

Biochemische Analyse stabiler Isotope an prähistorischen Skelettfunden aus Westerhausen, Ldkr. Harz

OLAF NEHLICH, JANET MONTGOMERY, JANE EVANS,
MIKE P. RICHARDS, VEIT DRESELY, KURT W. ALT

Einleitung

Naturwissenschaftliche Methoden haben seit vielen Jahren einen hohen Stellenwert bei der Analyse und Rekonstruktion archäologischer Funde und Befunde. Dies schließt auch biohistorische Quellen, wie z. B. menschliche Überreste, ein. Spezielle biochemische und molekulargenetische Verfahren sind seit ca. 20 Jahren zu einem unverzichtbaren Bestandteil anthropologischer Untersuchungen geworden, mittels derer man Verwandtschaft, Ernährung, Migration und Mobilität nachzeichnen kann.

Die Analyse stabiler Kohlenstoff- und Stickstoffisotope aus den knöchernen Überresten Bestatteter dient zur Rekonstruktion der Subsistenzbedingungen und Ernährung der untersuchten Individuen (Ambrose 1993, 60f.). Durch die Auswertung der Strontiumisotope aus den Zähnen lassen sich Mobilität und Wanderungsverhalten von Individuen nachweisen (Beard/Johnson 2000, 1057).

Stabile Kohlenstoff- und Stickstoffisotope

Natürlich vorkommende, nicht zerfallende Varianten eines Atoms werden als stabile Isotope bezeichnet. Sie besitzen jeweils die gleichen Ladungen, unterscheiden sich aber durch ihre Massen, da ein oder mehrere Neutronen zusätzlich im Kern vorhanden sind (Faure/Mensing 2005, 3–14). Über verschiedenartige Stoffwechselwege werden die unterschiedlichen Isotope durch Mikroorganismen und Pflanzen aus der Umgebung aufgenommen und in ein für diesen Stoffwechselweg spezifisches Verhältnis gebracht (Fraktionierung). Die Isotopenverhältnisse eines Individuums spiegeln die Werte der Nahrung in Kombination mit der eigenen, durch den Stoffwechsel bedingten Veränderung wider (Schlagwort: »Du bist, was Du isst!« [Kohn 1999, 335]).

Die verschiedenen Kohlenstoffisotope werden von den Pflanzen und Mikroorganismen organisch gebunden und gelangen so in den Nahrungskreislauf. Ihr Verhältnis zueinander wird als Kohlenstoffisotopenverhältnis ($\delta^{13}\text{C}$) angegeben (DeNiro/Epstein 1978, 498f.). Je nach Stoffwechselweg der Pflanze (C_3 -Pflanzen: Photosynthesezyklus erfolgt über zwei Moleküle mit je drei Kohlenstoffatomen; C_4 -Pflanzen: Photosynthese erfolgt über einen Kohlenstoffkörper mit vier Kohlenstoffatomen) werden vermehrt schwere oder leichte Kohlenstoffisotope bei der Reaktion in die Verbindungen eingebaut (O'Leary 1981, 564f.), wodurch für diese Pflanzen typische Kohlenstoffisotopenverhältnisse entstehen. Wegen der in Mitteleuropa geringen Sonneneinstrahlung wachsen hier haupt-

sächlich C₃-Pflanzen (Vogel 1980, 129), und diese zeigen Kohlenstoffisotopenverhältnisse von -22‰ bis -32‰ (van der Merwe 1982, 598f.). Bei Tieren, die sich von diesen Pflanzen ernähren (Herbivore), erhöht sich das Kohlenstoffisotopenverhältnis um ca. 1‰ zu Gunsten des schweren Isotops. Dieser Anstieg setzt sich bei den Fleisch fressenden Tieren (Karnivoren) fort (Ambrose/Norr 1993, 10 Abb. 1). Umgebungsspezifische Nahrungsquellen sowie unterschiedliche Fraktionierungsvorgänge bei den verschiedenen Lebewesen führen zu einer Kompartimentbildung, wie sie in Abbildung 1 gezeigt wird.

Die verschiedenen schweren Stickstoffisotope gelangen durch Mikroorganismen in die Nahrungskette und werden als Stickstoffisotopenverhältnis ($\delta^{15}\text{N}$) wiedergegeben (DeNiro/Epstein 1981, 343). Durch eine chemisch bedingte Bevorzugung des schweren Stickstoffisotops gegenüber dem leichten erfolgt bei der Verwertung der Nahrung eine Verschiebung des Stickstoffisotopenverhältnisses zugunsten der Anreicherung des schweren Isotops. Eine Erhöhung des Stickstoffisotopenverhältnisses von 3–5‰ im Gewebe des Konsumenten im Verhältnis zu seiner Nahrung ist die Folge (Minagawa/Wada 1984, 1139). Dies wird als Trophiestufe bezeichnet. In Abbildung 1 sind mögliche Kohlenstoff- und Stickstoffisotopenverhältnisse für ein mitteleuropäisches, neolithisches Nahrungsnetzwerk dargestellt.

Durch das Wissen um die spezifischen Kompartimente und das Verhältnis Nahrung – Konsument aus dem zeitlichen und räumlichen Kontext lassen sich für archäologische Proben eventuelle Nahrungsquellen ermitteln. Damit ergeben sich Hinweise auf die entsprechenden Subsistenzstrategien der untersuchten Bevölkerungen (Ambrose 1993, 60–61).

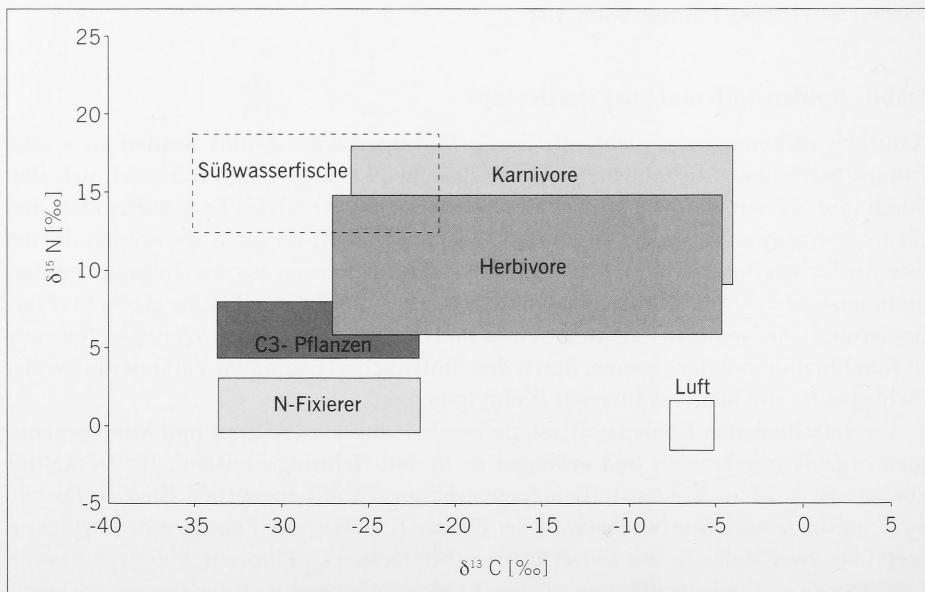


Abb. 1 Darstellung der möglichen Nahrungsquellen und deren gebildete Kompartimente der stabilen Kohlenstoff- und Stickstoffisotopenverhältnisse für im Binneninland lebende Individuen Mitteleuropas (nach Ambrose [1993, 87 Abb. 2], Asam u. a. [2006, 13 Abb. 1]).

Stabile Strontiumisotope

Das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Verhältnis (Strontiumisotopenverhältnis) wird als geologischer Marker für die Altersbestimmung von Gestein benutzt (Faure 1986). Das ^{87}Sr entsteht im Gestein durch den radioaktiven Zerfall von ^{87}Rb (Faure/Powell 1972, 1). Durch die Verwitterung des Gesteins wird das darin enthaltene Strontium ausgewaschen und gelangt in die Nahrungskette (Ericson 1989, 252–254). Bei diesem Vorgang findet keinerlei Fraktionierung statt, d. h. das Isotopenverhältnis bleibt entlang der Nahrungskette gleich (Graustein 1989, 491). Die Menge an Rubidium im Gestein und die Zeit sind die bestimmenden Faktoren für die Menge an entstandenen Strontium (Faure/Mensing 2005, 76–78). Regional spiegelt sich das Strontiumisotopenverhältnis des lokalen geologischen Untergrundes im Gewebe der dort lebenden Organismen wider, daher eignet es sich sehr gut, um die Mobilität und Wanderungsbewegungen historischer sowie prähistorischer Gruppen oder Personen aufzuzeigen (Åberg u. a. 1998, 117).

