the Linearbandkeramik of central Europe. In: *Antiquity*. Vol. 75. 2001:593-603.

Price, T. D., Connor, M., Parsen, J. D.: Bone chemistry and the reconstruction of diet: strontium discrimination in white-tailed deer. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 12. 1985:419-442.

Price, T. D., Swick, R. W., Chase, E. P.: Bone chemistry and prehistoric diet: Strontium Studies of Laboratory Rats. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 70. 1986:365-375.

Price, T. D., Wahl, J., Knipper, C., Burger-Heinrich, E., Kurz, G., Bentley, R. A.: Das bandkeramische Gräberfeld von Stuttgart-Mühlhausen: Neue Untersuchungsergebnisse zum Migrationsverhalten im frühen Neolithikum. In: Funda, D. T. (Hrsg.): *Fundberichte aus Baden-Württemberg*. Kommissionsverlag Konrad Theiss Verlag. Stuttgart. Nr. 27. 2003:23-58.

Privat, K., O'Connell, T. C., Neal, K., Hedges, R. E. M.: Fermented dairy product analysis and palaeodietary repercussions: is stable isotope analysis not cheesy enough? In: Mulville, J., Outram, A. K. (eds.): *The zooarchaeology of fats, oils, milk and dairying*. Proceedings of the 9th Conference of the International Council of Archaeozoology. Durham, August 2002(2005):60-66.

Pryor, K., Dean, W.: Growth Hormone: Amino acids as GH secretagogues. A Review of the literature. 2013.

<http://www.vrp.com/amino-acids/amino-acids/growth-hormone-amino-acids-as-gh-secretagogues-a-review-of-the-literature> (27.05.2014).

Psoter, W. J., Reid, B. C., Katz, R. V.: Malnutrition and dental caries: A Review of the Literature. In: *Caries Research*. Vol. 39, Issue 6. November 2005:441-447.

Rahikainen, M.: Centuries of child labour: European experiences from the seventeenth to the twentieth century (Studies in Labour History). 2004.

Ramamurthy, A., Pradha, J., Jeeva, S., Jeddy, N., Sunitha, J., Kumar, S.: Prevalence of mandibular third molar impaction and agenesis: a radiographic South Indian study. In: *Journal of Indian Academy of Oral Medicine and Radiology*. Vol. 24, No. 3. 2012:173-176.

Rao, N. P.: Dental health: Role of diet and nutrition. In: Reddy, R. (ed.): *Dental anthropology. Dental anthropology applications and methods. Inter-India publications*. 1985:337-343.

Rassmann, K.: Kupfer, Bronze und Eliten. In: *Archäologie in Deutschland*. Heft 5. 2003.

Raven, P. H., Evert, R. F., Eichhorn, S. E.: *Biologie der Pflanzen*. 4. Auflage. de Gruyter. 2006.

Reginato, A. J., Coquia, J. A.: Musculoskeletal manifestations of osteomalacia and rickets. In: *Best Practice and Research Clinical Rheumatology*. Vol. 17, Issue 6. December 2003:1063-80.

Reich, P. F. K.: *Das irreguläre Dentin der Gebrauchsperiode. Eine histologisch-topographische Studie über normale und pathologische Dentinbildung*. Fischer Verlag. Jena. 1907.

Reid, D. J., Dean, M. C.: Variation in modern human enamel formation times. In: *Journal of Human Evolution*. Vol. 50. 2006:329-346.

Reinken, L, van Oost, G.: Longitudinale Körperentwicklung gesunder Kinder von 0 bis 18 Jahren. In: *Klinische Pädiatrie*. No. 204. 1992:129-133.

Reith, T.: Untersuchungen zur Altersbestimmung der Individuen zweier frühneolithischer Skelettserien aus Baden- Württemberg anhand verschiedener Abrasionsphänomene. Unpubl. Dissertation, Tübingen. 1990.

Reitsema, L. J.: Beyond diet reconstruction: stable isotope applications to human physiology, health, and nutrition. In: *American Journal of Human Biology*. Vol. 25, Issue 4. Jule-August 2013:445-56.

Rekate, H.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen der durch eine Caries profunda in Dentin und Pulpa hervorgerufenen Veränderungen. Dissertation, Berlin. 1975.

Reynard, L. M., Henderson, G. M., Hedges, R. E. M.: Calcium isotopes in archaeological bones and their relationship to dairy consumption. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 38. 2011:657-664.

Ribot, I., Roberts, C.: A study of non-specific stress indicators and skeletal growth in two medieval subadult populations. In: *Journal of Anthropological Sciences*. Vol. 23. 1996:67-79.

Richards, M. P., Hedges, R. E. M.: Stable isotope analysis reveals variations in human diet at the Poundbury Camp cemetery site. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 25, No. 12. 1998:1247-1252.

Richards, M. P., Mays, S., Fuller, B. T.: Stable carbon and nitrogen isotope values of bone and teeth reflect weaning age at the medieval Wharram Percy Site, Yorkshire, UK. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 119. 2002:205-210.

Rich-Edwards, J. W., Ganmaa, D., Pollak, M. N., Nakamoto, E. K., Kleinman, K., Tserendolgor, U., Willett, W. C., Frazier, A. L.: Milk consumption and the prepubertal somatotropic axis. In: *Nutrition Journal*. Vol. 6, No.28. 2007:1-8.

Richter, J.: Neuere Ergebnisse der Menarche-Forschungen. In: *Acta Facult. Med. Univ. Brunensis*. Vol. 57. Brno. 1976:351-158.

Ripps, H., Shen, W.: Review: Taurine: A “very essential” amino acid. In: *Molecular Vision*. Vol. 18. 2012:2673-2686.

Roberts, C. A.: Case Report 9: Scurvy. In: *Paleopathology Society Newsletter*. Vol. 57. 1987:14-15.

Roberts, C. A., Cox, M.: Health and disease in Britain: from prehistory to the present day. Gloucester: Sutton Publishing. 2003.

Roberts, C., Manchester, K.: The archeology of disease. Third edition. The history press. 2010.

Robinson, C., Kirkham, J., Brookes, S. J., Bonass, W. A., Shore, R. C.: The chemistry of enamel development. In: *International Journal of Developmental Biology*. Vol. 39. 1995: 145-152.

Robins, S. P., New, S. A.: Markers of bone turnover in relation to bone health. The annual meeting of the Scottish section of the nutrition society was held at the western infirmary, Glasgow on 7 and 8 April 1997. Symposium on ‘Nutritional aspects of bone’. In: *Proceedings of the Nutrition Society*. Vol. 56. 1997: 903-914.

Rogol, A. D., Roemmich, J. N., Clark, P. A.: Growth and puberty. In: *Journal of Adolescent health*. Vol. 31. 2002:192-200.

Rollet, E.: De la mensuration des os longs des membres dans ses rapports avec l'Anthropologie, la Clinique et la Médecine Judiciaire. Storck Verlag. 1888.

Rösch, M.: Vorgeschichtliche Pflanzenreste vom Viesenhäuser Hof, Stadtteil Mühlhausen, Stuttgart. In: *Fundberichte aus Baden-Württemberg*. Bd. 34. 2014:143-176.

Rösch, M.: Zwei pflanzenhaltige Gruben der Linienbandkeramik vom Viesenhäuser Hof, Stuttgart-Mühlhausen. In: *Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg*. 1991. Stuttgart 1992: 53-56.

Rose, J. C., Ungar, P. S.: Gross dental wear and dental microwear in historical perspective. In: Alt K.W, Rösing F.W., Teschler-Nicola, M. (eds.): *Dental anthropology*. Springer Wien, NewYork.1998:349-386.

Rosenstock, E.: Eiweißversorgung und Körperhöhe: zur Übertragbarkeit anthropometrischer Ansätze auf die Archäologie. In: Schier, W, Meyer, M (Hrsg.): *Vom Nil bis an die Elbe. Forschungen aus fünf Jahrzehnten am Institut für Prähistorische Archäologie der Freien Universität Berlin*. In: *Internationale Archäologie - Studia honoraria* 36. Leidorf: Rahden/Westfalen. 2014:147-163.

Rosenstock, E.: Grown up - Adult Height Dimorphism as an Archive of Living Conditions of Boys and Girls in Prehistory. In: Coşkunsu, G. (ed.): *The Archaeological Study of Childhood: Interdisciplinary Perspectives on an Archaeological Enigma*. Proceedings of the IEMA Postdoctoral Visiting Scholar Conference on Theories and Methods in Archaeology 3, April 2010. The Institute for European and Mediterranean Archaeology Distinguished Monograph Series. SUNY Press: Albany, i. Dr., 107-127. Im Druck.

Rosenstock, E., Groß, M., Hujčić, A., Scheibner, A.: Back to good shape: biological standard of living in the Copper and Bronze Ages and the possible role of food. In: Kneisel, J., Kierleis, W., Taylor, N., dal Corso, M., Tiedtke, V. (eds.): *Setting the Bronze Age Table: Production, Subsistence, Diet and Their Implications for European Landscapes*. Proceedings of the International Workshop "Socio-environmental dynamics over the last 12.000 years: the creation of landscapes III (15th -18th March 2013) in Kiel. Im Druck.

Rosman, K. J. R., Taylor, P. D. P.: Isotopic composition of the elements 1997. (Technical report). In: *Pure and Applied Chemistry*. Vol. 70, No. 1.1998:217-235.

Roth, J. D., Hobson, K. A.: Stable carbon and nitrogen isotopic fractionation between diet and tissue of captive red fox: implications for dietary reconstruction. In: *Canadian Journal of Zoology*. Vol. 78. 2000:848-852.

Rother, P., Jahn, W., Hunger, H., Kurp, K.: Determination of body height from fragments of the femur. In: *Gegenbaurs Morphologisches Jahrbuch*. Vol. 126, No. 6.1980:873-83.

Rottländer, Rolf C. A.: Bemerkungen zu einer Abhandlung über Feuerstülpfen. In: *Archäologisches Korrespondenzblatt*. Nr. 25. 1995:169.

Rubin, C. T., Lanyon, L. E.: Regulation of bone formation by applied dynamic loads. In: *Journal of Bone Joint Surgery. American Volume*. Vol. 66, No. 3. March 1984:397-402.

Rugg-Gunn, A. J., al Mohammadi, S. M., Butler, T. J.: Effects of fluoride level in drinking water, nutritional status, and socio-economic status on the prevalence of developmental defects of dental enamel in permanent teeth in Saudi 14-year-old boys. In: *Caries Research*. Vol. 31, No. 4. 1997:259-67.

Rummel, S., Hölzl, S., Horn, P.: Isotopensignaturen von Bio- und Geo-Elementen in der Forensik. In: Herrmann, B., Saternus, K.-S. (Hrsg.): *Biologische Spurenkunde*. Bd. 1 Kriminalbiologie. Springer Berlin, Heidelberg. 2007:381-407.

Saarinen, U. M., Siimes, M. A., Dallman, P. R.: Iron absorption in infants: high bioavailability of breast milk iron as indicated by the extrinsic tag method of iron absorption and by the concentration of serum ferritin. In: *Journal of Pediatrics*. Vol. 91, No. 1. July 1977:36-39.

Saka, Y., Lhoussaine, C., Kuttler, C., Ullner, E., Thiel, M.: Theoretical basis of the community effect in development. In: *BMC Systems Biology*. Vol. 5, No. 54. 2011:1-14.

Salazar-García, D. C., Richards, M. P., Nehlich, O., Henry, A. G.: Dental calculus is not equivalent to bone collagen for isotope analysis: a comparison between carbon and nitrogen stable isotope analysis of bulk dental calculus, bone and dentine collagen from same individuals from the Medieval site of El Raval (Alicante, Spain). In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 47. July 2014:70-77.

Salles, A. D., Carvalho, C. R. F., Silva, D. M., Santana, L. A.: Reconstruction of humeral length from measurements of its proximal and distal fragments. In: *Brazilian Journal of morphological Sciences*. Vol. 26, No. 2. 2009:55-61.

Salque, M.: Was milk processed in these ceramic pots? Organic residue analyses of European prehistoric cooking vessels. In: Feulner, F., Doorn, N. L., Leonardi, M. (eds.): *May contain*

traces of milk - Investigating the role of dairy farming and milk consumption in the European Neolithic. *LeCHE*. The University of York, York. 2012:127-141.

Salque, M., Bogucki, P. I., Pyzel, J., Sobkowiak-Tabaka, I., Grygiel, R., Szmyt, M., Evershed, R. P.: Earliest evidence for cheese making in the sixth millennium BC in northern Europe. In: *Nature*. Vol. 493. 2013:522-525.

Sanders, T. A. B.: Growth and development of British vegan children. In: *American Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 48. 1988: 822-825.

Sarnat, B. G., Schour, I.: Enamel hypoplasias (chronologic enamel aplasia) in relationship to systemic diseases: Achronological, morphologic and etiological classification. In: *Journal of the American Dental Association*. Vol. 28. 1941:1989-2000.

Sarnat, B. G., Schour, I.: Enamel hypoplasias (chronologic enamel aplasia) in relationship to systemic diseases: Achronological, morphologic and etiological classification. In: *Journal of the American Dental Association*. Vol. 29. 1942:67-75.

Schamall, D.: Qualitative und quantitative Differentialdiagnose von Individuen mit und ohne Mineralisationsstörungen am Beispiel spätantiker, neuzeitlicher und rezenter menschlicher Skelettreste unter Verwendung des radiologischen, histologischen und histomorphometrischen Analysespektrums. Dissertation, Wien. 2008.

Scheibner, A.: Prähistorische Ernährung in Vorderasien und Europa: eine Synopse der Quelle. Unpubl. Dissertation, Berlin. 2014.

Schenderer, C. F. G.: Datenqualität mit SPSS. Oldenbourg Wissenschaftsverlag. 2007.

Scheuer, L., Black, S., Christie, A.: Developmental Juvenile Osteology. Elsevier Academic Press. London. 2000.

Scheuer, L., Black, S.: Skeletal development and Ageing. In: Scheuer, L., Black, S., Christie, A. (eds.): Developmental juvenile osteology. Elsevier Academic Press. London. Chapter 2. 2000:4-17.

Schindler, M.: Zur Frage des Einflusses von Alter und Körpergröße der Mutter auf die Länge des Neugeborenen unter Berücksichtigung der Anzahl der Geburten und Fehlgeburten. Dissertation, Erlangen-Nürnberg. 1971.

Schmidt, M.: Rheumatische Erkrankungen und körperliche Belastungen am Arbeitsplatz. In: Schmidt, M., Müller, R., Volz, F.R., Funke, U., Weiser, R. (Hrsg.): Arbeit und Gesundheitsgefährdung. Materialien zur Entstehung und Bewältigung arbeitsbedingter Erkrankungen. SWI Studienhefte 2. Haag und Herchen Verlag. 1982:27-61.

Schmidt, K., Bindl, R., Bruchhaus, H.: Körperhöhenschätzung an ausgewählten neolithischen und bronzezeitlichen Skeletten. In: *Archäologische Informationen*. Bd. 30/1, 2007:51-69.

Schmidt, B., Gruhle, W.: Globales Auftreten ähnlicher Wachsmuster von Bäumen-Homogenitätsanalyse als neues Verfahren für die Dendrochronologie und Klimaforschung. In: *Germania*. Vol. 84, Nr. 2. 2006:431-582.

Schmidt, B., Gruhle, W., Rück, O.: Klimaextreme in bandkeramischer Zeit (5300 bis 5000 v.Chr.). Interpretation dendrochronologischer und archäologischer Befunden. In: *Archäologisches Korrespondenzblatt*. No. 34. 2004.

Schmorl, G., Junghans, H.: Die gesunde und die kranke Wirbelsäule in Röntgenbild und Klinik. 5. Auflage. Georg Thieme Verlag. Stuttgart. 1968.

