

# ISOTOPENANALYSEN ZUR REKONSTRUKTION VON MOBILITÄT UND ERNÄHRUNGSWEISE DER BESTATTETEN DER HALLSTATTZEITLICHEN NEKROPOLE VON MAUENHEIM

Corina Knipper und Michael Maus

## EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG DER UNTERSUCHUNG

Isotopenanalysen an Skelettresten sind seit einigen Jahren zentraler Bestandteil interdisziplinärer archäologisch-anthropologischer Forschung (Meller/Alt 2010). Sie nutzen das menschliche Skelettmaterial als Speicher von Informationen zu Residenzwechseln und den Ernährungsgrundlagen zu Lebzeiten. Im Rahmen der archäologischen Neubearbeitung der hallstattzeitlichen Bestattungen von Immingen-Mauenheim (Ldkr. Tuttlingen, Baden-Württemberg) kamen Strontium- und Sauerstoff-Isotopenanalysen an Zahnschmelz sowie Stickstoff- und Kohlenstoff-Isotopenanalysen an Knochen zum Einsatz. Das Gräberfeld von Mauenheim wurde in den Stufen Ha C und Ha D (ca. 800–450 v. Chr.) belegt. Die Proben stammen von späthallstattzeitlichen Nachbestattungen der Stufe Ha D (ca. 620–450 v. Chr.). Ziel war die Identifikation von Individuen, die ihre Kindheitsjahre nicht in der näheren Umgebung der Fundstelle verbrachten und erst später im Leben in die Region kamen. Im Zusammenhang mit Informationen zum Sterbealter und Geschlecht zielen die Untersuchungen auf die Rolle der Mobilität in der frühen Eisenzeit und suchen nach Hinweisen auf die damals vorherrschenden Residenzregeln. Außerdem galt es, Individuen mit isotopengeochemischen Anhaltspunkten für deren Ortsfremdheit hinsichtlich ihrer Ausstattungparameter zu untersuchen und Rückschlüsse auf ihre Integration in die örtliche Siedlungsgemeinschaft oder bewusste Abgrenzung zu ziehen.

Analysen der leichten stabilen Isotopenverhältnisse von Kohlenstoff und Stickstoff galten der Ernährungsrekonstruktion. Ziele waren eine generelle Charakterisierung hinsichtlich pflanzlicher und tierischer Nahrungskomponenten sowie die Erschließung von Unterschieden innerhalb der Bestattungsgemeinschaft in

Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und Grabausstattungen, die auf eine soziale Differenzierung hindeuten könnten (Knipper u. a. 2015). Der vorliegende Beitrag widmet sich der Auswertung der an den Bestattungen von Mauenheim vorgenommenen Isotopenanalysen im Vergleich zu Proben von Faunenresten aus den Grabhügeln. Ihre Zusammenführung mit der archäologischen Überlieferung, erfolgt in der gemeinsamen Zusammenfassung (Löhlein u. a. dieser Band).

## UNTERSUCHUNGEN ZUR MOBILITÄT

Zentrale Methoden zur Erschließung menschlicher Mobilität bzw. von Residenzwechseln sind Strontium- und Sauerstoff-Isotopenanalysen. Beide Elemente werden beim Wachstum der Zahnkronen während der Kindheit in spezifischen isotopischen Zusammensetzungen in den Zahnschmelz eingelagert. Dabei steht Strontium im Zusammenhang mit den geologischen Bedingungen, während Sauerstoff-Isotopenverhältnisse temperatur- und höhenabhängige Unterschiede des Niederschlagswassers und der daraus gespeisten Trinkwasserquellen anzeigen. Vorausgesetzt, dass Nahrung und Trinkwasser aus der Umgebung des Wohnortes während der Kindheit bezogen wurden, sind beide Isotopensysteme voneinander unabhängige Indikatoren für die Region, in der ein Mensch aufgewachsen ist.

## Methodische Grundlagen von Strontium- und Sauerstoffisotopenanalysen

Strontium ist als Spurenelement in Gesteinen weit verbreitet. Von seinen vier stabilen Isotopen ( $^{84}\text{Sr}$ ,  $^{86}\text{Sr}$ ,  $^{87}\text{Sr}$  und  $^{88}\text{Sr}$ ) betrachtet die Strontium-Isotopenanalyse vor allem das Verhältnis des radiogenen Isotops  $^{87}\text{Sr}$  zu  $^{86}\text{Sr}$  (Bentley 2006; Knipper 2004).  $^{87}\text{Sr}$  entsteht

durch radioaktiven Zerfall von  $^{87}\text{Rb}$  (Rubidium), sodass geologisch alte, rubidiumreiche Gesteine höhere  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte zeigen als junge, rubidiumarme geologische Einheiten. Durch die Verwitterung gelangt Sr in den Boden und ins Grundwasser, wird von Pflanzen aufgenommen und über die Nahrungskette an Tiere und Menschen weitergegeben. Dabei erfolgt keine nennenswerte fraktionierungsbedingte Veränderung der isotopischen Zusammensetzung (Capo u. a. 1998). Die Isotopenverhältnisse in Nahrungsmitteln reflektieren daher die geologischen Einheiten ihrer Anbaustandorte. In Menschen und Tieren wird Strontium, das vorrangig auf die pflanzlichen Nahrungsmittel zurückgeht, anstelle des Hauptelements Calcium vor allem in die anorganischen Anteile von Knochen und Zähnen (Hydroxylapatit) eingelagert. Das wichtigste Probenmaterial ist der Schmelz der Zahnkronen. Während das Milchgebiss teilweise bereits im Mutterleib angelegt wird, mineralisieren die Zahnkronen der Dauerzähne zwischen der Geburt und dem Jugendalter (AlQahtani u. a. 2010). Da nach der vollständigen Mineralisation keine Umbildung des Zahnschmelzes mehr erfolgt und dieses Material auch während der Bodenlagerung sehr beständig gegenüber diagenetischen Veränderungen ist, gelten die Zähne als „Archiv der Kindheit“ (Montgomery 2010), das auch über den Tod hinaus noch Auskunft über eine ortsfremde Herkunft eines Individuums geben kann. Ortsfremde Personen in einer Bestattungsgemeinschaft werden erkennbar, wenn die Sr-Isotopenverhältnisse ihres Zahnschmelzes von denjenigen der ortstypischen Isotopenverhältnisse abweichen. Zur Bestimmung dieses Wertebereichs können Zähne möglichst ortskonstant lebender Tiere aus archäologischem Kontext oder auch rezente Vergleichsproben herangezogen werden (Evans/Tatham 2004; Maurer u. a. 2012). Darüber hinaus geben auch Brüche in der Datenverteilung der Zahnschmelzwerte einer Bestattungsgemeinschaft oder die Identifikation von Ausreißern Hinweise auf gruppenfremde Personen (Burton/Price 2013).