In Biomineralien (wie z. B. Knochenmineral oder Zahnschmelz) wird Strontium meist anstelle von Kalzium eingebaut, da es chemisch ähnlich reagiert. Allerdings liegt Strontium in sehr viel geringerer Konzentration vor (Klepinger 1984, 76–80). In allen Verbindungen mit einem hohen Anteil an Kalzium findet sich dementsprechend ein geringer Prozentsatz an Strontium (Nielsen 2004, 583 f.). Im menschlichen Organismus sind die Knochen und Zähne Hauptspeicher für das Kalzium des Körpers (Bauer u. a. 1961, 609–612). Bei Bodenlagerung wird das Knochenkalzium allerdings diagenetisch verändert, so dass nach gewisser Zeit das Kalzium- sowie das Strontiumisotopenverhältnis im Knochenmineral dem des Bodens entspricht und nicht mehr das Verhältnis zu Lebzeiten widerspiegelt (Hedges 2002, 326 f.; Nelson u. a. 1986, 1492). Daher werden für die Analyse von Strontium aus archäologischem Fundmaterial die Zähne, speziell der extrem gut konservierte Zahnschmelz (Budd u. a. 2000, 692 f.), bevorzugt. Die Zähne werden pränatal (Milchzähne) (Deutsch/Pe'er 1982, 1544–1546; Haavikko 1987, 46 Tab. 1) sowie in der frühen Kindheit (permanente Zähne) (Haavikko 1987, 48 Tab. 3; Schopf 1970, 43 Tab. 2) angelegt, der Zahnschmelz mineralisiert ebenfalls in diesem Zeitraum innerhalb

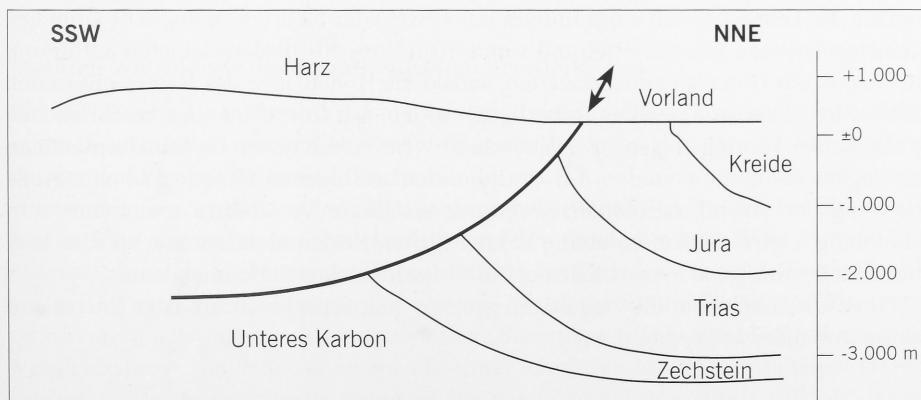


Abb. 2 Darstellung der geologischen Aufschiebung des Harzvorlandes durch die nördliche Harzrandstörung. Bei gleichzeitiger seitlicher Verschiebung (hier nicht nachgezeichnet) entstehen die unterschiedlichen Verwerfungen im Harzvorland (vereinfacht nachgezeichnet nach Wrede [1988, 103 Abb. 2] und Führer [1988, 84 Abb. 3]).

weniger Monate vollständig (Haavikko 1987, 48–50; Schopf 1970, 45–47). Nach abgeschlossener Mineralisation erfährt der Zahnschmelz, wie das Dentin, keinerlei Veränderung mehr (Sognnaes 1961, 715–717), da während der Lebenszeit des Individuums kein aktiver Umbauprozess am Zahnschmelz stattfindet. Er spiegelt demnach die Verhältnisse der Kindheit zum Zeitpunkt der Bildung wider (Beard/Johnson 2000, 1051). Als Vergleichswert kann Dentin verwendet werden, da es, ähnlich wie Knochengewebe, dia-genetischen Einflüssen im Boden unterliegt. Durch den Vergleich von Schmelz und Dentin kann man Residenzmuster festmachen: Bei gleichen Strontiumisotopenverhältnissen kann man von einem nichtmobilen Individuum sprechen, während man bei unterschiedlichen Werten von einem Residenzwechsel nach Bildung des Zahnschmelzes ausgehen kann (vgl. Bentley u. a. 2002, 801; Cox/Sealy 1997, 216–218; Montgomery u. a. 2000, 378 Abb. 2).

Die geologische Formation am Fundort Westerhausen

Westerhausen liegt geographisch nördlich am Fuße des Harzes, einem geologisch sehr disharmonischen Gebiet. Am nordöstlichen Rand der Mitteldeutschen Scholle hat sich eine Pultscholle mit einer Länge von 100 km und einer Breite von etwa 30 km steil im Nordosten gehoben und taucht im Osten und Südosten unter das östlich liegende Harzvorland (Knetsch 1963, 163; Rothe 2006). Im Westen schließt sich das Weserbergland an und im Süden das Thüringer Becken, deren Gesteinsstrukturen hauptsächlich während der Trias gebildet wurden. Am nördlichen Rand bildet die Harzrandstörung eine abrupte Veränderung der Gesteinsschichten (Wrede 1988, 103), im nordöstlichen Harzvorland werden durch die Hebung der Harzscholle die tiefer liegenden Gesteinsschichten an die Oberfläche gebracht (siehe Abb. 2). Hier herrschen permische bis mesozoische Sedimente vor (König/Wrede 1994, 153; Schneider u. a. 2003, 1806). Oberflächlich ist der Harz also von einer Vielzahl an lösreichen Böden umgeben, bei denen Strontiumisotopenwerte von 0,709 bis 0,711 erwartet werden können, wie sie die Literatur zeigt (Price u. a. 2001, 597; Taylor u. a. 1983, 1902 Tab. 4). Mischwerte können allerdings dann entstehen wo der Lebensbereich eines Individuums zwei oder mehrere geologische Grundgesteinsformationen überschreitet und somit Strontium aus beiden Gebieten aufnimmt. So ist z. B. ein Unterschied zu erwarten, sobald die Höhenlagen des Harzes mit in den Lebens- bzw. Bewegungsradius einbezogen wurden. Auf Grund der oben beschriebenen geologischen Faltung folgen im Harzvorland viele verschiedene Gesteinsformationen auf engem Raum aufeinander. Auf Grund dieser heterogenen Situation ist eine große Streuung der Strontiumisotopenverhältnisse als lokale Variabilität anzunehmen. In Abbildung 2 wird die Aufschiebung am nördlichen Harzrand dargestellt, so dass man die schnelle Abfolge der verschiedenen Gesteinsschichten gut erkennen kann.

Einen Überblick über die vielfältigen geologischen Grundstrukturen des Harzes und seines Umlandes zeigt Abbildung 3.

Material

Für die Analyse der stabilen Kohlenstoff- und Stickstoffisotopenverhältnisse aus dem Knochenkollagen wurden nahezu alle Individuen vom Fundort Westerhausen beprobt.

Die vorgefundenen Skelettreste reichen zeitlich vom Neolithikum bis in die vorrömische Eisenzeit, in Tabelle 1 sind die Individuen mit ihren anthropologischen Merkmalen Alter und Geschlecht aufgeführt.

Um die Messergebnisse der menschlichen Individuen im lokalen Zusammenhang des zeitlichen Kontextes betrachten zu können, wurden ebenfalls Tierknochen des Fundplatzes analysiert, wie in Tabelle 2 zusammengefasst.

Um den Nachweis der Migration führen zu können, wurden von mehreren Individuen Zähne beprobt. Tabelle 3 zeigt die analysierten Individuen unter Angabe des Zahnes (nach FDI-System) und des analysierten Materials (Zahnschmelz oder Dentin).

Da das Dentin, ähnlich wie Knochen, diagenetischen Effekten bei Bodenlagerung unterliegt (s.o.), wurden von möglichst vielen Individuen Proben sowohl vom Zahnschmelz als auch vom Dentin genommen, um eine repräsentative Aussage hinsichtlich des lokalen Strontiumwertes zu erhalten.

Methode zur Analyse der stabilen Kohlenstoff- und Stickstoffisotopenverhältnisse

Die stabilen Kohlenstoff- und Stickstoffisotopenverhältnisse werden aus dem Kollagen der Knochen ermittelt. Um das Kollagen zu isolieren, wurde das Protokoll nach Müldner und Richards (2005, 42) verwendet. Hierbei handelt es sich um eine modifizierte Version der Kollagenisolierung nach Longin (1971, 241) aus der Radiokarbonanalyse mit den Modifikationen von Brown u.a. (1988, 176) sowie nach Semal und Orban (1995, 466).

Hierfür wurden 200–300 mg Knochen (Langknochen wurden bevorzugt beprobt) an der Oberfläche mit einem Sandstrahlgerät mit Al_2O_3 -Pulver gereinigt und anschließend in 0,5 M Salzsäure mehrere Tage entmineralisiert. Weiterführend wurde das Kollagen aufgeschmolzen und durch einen Ultrafilter aufgereinigt (cut-off: 30.000 kDa). Anschließend wurde das gefriergetrocknete Kollagen in einem »Isotope-Ratio Mass-Spectrometer« (IRMS, FinniganTM Delta XL) mit vorgesetztem Elementanalysator verbrannt und gemessen. Der Messfehler für die Messungen liegt bei unter $\pm 0,2\text{‰}$.

Methode zur Analyse des Strontiumisotopenverhältnisses

Für die Analyse der Strontiumisotopenverhältnisse wurden Fragmente von Zahnschmelz oder Zahnwurzelgewebe mit Hilfe eines Diamantsägeblattes gewonnen. Diese wurden auf kleinste Risse und Brüche hin untersucht und anhaftende Verunreinigungen unter einer Arbeitslupe beseitigt. Eventuelle Staubpartikel wurden im Ultraschallbad entfernt. Die weiteren Schritte wurden im Reinraumlabor am »NERC Isotope Geoscience Laboratory« in Nottingham durchgeführt. Hier wurden die Proben in 16M HNO_3 gelöst und nach Protokollen von Horwitz u.a. (1992, 330f.) und Deniel und Pin (2001, 97; 101; 103) aufgereinigt. Das so gewonnene Strontium wurde anschließend mit einer Vergleichsmenge an ^{84}Sr auf einem »Thermal Ionisation Mass Spectrometer« (TIMS) analysiert. Der internationale Standard für das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis, NBS987, ergab einen Wert von 0.710230 ± 22 ($n=40, 2\sigma$).