Schneider, H.: Konservierende Zahnheilkunde. 6. Auflage. Apollonia Verlag. Linnich. 1995.

Schnabel, D.: Wachstum-und Wachstumsstörungen bei Kindern. Broschüre. Informationen für Patienten. Copyright Pfizer Pharma GmbH. 2009.

Schoeller, D. A.: Isotope fractionation: Why Aren't We What We Eat? In: *Journal of Archeological Sciences*. Vol. 26. 1999:667-673.

Schoeninger, M. J.: Stable isotope studies in human evolution. In: *Evolutionary Anthropology*. Vol. 4. 1995:83-98.

Schoeninger, M. J.: Reconstructing prehistoric human diet. In: *Homo*. Vol. 39. 1989:78-99.

Schoeninger, M. J.: 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. In: *Journal of Human Evolution*. Vol.14. 1985:515-525.

Schoeninger, M. J., DeNiro, M. J.: Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. In: *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Vol. 48. 1984:625-639.

Schoeninger, M. J., DeNiro, M. J. Tauber, H.: Stable nitrogen isotope ratios of bone collagen reflect marine and terrestrial components of prehistoric human diet. In: *Science*. Vol. 220. 24. June 1983:1381-1383.

Schoeninger, M. J., Moore, K.: Bone stable isotope studies in archaeology. In: *Journal of World Prehistory*. Vol. 6, No. 2.1992:247-296.

Schöfl, C.: Wachstumshormon. Regulation und Substitution. Patientenbroschüre. Akademie für Fort- und Weiterbildung. 2010.

<http://www.endokrinologie.net/download/broschueren/16-wachstumshormon.pdf>

(23.03.2015)

Schour I., Massler, M.: Development of human dentition chart, 2nd ed. Chicago: American Dental Association. 1941.

Schramm, M.: Die Fluoridbestimmung im Dentin zur Altersschätzung an Zähnen. Dissertation, Jena. 2002.

Schreg, R., Schenk, W.: Historische Geographie: Kulturlandschafts- und Territorialentwicklung. In: Gebhardt, H. (Hrsg.): Geographie Baden-Württembergs. Raum, Entwicklung, Regionen. W. Kohlhammer GmbH Stuttgart. Kapitel 4. 2008:181-199.

Schreiber, F., Stief, P., Gieseke, A., Heisterkamp, I. M., Verstraete, W., de Beer, D., Stoodley, P.: Denitrification in human dental plaque. In: *BMC Biology*. Vol. 8, No 24. 2010:2-11.

Schroeder, H. E.: Orale Strukturbiologie. Entwicklungsgeschichte, Struktur und Funktion normaler Hart- und Weichgewebe der Mundhöhle und des Kiefergelenks. 4. überarbeitete Auflage. Georg Thieme Verlag. Stuttgart. 1992.

Schubert, C. J., Calvert, S. E.: Nitrogen and carbon isotopic composition of marine and terrestrial organic matter in Arctic Ocean sediments: implications for nutrient utilization and organic matter composition. In: *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* Vol. 48, Issue 3, March 2001:789-810.

Schulte, F. A., Ruffoni, D., Lambers, F. M., Christen, D., Webster, D. J., Kuhn, G., Müller, R.: Local mechanical stimuli regulate bone formation and resorption in mice at the tissue level. In: *PLoS ONE*. Vol. 8, Issue 4. April 2013:1-12.

Schultz, M.: Paleohistopathology of bone: A new approach to the study of ancient diseases. In: *Yearbook of Physical Anthropology*. Vol. 44. 2001:106-47.

Schultz, M.: Vestiges of non-specific inflammations of the skull in prehistoric and historic populations. A contribution to palaeopathology. In: Kaufmann B. (Hrsg.): *Anthropologische Beiträge 4A/B*. Aesch, Switzerland: Anthropologisches Forschungsinstitut Aesch und Anthropologische Gesellschaft in Basel. 1993:1-84.

Schultz, M.: Paläopathologische Diagnostik. In: Knußmann, R. (Hrsg.): *Anthropologie: Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen*. Band 1: Wesen und Methoden der Anthropologie. Wissenschaftstheorie, Geschichte, morphologische Methoden. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart. 1988:480-496.

Schultz, M., Carli-Thiele, P., Schmidt-Schultz, H., Kierdorf, U., Kierdorf, H., Teegen, W. R., Kreutz, K.: Enamel hypoplasias in archaeological skeletal remains. In: Alt, K. W., Rösing, F. W., Teschler-Nicola, M. (eds.): *Dental anthropology. Fundamentals, limits, and prospects*. Wien, Springer. 1998:293-311.

Schurr, M. R.: Using stable nitrogen-isotopes to study weaning behavior in past populations. In: *World Archaeology*. Vol. 30, No. 2. 1998:327-342.

Schurr, M. R.: Stable nitrogen isotopes as evidence for the age of weaning at the angel site: A comparison of isotopic and demographic measures of weaning age. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 24, Issue 10. October 1997:919-927.

Schutkowski, H., Grupe, G.: Zusammenhänge zwischen Cibra orbitalia, archäometrischen Befunden am Skelett und Habitatbedingungen. In: *Anthropologischer Anzeiger*. Vol. 55. 1997:155-166.

Schwarcz, H. P., Schoeninger, M. J.: Stable isotope analyses in human nutritional ecology. In: *Yearbook of Physical Anthropology*. Vol. 34. 1991:283-321.

Schwekendiek, D.: The North Korean standard of living during the famine. In: *Social Science and Medicine*. Vol. 66, Issue 3. 2008:596-608.

Schwidetzky, I.: Contribution à l'étude de la variabilité climatique chez l'Homme: taille et robustesse des os longs. In: *Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris*. Vol. 6. Issue 6-3. 1979:343-347.

Scott, G. R.: Dental anthropology. Encyclopedia of human biology. Sec. ed. Vol. 3. New York: Academic Press 1997:175-190.

Scott, G. R., Poulson, S. R.: Stable carbon and nitrogen isotopes of human dental calculus: a potentially new non-destructive proxy for paleodietary analysis. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 39, Issue 5. May 2012:1388-1393

Scrimshaw, N. S.: Iron deficiency. In: *Scientific American*. Vol. 265, No. 4. October 1991:46-52.

Scrimshaw, N. S., Young, V. R.: Adaptation to low protein and energy intakes. *Human Organization* 48. 1989:20-30

Seager, S. L., Slabaugh, M. R.: Organic and biochemistry for today. January 14, 2010.

Sealy, J. C., Armstrong, R., Schrire, C.: Beyond lifetime averages: tracing life histories through isotopic analysis of different calcified tissues from archaeological human skeletons. In: *Antiquity*. Vol. 69. 1995:290-300.

Shabanpoor, F., Separovic, F., Wade, J. D.: The human insulin superfamily of polypeptide hormones. In: Litwack, G. (ed.): *Vitamins and hormones*. Vol. 8. Burlington: Academic Press. 2009:1-31.

Sherratt, A.: The secondary exploitation of animals in the Old World. In: *World Archaeology*. Vol. 15, No. 1. Transhumance and pastoralism. June 1983:90-104.

Shils, M. E., Olson, J. A., Moshe, S.: *Modern nutrition in health and disease*. Williams and Wilkins. Philadelphia, Lippincott. 1999.

Shu, Q., Gill, H.: A dietary probiotic (*Bifidobacterium lactis* HN019) reduces the severity of *Escherichia coli* 015:H17 infection in mice. In: *Medical Microbiology and Immunology*. Vol. 189. 2001:147-152.

Seitz, M.: Ein bemerkenswertes Grab aus dem linearbandkeramischen Friedhof vom 'Viesenhäuser Hof, Stuttgart-Mühlhausen. In: OPVSCVLA [Festschrift Franz Fischer]. Tübinger Beiträge für Vor- und Frühgeschichte. 2. Tübingen 1987:1-22.

Sidlauskas, A., Trakiniene, G.: Effect of the lower third molars on the lower dental arch crowding. In: *Stomatologija*. Vol. 8, No. 3. 2006:80-4.

Siegmund, F.: Wegleitung Körperhöschätzung [Guidelines for stature estimation]. In: *Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie*. Vol. 18, Nr. 2. 2012:25-35.

Siegmund, F.: Die Körpergröße der Menschen in der Ur- und Frühgeschichte Mitteleuropas und ein Vergleich ihrer anthropologischen Schätzmethoden. Books on Demand GmbH. m. W. Norderstedt. 2010.

Silventoinen, K., Kaprio, J., Lahelma, E., Koskenvuo, M.: Relative effect of genetic and environmental factors on body height: differences across birth cohorts among Finnish men and women. In: *American Journal of Public Health*. Vol. 90. 2000:627-630.

Silverstone, L. M., Hicks, M. J.: The structure and ultrastructure of the carious lesion in human dentin. In: *Gerodontics*. Vol. 1, No. 4. August 1985:185-193.

Simmen, F. A., Whang, K. Y., Simmen, R. C. M., Peterson, G. A., Bishop, M. D., Irvin, K. M.: Lactational variation and relationship to postnatal growth of insulin-like growth factor -1 in mammary secretions from genetically diverse sows. In: *Domestic Animal Endocrinology*. Vol. 7, Issue 2. 1990:199-206.

Simonton, D.: A history of European women's work: 1700 to the present. Routledge. 1. edition. 1998.

Singh, K.: Disorders of periodontium. In: Saraf, S. (ed.): Textbook of oral pathology. Chapter 12. 2006.

Skuse, D., Albanese, A., Stanhope, R., Gilmore, J., Voss, L.: A new stress-related syndrome of growth failure and hyperphagia in children, associated with reversibility of growth-hormone insufficiency. In: *The Lancet*. Vol. 348, No. 9024. 10 August 1996:353-358.

Small, B. W., Murray, J. J.: Enamel opacities prevalence, classifications and etiological considerations. In: *Journal of Dentistry*. Vol. 6. 1978: 33-42.

Smith, B. N., Epstein, S.: Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. In: *Plant Physiology*. Vol. 47. 1971:380-384.

Smith, B. H.: Patterns of molar wear in hunter-gatherers and agriculturalists. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 63. 1984:39-56.

Smith, B. N., Epstein, S.: Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. In: *Plant Physiology*. Vol. 47. 1971:380-384.

Smith, B. H., Garn, S. M.: Polymorphisms in eruption sequence of permanent teeth in American children. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol 74. 1987:289-303.

Smith, A. J., Scheven, B. A., Takahashi, Y., Ferracane, Y. L., Shelton, R. M., Cooper, P. R.: Dentine as a bioactive extracellular matrix. In: *Archives of Oral Biology*. Vol. 57. 2012:109-121.

Smith, T. M., Tafforeau, P.: New visions of dental tissue research: Tooth development, chemistry, and structure. In: *Evolutionary Anthropology*. Vol. 17. 2008:213-226.

Snodgrass, J. J., Galloway, A.: Utility of dorsal pits and pubic tubercle height in parity assessment. In: *Journal of Forensic Science*. Vol. 48, No.6. November 2003: 1226-1230.

Solazzo, C., Fitzhugh, W. W., Rolando, C., Tokarski, C.: Identification of protein remains in archaeological potsherds by proteomics, In: *Analytical Chemistry*. Vol. 80. 2008:4590-4597.

Spencer, F.: History of physical anthropology. An encyclopedia. Vol. 1. New York. 1997.

Stang, J., Story, M.: Nutrition needs of adolescents. In: Stang, J., Story, M. (eds.): Guidelines for adolescent nutrition services. Center for Leadership, Education, and Training in Maternal and Child Nutrition, Division of Epidemiology and Community Health, School of Public Health, University of Minnesota. 2005:21-35.

Starp, S.: Untersuchungen zur Geschlechtsbestimmung der Individuen zweier frühneolithischer Skelettserien aus Baden-Württemberg anhand der Zahnmaße. Dissertation, Tübingen. 1990.

Starr, C., Evers, C. A., Starr, L.: Biology: Concepts and applications without physiology. Brooks Cole Pub Co. 2010.

Stäuble, H.: Radiocarbon dates of the earliest Neolithic in Central Europe. In: Coop, G. T., Harkness, D. D., Miller, B. F., Scott, E. M. (eds.): Proceedings of the 15th International ¹⁴C Conference. *Radiocarbon*. Vol 37, No. 2.1995:227-237.

Steckel, R. H.: Biological measures of the standard of living. In: *Journal of Economic Perspectives*. Vol. 22, No. 1. Winter 2008:129-152.

Steckel, R. H.: Research project. A history of health in Europe from the late Paleolithic era to the present. In: *Economics and Human Biology*. Vol. 1. 2003:139-142.

Steckel, R. H.: Stature and standard of living. In: *Journal of Economic Literature*. Vol. 33. 1995:1903-1940.

Steckel, R. H.: Height and per capita income. In: *Historical Methods*. Vol. 16. 1983:1-7.

Steckel, R. H.: Slave height profiles from coastwise manifests. In: *Explorations in Economic History*. Vol.16, No.4. 1979:363-80.

Steckel, R. H., Larsen, C. S., Sciulli, P. W., Walker, P. L.: A history of health in Europe from the late paleolithic era to the present: A Research proposal. September 2001. <http://global.sbs.ohio-state.edu/docs/Proposal-09-03-01.pdf> (25.07.2012)

Steele, K. W., Daniel, R. M.: Fractionation of nitrogen isotopes by animals: a further complication to the use of variations in the natural abundance of ^{15}N for tracer studies. In: *Journal of Agricultural Sciences*. Vol. 90. 1978:90:7-9.

Steiniger, B., Schwarzbach, H., Stachniss, V.: *Mikroskopische Anatomie der Zähne und des Parodonts*. Georg Thieme Verlag KG. 2010.

Stenhouse, M. J., Baxter, M. S.: The uptake of bomb ^{14}C in humans. In: Berger, R., Suess, H. E. (eds.): *Radiocarbon dating*. University of California Press. Berkeley. 1976:324-341.

Stephan, E.: Tierknochenfunde aus der ältestbandkeramischen Siedlung Rottenburg »Fröbelweg«. Ein Beitrag zur Wirtschaftsweise der ersten Bauern in Europa. In: *Beiträge zur Archäozoologie und Pähistorischen Anthropologie*. Bd. IV. 2003:29-39.

Stevens, R. E., Hedges, R. E. M.: Carbon and nitrogen stable isotope analysis of northwest European horse bone and tooth collagen, 40,000 BP-present: Palaeoclimatic interpretations. In: *Quaternary Science Reviews*. Vol. 23. 2004:977-991.

Stevens, R. E., Lister, A. M., Hedges, R. E. M.: Predicting diet, trophic level and palaeoecology from bone stable isotope analysis: a comparative study of five red deer populations. In: *Oecologia. Population Ecology*. 2006:12-21.

Stinson, S.: Diet and child nutritional status. Poster presented at the 14th International Congress of Anthropological and Ethnological Sciences, Williamsburg, Virginia, U.S.A., July 26-August 1, 1998.

Stinson, S.: The effect of high altitude on the growth of children of high socioeconomic status in Bolivia. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 59. 1982:61-71.

Stloukal, M., Hanáková, H.: Die Länge der Längsknochen altslawischer Bevölkerungen - Unter besonderer Berücksichtigung von Wachstumsfragen. In: *Homo*. Vol. 29.1978:53-69.

Stokes, H., Muldner, G. and Jenkins, E. L.: An investigation into the archaeological application of carbon stable isotope analysis used to establish crop water availability: solutions and ways forward. In: Mithen, S., Black, E. (eds.): *Water, life and civilisation: climate, environment and society in the Jordan Valley*. Cambridge, England/ New York. Cambridge University Press. UNESCO. 2011:373-380.

Stratz, C. H.: Lebensalter und Geschlecht. Verlag von Ferdinand Enke. Stuttgart.1926.