Sauerstoff-Isotopendaten ( $\delta^{18}\text{O}$ ) bieten von den geologischen Verhältnissen unabhängige Indikatoren für ortsfremde Individuen. Ausgangspunkt ist hier die isotopische Zusammensetzung im Niederschlags-, Oberflächen- und Grundwasser, die durch die Temperatur, die Höhenlage und die Entfernung von der Meeresküste geprägt ist (Bowen/Wilkinson 2002;

Rozanski u. a. 1993; Stephan 2008). Der räumlich differenzierende, in Knochen und Zähne eingelagerte Sauerstoff geht auf das Trinkwasser und die Nahrung zurück und findet sich entweder in der Phosphatgruppe ( $\text{PO}_4$ ) oder im strukturellen Karbonat ( $\text{CO}_3$ ) des Hydroxylapatits (Pellegrini u. a. 2011). Im Gegensatz zur Sr-Isotopie, spielt die Isotopenfraktionierung von Sauerstoff bei Stoffwechselprozessen eine wichtige Rolle. Da sie jedoch im menschlichen Körper bei konstanten Temperaturen ablaufen, können die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte des aufgenommenen Wassers über Regressionsgleichungen erschlossen werden (Chenery u. a. 2010; Daux u. a. 2008; Knipper 2011). Ortstypische Werte sind am besten über den Vergleich mit Daten anderer Bestattungsgemeinschaften oder aber mit aus Datenbanken abfragbaren oder publizierten Isotopenverhältnissen rezenter Niederschlagswassers zu erschließen (IAEA 2006). Bei der Interpretation von Analysedaten des menschlichen Zahnschmelzes sind langfristige Klimavariationen, saisonale Unterschiede der Sauerstoff-Isotopie und tatsächlich ortsspezifische Signale gegeneinander abzuwägen.

### Probenmaterial

Nach Einschätzung Ludwig Wamsers (vgl. Beitrag Wamser Anm. 391 in diesem Band) umfasste das Gräberfeld von Mauenheim ursprünglich höchstens ca. 130 hallstattzeitliche Grablagen, die als Primärbestattungen überhögt, als Nachbestattungen in bereits bestehende Grabhügel eingebracht oder als kleine Brandgräber außerhalb der Hügel bzw. als „Flachgräber“ angelegt wurden. Da ein erheblicher Teil der Individuen als Brandbestattung überliefert war und die Knochenhaltung in zahlreichen Körpergräbern keine Beprobung erlaubte, stand lediglich von 17 Individuen jeweils ein Zahn für Strontium- und Sauerstoff-Isotopenanalysen zur Verfügung<sup>1</sup>. Darunter waren sechs männliche und sieben weibliche Erwachsene, zwei erwachsene Personen unbestimmten Geschlechts sowie zwei Kinder der Altersstufe infans I (2–4 und 3–4 Jahre).

Die beiden Individuen in Hügel J, Grab 2 (männlich 40–50 Jahre und weiblich 40–50 Jahre) unterschieden sich durch ihre Hocklage von den in der Hallstattzeit üblichen Niederlegungssitten. Sie wurden deshalb einer  $^{14}\text{C}$ -Datierung zugeführt, (vgl. Beitrag Wamser Anm. 25), die eine jüngere Zeitstellung, nämlich ins 5./6. bzw. 6. nachchristliche Jahrhundert belegte. Da die Skelette dieser beiden

<sup>1</sup> Bei den ursprünglich mit N, 4 und N, 11 bezeichneten Skelettresten wurde die Zuordnung zum selben Individuum erst während der Auswertung bemerkt,

sodass hier eine Doppelbeprobung erfolgte (vgl. Tab. 1). Es handelt sich beide Male um Proben von Ind. N, 11.

Individuen von derselben Fundstelle stammen, sind die für sie erhobenen Daten als Vergleichswerte anzusehen.

Die Proben von 15 Individuen stammen aus den Zahnkronen der zweiten Dauermolaren, die zwischen dem dritten und dem siebten Lebensjahr mineralisiert werden (AlQahtani u. a. 2010). Einen ähnlichen Zeitraum repräsentiert ein erster Prämolare (Ind. H, 1), während ein dritter Molar (Ind. N, 8) Isotopenverhältnisse aus der späteren Kindheit und den Jugendjahren dokumentiert. Für alle diese Proben ist eine Beeinflussung der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte durch den Konsum von Muttermilch auszuschließen. Die Proben der beiden Kinder stammen von ersten Dauermolaren, deren Kronen zwischen der Geburt und dem dritten Lebensjahr ausgebildet wurden (AlQahtani u. a. 2010). Hier ist eine durch das Stillen bedingte Erhöhung der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte um durchschnittlich 0,5 bis 1,0 ‰ zu erwarten (Britton u. a. 2015; Knipper u. a. in Vorbereitung).

Zur Charakterisierung der ortstypischen Isotopenverhältnisse des biologisch verfügbaren Strontiums dienten ein Hundezahn sowie sechs Zähne von Hausschweinen. Diese tierischen Reste stammen ebenfalls aus der Hügelnekropole bzw. gehören zu tierischen Beigaben, die in einzelnen Gräbern vorgefunden wurden. Ihre Untersuchung erfolgte unter der Prämisse, dass es sich um Tiere mit einem vergleichsweise geringen Mobilitätsradius handelt, die somit für das nähere Umfeld charakteristische Isotopenverhältnisse widerspiegeln (Bentley u. a. 2004). Andere Vergleichsproben, wie z. B. Zähne von Wildtieren oder auch Rezentmaterial standen nicht zur Verfügung.