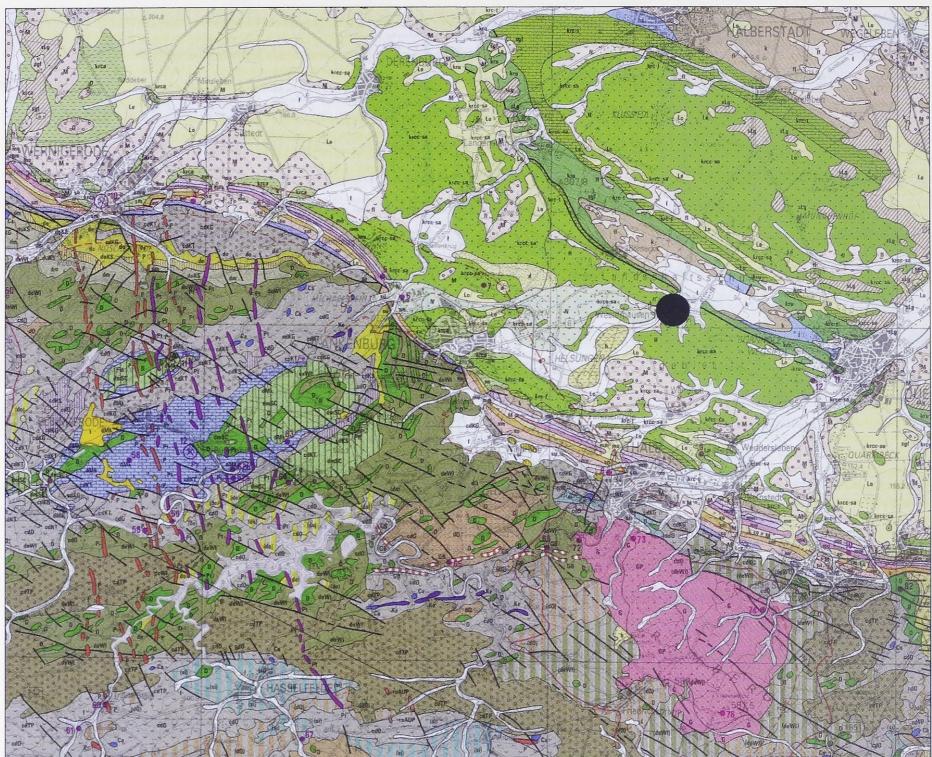
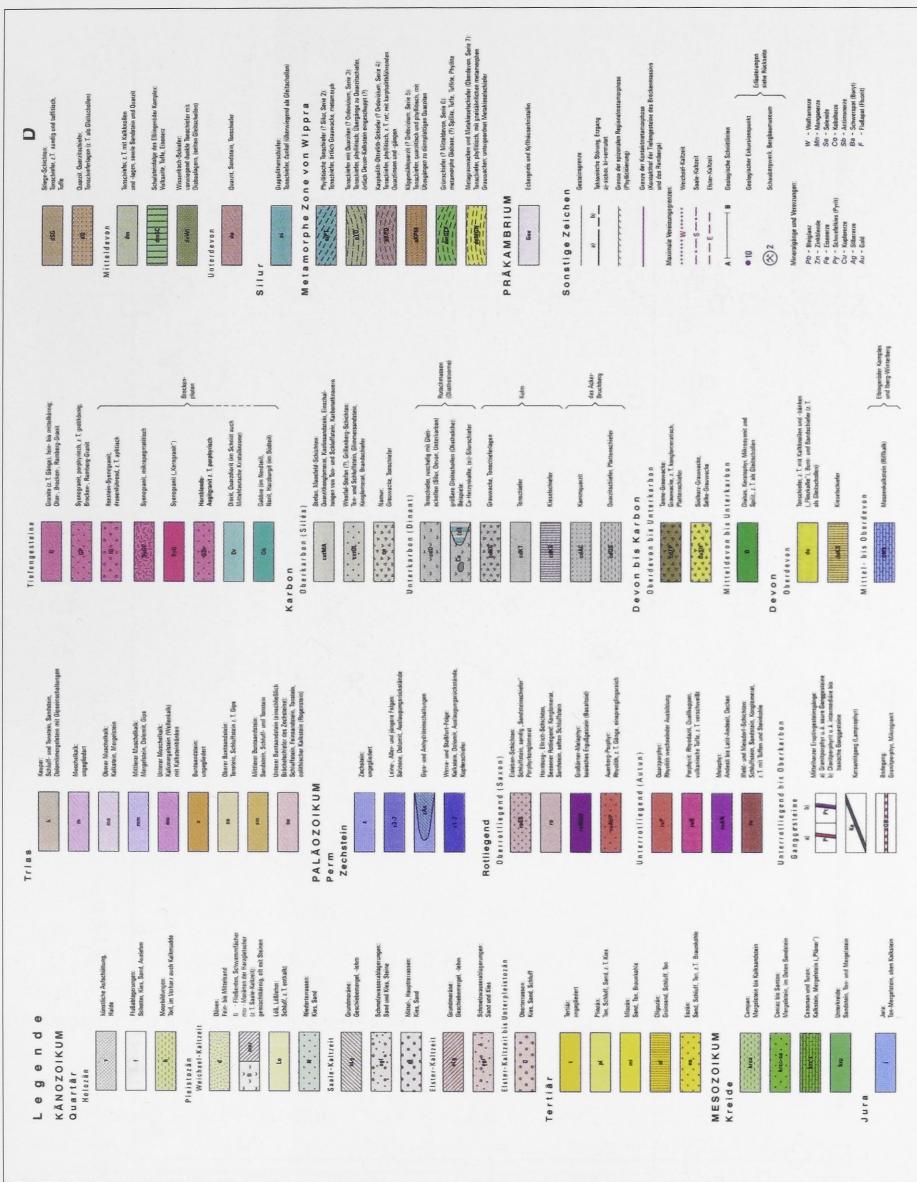


Abb. 3 a (links) + b (rechts) Ausschnitt aus der Geologischen Karte des Harzes im Maßstab 1:100 000. Der schwarze Punkt verzeichnet die Lage des Fundortes Westerhausen, Ldkr. Harz.

Ergebnisse und Diskussion der Rekonstruktion der Ernährung

Von allen beprobten Individuen konnte Kollagen aus dem Knochen isoliert werden. Mit zunehmendem absoluten Alter der Proben (Eisenzeit vs. Neolithikum) wurde die Ausbeute an Kollagen geringer. Im vorliegenden Fall liegt die durchschnittliche Ausbeute an Kollagen bei 2,4 % (vgl. Tab. 4). Der gemessene Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt der Proben sowie das atomare C:N-Verhältnis aller Proben liegt innerhalb der in der Literatur beschriebenen Bandbreite (van Klinken 1999, 689–691). Die ermittelten Kohlenstoff-isotopenverhältnisse liegen im Mittel bei $-18,9 \pm 0,6 \text{ ‰}$, wobei die Männer einen Durchschnitt von $-18,7 \pm 0,5 \text{ ‰}$ und die Frauen von $-19,1 \pm 0,8 \text{ ‰}$ aufweisen. Beim Stickstoff-isotop liegen die Daten dichter beieinander: Der Mittelwert aller Individuen liegt bei $9,4 \pm 0,8 \text{ ‰}$, der für die Männer bei $9,5 \pm 0,8 \text{ ‰}$ und der für die Frauen bei $9,4 \pm 0,9 \text{ ‰}$.

Ein Grund für die hohen Standardabweichungen ist vermutlich der Wandel in der Ernährung während der hier untersuchten Zeitabschnitte, die mehrere Jahrtausende umfassen. In Abbildung 4 sind alle Messergebnisse der menschlichen Individuen (unterschieden nach Geschlecht) sowie die Werte der untersuchten Tiere dargestellt. Deutlich ist der Trophiestufeneffekt zu erkennen, der zwischen den Menschen (Konsumenten) und den Tieren (mögliche Nahrungsquellen) besteht. Die mit etwa 2 ‰ recht geringe



Differenz kann mit dem geringen Anteil an tierischen Produkten zur Nahrung erklärt werden. Eindeutig kommt in den Daten zum Ausdruck, dass die Ernährung ausschließlich auf terrestrischer Basis stattfand, d.h. der Konsum von Süßwasserfischen und Meerfrüchten keine Rolle spielte. Ebenso lässt sich erkennen, dass zwischen Männern und Frauen keine Unterschiede in der Ernährung vorliegen, was sich auch durch statistische Untersuchungen bestätigen lässt.