Strecker, W., Keppler, P., Gebhard, F., Kinzl, L.: Length and torsion of the lower limb. In: *Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*. Vol. 79. 1997:1019-1023.

Strelka, F., Borský, I., Novomeská, Z., Strelka, K.: Dependence of functional respiratory capacity upon age and some anthropometric parameters in women. In: *Acta Facult. Med. Univ. Brunensis*. Vol. 57. Brno. 1976:363-376.

Strohm, T. F., Alt, K. W.: Periodontal disease-etiology, classification and diagnosis. In: Alt, K. W., Rösing, F. W., Teschler-Nicola, M. (eds.): *Dental anthropology. Fundamentals, limits and prospects*. Springer Verlag. Wien. 1998:227-246.

Strott, N.: Paläodemographie frühmittelalterlicher Bevölkerungen Altbaierns-Diachrone und allopatrische Trends. Dissertation, München. 2007.

Stuart-Macadam, P.: Iron deficiency anemia: exploring the difference. In: Grauer, A. L., Stuart-Macadam, P. (eds.): *Sex and Gender in Paleopathological Perspective*, Cambridge University Press, Cambridge. 1998:45-63.

Stuart-Macadam, P.: Porotic hyperostosis: a new perspective. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 87. 1992:39-47.

Stuart-Macadam, P.: Porotic hyperostosis: changing interpretations. In: Ortner, D. J., Aufderheide, A. C. (eds.): *Human paleopathology: Current synthesis and future options*. Smithsonian Institution Press, Washington. 1991:36-39.

Stuart-Macadam, P.: Porotic hyperostosis: Relationship between orbital and vault lesions. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 80. 1989:187-193.

Stuart-Macadam, P.: Porotic hyperostosis: Representative of a childhood condition. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 66. 1985:391-398.

Stuart-Macadam, P., Dettwyler, K.: Breastfeeding. *Biocultural Perspectives*. De Gruyter. New York 1995.

Stulp, G., Kuijper, B., Buunk, A. P., Pollet, T. V., Verhulst, S.: Intralocus sexual conflict over human height. In: *Biology Letters*. Vol. 8, No. 6. 2012:976.

Suby, J. A., Guichón, R. A.: Diet, nutrition and femoral robusticity of hunter-gatherers in Southern Patagonia: Experiences and perspectives. In: *International Journal of Osteoarchaeology*. Vol. 19. 2009:328-336.

Suri, L., Gagari, E., Vastardis, H.: Delayed tooth eruption: Pathogenesis, diagnosis, and treatment. A literature review. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. Vol.126, Nr. 4. 2004:432-445.

Swaminathan, N.: Strange but true: males can lactate. Unless you are an Indonesian fruit bat, though, it probably won't happen naturally. In: *Scientific American*. September 6, 2007.

Swinborn, B.: Beta casein A1 and A2 in milk and human health. Report to New Zealand Food Safety Authority. 2004.

Tahara, A., Tsukada, J., Tomura, Y., Wada, K., Kusayama, T., Ishii, N., Yatsu, T., Uchida, W., Tanaka, A.: Pharmacologic characterization of the oxytocin receptor in human uterine smooth muscle cells. In: *British Journal of Pharmacology*. Vol. 129, Nr. 1. January 2000:131-139.

Tannenbaum, G. S., Rorstad, O., Brazeau, P.: Effect of prolonged food deprivation on the ultradian growth hormone rhythm and immunoreactive somatostatin tissue levels in the rat. In: *Endocrinology*. Vol. 104. 1979:1733-1738.

Tanner, J. M.: A history of the study of human growth. Cambridge University Press. 1981.

Tanner, J. M.: Foetus into man. Physical growth from conception to maturity. 2nd edition. Castlemead Publications, Ware. Open Books/Harvard University Press. London, Cambridge. 1978.

Tanner, J. M.: Education and physical growth. Hodder and Stoughton. London. 1978a.

Tanner, J. M.: Population differences in body size, shape, and growth rate. In: *Archives of Disease in Childhood*. Vol. 51. 1976:12.

Tanner, J. M.: Growth and physique in different populations of mankind. A proposal for establishment of an international bureau for growth studies. In: Baker, P. T., Weiner, J. S. (eds.): *The biology of human adaptability*. Clarendon Press, Oxford. 1966:45-66.

Tanner, J. M.: Growth at adolescence: with a general consideration of the effects of hereditary and environmental factors upon growth and maturation from birth to maturity. 2nd edition. Blackwell Scientific Publications. Oxford. 1962.

Tanner, J. M., Whitehouse, R. H., Takaishi, M.: Standards from birth to maturity for height, weight, height velocity, and weight velocity: British children, 1965. II. In: *Archives of Disease in Childhood*. 41. 1966:613-635.

Teaford, M. F., Lytle, J. D.: Brief communication: Diet-induced changes in rates of human tooth microwear: a case study involving stone-ground maize. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 100. 1996:143-147.

Teegen, W.-R.: *Homo sapiens* in der Eisenzeit in Nordwest- und Mitteldeutschland. Eine Zusammenstellung paläopathologischer Befunde. In: Teegen, W.-R., Cordie, R., Dorrer, O., Rieckhoff, S., Steuer, H. (Hrsg.): *Studien zur Lebenswelt der Eisenzeit: Festschrift für Rosemarie Müller*. Walter de Gruyter GmbH & Co. KG. Berlin. 2006:485-565.

Teegen, W.-R.: Jugendliche Mütter und ihre Kinder im archäologisch-anthropologischen Befund: Ein frühbronzezeitlicher Fall aus der Emilia-Romagna (Italien). In: Müller, J. (Hrsg.): *Alter und Geschlecht in ur- und frühgeschichtlichen Gesellschaften (Tagung Bamberg 2004)*. In: *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie*. Bd. 126. Verlag Dr. Rudolf Habelt GmbH. Bonn. 2005.

Telkkä, A.: On the prediction of human stature from long bones. In: *Acta Anatomica*. Vol. 9. 1950:103-117.

Teschler-Nicola, M.: Soziale und biologische Differenzierung in der frühen Bronzezeit am Beispiel des Gräberfeldes F von Gemeinlebarn, Niederösterreich. In: *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien*. Nr. 90A. Wien, Jänner 1989:135-145.

Thissen, J.-P., Beauloye, V., Ketelslegers, J.-M., Underwood, L. E.: Regulation of insulin-like growth factor-I by nutrition. In: Houston, M. S., Holly, J. M. P., Feldman, E. L. (eds.): *IGF and nutrition in health and disease*. Chapter 2. Humana Press Inc., Totowa, NJ. 2004:25-52.

Thompson, G. W., Popovich, F., Anderson, D. L.: Third molar agenesis in the Burlington Growth Centre in Toronto. In: *Community Dentistry and Oral Epidemiology*. Vol. 2. 1974:187-192.

Trautmann, I.: The significance of cremations in early neolithic communities in Central Europe. Dissertation, Tübingen. 2006.

Trautmann, M., Trautmann, I.: Die Milch macht's...Brucellose im alamannischen Südwestdeutschland? In: Benecke, N., Flohr, S. (Hrsg.): Beiträge zur Archäologie und Prähistorischen Anthropologie. Band VIII. Gesellschaft für Archäozoologie und Prähistorischen Anthropologie e. V. Beier & Beran. 2011:95-102.

Trautwein, N.: Die Menschen werden immer größer – in den letzten hundert Jahren um etwa 14 Zentimeter. Dabei verändert sich auch das Aussehen. Jetzt sind Forscher den Gründen auf der Spur. In: *P.M.-Magazin*. Heft 07.1996.

<http://www.klm-hannover.de/medien/z-9607xx.htm> aufgerufen am 04.(23.03.2015)

Trotter, M., Gleser, G.: Estimation of stature from long bones of American whites and negroes. *American Journal Physical Anthr.* Vol. 10. 1952:463-514.

Tsutaya, T., Yoneda, M.: Quantitative reconstruction of weaning ages in archaeological human populations using bone collagen nitrogen isotope ratios and approximate Bayesian computation. In: *PLoS One*. Vol. 8, No. 8. August 2013:72327.

Turner, C. G.: Dental anthropological indications of agriculture among the Jomon people of central Japan. X. Peopling of the Pacific. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 51, Issue 4. November 1979:619-635.

Turner, E. P.: Crown development in human deciduous molar teeth. In: *Archives of Oral Biology*. Vol. 8. 1963:523-540.

Tutkuvienė, J., Morkuniene, R., Bartkute, K., Drazdiene, N.: Body size of newborns in relation to mother's ethnicity and education: A pilot study from Vilnius city (Lithuania), 2005–2010. Paper presented at the 9. International Congress of the German Society for Anthropology, "Biological and Cultural Markers of Environmental Pressure", September 12–16, 2011, Gottorf castle, Schleswig-Holstein, Germany. In: *Anthropologischer Anzeiger*. Vol. 68. Nr.4. Stuttgart, September 2011:471-484.

Tütken, T.: Die Isotopenanalyse fossiler Skelettreste – Bestimmung der Herkunft und Mobilität von Menschen und Tieren. In: *Tagungen des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle*. Band 3. 2010:33-51.

Tütken, T.: Analyse stabiler und radiogener Isotope in archäologischem Skelettmaterial: Herkunftsbestimmung des karolingischen Maultiers von Frankenthal und Vergleich mit spätpleistozänen Großsäugerknochen aus den Rheinablagerungen. In: *Prähistorische Zeitschrift*. Bd. 79, Heft 1. 2004:89-110.

Tütken, T.: Die Bedeutung der Knochenfrühdiagenese für die Erhaltungsfähigkeit in vivo erworbener Element- und Isotopenzusammensetzungen in fossilen Knochen. Dissertation, Tübingen. 2003.

Tütken, T., Vennemann, T. W., Pfretzschner, H.-U.: Early diagenesis of bone and tooth apatite in fluvial and marine settings: Constraints from combined oxygen isotope, nitrogen and REE analysis. In: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Vol. 266. 2008:254-268.

Tykot, R. H.: Isotope analyses and the histories of maize. In: Staller, J. E., Tykot, R. H., Benz, B. F. (eds.): *Histories of maize. Multidisciplinary approaches to the prehistory, linguistics, biogeography, domestication, and evolution of maize*. Elsevier Inc. California. London. 2006.

Uauy, R., Alvear, J.: Effects of protein-energy interactions on growth. In: Scrimshaw, N. S., Schürch, B. (eds.): *Protein-energy interactions*. International Dietary Energy Consultancy Group. Proceedings of an I/D/E/C/G Workshop held in Waterville Valley, NH, USA. October 21 to 25, 1991. 1992:151-182.

Uauy, R., Calderona, F., Mena, P.: Essential fatty acids in somatic growth and brain development. In: Simopoulos, A.P., Pavlou, K.N. (eds.): *Nutrition and fitness: Diet, genes, physical activity and health*. 4th International Conference on Nutrition and Fitness Athens, May 25–29, 2000. Karger. Basel, Freiburg, Paris, London, New York, New Delhi, Bangkok, Singapore, Tokyo, Sydney. 2001:134-160.

Ubelaker, D. H.: Human skeletal remains: excavations, analysis, interpretations. 1st edition. Aldine Pub. Co. Chicago. 1978.

Ukena, S.N., Singh, A., Dringenberg, U., Engelhardt, R., Seidler, U., Hansen, W., Bleich, A., Bruder, D., Franzke, A., Rogler, G., Suerbaum, S., Buer, J., Gunzer, F., Westendorf, A. M.: Probiotic *Escherichia coli* Nissle 1917 inhibits leaky gut by enhancing mucosal integrity. In: *PLoS ONE*. Issue 12. E1308. December 2007:2-9.

Ulijaszek, S. J.: Age of eruption of deciduous dentition of Anga children, Papua New Guinea. In: *Annals of Human Biology*. Vol. 23. 1996:495-499.

Ullrich, H.: Methodische Betrachtungen zu konstitutionsbiologischen Studien an vorge-schichtlichem Skelettmaterial. In: *Anatomischer Anzeiger*. Bd 118, Nr. 2. 1966:164-170.

Valman, H.: Intelligence after malnutrition caused by neonatal resection of ileum. *Lancet* 425. 1974.

Van der Merwe, N., Medina, E.: The canopy effect, carbon isotope ratios and foodwebs in Amazonia. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 18, Issue 3. May 1991:249-259.

Van Klinken, G. J., Richards, M. P., Hedges, R. E. M.: An overview of causes for stable isotopic variations in past European human populations: Environmental, Ecophysiological, and cultural effects. In: Ambrose, S. H., Katzenberg, M. A. (eds.): Biogeochemical approaches to palaeodietary analysis. In: *Advances in archaeological and museum science*. Vol. 5. Kluwer Academic/Plenum Publishers 2000:39-64.

Vasudevan, D. M., Sreekumari, S., Vaidyanathan, K.: Textbook of Biochemistry for Medical Students. Jp Medical Ltd. 7. Auflage. 2013.

Veit, U.: Studien zum Problem der Siedlungsbestattung im europäischen Neolithikum. In: Tübinger Schriften zur ur-und frühgeschichtlichen Archäologie 1. Waxmann Verlag GmbH. Münster/New York. 1996.

Velázquez, A.: Interactions between the genome and the environment, with special reference to nutrient variation. In: Simopoulos, A.P., Pavlou, K.N. (eds.): Nutrition and fitness: Diet, genes, physical activity and health. 4th International Conference on Nutrition and Fitness Athens, May 25-29, 2000. Karger. Basel, Freiburg, Paris, London, New York, New Delhi, Bangkok, Singapore, Tokyo, Sydney. 2001:93-107.

Velotta, J., Weyer, J., Ramirez, A., Winstead, J., Bahamonde, R.: Relationship between leg dominance tests and type of task. In: *Proceedings of the XXIXth International Conference on Biomechanics in Sports*. Porto, Portugal. 2011:1035-1038.

Vieth, R.: Why "Vitamin D" is not a hormone, and not a synonym for 1,25-dihydroxy-vitamin D, its analogs or deltanoids. In: *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*. Vol. 89-90, No. 1-5. May 2004:571-573.

Villermé, L. R.: Mémoire sur la Taille de L'Homme en France. In: *Annales D'Hygiène Publique et de Médecine Légale*. Vol. 191, No.1. 1829:351-97.

<http://www2.biusante.parisdescartes.fr/livanc/?p=41&cote=90141x1829x01&do=page>
(23.03.2015)

Vital, S. O., Gaucher, C., Bardet, C., Rowe, P. S., George, A., Linglart, A., Chaussain, C.: Tooth dentin defects reflect genetic disorders affecting bone mineralization. In: *Bone*. Vol. 50, No. 4. April 2012:989-997.

Vitala, S. O., Gauchera, C., Bardeta, C., Rowed, P. S., Georgee, A., Linglartf, A., Chaussaina, C.: Tooth dentin defects reflect genetic disorders affecting bone mineralization. In: *Bone*. Vol. 50, Nr. 4.: April 2012:989-997.

Voegel, J. C., Frank, R. M.: Ultrastructural study of apatite crystal dissolution in human dentine and bone. In: *Journal de Biologie Buccale*. Vol. 5. September 1977:181-194.

Vogel, J. C.: Recycling of CO₂ in a forest environment. In: *Oecologia Plantarum*. Vol. 13. 1978:89-94.

Vohberger, M.A.: Lokal oder eingewandert ? Interpretationsmöglichkeiten und Grenzen lokaler Strontium-und Sauerstoffisotopensignaturen am Beispiel einer Altgrabung in Wenigumstadt. Dissertation, München. 2011.

Von Endt, D. W., Ortner, D. J.: Experimental effects of bone size and temperature on bone diogenesis. In: *Journal of Archaeological Science*. II. 1984:247-253.