## Aufbereitung und Analyse

Die Probenentnahme, Aufbereitung und Analyse für die Sr- und O-Isotopenbestimmungen erfolgten nach den in Knipper u. a. (2012a; 2012b; 2014) beschriebenen Methoden. Zahnschmelzfragmente wurden mit einer Diamanttrennscheibe von den Zähnen getrennt und mit einem Dentalbohrer mit Fräsaufsatz von allen oberflächlichen Verunreinigungen und anhaftendem Dentin befreit. Die anschließenden Arbeitsschritte umfassten das Pulverisieren im Achatmörser, die Aufreinigung mit gepufferter Essigsäure, das Veraschen sowie die Abtrennung des Strontiums mit Ionenaustauscherharz unter Reinraumbedingungen. Die Sr-Konzentration in der Lösung wurde mit einem Quadrupole ICP-MS und  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse mit einem HR-ICP-MS (Neptune) im Curt-Engel-

horn-Zentrum für Archäometrie in Mannheim bestimmt und die Isotopendaten gemäß dem exponentiellen Massenfraktionierungsgesetz auf  $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 8,375209$  korrigiert. Die mit den Proben gemessenen Standards ergaben folgende Werte: Eimer & Amend:  $0,70803 \pm 0,00001$  ( $2\sigma$ ) (laborübergreifender Mittelwert:  $0,708027 \pm 0,000035$  ( $1\sigma$ ) (Müller-Sohnius 2007); NBS 987:  $0,71025 \pm 0,00002$  ( $2\sigma$ ). Laborübergreifender Mittelwert:  $0,710251 \pm 4$  ( $1\sigma$ ). Der Blindwert lag für alle Arbeitsschritte im Reinraum unter  $10\text{ pg Sr}$ .

Die Sauerstoff-Isotopenanalysen erfolgten für die phosphatische Komponente des Hydroxylapatits ( $\text{PO}_4$ ). Ausgangsmaterial war jeweils ein Aliquot der für die Sr-Isotopenanalysen entnommenen Zahnschmelzproben. Die Aufbereitung umfasste die Entfernung organischer Bestandteile mit Hilfe von Natriumhypochloridlösung ( $\text{NaOCl}$ ) mit anschließendem dreimaligem Waschen, den Aufschluss mit Flusssäure ( $\text{HF}$ ), die Neutralisierung der Lösung mit Ammoniak sowie die Fällung von Silberphosphat-Kristallen ( $\text{Ag}_3\text{PO}_4$ ) durch die Zugabe von Silbernitratlösung. Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der getrockneten Proben wurden in Dreifachbestimmungen ermittelt. Das  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$  wurde mit einem TC-EA (High-Temperature Conversion-Elemental Analyzer) über glasartiges Kohlenstoff zu  $\text{CO}$  reduziert und mit einem Helium-Gasstrom durch eine gaschromatographische Säule in ein Gasmassenspektrometer (Isoprime) geleitet, in dem die O-Isotopenverhältnisse bestimmt wurden. Zur Kalibration auf den internationalen Standard VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) diente IVA-Silberphosphat mit einem zertifizierten  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von  $21,7\text{ ‰}$  (VSMOW). Die mit dem Probenmaterial aufbereiteten und analysierten laborinternen Standards ergaben: NBS 120c:  $22,3 \pm 0,3\text{ ‰}$  und  $22,1 \pm 0,1\text{ ‰}$  HA:  $17,6 \pm 0,2\text{ ‰}$  und  $17,9 \pm 0,3\text{ ‰}$  sowie SU-DAN:  $14,6 \pm 0,1\text{ ‰}$  und  $14,5 \pm 0,2\text{ ‰}$ .

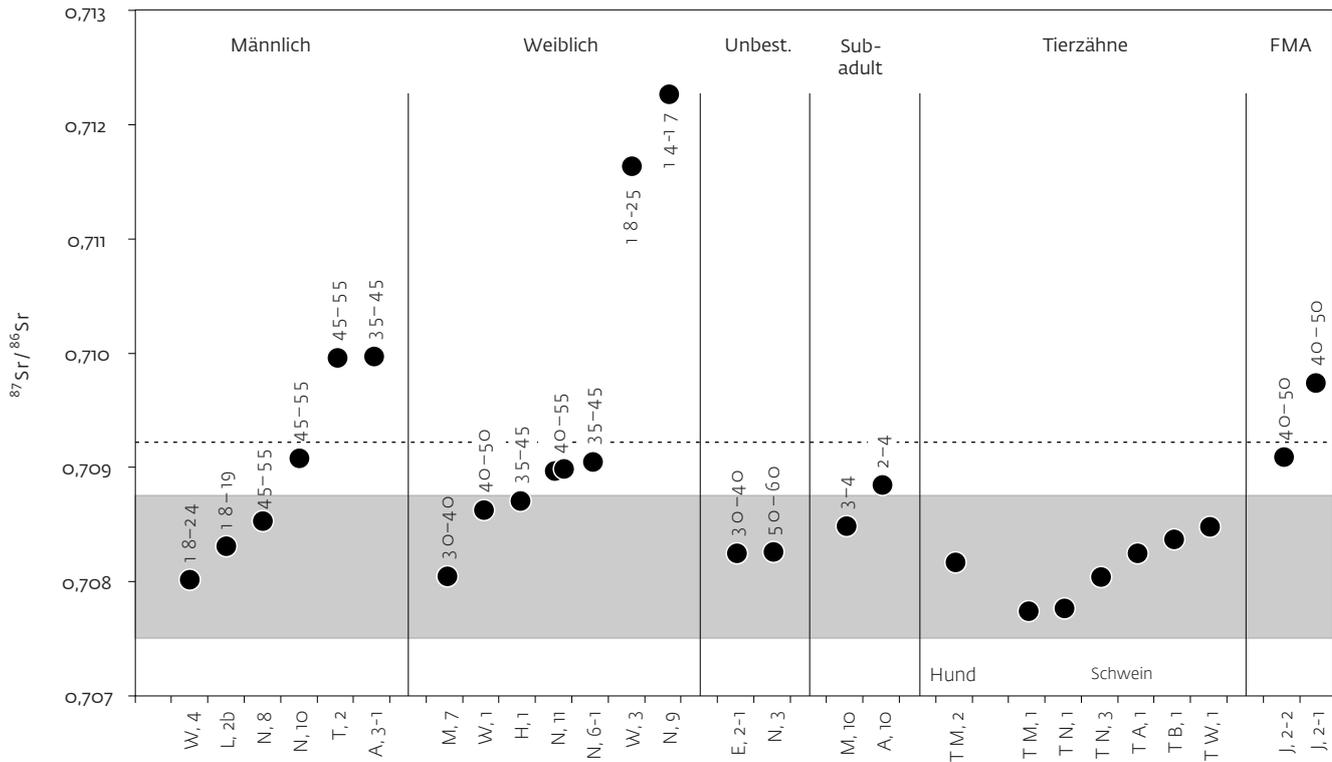
## Ergebnisse und Diskussion

### Strontium-Isotopendaten

Die  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der menschlichen Zahnschmelzproben aus Mauenheim liegen zwischen  $0,70802$  und  $0,71227$  und lassen drei Gruppen unterscheiden (Tab. 1, Abb. 1).