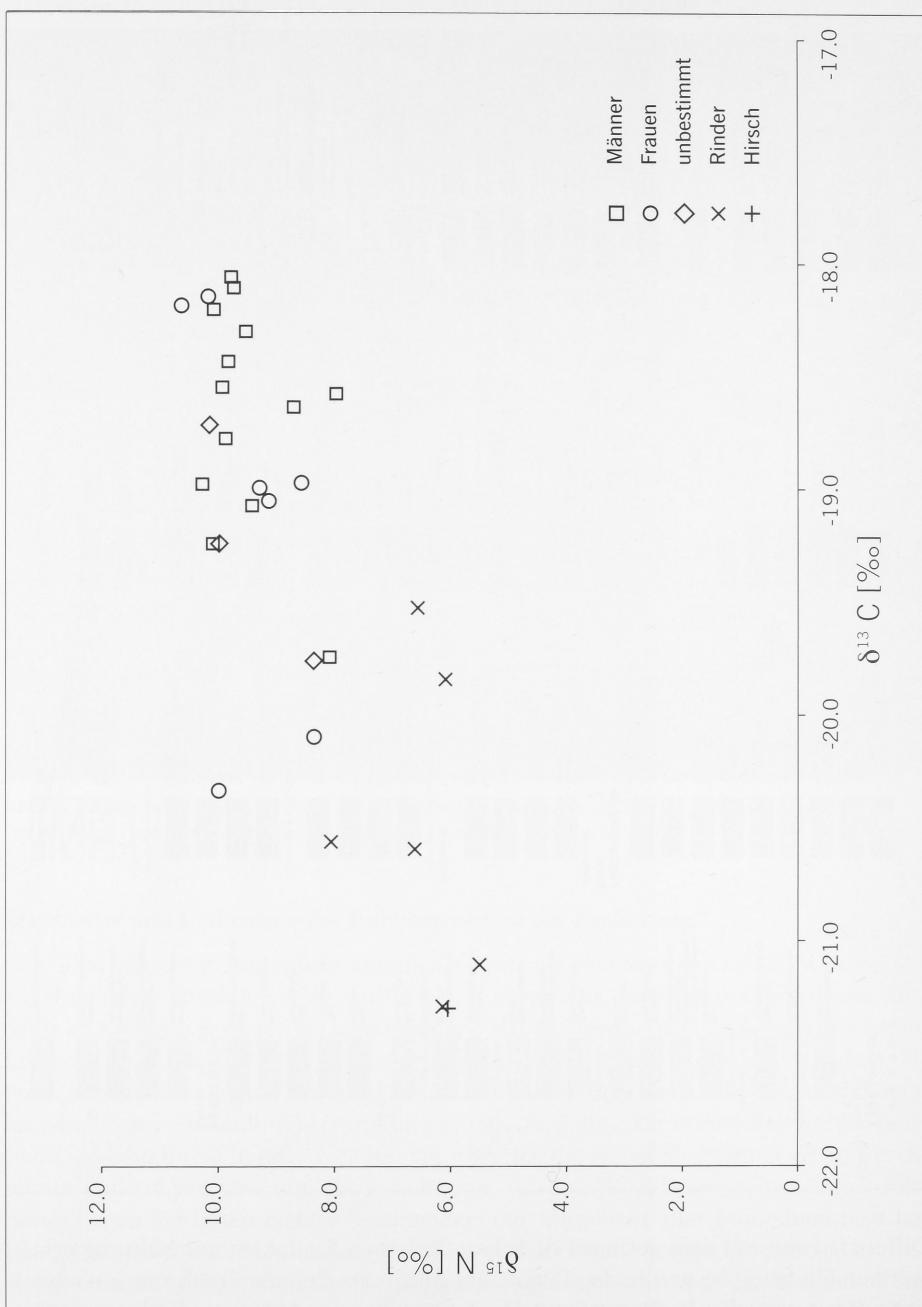


Abb. 4 Graphische Darstellung der Messergebnisse der Kohlenstoff- und Stickstoffisotopenanalyse aus Knochenkollagen der Individuen und Tiere vom Fundplatz Westerhausen, Ldkr. Harz. Unterschieden nach Geschlecht (männlich, weiblich und unbestimmt) und den untersuchten Tierarten.

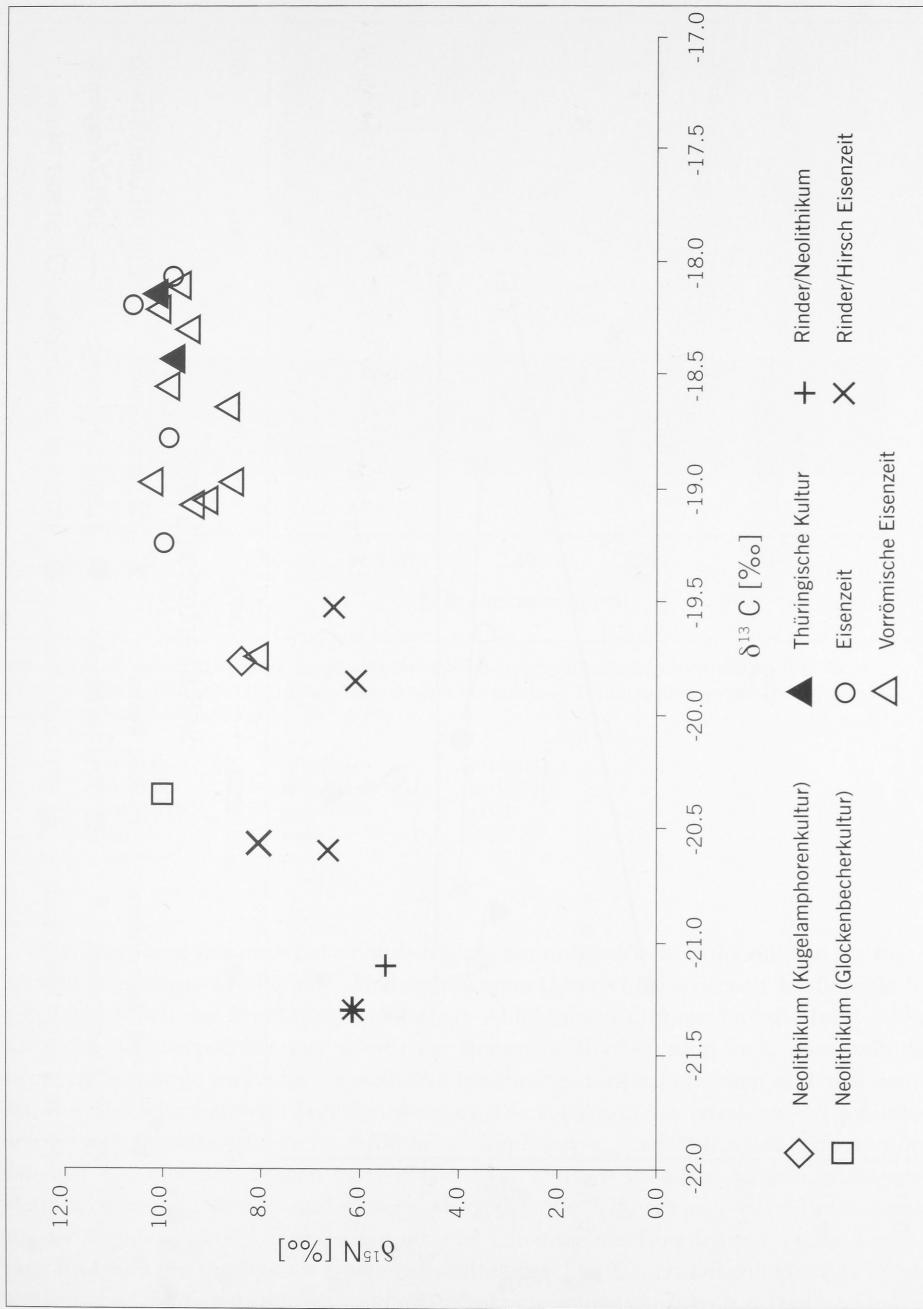


Abb. 5 Graphische Darstellung der Kohlenstoff- und Stickstoffisotopenwerte der menschlichen und tierischen Individuen vom Fundplatz Westerhausen, Ldkr. Harz, in ihrer zeitlichen Dimension (Kulturperiode).

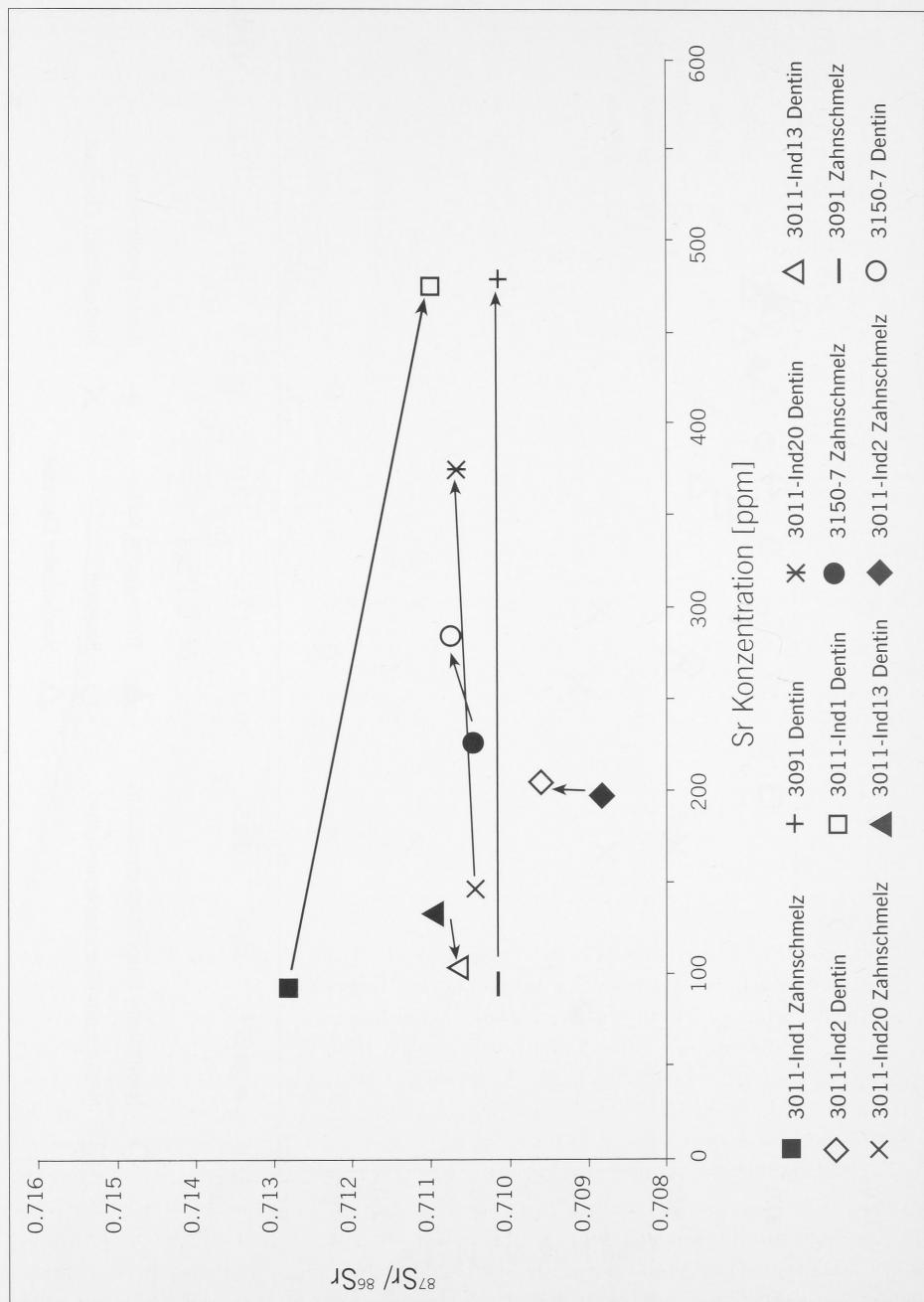


Abb. 6 Westerhausen, Ldkr. Harz. Graphische Darstellung der Ergebnisse der Strontiumisotopenanalyse von Zahnschmelz und Dentin. Die durch Linien verbundenen Zahnschmelz- und Dentinwerte stammen jeweils vom gleichen Zahn eines Individuums.