Wahl, J.: Karies, Kampf und Schädelkult. 150 Jahre anthropologische Forschung in Südwestdeutschland. Stuttgart: Konrad Theiss Verlag. 2007.

Wainright, S. C., Haney, J. C., Kerr, C., Golovkin, A. N., Flint, M. V.: Utilization of nitrogen derived from seabird guano by terrestrial and marine plants at St. Paul, Pribilof Islands, Bering Sea, Alaska. In: *Marin Biology*. Vol.131. 1998:63-71.

Waldron, T.: Palaeopathology. Cambridge University Press. 2009.

Walker, P. L., Bathurst, R. R., Richman, R., Gjerdrum, T., Andrushko, V. A.: The causes of porotic hyperostosis and cribra orbitalia: a reappraisal of the iron-deficiency-anemia hypothesis. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 139. 2009:109-25.

Walker, P. L., DeNiro, M. J.: Stable nitrogen and carbon isotope ratios in bone collagen as indices of prehistoric dietary dependence on marine and terrestrial resources in Southern California. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 71, Issue 1. September 1986: 51-61.

Walker, P. L., Erlandson, J. M.: New evidence for prehistoric dietary change on the northern Channel Island, California. In: *American Antiquity*. Vol. 51, No.2. 1986:375-383.

Wapler, U., Crub'zy, E., Schultz, M.: Is Cribra orbitalia synonymous with anemia? Analysis and interpretation of cranial pathology in Sudan. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 123. 2004:333-339.

Warinner, C., Rodrigues, J. F.M., Vyas, R., Trachsel, C., Shved, N., Grossmann, J., Radini, A., Hancock, Y., Tito, R. Y., Fiddyment, S., Speller, C., Hendy, J., Charlton, S.,

Luder, H. U., Salazar-García, D. C., Eppler, E., Seiler, R., Hansen, L. H., Samaniego Castruita, J. A., Barkow-Oesterreicher, S., Teoh, K. Y., Kelstrup, C. D., Olsen, J. V., Nanni, P., Kawai, T., Willerslev, E., von Mering, C., Lewis, C. M., Jr., Collins, M. J., Gilbert, M. T. P., Rühli, F., Cappellini, E.: Pathogens and host immunity in the ancient human oral cavity. In: *Nature Genetics*. Vol. 46, Issue 4. 2014:336-344.

Waterlow, J. C.: Reflection on stunting. Chapter 1. Smith-Gordon 2011:1-8.
<http://smith-gordon-publishing.co/pdf/Chapter-1-Reflections-on-stunting-JC-Waterlow.pdf>
(12.03.2013).

Waterlow, J. C.: The adaptation of protein metabolism to low protein intake. In: McCance, R. A., Widdowson, E. M. (eds.): *Calorie and protein deficiencies*. Little, Brown, Boston, Mass., 1968:61-72.

Wauben, I. P. M., Atkinson, S. A.: Calcium does not inhibit iron absorption or alter iron status in infant piglets adapted to a high calcium diet. In: *Journal of Nutrition*. Vol. 129, Nr. 3. March 1999:707-11.

Webb, S.: *Palaeopathology of aboriginal Australians: Health and disease across a hunter-gatherer continent*. Cambridge University Press, New York. 1995.

Weedon, M. N., Lettre, G., Freathy, R. M., Lindgren, C. M., Voight, B. F., Perry, J. R., Elliott, K. S., Hackett, R., Guiducci, C., Shields, B., Zeggini, E., Lango, H., Lyssenko, V., Timpson, N. J., Burt, N. P., Rayner, N. W., Saxena, R., Ardlie, K., Tobias, J. H., Ness, A. R., Ring, S. M., Palmer, C. N., Morris, A. D., Peltonen, L., Salomaa, V.; Diabetes Genetics Initiative; Wellcome Trust Case Control Consortium, Davey Smith, G., Groop, L. C., Hattersley, A. T., McCarthy, M. I., Hirschhorn, J. N., Frayling, T. M.: A common variant of HMGA2 is associated with adult and childhood height in the general population. In: *Nature Genetics*. Vol. 39, No. 10. Oct. 2007:1245-50.

Weiner, S.: *Microarchaeology. Beyond the visible archaeological record*. Cambridge University Press. 1. Auflage. 2010.

Weinkamer, R.: Der Umbauprozess im trabekulären Knochen. Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung, Potsdam. Tätigkeitsbericht. 2005.

http://www.mpikg.mpg.de/pdf/Jahrbuch1/Weinkamer_2005_gen.PDF (23.05.2015)

Welte, B., Wahl, J.: Auxologische Studien an Skelettresten frühneolithischer Kinder und Jugendlicher aus Südwestdeutschland. In: *Fundberichte in Baden-Württemberg*. Bd. 31. Stuttgart. 2010:7-28.

Wen, M., Kowaleski-Jones, L.: Sex and Ethnic Differences in Validity of Self-reported Adult Height, Weight and Body Mass Index. In: *Ethnicity and Disease*. Vol. 22. Winter 2012.

White, T. D., Folkens, P. A.: The Human bone manual. San Diego, CA: Academic Press. 2005:360-385.

Whitehead, R.: Protein and energy requirements of young children living in the developing countries to allow for catch-up growth after infections. In: *American Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 30, No. 9.1977:1545-1547.

Widdowson, E. M.: Mental contentment and physical growth. In: *Lancet*. Vol. 1. 1951:1316-1318.

Widdowson, E. M., McCance, R. A.: Studies on the nutritive value of bread and on the effect of variations in the extraction rate of flour on the growth of undernourished children. In: *Special report series*. Vol. 287. London. Medical Research Council. 1954.

Wiley, A.: Consumption of milk, but not other dairy products, is associated with height among US preschool children in NHANES 1999-2002. In: *Annals of Human Biology*. Vol. 36, Nr. 2. March-April 2009:125-138.

Williams, J. P. G.: Catch-up growth. In: *Journal of Embryology and Experimental Morphology*. Vol. 65 (Supplement). 1981:89-101.

Williams, J. C., White, C. D., Longstaffe, F. J.: Trophic level and macronutrient shift effects. Associated with the weaning process in the postclassic Maya. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 128. 2005:781-790.

Willie, B., Duda, G. N., Weinkamer, R.: Bone structural adaptation and Wolffs' law. In: Fratzl, P., Dunlop, J. W. C., Weinkamer, R. (eds.): *Materials design inspired by nature*. Chapter 2. 2013:17-45.

Winterfeld, M.-T.: Untersuchungen zur Hemmung der Demineralisation von humanem Dentin durch 5000 ppm Fluorid in situ. Dissertation, Düsseldorf. 2009.

Wong, H. M.: Aetiological factors for developmental defects of enamel. In: *Austin Journal of Anatomy*. Vol. 1, No. 1. 2014:1-9.

Wood, J. W., Milner, G. R., Harpending, H. C., Weiss, K. M.: The osteological paradox: Problems inferring prehistoric health from skeletal samples. In: *Current Anthropology*. Vol. 33, No. 4. August-October 1992:343-370.

Woodford, K.: A1 Beta-casein, Type 1 diabetes and links to other modern illnesses. An invited plenary paper to the International Diabetes Federation Western Pacific Congress, Wellington, 2 April 2008.

Woodmansee, R. G., Wallach, L. S.: Effects of fire regimes on biogeochemical cycles. In: Mooney, H. A., Bonnicksen, T. M., Christensen, N. L., Lotan, J. E., and Reiners, W. A. (eds.): *Proceedings of the Conference Fire Regimes and Ecosystem Properties*. Honolulu. USDA Forest Service. Washington, DC. General Technical Report WO-26.1981:379-400.

Woods, H. A., Moran, A. L., Arango, C. P., Mullen, L., Shields, C.: Oxygen hypothesis of polar gigantism not supported by performance of Antarctic pycnogonids in hypoxia. In: *Proceedings of the Royal Society. B*. Vol. 276, No. 1659. 22 March. 2009:1069-1075.

Wright, L. E., Schwarcz, H. P.: Correspondence between stable carbon, oxygen and nitrogen isotopes in human tooth enamel and dentine: Infant diets at Kaminaljuyu. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 26. 1999:1159-1170.

Wright, L. E., Schwarcz, H. P.: Stable carbon and oxygen isotopes in human tooth enamel: identifying breast-feeding in prehistory. In: *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 106. 1998:1-18.

Wurm, H., Leimeister, H.: Ein Beitrag zur spezifischen Auswahl von Vorschlägen zur Körperhöhenrekonstruktion nach Skelettfunden, zur Vergleichbarkeit von Schätzergebnissen und zur allgemeinen Problematik realistischer Lebendhöhenschätzungen. In: *Gegenbaurs morphologisches Jahrbuch*. Vol. 132, No.1. Leipzig. 1986:69-110.

Wurm, H.: Zur Geschichte der Körperhöhenschätzmethoden nach Skelettfunden, Vorschläge zur Körperhöhenschätzung nach Skelettfunden bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts. In: *Anthropologischer Anzeiger*. Jahrgang 44, Heft 2.1986:149-167.

Wurm, H.: Über die durchschnittlichen Körperhöhen der sozialen Mittel-und Unterschichten im mitteleuropäischen, germanischen Siedlungsraum vom Frühmittelalter bis zur Neuzeit. In: *Anthropologischer Anzeiger*. Jahrgang 43, No. 1. März 1985:11-30.

Wurm, H.: Über die Schwankungen der durchschnittlichen Körperhöhe im Verlauf der deutschen Geschichte und die Einflüsse des Eiweißanteils der Kost. In: *Homo*. Vol. 33. 1982:21-42.

Wurst, F., Wassertheurer, H., Kimeswenger, K.: Entwicklung und Umwelt des Landeskin-des. Osterreichischer Bundesverlag. 1961.

Wyndham, C. H.: Southern African ethnic adaptation to temperature and exercise. In: Baker, P. T., Weiner, J. S. (eds.): *The biology of human adaptability*. Clarendon Press, Oxford. 1966:201-244.

Xavier-Filho, J., Oliveira, A. E. A., da Silva, L. B., Azevedo, C. R., Venâncio, T. M., Machado, O. L. T., Oliva, M. L., Fernandes, K. W. S., Xavier-Neto, J.: Plant insulin or glucokinin: a conflicting issue. In: *Brazilian Journal of Plant Physiology*. Vol. 15, No.2. Londrina May/Aug. 2003:67-78.

Young, R. H.: Nutrition, technology and supplementary foods in Asia. Paper prepared for the Proceedings of the Meeting of the Canadian Institute of Food Science and Technology, Calgary, June 1986.

Young, V. R., Srcimshaw, N. S.: Genetic and biological variability in human nutrient requirements. In: *The American Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 32. February 1979:486-500.

Zajac, A., Poprzecki, S., Zebrowska, A., Chalimoniuk, M., Langfort, J.: Arginine and ornithine supplementation increases growth hormone and insulin-like growth factor-1 serum levels after heavy-resistance exercise in strength-trained athletes. In: *Journal of Strength and Conditioning Research*. Vol. 24, No. 4. April 2010:1082-90.

Zimmermann, A.: Cultural cycles in Central Europe during the Holocene. In: *Quaternary International*. Vol. 274. 1 October 2012:251-258.

Zimmermann, M. B.: The role of iodine in human growth and development. In: *Seminars in Cell and Developmental Biology*. Vol. 22, No. 6. August 2011:645-652.

Anhang

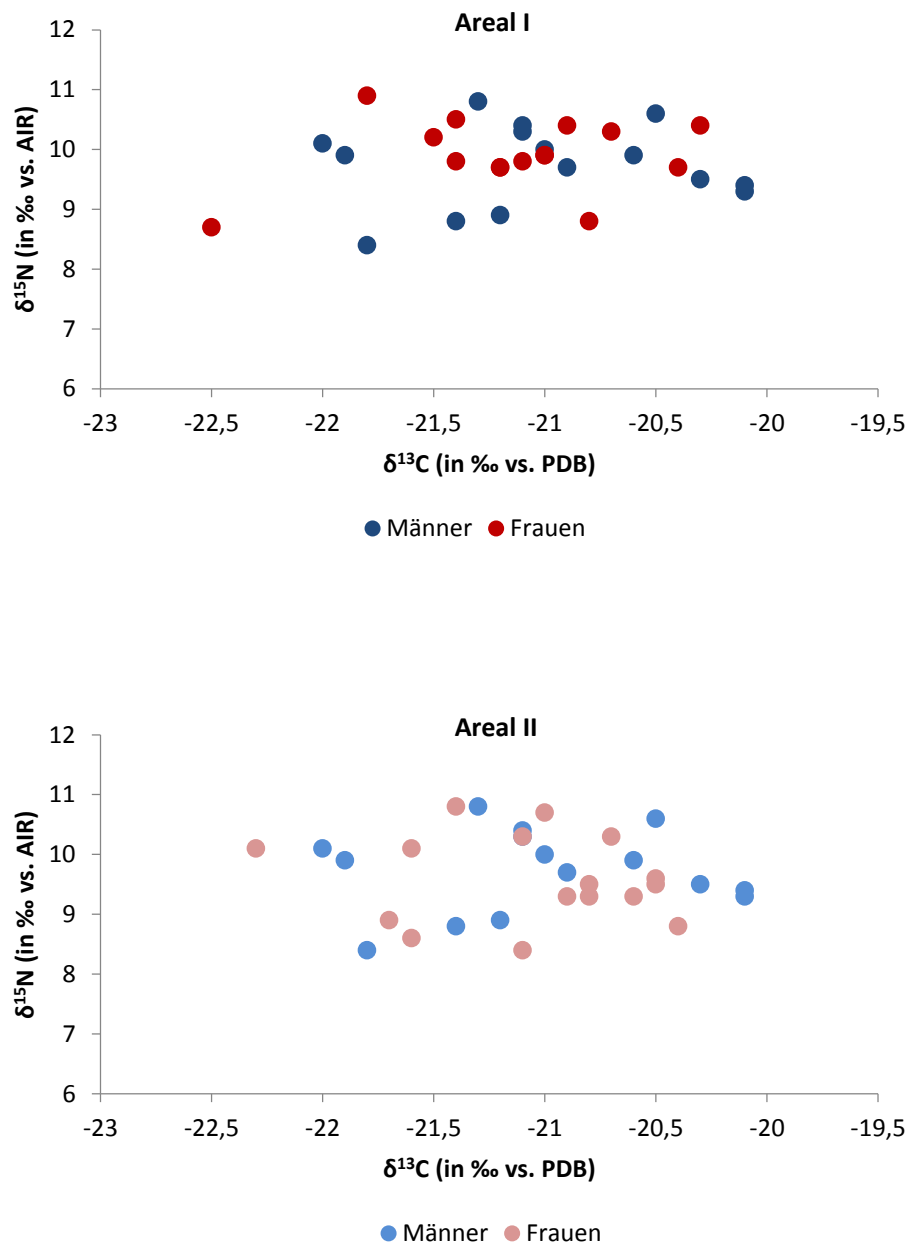


Abb. 1 Stabile $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ aus Primärdentin der Molaren von Männern und Frauen aus beiden Gräberfeldarealen, Areal I und Areal II, von Stuttgart-Mühlhausen.