Dabei finden sich für die Mehrzahl der Individuen Sr-Isotopenverhältnisse zwischen  $0,70802$  und  $0,70909$ . In diese Gruppe gehören vier Männer (W, 4; L, 2b; N, 8; N, 10), fünf Frauen (M, 7; W, 1; H, 1; N, 11; N, 6)<sup>2</sup>, die beiden erwachsenen Individuen unbe-

2 Mit einem  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis von  $0,70909 \pm 0,00001$  ist die ins frühe Mittelalter datierende Frau J, 2-2 ebenfalls dieser Gruppe zuzurechnen.



1  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse von Zahnschmelz der hallstattzeitlichen Bestattungen aus der Hügelnekropole von Mauenheim sowie Tierzähnen aus den Gräbern. Der grau hinterlegte Bereich kennzeichnet die ortstypischen Sr-Isotopenverhältnisse basierend auf dem Mittelwert  $\pm$  zwei Standardabweichungen der Tierzähne. Die gestrichelte Linie orientiert sich an den Brüchen in der Verteilung der Isotopenverhältnisse der Menschenzähne. Individuen mit radiogeneren (höheren)  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnissen werden als ortsfremd gewertet (FMA = Frühmittelalter).

stimmten Geschlechts (E, 2-1, N, 3 [Schwertträger, archäologisch ein Mann]) sowie die beiden Kinder (M, 10; A, 10). Davon setzen sich die zwei erwachsenen Männer T, 2 (0,70996) und A, 3 (0,70997) ab.<sup>3</sup> Die radiogensten (höchsten)  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse finden sich im Zahnschmelz der 14-17-jährigen weiblichen Jugendlichen N, 9 (0,71227) und des erwachsenen weiblichen Individuums W, 3 (0,71164). Die im Vergleich zu den menschlichen Proben analysierten Schweinezähne zeigen  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopenverhältnisse zwischen 0,70774 und 0,70848. Innerhalb dieses Spektrums liegt auch der Messwert eines Hundezahns (0,70817).

Als Anhaltspunkt für die Variationsbreite der ortstypischen Sr-Isotopenverhältnisse wird in der Regel die Spanne aus den Vergleichsproben plus und minus zwei Standardabweichungen herangezogen. Legt man hier die tierischen Vergleichsproben zugrunde, so ergibt sich daraus ein Wertebereich zwischen 0,70749 und 0,70873. Innerhalb dieser Spannweite liegen die  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der männlichen In-

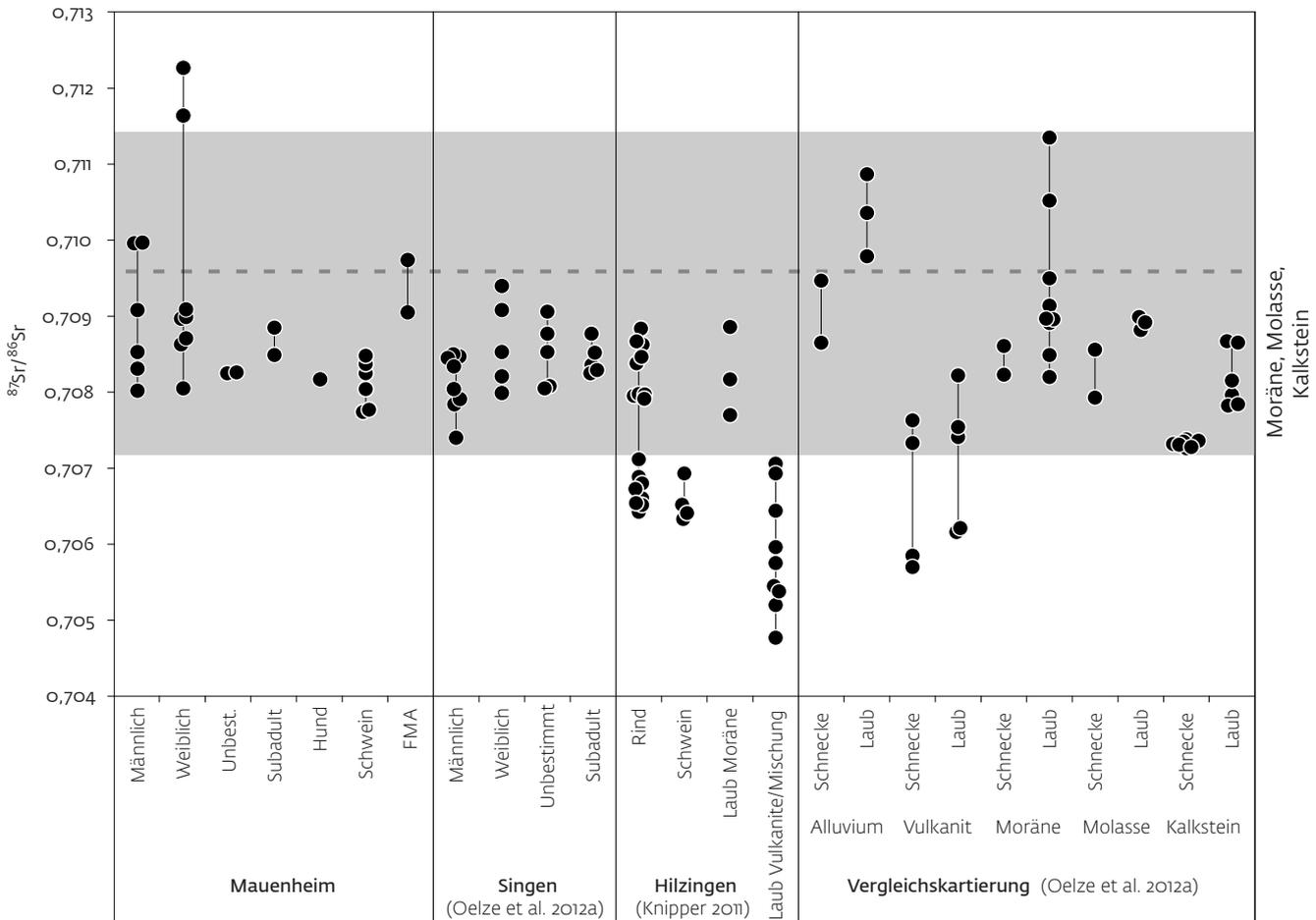
dividuen W, 4; L, 2b und N, 8, der weiblichen Individuen M, 7; W, 1 und H, 1, der beiden bezüglich ihres Geschlechts unbestimmten Erwachsenen E, 2-1 und N, 3 sowie des Kindes M, 10 (Abb. 1). Diese Individuen konsumierten während der Kindheit Nahrung aus einem geologisch ähnlichen Einzugsgebiet wie die zum Vergleich herangezogenen Schweine und der Hund. Dies macht eine Herkunft aus der näheren Umgebung von Mauenheim wahrscheinlich, wobei allerdings für jeden Einzelfall eine Herkunft von einem Ort, dessen Wirtschaftsland von geologisch ähnlichen Gesteinen geprägt ist, nicht auszuschließen ist.