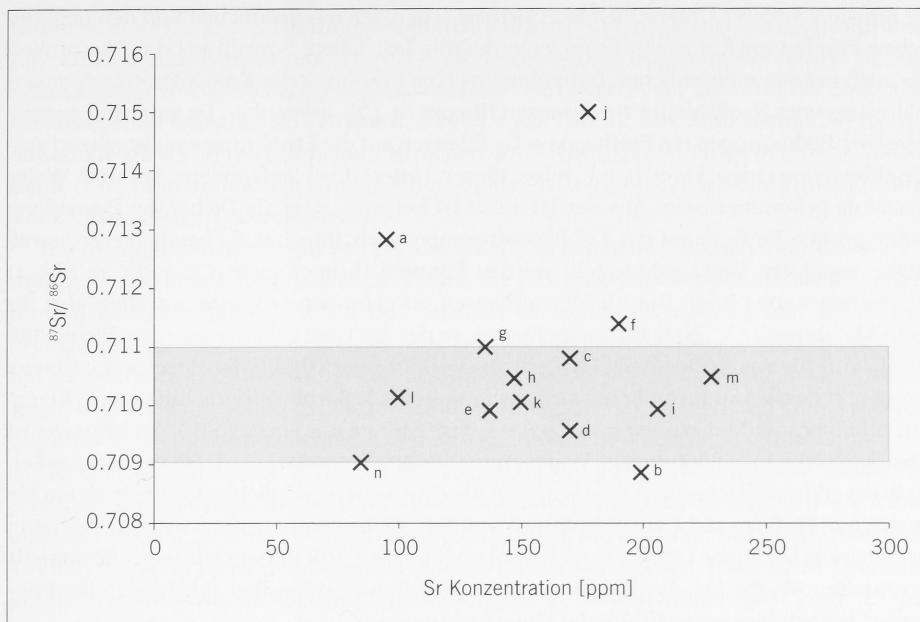


Abb. 7 Westerhausen, Ldkr. Harz. Graphische Darstellung der Strontiumisotopenverhältnisse des Zahnschmelzes aller untersuchten Individuen unter Angabe des durch die Dentinanalyse festgelegten lokalen Wertebereiches (grau hinterlegt).

a	3011-Ind1	b	3011-Ind2	c	3011-Ind3
d	3011-Ind8	e	3011-Ind11	f	3011-Ind12
g	3011-Ind13	h	3011-Ind20	i	3011/2
j	3004-18	k	3009	l	3091
m	3150-7	n	3222		

Allerdings lässt sich auch bei einer Auflösung der untersuchten Individuen in die zugehörigen archäologischen Perioden kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern hinsichtlich der Ernährung ausmachen. Abbildung 5 differenziert die Individuen nach den Kulturepochen, aus denen sie stammen. Hierbei zeigt sich, dass zeitlich zusammengehörige Individuen spezifische Ernährungsmuster aufweisen und sich deutlich von Individuen anderer Perioden absetzen. Die von Asam u. a. (2006, 12–17) gefundenen Ernährungsunterschiede im Neolithikum im bayerischen Raum lassen sich auch in den hier untersuchten Proben wiederfinden. Die deutlich erhöhten Stickstoffisotopenwerte bei dem Individuum aus der Glockenbecherkultur im Vergleich zu dem Individuum aus der Kugelamphorenkultur deuten auf eine Zunahme des Fleischanteils an der Ernährung im Laufe des mittleren bis späten Neolithikums hin. Einschränkend gilt aber anzumerken, dass die zu geringe Stichprobengröße keine validen Aussagen zulässt und lediglich Tendenzen anzeigen kann, die sich allerdings in der erwähnten Arbeit zu bestätigen scheinen (Asam u. a. 2006, s. o.). Weitere Proben aus der zeitlichen sowie räumlichen Nähe werden in naher Zukunft analysiert, um diese Problematik weitergehend zu untersuchen.

Ein ganz anderer Unterschied lässt sich zwischen den eisenzeitlichen und den neolithischen Funden im Kohlenstoffisotopenverhältnis feststellen. Sowohl bei den Tierproben als auch bei den menschlichen Individuen ist eine Erhöhung des Kohlenstoffisotopenverhältnisses vom Neolithikum zur Eisenzeit hin um ca. 1‰ erkennbar. Da aufgrund geografischer Bedingungen ein Einfluss von C₄-Pflanzen auf die Ernährung weitestgehend ausgeschlossen werden kann (s.o.), muss dieser Unterschied auf andere Art und Weise zustande gekommen sein. Aus der Literatur ist bekannt, dass die Dichte der Bewaldung einen großen Einfluss auf das Kohlenstoffisotopenverhältnis hat, da bei dichterer Bewaldung negativere Werte festgestellt werden konnten (Schoeninger u.a. 1997, 78 Abb. 1; Schoeninger 2003, 202). Die für Westerhausen vorgefundenen Werte sprechen also für eine Abnahme der Walddichte in der Region, in der die Tiere gehalten wurden. Ein wichtiger Grund für das Roden bzw. Lichten von Waldflächen könnte die einsetzende Gewinnung und Bearbeitung von Erzen sein, worauf archäologische Befunde hindeuten (Klapp auf u.a. 1990, 78; Matschullat u.a. 1997, 111–113; Monna u.a. 2000, 209 f.). Andererseits ist aber auch eine Veränderung der Weidekultur vorstellbar, wobei die Tiere verstärkt außerhalb bewaldeten Flächen gehalten wurden. Als eine weitere Möglichkeit sollte auch ein klimatischer Einfluss nicht ausgeschlossen werden, da in den hier untersuchten Zeitraum auch bereits bekannte Temperaturschwankungen fallen. Vor diesem Hintergrund sind die ermittelten Werte für die Kohlenstoffisotope durchaus plausibel erklärbar, allerdings bedarf es auch hier weiterführender Untersuchungen.

Ergebnisse und Diskussion der Rekonstruktion der Mobilität

Bei der Analyse der Strontiumisotopenverhältnisse muss zwischen den Daten für den Zahnschmelz und für das Dentin unterschieden werden. Wenn ein Individuum während seines Lebens seinen Standort verändert hat, ist mit unterschiedlichen Werten für beide Gewebearten zu rechnen (Budd u.a. 2000, 692 f.). Die Ergebnisse der Strontiumisotopenanalyse der Individuen aus Westerhausen sind in Tabelle 5 dargestellt.

Aus den Daten ergibt sich ein Mittelwert der Strontiumkonzentration im Zahnschmelz von 156 ± 43 ppm und für das Dentin ein Mittelwert von 322 ± 150 ppm. Die höhere Konzentration an Strontium im Dentin im Vergleich zum Zahnschmelz lässt sich durch die Bodenlagerung erklären, in deren Verlauf sich das Dentin sukzessive den lokalen Signaturen annähert. Anders sieht es beim Strontiumisotopenverhältnis aus: Hier liegt der Mittelwert für die Zahnschmelzproben bei $0,71066 \pm 0,00159$ und die für das Dentin bei $0,71048 \pm 0,00051$. Die extrem hohe Standardabweichung der Strontiumkonzentrationen im Zahnschmelz deutet klar auf starke Unterschiede der untersuchten Proben und damit zwischen den Individuen hin. Da die Strontiumisotopenverhältnisse kaum variieren zeigt sich hierin die Heterogenität des Bodens in der Region. In Abbildung 6 sind für die analysierten Proben die Strontiumisotopenverhältnisse gegen die Strontiumkonzentrationen aufgezeichnet, von denen sowohl Zahnschmelz als auch Dentin analysiert worden sind.

Die diagenetischen Veränderungen des Dentins während der Bodenlagerung lassen sich anhand der Unterschiede in den Strontiumisotopenverhältnissen und Strontiumkonzentrationen zwischen dem Zahnschmelz und dem Dentin ausmachen. Die Werte des Dentins charakterisieren dabei das Strontiumsignal der lokalen Gesteinsformation

(Budd u. a. 2000). Die Strontiumisotopenverhältnisse der untersuchten Dentinproben nähern sich alle dem Mittelwert von $0,7105 \pm 0,0005$, die Streuung der Werte decken einen Bereich von 0,709 bis 0,711 ab, so dass die Werte den in der Literatur für Lößböden beschriebenen entsprechen (Taylor u. a. 1983, 1902 Tab. 4). Alle Zahnschmelzwerte, die außerhalb dieses Bereiches liegen, sprechen für nicht-regional aufgewachsene Individuen, d. h. diese Individuen sind zu einem späteren Zeitpunkt (nach der Mineralisation des Zahnschmelzes) eingewandert.