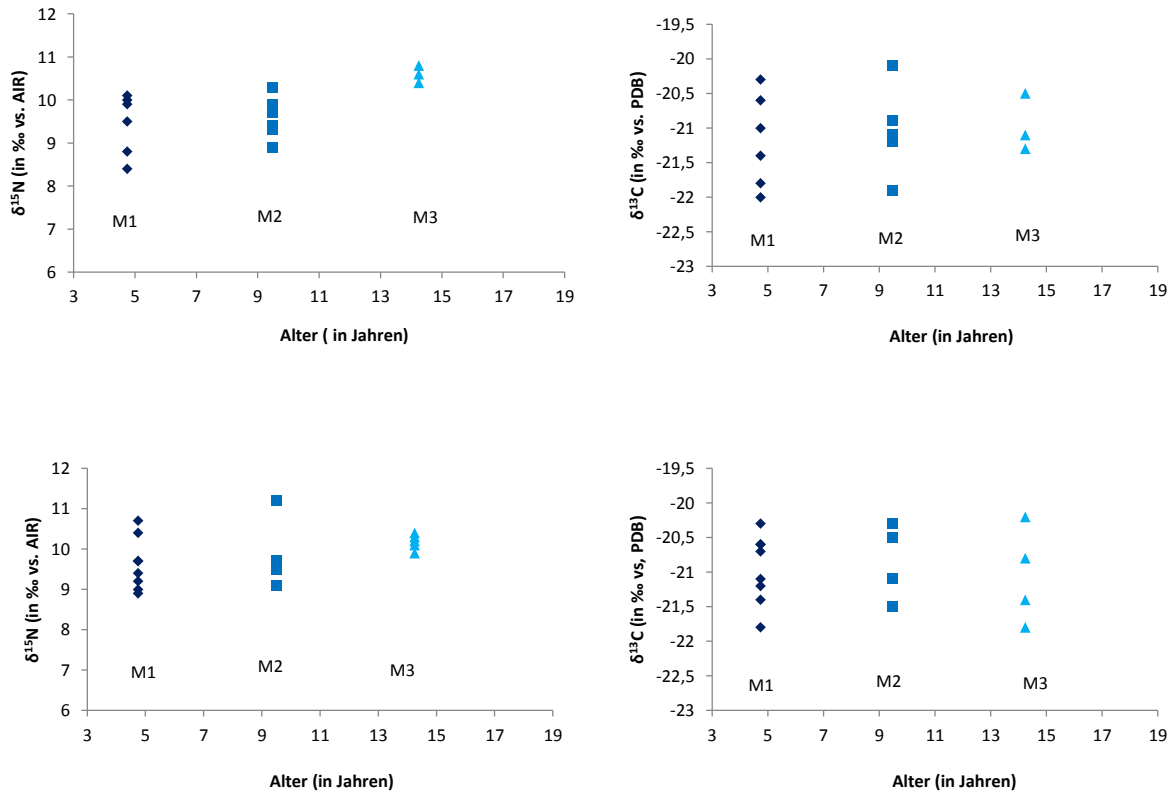


Abb. 2 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in untersuchten Molaren im durchschnittlichen Alter der Mineralisation der beprobten Zahnabschnitte von Männern aus Areal I (oben) und Areal II (unten) von Stuttgart-Mühlhausen.

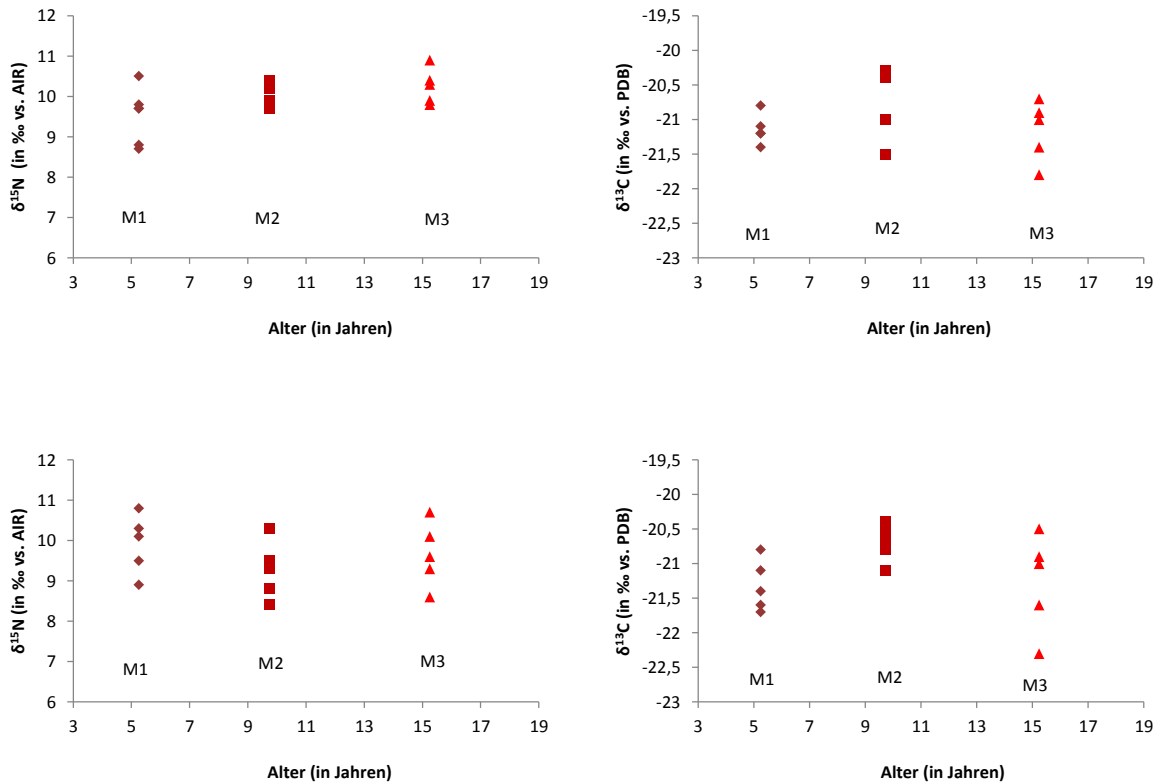


Abb. 3 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ in untersuchten Molaren im durchschnittlichen Alter der Mineralisation der beprobten Zahnabschnitte von Frauen aus Areal I (oben) und Areal II (unten) von Stuttgart-Mühlhausen.

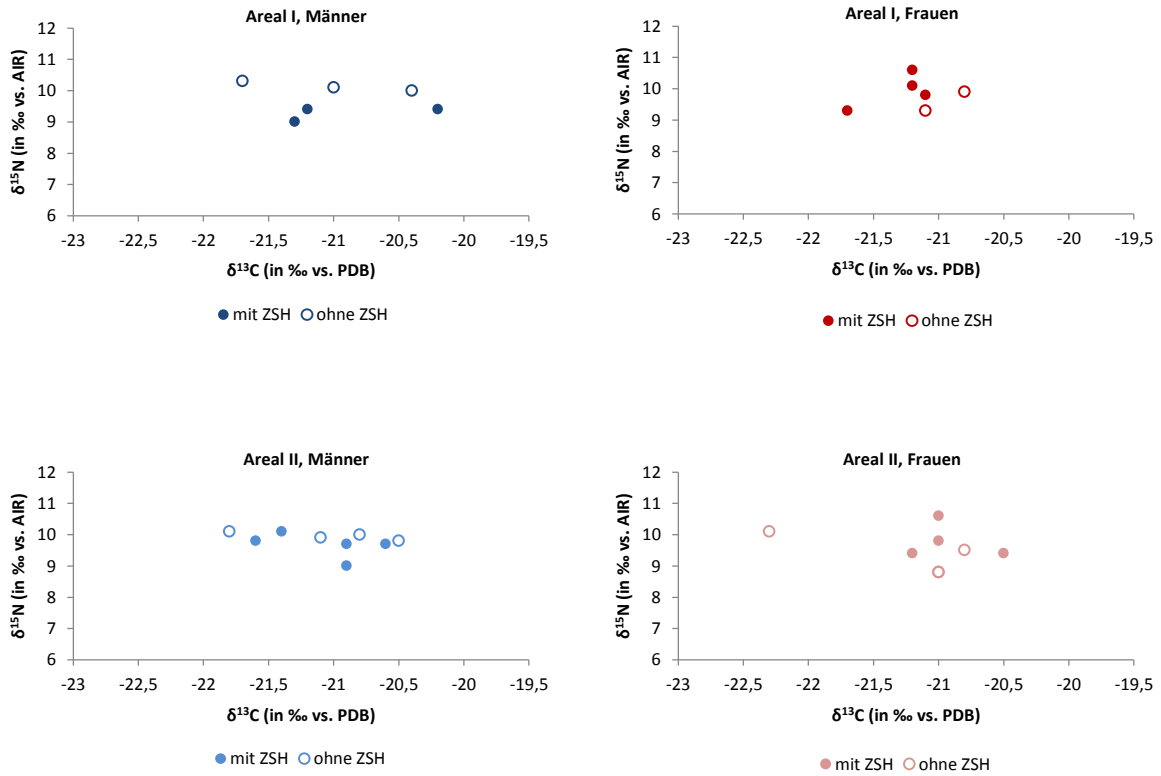
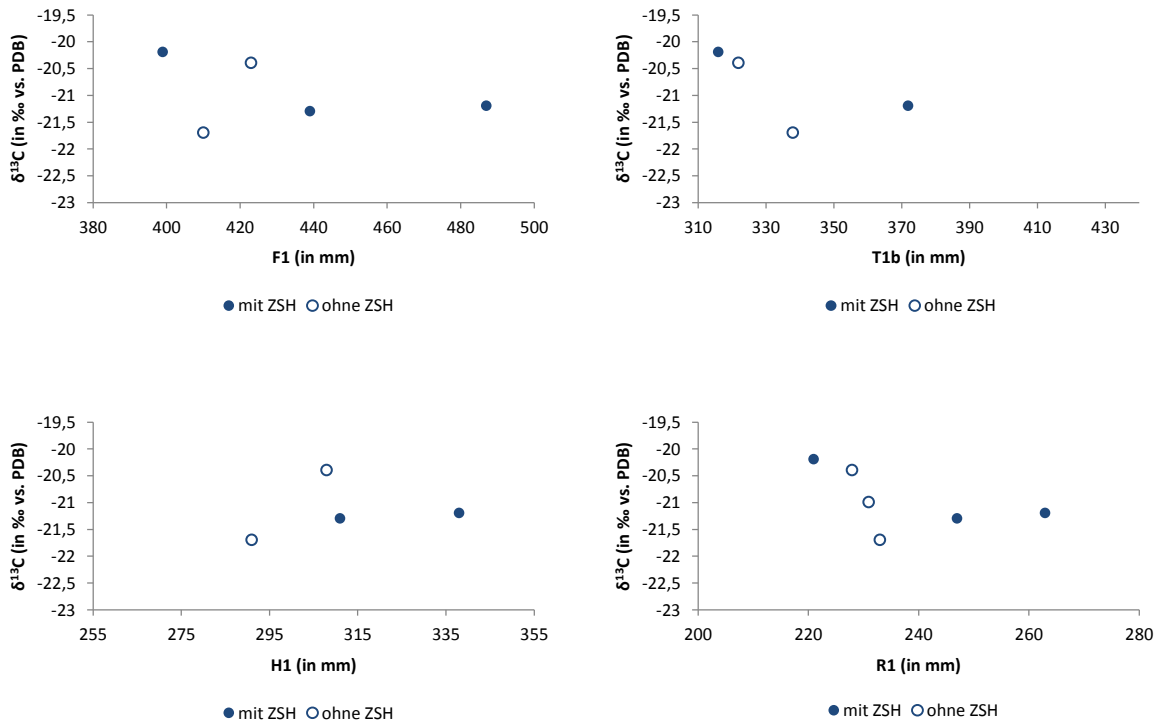


Abb. 4 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen und Männern aus beiden Gräberfeldarealen mit und ohne Zahnschmelzhyoplasien.



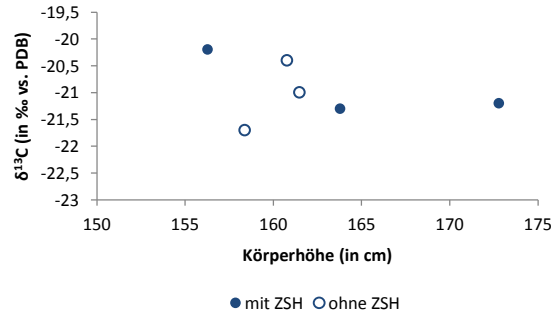


Abb. 5 $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern aus Areal I von Stuttgart-Mühlhausen mit und ohne Zahnschmelzhypoplasien in Korrelation zum jeweiligen verfügbaren Langknochen bzw. zu der Körperhöhe.

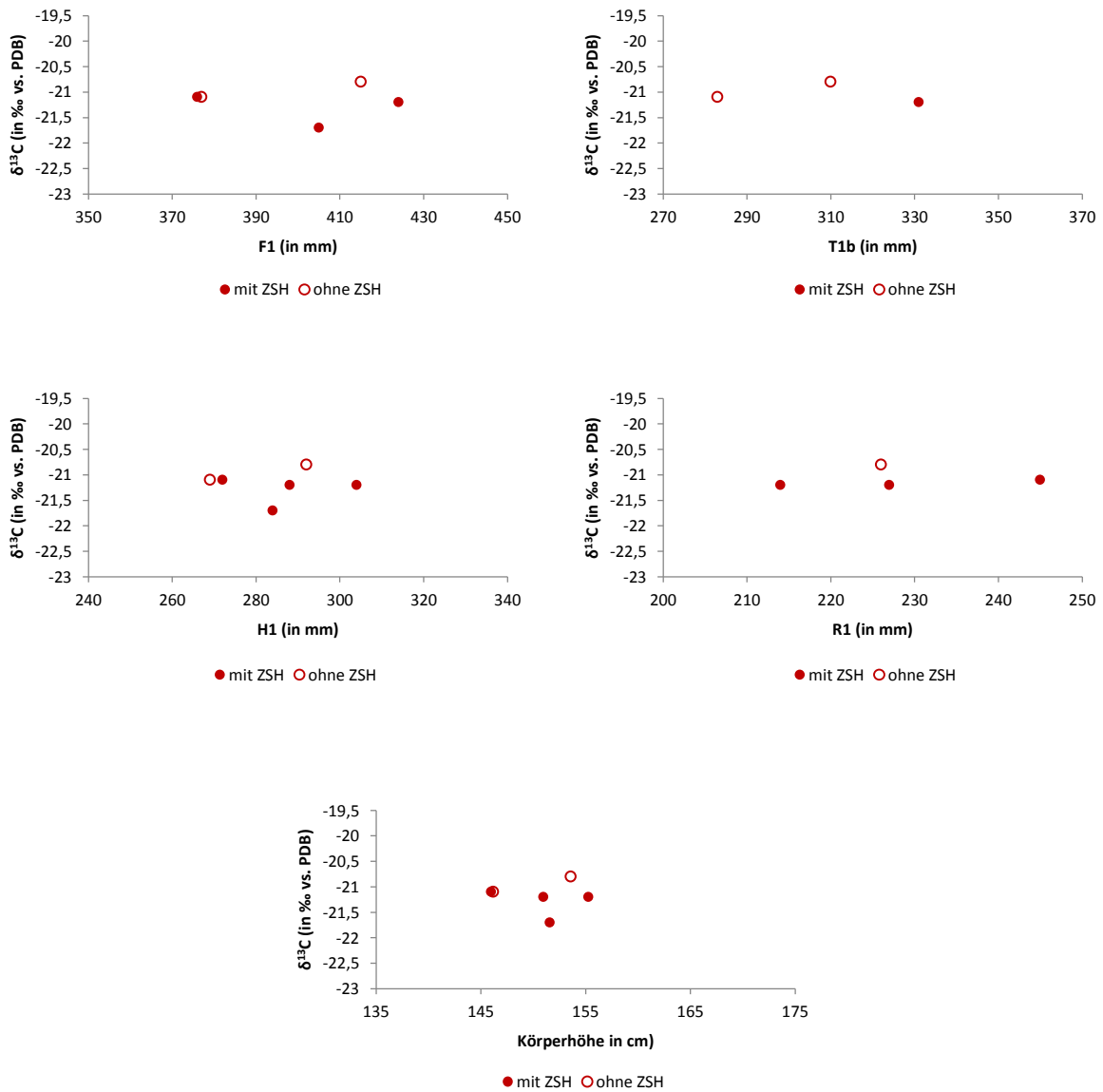


Abb. 6 $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen aus Areal I von Stuttgart-Mühlhausen mit und ohne Zahnschmelzhypoplasien in Korrelation zum jeweiligen verfügbaren Langknochen bzw. zu der Körperhöhe.