Die  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse des Mannes N, 10, der Frauen N, 11 und N, 6-1 sowie des Kindes A, 10 liegen etwas oberhalb des anhand der Schweinezähne ermittelten Wertebereichs. Dabei zeigt die Datenverteilung keinen Bruch zu den Isotopenverhältnissen innerhalb dieser Spanne. Das nähere Umland der Fundstelle ist von den tertiären Ablagerungen der Jurana-gelflugh, verschiedenen Molassesedimenten, risseiszeitlichen Moränen sowie den Kalken

3 Der ins Frühmittelalter datierende Mann J, 2-1 ist mit einem  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis von 0,70974  $\pm$  0,00001 diesen beiden Individuen sehr ähnlich.

**Tabelle 1** Ergebnisse der Sr- und Sauerstoff-Isotopenanalysen an menschlichem Zahnschmelz sowie an Schweinezähnen und einem Hundezahn aus der Hügelnekropole von Mauenheim. Die Bezeichnung der Zähne folgt dem Zahnschema der Fédération Dentaire Internationale (FDI).

Probe	Spezies	Hügel/ Grab	Zahn	Geschlecht	Alter	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2 \text{ SD}$	$\delta^{18}\text{O}_p$ (‰ vs. V-SMOW)	$\pm 1 \text{ SD}$	Bemerkung
MAUE A, 3-1.2	Mensch	A, 3	Zahn 37	Männlich?	35-45	0,70997	0,00001	16,65	0,16	
MAUE A, 10.2	Mensch	A, 10	Zahn 36	n.b.	2-4	0,70885	0,00001	17,35	0,11	
MAUE E, 2-1.2	Mensch	E, 2-1	Zahn 27	n.b.	30-40	0,70825	0,00001	15,46	0,04	
MAUE H, 1.2	Mensch	H, 1	Zahn 44	Weiblich	35-45	0,70871	0,00001	16,10	0,47	
MAUE L, 2b.2	Mensch	L, 2b	Zahn 47	Männlich	18-19	0,70831	0,00001	16,67	0,29	
MAUE M, 7.2	Mensch	M, 7	Zahn 27	Weiblich	30-40	0,70805	0,00001	15,83	0,20	
MAUE M, 10.2	Mensch	M, 10	Zahn 36	n.b.	3-4	0,70849	0,00001	15,66	0,05	
MAUE N, 3.2	Mensch	N, 3	Zahn 37	n.b.	50-60	0,70826	0,00001	16,10	0,01	
MAUE N, 11.2	Mensch	N, 11	Zahn 47	Weiblich	40-55	0,70897	0,00001	16,44	0,25	Proben MAUE N, 11.2 und N, 4.2 stammen vom selben Individuum
MAUE N, 4.2	Mensch	N, 11	Zahn 27	Weiblich	40-55	0,70899	0,00001	15,98	0,25	Proben MAUE N, 11.2 und N, 4.2 stammen vom selben Individuum
MAUE N, 6-1.2	Mensch	N, 6-1	Zahn 37	Weiblich	35-45	0,70905	0,00001	15,11	0,26	
MAUE N, 8.2	Mensch	N, 8	Zahn 18	Männlich	45-55	0,70853	0,00001	15,59	0,17	
MAUE N, 9.2	Mensch	N, 9	Zahn 37	Weiblich	14-17	0,71227	0,00001	16,72	0,31	
MAUE N, 10.2	Mensch	N, 10	Zahn 47	Männlich	45-55	0,70908	0,00001	15,98	0,10	
MAUE T, 2.2	Mensch	T, 2	Zahn 17	Männlich	45-55	0,70996	0,00001	16,75	0,24	
MAUE W, 1.2	Mensch	W, 1	Zahn 47	Weiblich	40-50	0,70863	0,00001	16,85	0,26	
MAUE W, 3.2	Mensch	W, 3	Zahn 37	Weiblich	18-25	0,71164	0,00001	15,56	0,24	
MAUE W, 4.2	Mensch	W, 4	Zahn 27	Männlich	18-24	0,70802	0,00001	16,23	0,29	
<b>Frühmittelalter</b>										
MAUE J, 2-1.2	Mensch	J, 2-1	Zahn 37	Männlich	40-50	0,70974	0,00001	17,22	0,15	Datierung: 555-600 cal AD 1 SD
MAUE J, 2-2.2	Mensch	J, 2-2	Zahn 27	Weiblich	40-50	0,70909	0,00001	16,42	0,17	Datierung: 438-561 cal AD 1 SD
<b>Tiere</b>										
MAUE T A 1.2	Hausschwein	A, 1	M1 oder M2 oben (Zahnanlage)			0,70825	0,00001			
MAUE T B 1.2	Hausschwein	B, 1	M1 unten links (Zahnanlage)			0,70837	0,00001			
MAUE T M 1.2	Hausschwein	M, 1	M3 unten rechts			0,70774	0,00001			
MAUE T M 2.2	Haushund	M, 2	M1 unten rechts			0,70817	0,00001			
MAUE T N 1.2	Hausschwein	N, 1	M3 unten rechts			0,70777	0,00001			
MAUE T N 3.2	Hausschwein	N, 3	M2 unten rechts			0,70804	0,00001			
MAUE T W 1.2	Hausschwein	W, 1	M1 unten links			0,70848	0,00002			