Bei dieser Betrachtung gilt es aber die oben beschriebene Heterogenität des Harzes und des Harzvorlandes zu beachten. Werte, die nur knapp außerhalb des als lokal definierten Bereiches liegen, sollten mit Vorsicht betrachtet werden, da hier schon eine geringe geographische Verschiebung des Lebensmittelpunktes oder der Nahrungsquellen eine enorme Veränderung der Strontiumisotopenverhältnisse nach sich ziehen kann. In Abbildung 7 sind die Messergebnisse aller Zahnschmelzproben der untersuchten Individuen mit Kennzeichnung des als lokal definierten Bereiches dargestellt.

Bis auf die Individuen 3011-Ind1 (a), 3011-Ind2 (b), 3011-Ind12 (f) sowie 3004-18 (j) scheinen alle hier untersuchten Individuen lokal aufgewachsen zu sein, d. h. sie haben auf dem Boden, in dem sie bestattet wurden, auch die Zeit der Mineralisation ihrer Zähne verbracht. Es ist den Daten nach nicht davon auszugehen, dass sie zu Lebzeiten besonders mobil waren. Gleichermaßen darf man auch für die Individuen 3011-Ind2 (b) und 3011-Ind12 (f) annehmen, da ihre Werte der Strontiumisotopenverhältnisse nur geringfügig außerhalb der aufgrund der Dentinwerte bestimmten lokalen Grenze liegen. Die Gründe hierfür können sehr vielfältig sein, z. B. unterschiedliche Nahrungsquellen oder ein geringfügig unterschiedlicher Lebensbereich. Die aber nur äußerst geringe Abweichung spricht dafür, dass auch diese beiden Individuen lokal aufgewachsen sind.

Individuum 3011-Ind1 (a) liegt definitiv außerhalb des lokalen Bereiches, weshalb anzunehmen ist, dass der adulte Mann erst nach der Bildung des Zahnschmelzes in diese Lokalität zugezogen ist. Der Strontiumisotopenwert von etwa 0,713 deutet geologisch auf das weitere Umfeld südlich bzw. südwestlich des Harzes hin. Die vorgefundene Werte können allerdings auch durch Mobilität und einer damit verbundenen Mischernährung herstammen, die aus Nahrung aus den Höhenlagen des Harzes, kombiniert mit Nahrung aus der unmittelbaren Umgebung, bestand. Eine eindeutigere Herleitung der Herkunft dieses Individuums ist nicht möglich. Bei Individuum 3004-18 (j) spricht der hohe Wert von 0,715 für eine Herkunft aus den Höhenlagen des Harzes oder anderer Mittelgebirge, wie dem Taunus oder dem Hunsrück, die recht altes Gestein aus dem Kambrium aufweisen. Bei diesem geschlechtsunbestimmten spätadulten Individuum kann ebenfalls davon ausgegangen werden, dass es die Kindheit nicht in der Region um Westerhausen (oder den Vorharz) verbracht hat und zu einem späteren Zeitpunkt zugezogen ist. Allerdings sollte die Möglichkeit einer Saisonalität nicht außer Acht gelassen werden. Da die hier untersuchten Zähne innerhalb kürzester Zeit mineralisieren, können saisonal bedingte Aufenthalte in anderen Regionen diese Strontiumsignaturen erzeugt haben. In einem solchen Fall wäre von einer Mobilität des Individuums zu sprechen und nicht von einer dauerhaften Migration in die Region.

Von den 13 untersuchten Individuen vom Fundort Westerhausen konnten nur zwei Individuen als nachträglich eingewanderte »Fremde« identifiziert werden. Dieses Fremdsein lässt keinerlei Schlüsse auf ihren sozialen Status oder die Beweggründe zu ihrer Ein-

wanderung zu. Gleichfalls ist auf Grund der geringen Anzahl Eingewanderter kein Rückchluss auf spezifische Heirats- oder Residenzregeln möglich.

Resümee

Die Analyse der stabilen Kohlenstoff- und Stickstoffisotope zur Rekonstruktion der Ernährung sowie der Strontiumisotope zum Nachweis von Mobilität konnte erfolgreich an den geborgenen Individuen aus Westerhausen durchgeführt werden. Für das Individuum aus der neolithischen Kugelamphorenkultur, welches mit den hier untersuchten neolithischen Rindern bestattet wurde, konnten eindeutig weniger tierische Anteile in seiner Diät nachgewiesen werden als für das ohne Grabbeigaben bestattete Individuum aus der Glockenbecherkultur. Die erzielten Ergebnisse stehen im Einklang mit anderen Studien an Individuen aus neolithischen Gräberfeldern (Asam u.a. 2006, 12–17; Dürrwächter u.a. 2003, 9–13). Bei den zeitlich später einzuordnenden Funden aus der Eisenzeit basiert die Subsistenz ebenfalls auf Rindern und anderen Herbivoren. Die Unterschiede im Kohlenstoffisotopenverhältnis sowohl bei den Rindern als auch bei den Menschen könnten von den zeitlich variierenden ökologischen Gegebenheiten vor Ort beeinflusst sein.

Hinsichtlich der Migration oder Mobilität der Individuen aus Westerhausen ist die Mehrheit als einheimisch zu betrachten. Es konnten nur zwei Individuen als nicht lokal aufgewachsen identifiziert werden. Alle aus der Region stammenden Individuen fallen mit ihren Strontiumisotopensignaturen sehr gut in die aus der Literatur bekannte Bandbreite von Strontiumwerten auf Lößböden. Die beiden »zugezogenen« Individuen stammen höchstwahrscheinlich aus unterschiedlichen Regionen südlich bzw. südwestlich des Harzes.

Zusammenfassung

Der archäologische Fundplatz Westerhausen, Ldkr. Harz, an der Bundesstraße 6n in Sachsen-Anhalt bietet einen einmaligen Längsschnitt dieser Region durch verschiedene prähistorische Perioden, von der neolithischen Glockenbecherkultur bis in die vorrömische Eisenzeit hinein. Aus dem Fundkomplex wurden 29 Individuen und sieben im Kontext gefundene Tiere hinsichtlich ihrer Ernährung untersucht, weiterhin wurden 14 Individuen auf eine eventuelle Mobilität hin analysiert.

Die Ernährungsrekonstruktion erfolgte durch die Analyse der stabilen Kohlenstoff- und Stickstoffisotopenverhältnisse aus dem Knochenkollagen. Als Ergebnis dieser Untersuchung konnte eine Ernährung auf terrestrischer Basis hauptsächlich von domestizierten Herbivoren ermittelt werden. Zwischen den einzelnen Zeitperioden konnten typische Unterschiede in der Ernährung ausgemacht werden.

Der Nachweis einer möglichen Mobilität wurde anhand der Strontiumisotopenverhältnisse aus dem Zahnschmelz erbracht. Die Mehrheit der hier untersuchten Individuen hat während der Bildung des Zahnschmelzes lokal gelebt oder die Nahrung entstammt einer lokalen Quelle. Nur zwei Individuen konnten als sicher immigriert ermittelt werden, wobei die Frage nach der Herkunft und die sozialen Hintergründe ungeklärt bleiben müssen.

Summary

Biochemical analysis of stable isotopes in prehistoric skeletons from Westerhausen

The archaeological site at Westerhausen on the new B6n road in Saxony-Anhalt (Germany) offers a unique longitudinal section of this region through several prehistoric periods, from the Neolithic Bell Beaker culture up to the pre-Roman Iron Age. From the find complex twenty-nine individuals and seven animals found *in situ* were examined with respect to their diet, a further fourteen individuals were analysed for possible mobility.

The dietary reconstruction was established through the analysis of stable carbon and nitrogen isotope ratios from bone collagen. This reconstruction showed a terrestrial diet based mainly on domesticated herbivores. Between single periods typical differences in diet could be determined.

Evidence for possible mobility was acquired by means of strontium isotope ratios from tooth enamel. The majority of the examined individuals had lived locally during the formation of dental enamel or their food derived from a local source. Only two individuals could with certainty be determined to be immigrants, however, the question of origin and social background must remain unexplained.

Tabellen

Probe	Individuum	Befund	Alter	Geschlecht	Datierung
W-H-3011-Ind1	1	3011	35–45	m	vorrömische Eisenzeit
W-H-3011-Ind2	2	3011	16–18	m	vorrömische Eisenzeit
W-H-3011-Ind3	3	3011	30–40	m	vorrömische Eisenzeit
W-H-3011-Ind8	8	3011	25–35	w	vorrömische Eisenzeit
W-H-3011-Ind11	11	3011	20±2	m	vorrömische Eisenzeit
W-H-3011-Ind12	12	3011	30–40	m	vorrömische Eisenzeit
W-H-3011-Ind13	13	3011	45–65	m	vorrömische Eisenzeit
W-H-3011-Ind14	14	3011	50–60	m	vorrömische Eisenzeit
W-H-3011-Ind20	20	3011	35–45	m	vorrömische Eisenzeit
W-H-3011/2	3011,2	3011	20–40	w?	vorrömische Eisenzeit?
W-H-3004-3	3004-3	3004	25–35	m	vorrömische Eisenzeit
W-H-3004-11a	3004-11	3004	25–35	w	Eisenzeit
W-H-3004-18	3004-18	3004	45–60	indifferent	Eisenzeit
W-H-3009-2	3009-2	3009	25–35	w	
W-H-3010-6	3010-6	3010	20–25	m?	
W-H-3010-7	3010-7	3010	adult	?	
W-H-3091-87	3091	3091	30–60	?	Neolithikum (Kugelamphorenkultur)
W-H-3119/1	3119	3119		m?	vorrömische Eisenzeit
W-H-3150a	3150-6	3150	15–18	w	Thüringische Kultur
W-H-3150	3150-7	3150	20–25	m	Thüringische Kultur
W-H-3222-2	3222	3222	14–17	m?	
W-H-3300-13b	3300	3300	50–60	w	
W-H-4029	4029	4029	40–50	w	Neolithikum (Glockenbecherkultur)

Tab. 1 Auflistung aller beprobenen menschlichen Individuen für die Isolierung von Knochenkollagen zur Analyse der stabilen Kohlenstoff- und Stickstoffisotopenverhältnisse, unter Angabe von Individuum, Fundort, Alter, Geschlecht und zeitlicher Datierung (archäologische Periode). Legende: m – männlich; w – weiblich; W – Westerhausen; H – humanes Probenmaterial; ? – nicht eindeutig bestimmbarer Geschlecht.