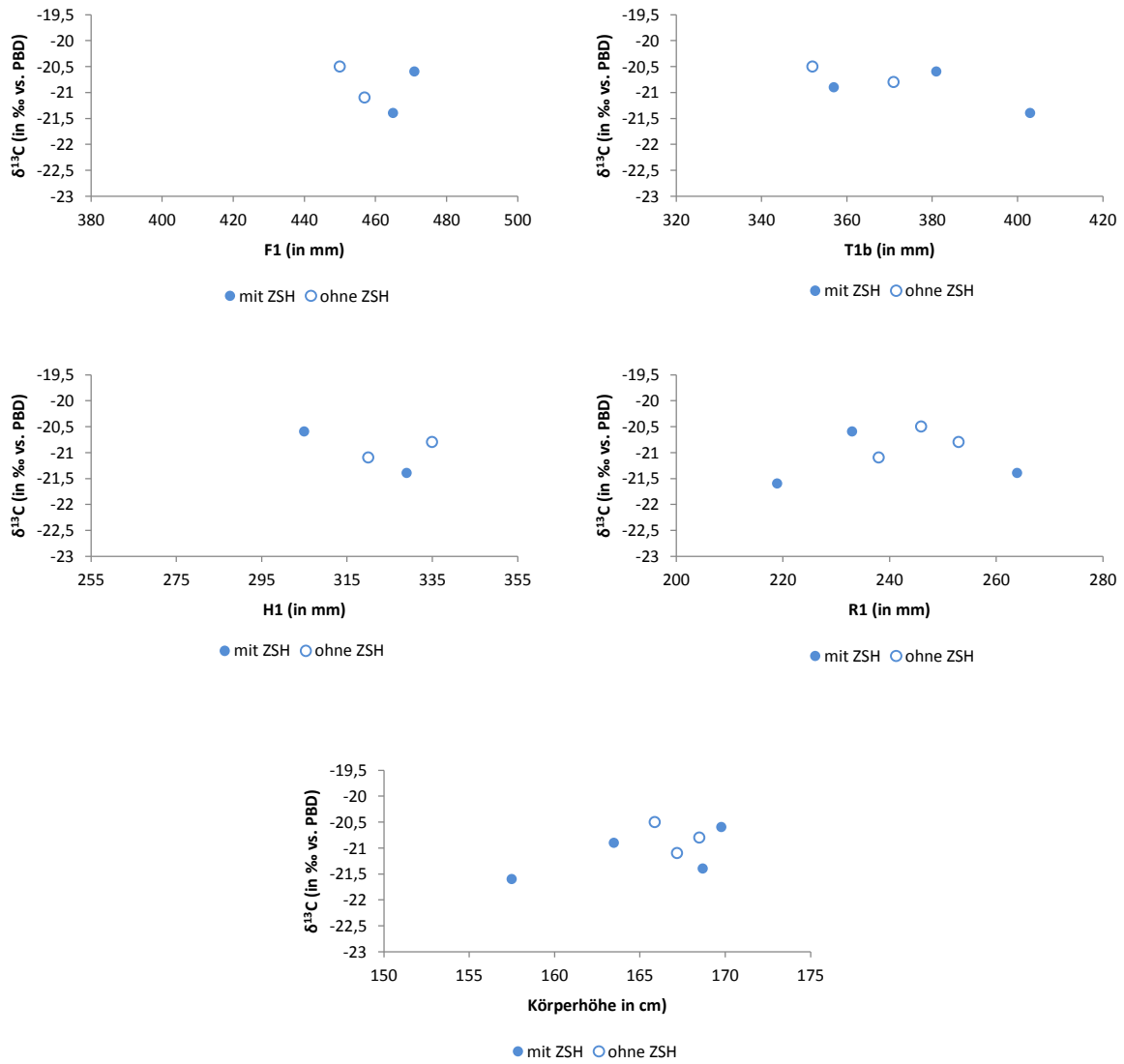
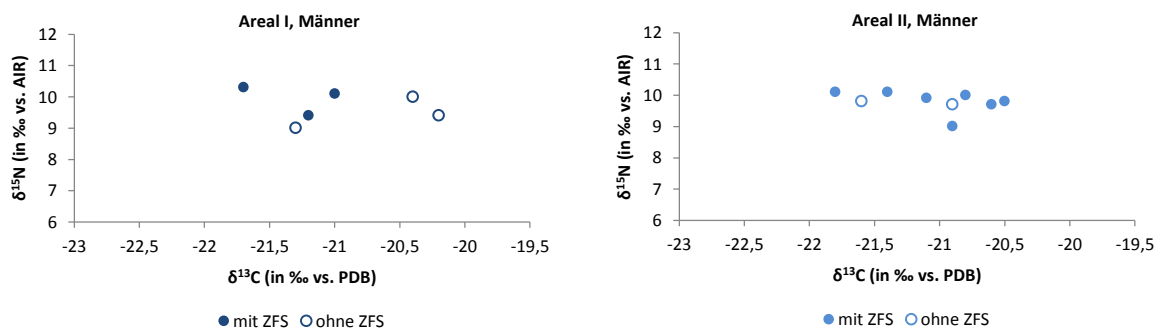


Abb. 7 $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern aus Areal II von Stuttgart-Mühlhausen mit und ohne Zahnschmelzhyoplasien in Korrelation zum jeweiligen verfügbaren Langknochen bzw. zu der Körperhöhe.



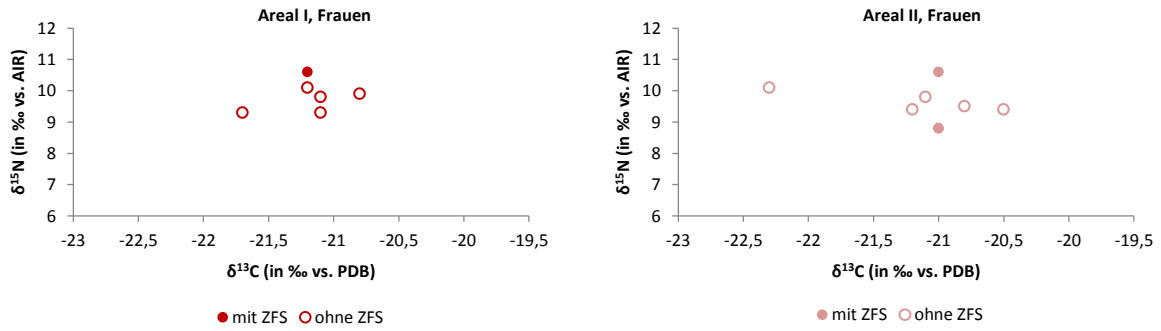


Abb. 8 $\delta^{15}\text{N}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen und Männern mit und ohne Zahnfehlstellungen aus beiden Gräberfeldarealen.

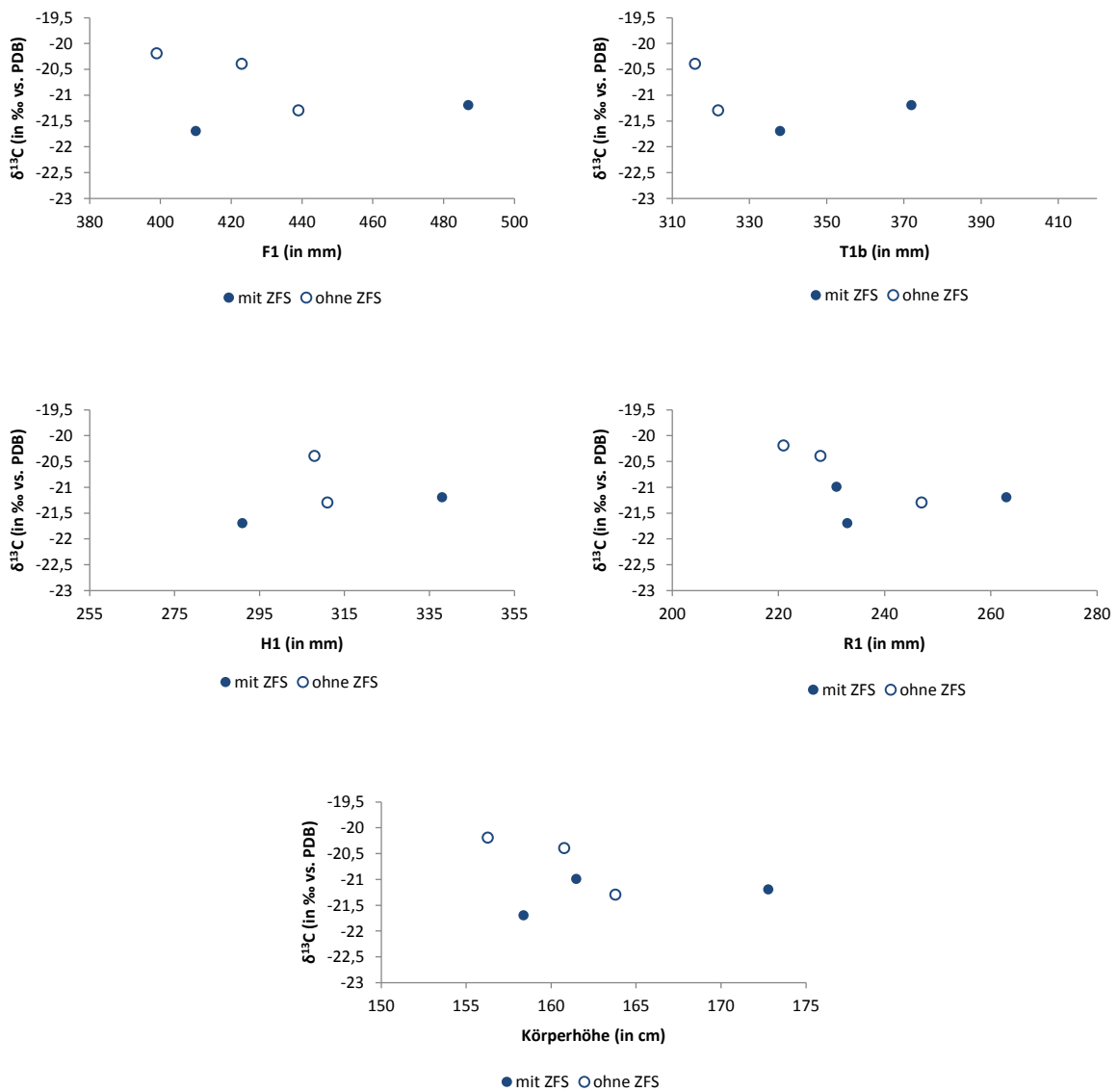


Abb. 9 $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern aus Areal I von Stuttgart-Mühlhausen mit und ohne Zahnfehlstellungen in Korrelation zum jeweiligen verfügbaren Langknochen bzw. zu der Körperhöhe.

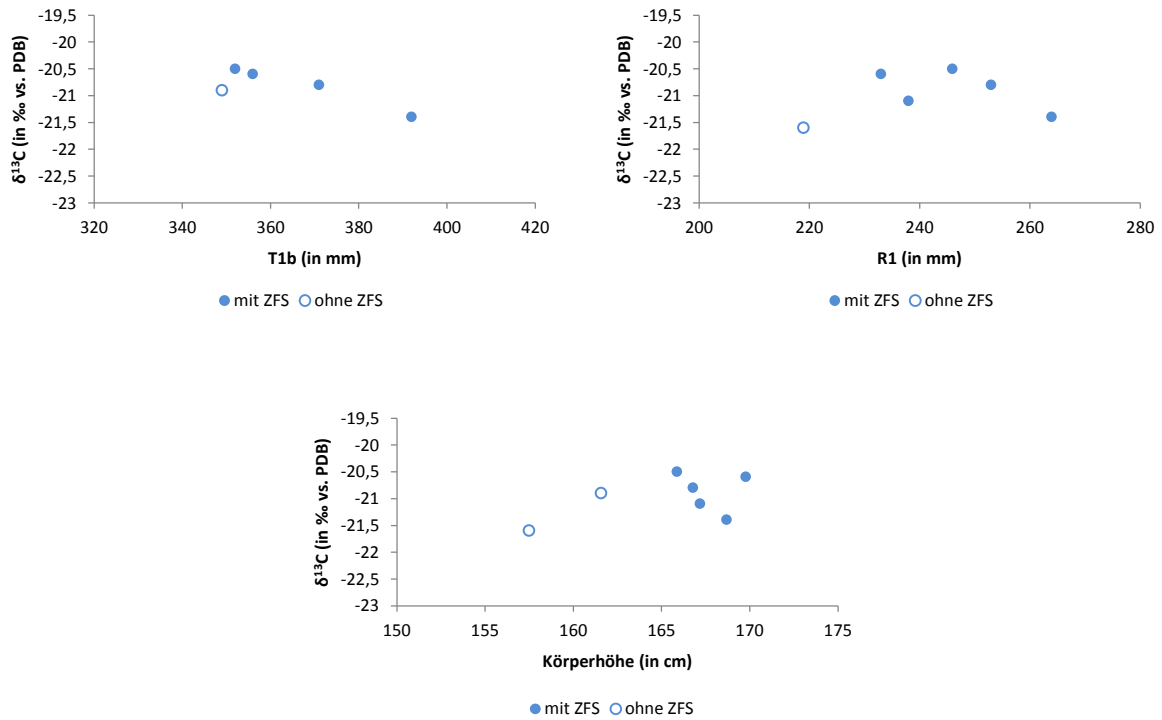


Abb. 10 $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern aus Areal II von Stuttgart-Mühlhausen mit und ohne Zahnfehlstellungen in Korrelation zum jeweiligen verfügbaren Langknochen bzw. zu der Körperhöhe.

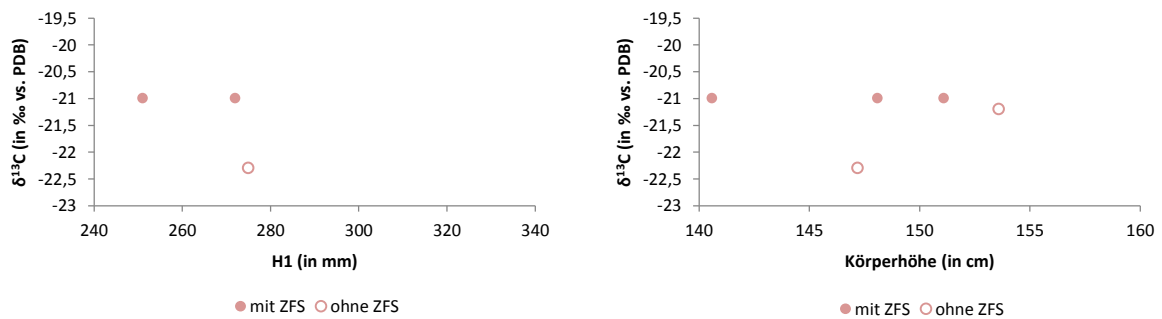


Abb. 11 $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen aus Areal II von Stuttgart-Mühlhausen mit und ohne Zahnfehlstellungen in Korrelation zum Humerus bzw. zu der Körperhöhe.