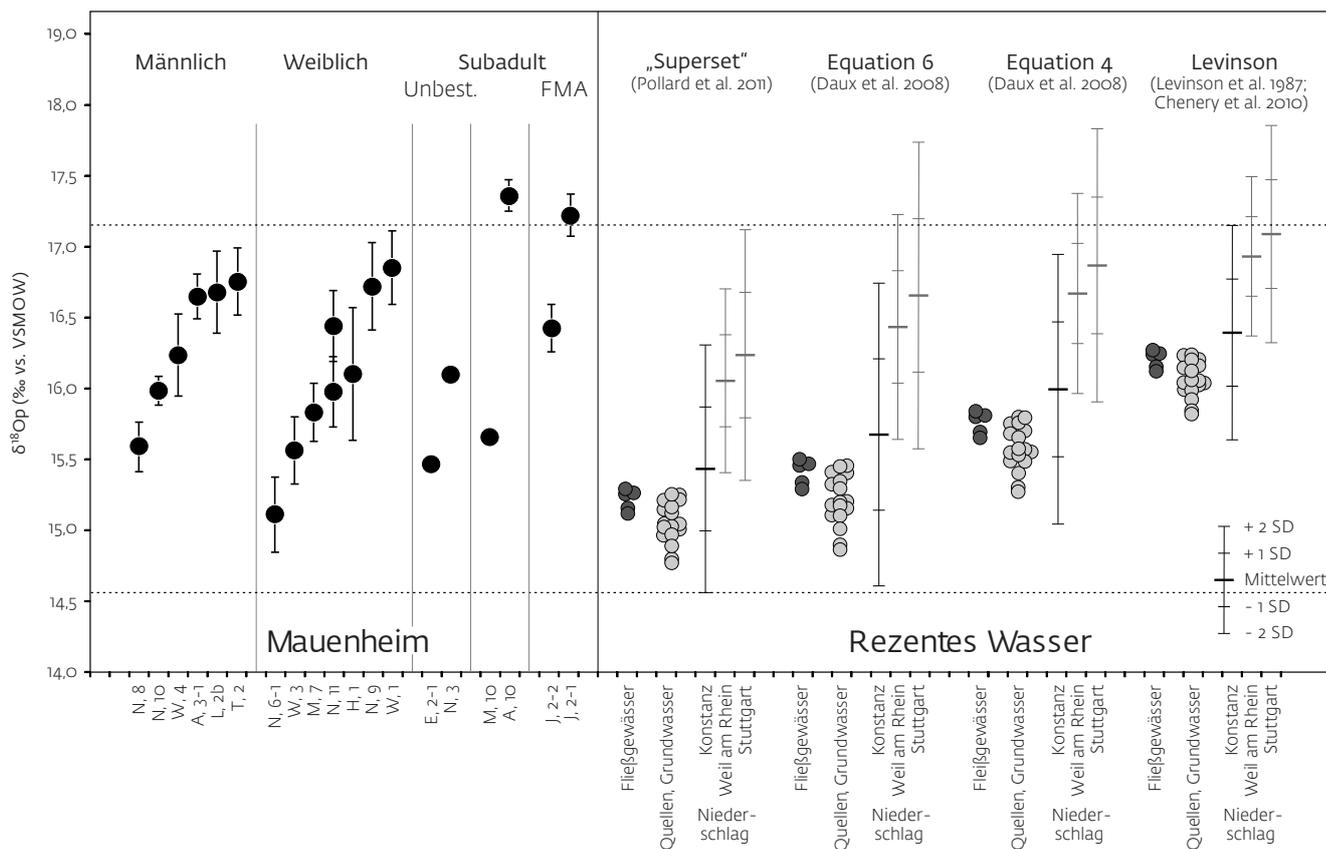


2  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse von Zahnschmelz der hallstattzeitlichen Bestattungen aus der Hügelnekropole von Mauenheim sowie Tierzähnen aus den Gräbern im Vergleich zu Analysedaten frühbronzezeitlicher Bestattungen aus Singen, von Tierzähnen aus der bandkeramischen Siedlung von Hilzingen sowie rezenten Laubproben und Molluskenschalen aus dem Hegau und Oberschwaben. Der grau hinterlegte Bereich kennzeichnet die für Standorte auf Moräne, Molasse und Kalkstein gefundene Datenstreuung. Die gestrichelte Linie markiert die Obergrenze der im näheren Umland von Mauenheim zu erwartenden Werte (FMA = Frühmittelalter).

des weißen Jura geprägt ([http://maps.lgrb-bw.de/Layer GÜK 300](http://maps.lgrb-bw.de/Layer_GÜK_300): Geologische Einheiten. Letzter Zugriff 03.04.2016; Wepfer 1962). Außerdem finden sich kleinere Vorkommen von Basalten bzw. Basaltuff. Aus dieser geologischen Variabilität ergibt sich die Möglichkeit, leicht unterschiedliche Standorte für den Anbau der menschlichen Nahrungspflanzen und die Futtergewinnung für die Hausschweine zu nutzen. Vor dem Hintergrund dieses landschaftlichen Kontexts sind die leicht oberhalb der Datenspanne der Schweinezähne liegenden  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Daten der Menschen nicht zwingend als Indikatoren einer Ortsfremdheit zu werten. Unterstrichen wird dies durch die gute Vergleichbarkeit der Daten mit Proben menschlicher Individuen aus dem frühbronzezeitlichen Gräberfeld von Singen/Hohentwiel „Nordstadterrasse“ (Oelze u. a. 2012b) und Rinderzähnen der linearbandkeramischen Siedlung von Hilzingen „Forsterbahnried“ beide Landkreis Konstanz, Baden-Württemberg

in ca. 20 km Entfernung im Hegau (Knipper 2011) (Abb. 2).

Die  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der Zähne der beiden in die Hallstattzeit datierenden Männer T, 2 und A, 3 und der männlichen Bestattung aus dem Frühmittelalter J, 2–1, sind radiogener als die Isotopenverhältnisse der menschlichen Zähne aus Singen, der Tierzähne aus Hilzingen sowie rezenten Vegetationsproben von Standorten auf Molassesedimenten und Kalksteinen (Oelze u. a. 2012b), wie sie auch im Umland von Mauenheim vorkommen. Lediglich einige Proben von Standorten auf Fluss- und Moränensedimenten aus dem weiteren Umland weisen zum Teil radiogenere  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte auf. Da diese Daten allerdings nicht zwingend auch repräsentativ für das unmittelbare Wirtschaftsland der Lebendgemeinschaft von Mauenheim sind, erweist sich eine Einschätzung der drei Individuen als ortsfremd durchaus als plausibel. Relativ sicher trifft dies für die weiblichen Individuen N, 9 und W, 3 zu, deren  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -



3 Sauerstoff-Isotopenverhältnisse von Zahnschmelz der hallstattzeitlichen Bestattungen aus der Hügelnekropole von Mauernheim und Vergleichsdaten aus dem Umland. Zum Vergleich wurden  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte aus Fließgewässern, Quellen und oberflächennahem Grundwasser (Pawellek 1995; Bertleff 1986; Köhler 1992) sowie die gewichteten Jahresmittelwerte des Niederschlagswassers aus Konstanz, Stuttgart und Weil am Rhein (IAEA 2006) mit Hilfe von vier Regressionsgleichungen in potenzielle  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von Zahnschmelz umgerechnet. Die gestrichelte Linie kennzeichnet die maximal daraus abzuleitende Variationsbreite für die Umgebung der Fundstelle (FMA = Frühmittelalter).