Probe	Tierart	Befund	Beprobungsort	Datierung
W-A-3016-17b-1	Rind	Fst. III	undef.	
W-A-3016-17b-2	Rind	Fst. III	Hornzapfen	
W-A-3020-9c	unbest.	Fst. III	undef.	
W-A-3127-4	Hirsch	Fst. III	Geweih	
W-A-3160-2	Rind	Fst. III	Unterkiefer	
W-A-3074-R3r	Rind	3074	Rippe	Neolithikum
W-A-3075-R2r	Rind	3075	Rippe	Neolithikum

Tab. 2 Tierproben des Fundplatzes Westerhausen mit Tierart, Fundort, anatomischer Probenort und Datierung (soweit vorhanden).

Probe	E	D	Zahn
W-H-3011-Ind1	x	x	43
W-H-3011-Ind2	x	x	22
W-H-3011-Ind3	x		15
W-H-3011-Ind8	x		14
W-H-3011-Ind11	x		25
W-H-3011-Ind12	x		14
W-H-3011-Ind13	x	x	34
W-H-3011-Ind20	x	x	28
W-H-3011/2	x		44
W-H-3004-18	x		Prämolar
W-H-3009-2	x		Prämolar
W-H-3091-87	x	x	Prämolar
W-H-3150-7	x	x	13
W-H-3222-2	x		Prämolar

Tab. 3 Individuen, von denen zur Analyse der Strontiumisotopenverhältnisse eine Zahnprobe entnommen wurde. Angabe des beprobenen Zahnes nach FDI-System und analysiertes Zahngewebe.
Legende: E – Zahnschmelz (Enamel); D – Dentin.

Probe	Ausbeute (%)	d ¹³ C (‰)	d ¹⁵ N (‰)	Gehalt C (%)	Gehalt N (%)	Atomares C:N
W-H-3011-Ind1	1,9	-18,3	9,5	39,77	14,75	3,1
W-H-3011-Ind2	1,6	-18,6	8,7	43,35	16,11	3,1
W-H-3011-Ind3	2,0	-18,1	9,7	42,27	15,62	3,2
W-H-3011-Ind8	1,5	-19,0	9,1	42,93	15,80	3,2
W-H-3011-Ind11	1,5	-19,1	9,4	43,41	15,90	3,2
W-H-3011-Ind12	2,0	-18,5	9,9	43,60	15,95	3,2
W-H-3011-Ind13	1,0	-19,0	10,3	42,68	15,35	3,2
W-H-3011-Ind14	3,9	-18,2	10,1	44,44	16,36	3,2
W-H-3011-Ind20	2,3	-19,7	8,1	43,72	16,03	3,2
W-H-3011/2	3,2	-19,0	8,6	42,89	16,06	3,1
W-H-3004-3	2,3	-18,8	9,9	42,98	15,67	3,2
W-H-3004-11a	2,6	-18,2	10,6	43,38	16,25	3,1
W-H-3004-18	3,8	-19,2	10,0	43,98	16,43	3,1
W-H-3009-2	4,9	-19,0	9,3	43,50	16,07	3,2
W-H-3010-6	1,7	-19,2	10,1	44,10	15,36	3,4
W-H-3010-7	1,5	-18,7	10,1	43,33	16,04	3,2
W-H-3091-87	0,8	-19,8	8,4	38,14	14,12	3,2
W-H-3119/1	4,2	-18,1	9,8	43,71	16,25	3,1
W-H-3150a	2,9	-18,1	10,2	43,27	16,22	3,1
W-H-3150	2,5	-18,4	9,8	43,62	16,31	3,1
W-H-3222-2	2,6	-18,6	8,0	42,86	16,05	3,1
W-H-3300-13b	2,7	-20,1	8,3	42,63	15,82	3,1
W-H-4029	1,9	-20,3	10,0	43,92	15,28	3,4
W-A-3016-17b-1	2,8	-19,5	6,5	43,67	15,81	3,2
W-A-3016-17b-2	4,6	-20,6	8,1	45,37	16,30	3,2
W-A-3020-9c	6,6	-19,8	6,1	44,80	16,61	3,1
W-A-3127-4	1,4	-21,3	6,1	41,43	14,72	3,3
W-A-3160-2	4,6	-20,6	6,6	44,07	16,09	3,2
W-A-3074-R3r	1,2	-21,3	6,1	41,82	14,70	3,3
W-A-3075-R2r	3,4	-21,1	5,5	43,42	15,66	3,2

Tab. 4 (linke Seite) Messergebnisse der stabilen Kohlenstoff- und Stickstoffisotopenverhältnisse aus dem Knochenkollagen der beprobenen Individuen von Westerhausen. Angabe der Ausbeute (in %), der Isotopenverhältnisse $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{15}\text{N}$ (in ‰), dem Gehalt an Kohlenstoff und Stickstoff in der Probe (in %) und dem atomaren Kohlenstoff- und Stickstoffverhältnis.

Probe	Probenmaterial	Sr Konz.	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
W-H-3011-Ind1	Zahnschmelz	95	0,712823
W-H-3011-Ind1	Dentin	476	0,711012
W-H-3011-Ind2	Zahnschmelz	199	0,708857
W-H-3011-Ind2	Dentin	206	0,709608
W-H-3011-Ind3	Zahnschmelz	170	0,710807
W-H-3011-Ind8	Zahnschmelz	170	0,709558
W-H-3011-Ind11	Zahnschmelz	137	0,709922
W-H-3011-Ind12	Zahnschmelz	190	0,711354
W-H-3011-Ind13	Zahnschmelz	135	0,710977
W-H-3011-Ind13	Dentin	106	0,710662
W-H-3011-Ind20	Zahnschmelz	147	0,710436
W-H-3011-Ind20	Dentin	376	0,710695
W-H-3011/2	Zahnschmelz	206	0,709923
W-H-3004-18	Zahnschmelz	178	0,714988
W-H-3009-2	Zahnschmelz	150	0,710043
W-H-3091-87	Zahnschmelz	100	0,710119
W-H-3091-87	Dentin	480	0,710143
W-H-3150-7	Zahnschmelz	228	0,710462
W-H-3150-7	Dentin	286	0,710748
W-H-3222-2	Zahnschmelz	85	0,709032

Tab. 5 Darstellung der Messergebnisse der Messung der Strontiumisotopenverhältnisse aus dem Zahnschmelz und Dentin mit Angabe der Strontiumkonzentration in ppm (Sr Konz.), dem Strontiumisotopenverhältnis ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) und dem Probenmaterial.