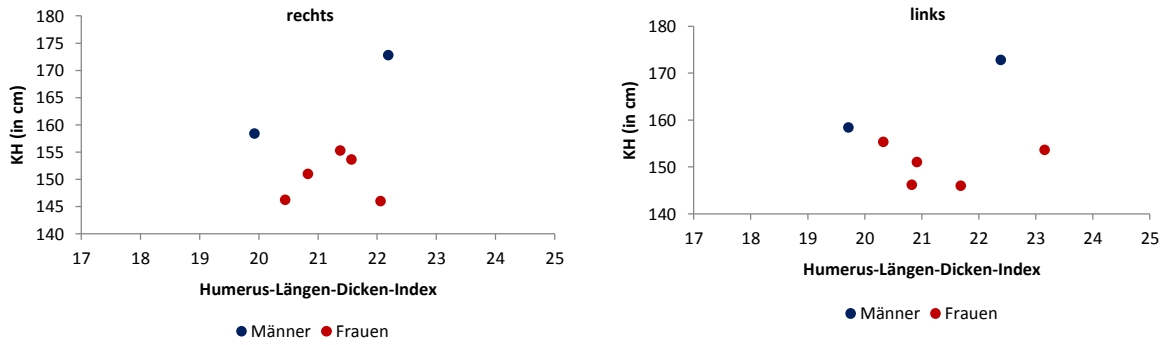


Abb. 12 Zusammenhang zwischen den Indexwerten des rechten und linken Humerus-Längen-Dicken-Index und der Körperhöhe (KH) bei Männern und Frauen aus Areal I von Stuttgart-Mühlhausen.

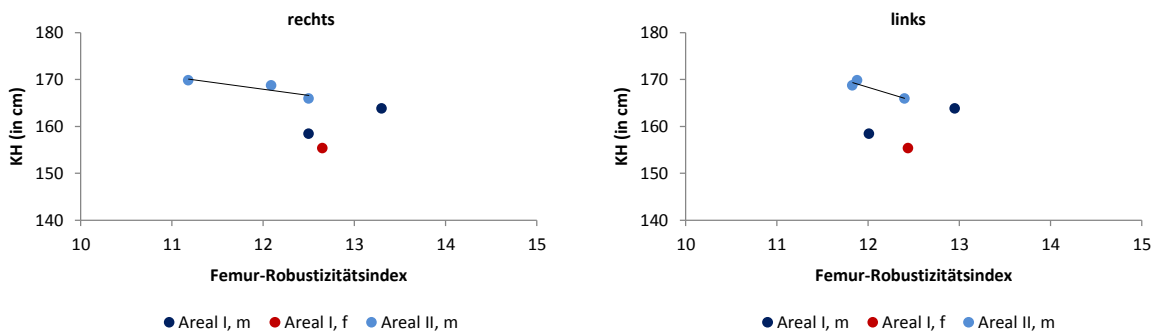


Abb. 13 Zusammenhang zwischen den Indexwerten des rechten und linken Femur-Robustizitätsindex und der Körperhöhe (KH) bei Männern und Frauen aus Areal I sowie bei Männern aus Areal II von Stuttgart-Mühlhausen (m = Männer; f = Frauen).

	Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	$\delta^{87}\text{St}$		Grab	$\delta^{15}\text{N-Mw}$	$\delta^{13}\text{C-Mw}$	$\delta^{87}\text{St}$
Männer	14	9,1	-20,2	0,70932	Frauen	9	9,2	-21,1	0,71115
	26	8,9	-21,0	0,70975		33	9,3	-21,7	0,70984
	70	9,0	-19,5	0,70930		39	8,8	-21,2	0,70957
	93	9,6	-20,0	0,71063		71	8,6	-20,7	0,70984
	107	8,5	-20,3	0,70965		99	9,9	-21,2	0,71092
	133	9,6	-19,8	0,70962		100	11,3	-20,6	0,71037
	169	8,9	-20,2	0,71092		109	8,1	-20,6	0,71086
	220	9,7	-20,8	0,71066		114	8,3	-20,5	0,71014
					122	9,0	-20,7	0,71009	
					131	8,5	-20,6	0,70980	

Tab. 1 Strontiumisotopendaten (Bentley, persönliche Mitteilung, und Bentley et al. 2002 und 2013) und die Stickstoff- und Kohlenstoffisotopendaten aus der vorliegenden Studie für die untersuchten Männer und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen. Mw = Mittelwert. Alle Isotopendaten in ‰.

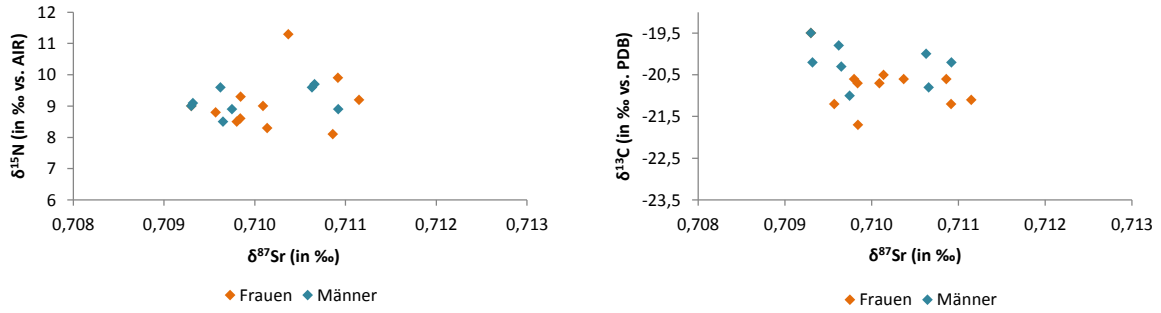


Abb. 14 Strontiumisotopendaten (Bentley, persönliche Mitteilung, und Bentley et al. 2002 und 2013) in Korrelation mit den Stickstoff- und Kohlenstoffisotopendaten aus der vorliegenden Studie für die hier untersuchten Männer und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen.

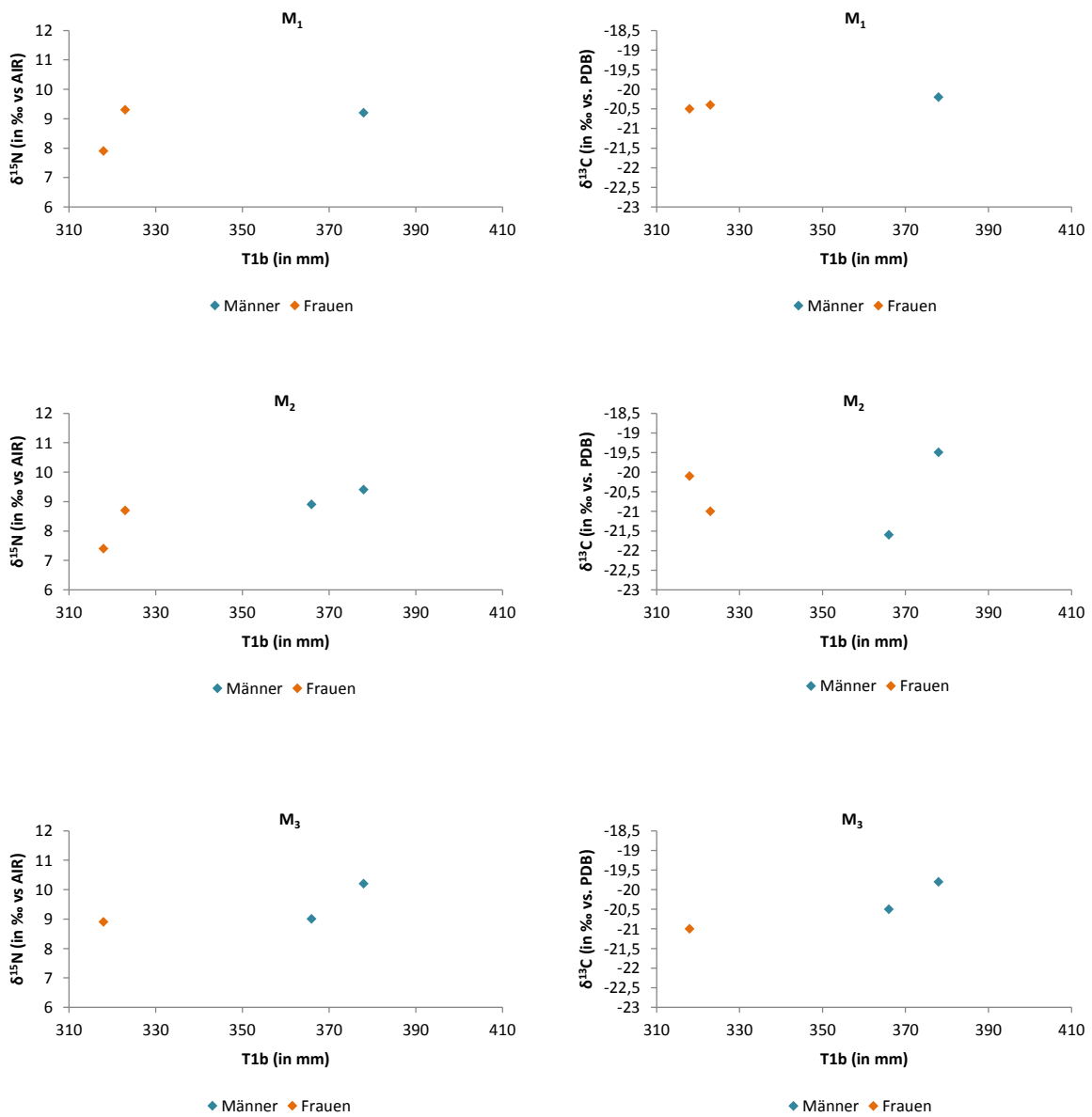


Abb. 15 $\delta^{15}\text{N}$ und $\delta^{13}\text{C}$ im Primärdentin der ersten, zweiten und dritten Molaren in Korrelation zu T1b bei Männern und Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen im Vergleich.

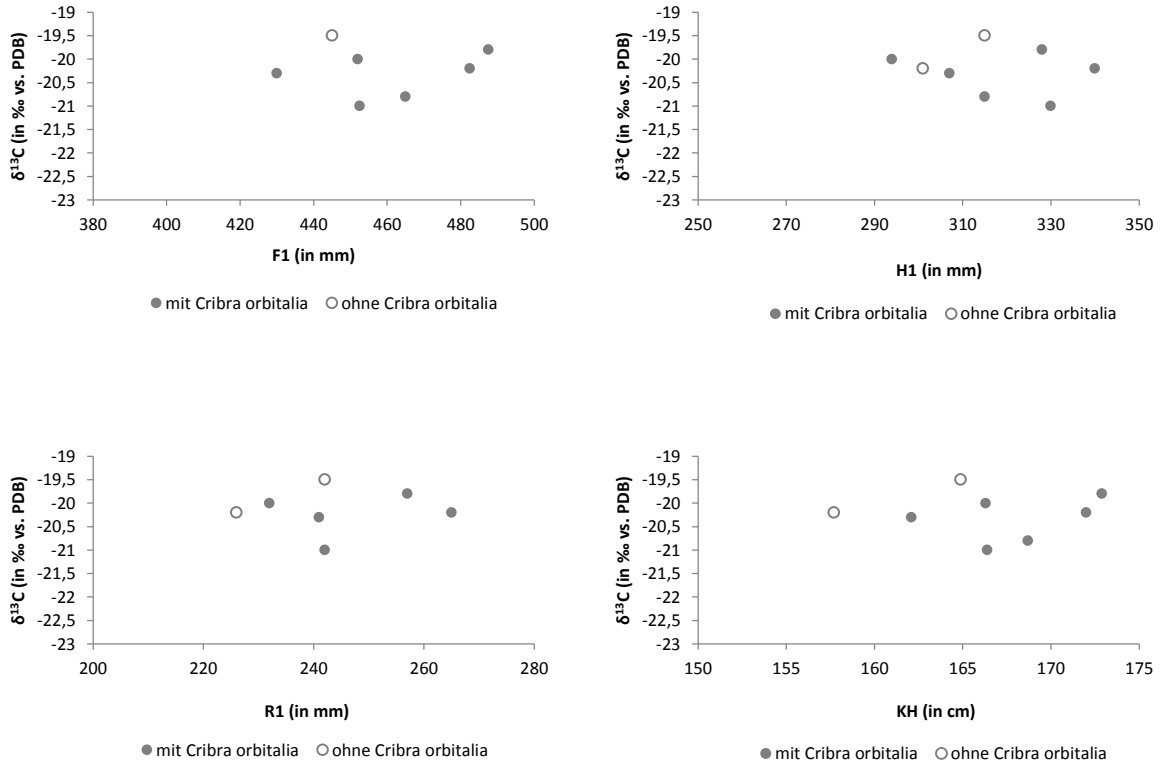


Abb. 16 $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern aus dem Gräberfeld von Schwetzingen mit und ohne Cribralia orbitalia in Korrelation zu den verfügbaren Langknochen bzw. zu der Körperhöhe.

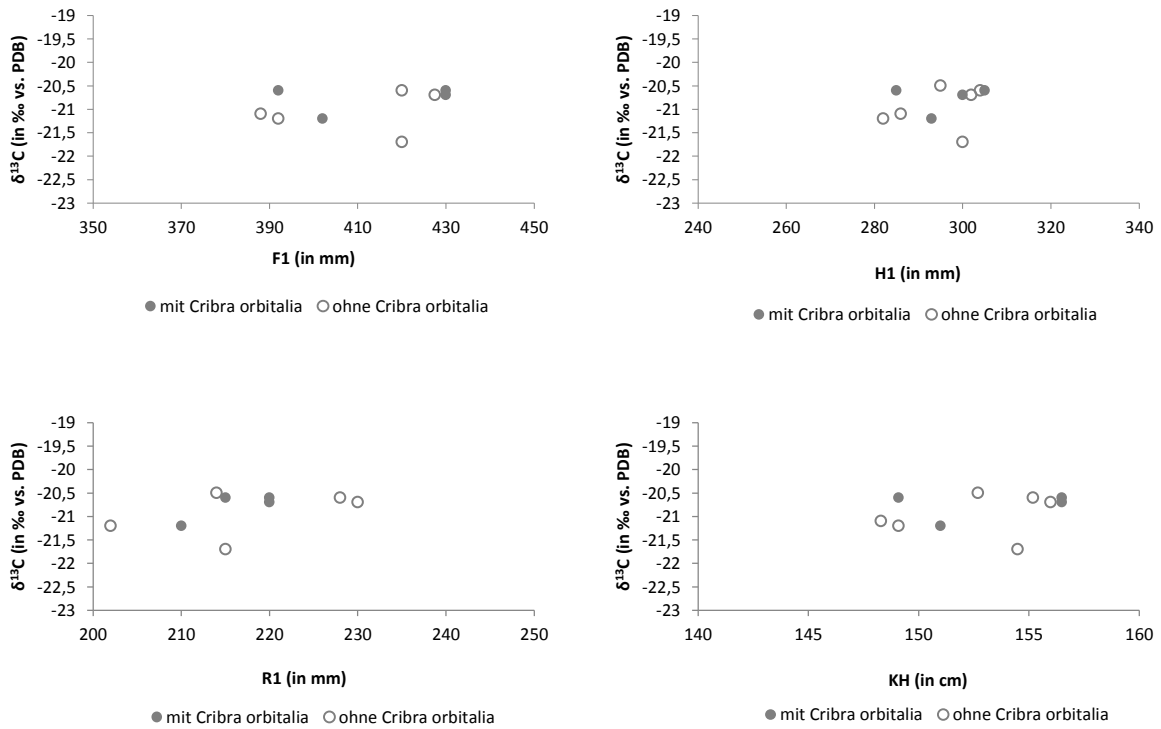


Abb. 17 $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen mit und ohne Cribralia orbitalia in Korrelation zu den verfügbaren Langknochen bzw. zu der Körperhöhe