Werte über sämtlichen aus dem Hegau bekannten Vergleichsdaten liegen.

Von den 17 untersuchten Individuen der späten Hallstattzeit konnten anhand der Sr-Isotopenanalysen insgesamt vier Individuen, also 23,5 %, als ortsfremd herausgestellt werden.

#### Sauerstoff-Isotopendaten

Die Ergebnisse der Sauerstoff-Isotopenanalysen unterstreichen diejenigen der Sr-Isotopendaten. Die Messwerte variieren zwischen 15,1 und 17,4 ‰ vs. VSMOW (Tab. 1, Abb. 3).

Die Wertebereiche von männlichen, weiblichen und bezüglich ihres Geschlechts unbestimmten Individuen überlappen weitgehend und zeigen keine deutlichen Ausreißer. Den höchsten  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert (17,4 ‰) erbrachte der erste Dauermlar des Kindes A, 10. Allerdings ist hier aufgrund des Mineralisationszeitraums der beprobten Zahnkrone zwischen der Geburt und dem dritten Lebensjahr (AlQahtani u. a. 2010) mit einer Erhöhung des  $\delta^{18}\text{O}$ -Wertes um ca. 0,5 bis 1,0 ‰ durch den Einfluss von Muttermilch zu rechnen, die während der ersten Lebensphase die Flüssigkeitsversorgung

des menschlichen Organismus dominiert. Im Vergleich zu später mineralisierten Zahnkronen leicht erhöhte  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte sind daher in ersten Dauermolaren zu erwarten und nicht zwingend als Indikatoren einer ortsfremden Herkunft aus einer wärmeren oder küstennäher gelegenen Region zu werten.

Für eine Einschätzung der Sauerstoff-Isotopenverhältnisse im Zahnschmelz bezüglich einer möglicherweise regionsfremden Herkunft wird an dieser Stelle die isotopische Zusammensetzung von Niederschlagswasser sowie Wasser aus Fließgewässern, Quellen und Grundwasser aus der Region zum Vergleich herangezogen (Abb. 3). Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von Niederschlagswasser werden bereits seit einigen Jahrzehnten regelmäßig für ein weltweites Netz von Klimastationen bestimmt (IAEA 2006). Die Mauernheim am nächsten liegenden Stationen befinden sich in Konstanz, Weil am Rhein und Stuttgart. Außerdem stehen eine Reihe von Daten für Fließgewässer, Quellen und oberflächennahes Grundwasser zur Verfügung (Bertleff 1986; Köhler 1992; Pawellek 1995), wovon wir hier jeweils die Jahresmitteli

werte betrachten. Diese beruhen oftmals auf über mehrere Jahre hinweg durchgeführten monatlichen Analysen. Aufgrund von Fraktionierungsprozessen im menschlichen Körper sind die Sauerstoff-Isotopenverhältnisse des Wassers allerdings erst nach einem Umrechnungsschritt mit denjenigen des Zahnschmelzes vergleichbar. Dazu wurden mehrere lineare Regressionsgleichungen entwickelt, die aufgrund ihrer unterschiedlichen Steigungen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Für eine Einschätzung der Daten aus Mauenheim wird an dieser Stelle auf die Gleichungen 4 und 6 nach Daux u. a. 2008, die Gleichung für das „Superset“ nach Pollard u. a. 2011 und die Gleichung von Levinson u. a. 1987 mit einer Modifikation nach Chenery u. a. 2010 zurückgegriffen. Die Datenpunkte bzw. Wertespanspannen auf der rechten Seite in Abb. 3 verdeutlichen die Variationsbreite der  $\delta^{18}\text{O}_p$ -Werte, die jeweils im Zahnschmelz von Menschen zu erwarten ist, die das entsprechende Wasser während der Zahnbildung als Trinkwasser nutzten. Da alle vier Regressionsgleichungen auf einer fundierten Datengrundlage basieren, sollen sie hier gleichermaßen zur Auswertung herangezogen werden. Generell hat das Niederschlagswasser aus Konstanz ( $-9,6 \pm 0,8 \text{ ‰}$ ; betrachtet werden bezüglich der Niederschlagsmenge gewichtete Jahresmittelwerte) niedrigere  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte als dasjenige in Weil am Rhein ( $-8,4 \pm 0,6 \text{ ‰}$ ) und in Stuttgart ( $-8,1 \pm 0,8 \text{ ‰}$ ). Dies entspricht den überregionalen Trends räumlicher Unterschiede in Mitteleuropa. Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte des Grund-, Quell- und Oberflächenwassers aus dem Hegau und aus Oberschwaben (Bertleff 1986; Köhler 1992; Pawellek 1995) sind entgegen den Erwartungen jeweils niedriger als das langjährige gewichtete Mittel der Isotopenverhältnisse des Konstanzer Niederschlagswassers. Der Grund für diese Beobachtung ist an dieser Stelle nicht genauer zu benennen.

Als konservatives Kriterium für die Identifikation gebietsfremder Individuen soll hier das Niederschlagswasser der Messstation von Konstanz herangezogen und die regionstypische Variationsbreite als zwei Standardabweichungen vom Mittelwert betrachtet werden. Dabei ziehen wir für die Untergrenze den nach der Gleichung von Pollard u. a. 2011 ermittelten Wert ( $14,6 \text{ ‰}$ ) und als Obergrenze den nach der Gleichung von Levinson (1987) und Che-

Chenery u. a. (2010) ermittelten Wert ( $17,1 \text{ ‰}$ ) in Betracht. Höhere  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte außerhalb der genannten Spanne zeigt lediglich das Kleinkind A, 10.<sup>4</sup> Dasselbe Ergebnis liefert der ausschließliche Vergleich mit den nach den Gleichungen 4 und 6 nach Daux u. a. (2008) umgerechneten Isotopenverhältnissen des Wassers. Legt man dagegen die Umrechnung nach der Gleichung für das „Superset“ nach Pollard u. a. (2011) zugrunde, so liegen außer den genannten Individuen die Zahnschmelzdaten sieben weiterer Personen (A, 3; A, 10; L, 2b; N, 3; N, 11 [mit einem von zwei Analysewerten]; T, 2; W, 1) oberhalb der abgeschätzten regionstypischen Spanne. Die Verwendung der Gleichung nach Levinson u. a. (1987) und Chenery (2010) offenbart hingegen vier Individuen (E, 2-1; N, 8; N, 6-1; W, 3) mit  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten des Zahnschmelzes unterhalb der regionstypischen Spanne.