Literaturverzeichnis

- Åberg u.a. 1998**
G. Åberg/G. Fosse/H. Stray, Man, nutrition and mobility. *The Science of the Total Environment* 224, 1998, 109–119.
- Ambrose/Norr 1993**
S. H. Ambrose/L. Norr, Experimental Evidence for the Relationship of the Carbon Isotope Ratios of Whole Diet and Dietary Protein to Those of Bone Collagen and Carbonate. In: J. B. Lambert/G. Grupe (Hrsg.), *Prehistoric Human Bone - Archaeology at the Molecular Level* (Berlin 1993) 1–38.
- Ambrose 1993**
S. H. Ambrose, Isotopic Analysis of Paleodiets: Methodological and Interpretive Considerations. In: M. K. Sandford (Hrsg.), *Investigations of ancient human tissue*. 10 (Langhorn/Pennsylvania, U.S.A. 1993) 59–130.
- Asam u.a. 2006**
T. Asam/G. Grupe/J. Peters, Menschliche Subsistenzstrategien im Neolithikum. *Anthr. Anz.* 64, 2006, 1–23.
- Bauer u.a. 1961**
G. C. Bauer/A. Carlsson/B. Lindquist, Metabolism and Homeostatic Function of Bone. In: C. Comar/F. Bronner (Hrsg.), *Mineral Metabolism*. I (San Diego 1961) 609–676.
- Beard/Johnson 2000**
B. L. Beard/C. M. Johnson, Strontium isotope composition of skeletal material can determine the birth place and geographic mobility of humans and animals. *Journal of Forensic Science* 45, 2000, 1049–1061.
- Bentley u.a. 2002**
A. R. Bentley/D. T. Price/J. G. D. Lüning/J. Wahl/P. D. Fullagar, Prehistoric Migration in Europe: Strontium Isotope Analysis of Early Neolithic Skeletons. *Current Anthropology* 43, 2002, 799–804.
- Brown u.a. 1988**
T. Brown/D. Nelson/J. Vogel/J. Sounthor, Improved Collagen Extraction by Modified Longin Method. *Radiocarbon* 30, 1988, 171–177.
- Budd u.a. 2000**
P. Budd/J. Montgomery/B. Barreiro/R. G. Thomas, Differential diagenesis of strontium in archaeological human dental tissues. *Applied Geochemistry* 15, 2000, 687–694.
- Cox/Sealy 1997**
G. Cox/J. Sealy, Investigating Identity and Life Histories. *Internat. Journal Historical Arch.* 1, 1997, 207–224.
- Deniel/Pin 2001**
C. Deniel/C. Pin, Single-stage method for the simultaneous isolation of lead and strontium from silicate samples for isotopic measurements. *Analytica Chimica Acta* 426, 2001, 95–103.
- DeNiro/Epstein 1978**
M. J. DeNiro/S. Epstein, Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42, 1978, 495–506.
- DeNiro/Epstein 1981**
M. J. DeNiro/S. Epstein, Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 45, 1981, 341–351.
- Deutsch/Pe'er 1982**
D. Deutsch/E. Pe'er, Development of Enamel in Human Fetal Teeth. *Journal of Dental Research* 61, 1982, 1543–1551.
- Dürrwächter u.a. 2003**
C. Dürrwächter/O. E. Craig/G. Taylor/M. J. Collins/J. Burger/K. W. Alt, Rekonstruktion der Ernährungsweise in den mittel- und frühneolithischen Bevölkerungen von Trebur/Hessen und Herxheim/Pfalz anhand der Analyse Stabiler Isotope. *Bulletin de Society Suisse d'Anthropologie* 9, 2003, 1–16.
- Ericson 1989**
J. Ericson, Some Problems and Potentials of Strontium Isotope Analysis for Human and Animal Ecology. In: P. Rundel/J. Ehleringer/K. Nagy (Hrsg.), *Stable Isotopes in Ecological Research* (New York 1989) 251–259.
- Faure 1986**
G. Faure, *Principles of Isotope Geology* (New York 1986).
- Faure/Mensing 2005**
G. Faure/T. M. Mensing, *Isotopes* (Chichester 2005).
- Faure/Powell 1972**
G. Faure/J. L. Powell, *Strontium Isotope Geology* (Berlin 1972).
- Führer 1988**
F. Führer, Geological results of recent geophysical investigations in the Harz Mountains (Germany). *Geologische Rundschau* 77, 1988, 79–99.
- Graustein 1989**
W. Graustein, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Ratios Measure the Sources and Flow of Strontium in Terrestrial Ecosystems. In: P. Rundel/J. Ehleringer/K. Nagy (Hrsg.), *Stable Isotopes in Ecological Research* (New York 1989) 491–512.
- Haavikko 1987**
K. Haavikko, Development of the dentition. In: B. Thilander/O. Rönning (Hrsg.), *Introduction to Orthodontics* (Stockholm 1987) 45–62.
- Hedges 2002**
R. Hedges, Bone Diagenesis. *Archaeometry* 44, 2002, 319–328.
- Horwitz u.a. 1992**
P. E. Horwitz/R. Chiaerizia/M. L. Dietz, A Novel Strontium Selective Extraction Chromatographic Resin. Solvent Extraction And Ion Exchange 10, 1992, 313–336.

- Klappauf u. a. 1990**
L. Klappauf/F. Linke/W. Brockner/G. Heimbruch/S. Koerfer, Early Mining and Smelting in the Harz Region. In: E. Pernicka/G. Wagner (Hrsg.), International Symposium on Archaeometry, Heidelberg, 2.4.-6.4.1990 and Conference Proceedings Archaeometry '90 (Basel 1990) 77–86.
- Klepinger 1984**
L. L. Klepinger, Nutritional Assessment from Bone. Annual Review of Anthropology 13, 1984, 75–96.
- van Klinken 1999**
G. van Klinken, Bone Collagen Quality Indicators for Palaeodietary and Radiocarbon Measurement. Journal Arch. Scien. 26, 1999, 687–695.
- Knetsch 1963**
G. Knetsch, Geologie von Deutschland (Stuttgart 1963).
- Kohn 1999**
M. J. Kohn, You Are What You Eat. Science 283, 1999, 335–336.
- König/Wrede 1994**
S. König/V. Wrede, Zur Tektonik der Harzränder. Zeitschr. Dt. Ges. Geowissenschaften 145, 1994, 153–171.
- Longin 1971**
R. Longin, New Method of Collagen Extraction for Radiocarbon Dating. Nature 230, 1971, 241–242.
- Matschullat u. a. 1997**
J. Matschullat/F. Ellminger/N. Agdemir/S. Cramer/W. Ließmann/N. Niehoff, Overbank sediment profiles – evidence of early mining and smelting activities in the Harz mountains, Germany. Applied Geochemistry 12, 1997, 105–114.
- van der Merwe 1982**
N. J. van der Merwe, Carbon Isotopes, Photosynthesis, and Archaeology. American Scientist 70, 1982, 596–609.
- Minagawa/Wada 1984**
M. Minagawa/E. Wada, Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains. Geochimica et Cosmochimica Acta 48, 1984, 1135–1140.
- Monna u. a. 2000**
F. Monna/K. Hamer/J. Lévéque/M. Sauer, Pb isotopes as a reliable marker of early mining and smelting in the Northern Harz province (Lower Saxony, Germany). Journal of Geochemical Exploration 68, 2000, 201–210.
- Montgomery u. a. 2000**
J. Montgomery/P. Budd/J. Evans, Reconstructing the Lifetime Movements of Ancient People. European Journal of Archaeology 3, 2000, 370–385.
- Müldner/Richards 2005**
G. Müldner/M. P. Richards, Fast or feast: reconstructing diet in later medieval England by stable isotope analysis. Journal Arch. Scien. 32, 2005, 39–48.
- Nelson u. a. 1986**
B. K. Nelson/M. J. DeNiro/M. J. Schoeninger/D. J. De Paolo, Effects of diagenesis on strontium, carbon, nitrogen and oxygen concentration and isotopic composition of bone. Geochimica et Cosmochimica Acta 50, 1986, 1941–1949.
- Nielsen 2004**
P. S. Nielsen, The biological role of strontium. Bone 35, 2004, 583–588.
- O'Leary 1981**
M. H. O'Leary, Carbon Isotope Fractionation in Plants. Phytochemistry 20, 1981, 553–567.
- Price u. a. 2001**
D. T. Price/A. R. Bentley/J. Lüning/D. Gronenborn/J. Wahl, Prehistoric human migration in the Linearbandkeramik of Central Europe. Antiquity 75, 2001, 593–603.
- Rothe 2006**
P. Rothe, Die Geologie Deutschlands (Darmstadt 2006).
- Schneider u. a. 2003**
J. Schneider/U. Haack/K. Stedingk, Rb-Sr dating of epithermal vein mineralization stages in the eastern Harz Mountains (Germany) by paleomixing lines. Geochimica et Cosmochimica Acta 67, 2003, 1803–1819.
- Schoeninger u. a. 1997**
M. J. Schoeninger/U. T. Iwaniec/K. E. Glander, Stable isotope ratios indicate diet and habitat use in New World monkeys. American Journal of Physical Anthropology 103, 1997, 69–83.
- Schoeninger u. a. 2003**
M. J. Schoeninger/H. Reeser/K. Hallin, Paleoenvironment of Australopithecus anamensis at Allia Bay, East Turkana, Kenya: evidence from mammalian herbivore enamel stable isotopes. Journal Anthr. Arch. 22, 2003, 200–207.
- Schopf 1970**
P. Schopf, Wurzelmineralisation und Zahndurchbruch im Wechselgebiss. Fortschritte der Kieferorthopädie 31, 1970, 39–56.
- Semal/Orban 1995**
P. Semal/R. Orban, Collagen Extraction from Recent and Fossil Bones. Journal Arch. Scien. 22, 1995, 463–467.
- Sognnaes 1961**
R. F. Sognnaes, Dental Aspects of the Structure and Metabolism of Mineralized Tissues. In: C. Comar/F. Bronner (Hrsg.), Mineral Metabolism. I (San Diego 1961) 678–733.
- Taylor u. a. 1983**
S. R. Taylor/S. M. McLennan/M. T. McCulloch, Geochemistry of loess, continental crustal composition and crustal model ages. Geochimica et Cosmochimica Acta 47, 1983, 1897–1905.
- Vogel 1980**
J. Vogel, Fractionation of the Carbon Isotopes During Photosynthesis. In: Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse (Hrsg.), Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften (Berlin 1980) 11–135.
- Wrede 1988**
V. Wrede, Der nördliche Harzrand – flache Abscherbahn oder wrench-fault-system? Geologische Rundschau 77, 1988, 101–114.

Abbildungsnachweis

- 1–2; 4–7 Nehlich
3 Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt.

Anschriften

Olaf Nehlich M. A.
Max Planck Institut für evolutionäre Anthropologie
Human Evolution
Deutscher Platz 6
D-04103 Leipzig
E-Mail: olaf@nehlich.com

Dr. Janet Montgomery
Department of Archaeological Sciences
University of Bradford
Bradford
UK-West Yorkshire BD7 1DP

Dr. Jane Evans
NERC Isotope Geosciences Laboratory
Keyworth
UK-Notts NG12 5GG

Prof. Dr. Mike P. Richards
Max Planck Institut für evolutionäre Anthropologie
Human Evolution
Deutscher Platz 6
D-04103 Leipzig

Dr. Veit Dresely
Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie
Sachsen-Anhalt
Referatsleiter »Spezielle Grabungsaufgaben«
Richard-Wagner-Str. 9
D-06114 Halle (Saale)

Prof. Dr. Kurt W. Alt
Institut für Anthropologie
Universität Mainz
Saarstr. 21
D-55099 Mainz