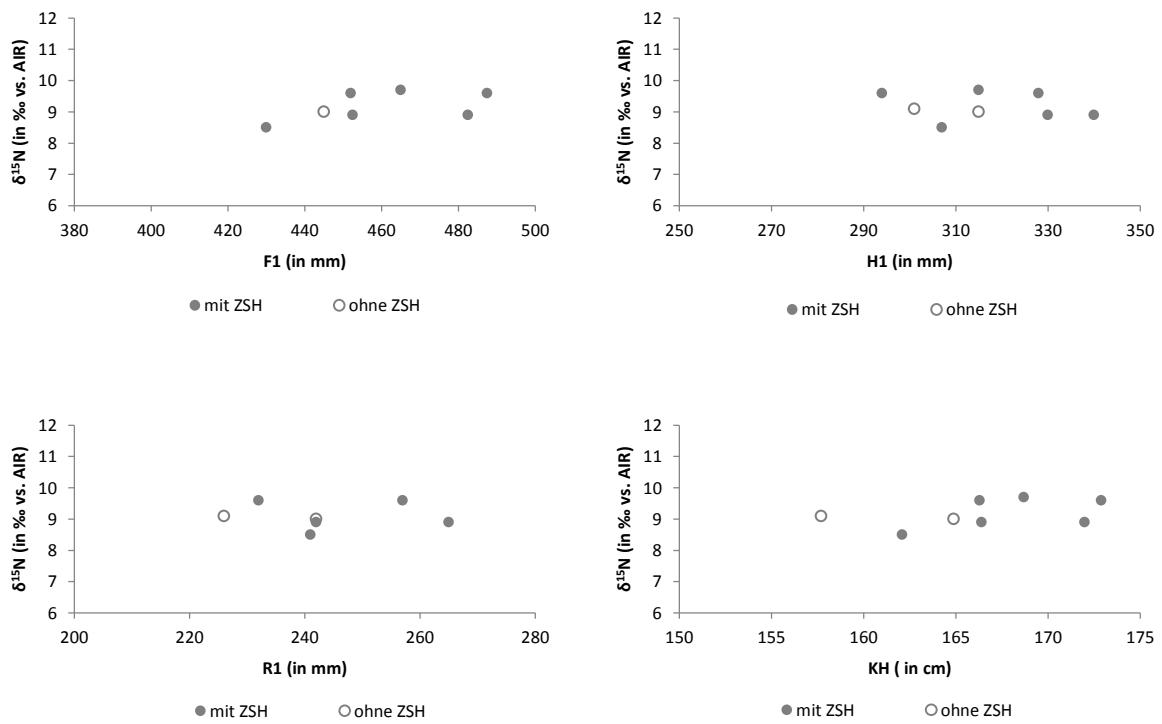


Abb.18 $\delta^{15}\text{N}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern aus dem Gräberfeld von Schwetzingen mit und ohne Zahnschmelzhypoplasien in Korrelation zu den jeweiligen Langknochen bzw. zu der Körperhöhe.

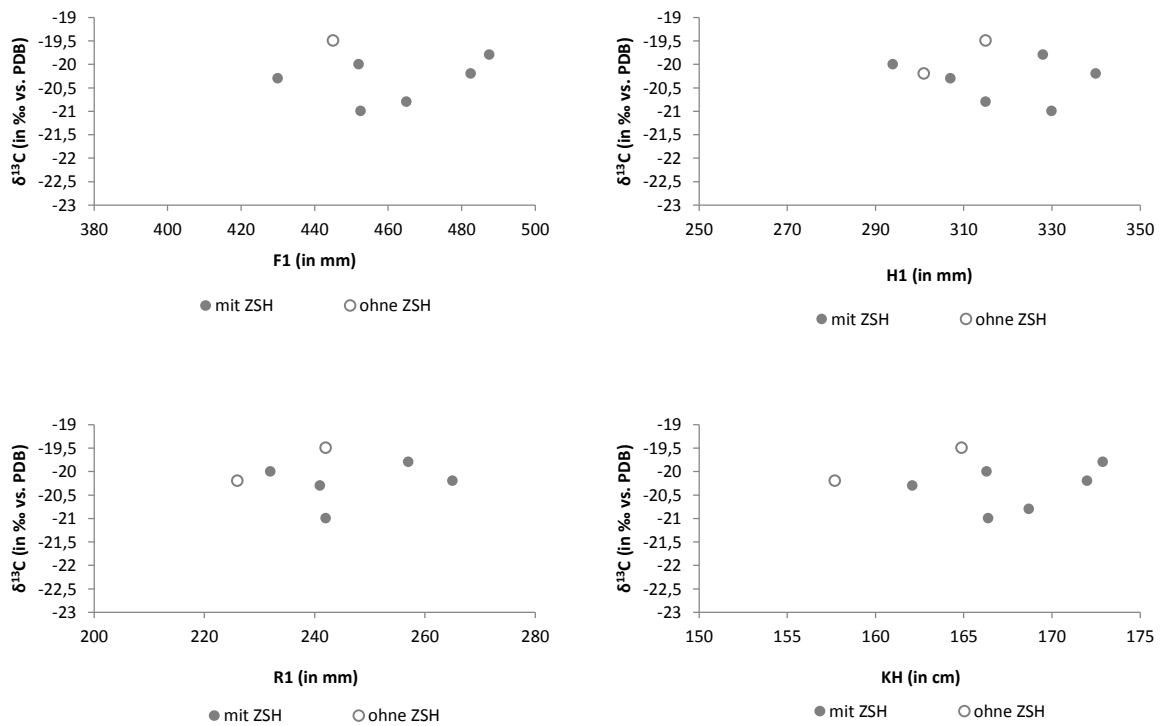


Abb. 19 $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern aus dem Gräberfeld von Schwetzingen mit und ohne Zahnschmelzhypoplasien in Korrelation zu den jeweiligen Langknochen bzw. zu der Körperhöhe.

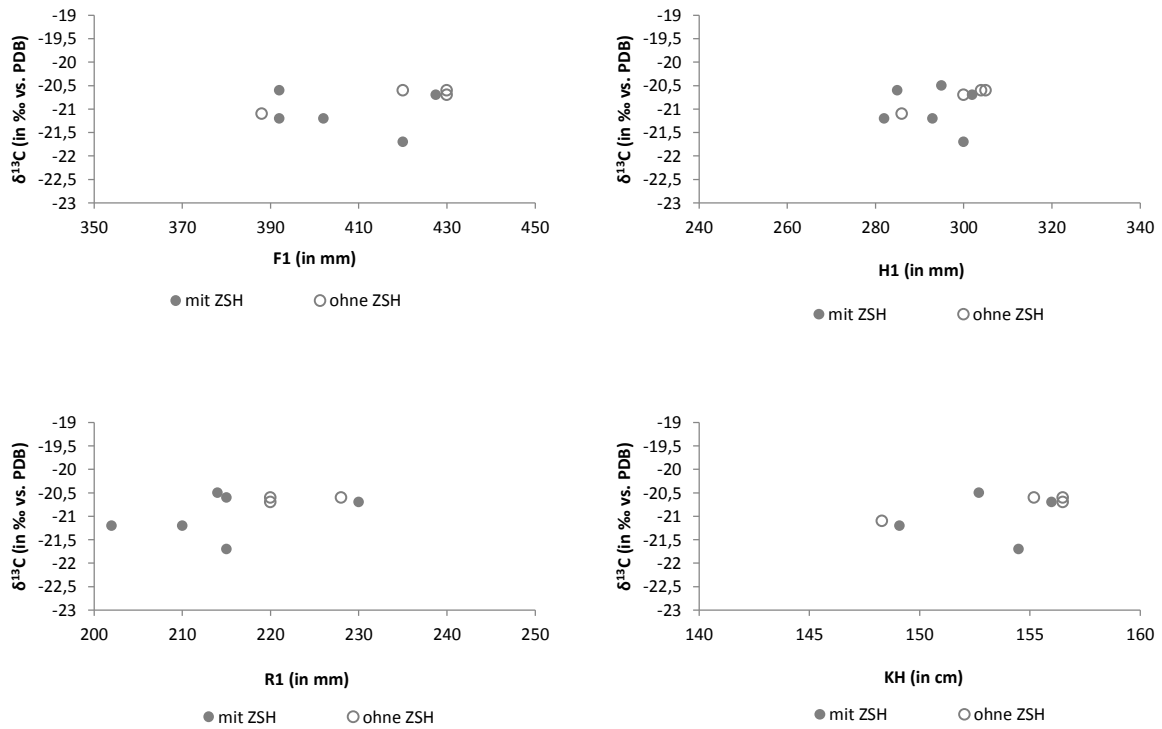


Abb. 20 $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen mit und ohne Zahnschmelzhypoplasien in Korrelation zu den jeweiligen Langknochen bzw. zu der Körperhöhe.

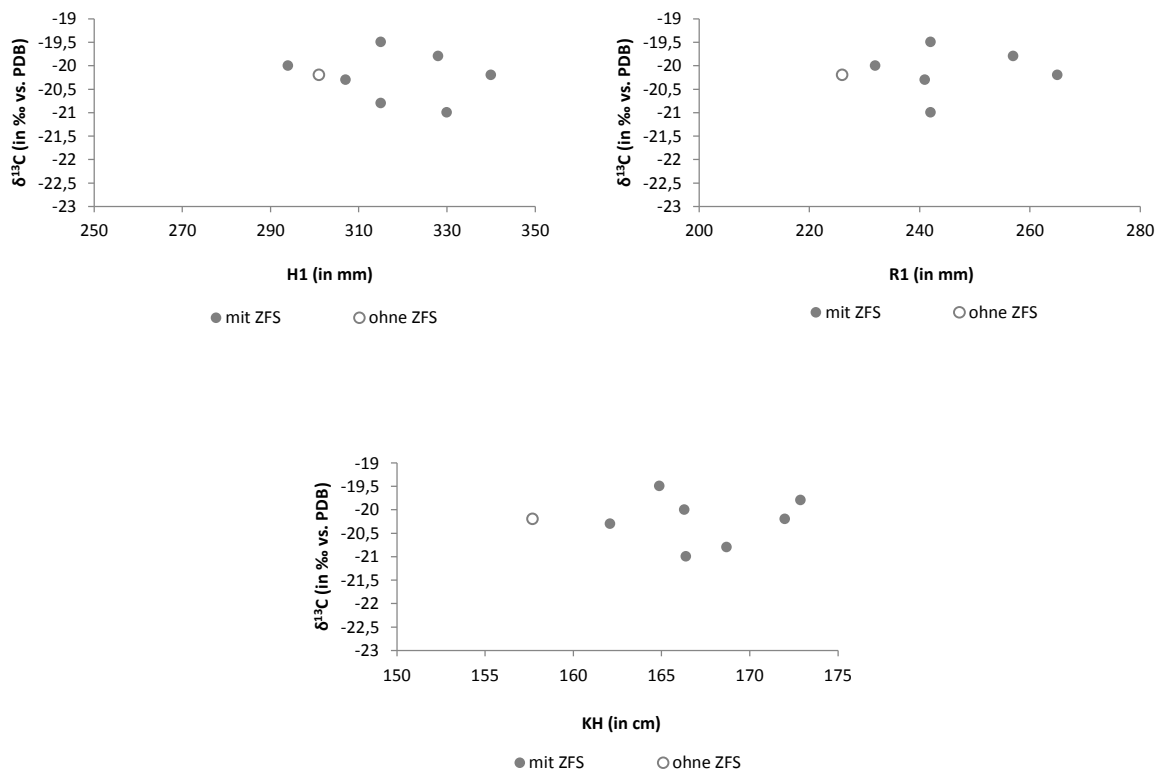


Abb. 21 $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Männern aus dem Gräberfeld von Schwetzingen mit und ohne Zahnfehlstellungen in Korrelation zu den jeweiligen Langknochen bzw. zu der Körperhöhe.

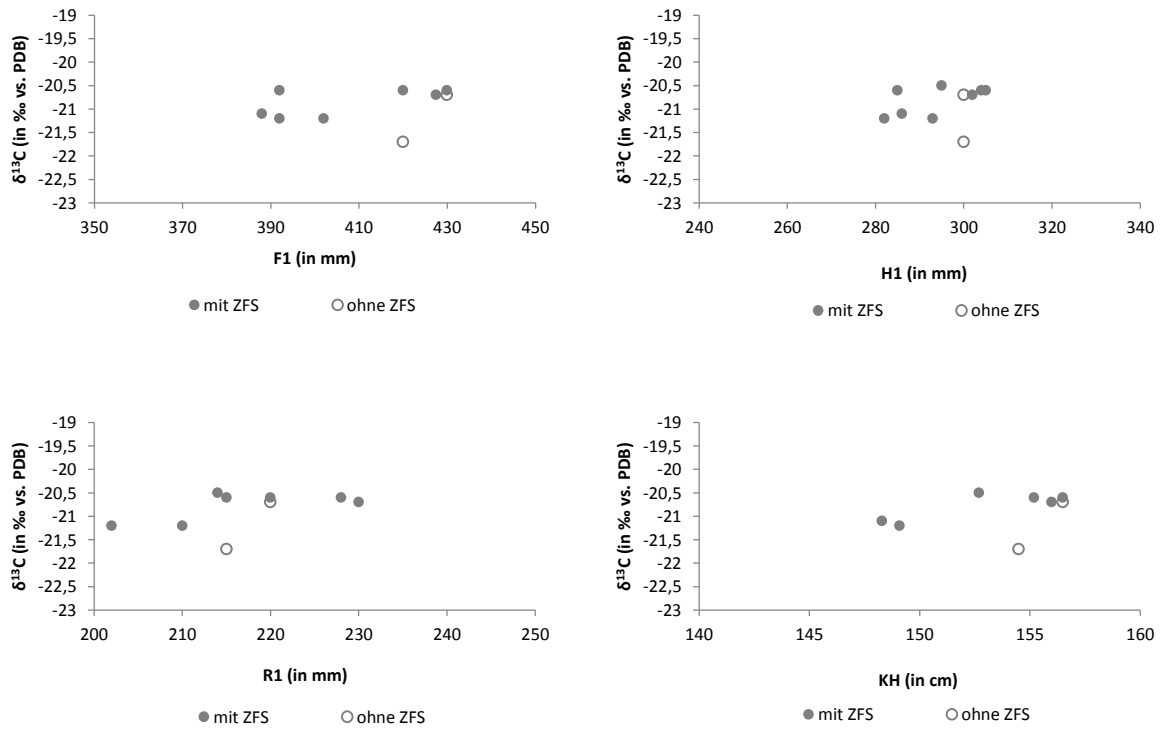


Abb. 22 $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwerte der Zahnproben von Frauen aus dem Gräberfeld von Schwetzingen mit und ohne Zahnfehlstellungen in Korrelation zu den jeweiligen Langknochen bzw. zu der Körperhöhe.

Abkürzungsverzeichnis

AB	Abrasion
AMTL	ante mortem tooth loss
CO	Cribra orbitalia
d. h.	das heißt
etc.	et cetera
f	Frauen
J.	Jahr
kD	keine Daten
KH	Körperhöhe
l	links
LBK	Linienbandkeramik
m	männlich, Männer
M	Molar
Min	Minimalwert
Max	Maximalwert
Mw	Mittelwert
n.	nach
osteolyt.	osteolytische
osteoplast.	osteoplastische
p. Abszess	periapikaler Abszess
Prot. occ. ex.	Protuberancia occipitalis externa
r	rechts
S.	Seite
sog.	sogenannte
TB	Tuberkulose
u. U.	unter Umständen
u. v. m.	und vieles mehr
unpubl.	unpubliziert
unveröff.	unveröffentlicht
v. a.	vor allem
vrgl.	vergleiche
w	weiblich
z. B.	zum Beispiel
ZFS	Zahnfehlstellungen
ZSH	Zahnschmelzhypoplasien