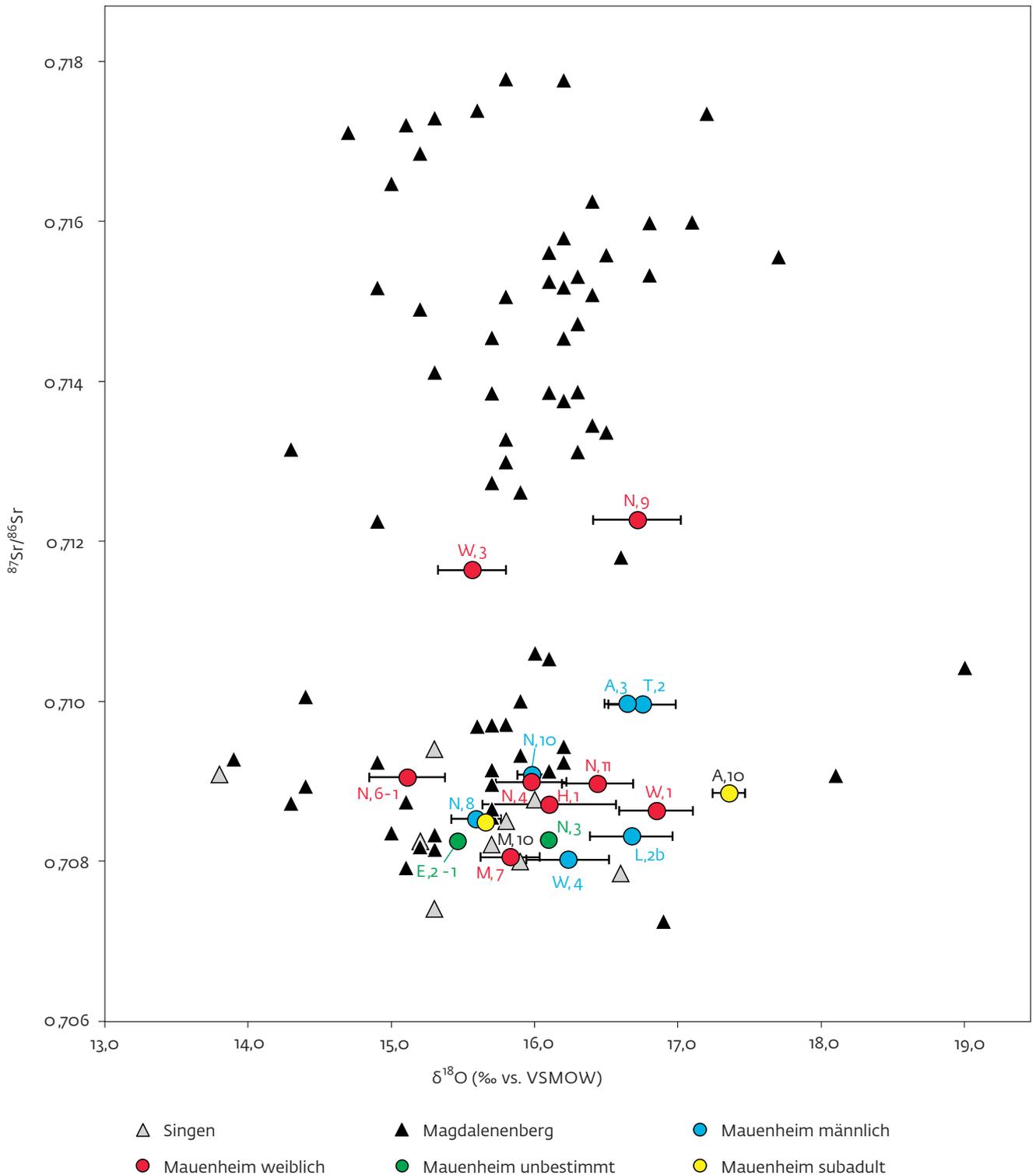
Da es sich insgesamt um ein Datenkontinuum handelt und die meisten der angewandten Gleichungen zu diesem Ergebnis führen, sind die Individuen der späten Hallstattzeit als regionstypisch einzuschätzen. Wie oben ausgeführt, ist der leicht erhöhte  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert des ersten Molaren des Kleinkinds A, 10 eher auf das frühkindliche Stillen mit Muttermilch als auf einen Ortswechsel zurückzuführen. Die Kohlenstoff- und Stickstoff-Isotopenverhältnisse des untersuchten Knochens lassen allerdings zum Todeszeitpunkt mit zwei bis vier Jahren kein sog. „Stillsignal“ mehr erkennen (s. unten).

### Verbindung von Strontium- und Sauerstoff-Isotopendaten

Weitere Informationen über die orts- bzw. regionsfremden Individuen erbringt die gemeinsame Betrachtung der  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - und  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte. Die beiden Individuen mit den radiogensten  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnissen (N, 9 und W, 3) sind bezüglich ihrer  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte unauffällig. Dies spricht für ein Aufwachsen in derselben klimatischen Region. Die beiden Individuen mit ähnlichen, leicht erhöhten  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werten (A, 3 und T, 2) zeigen auch zueinander sehr ähnliche  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte, die innerhalb der regionstypischen Variationsbreite liegen. Möglicherweise deutet dies auf eine gemeinsame Herkunft hin. Das  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis des Kindes A, 10, das den höchsten  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert erbrachte, liegt innerhalb der ortstypischen Vari-

4 Auch der  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von  $17,2 \text{ ‰}$  der Zahnprobe des ins Frühmittelalter datierten Mannes J, 2-1 liegt leicht oberhalb der genannten regionstypischen Spanne. Möglicherweise zeugt dies von einer Herkunft aus einer wärmeren oder küstennäheren Region. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Abweichung sehr gering ist und bestimmte Formen der Nahrungs- und Getränkezubereitung zur

Aufnahme von Wasser mit erhöhten  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten führen können, ohne dass dieses Wasser direkt aus dem Trinkwasser verfügbar ist (Brettell u. a. 2012). Das für den Zahn ermittelte, im Vergleich zu den ortstypischen Werten radiogenere  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis verdichtet allerdings die Hinweise auf ein ortsfremdes Individuum.

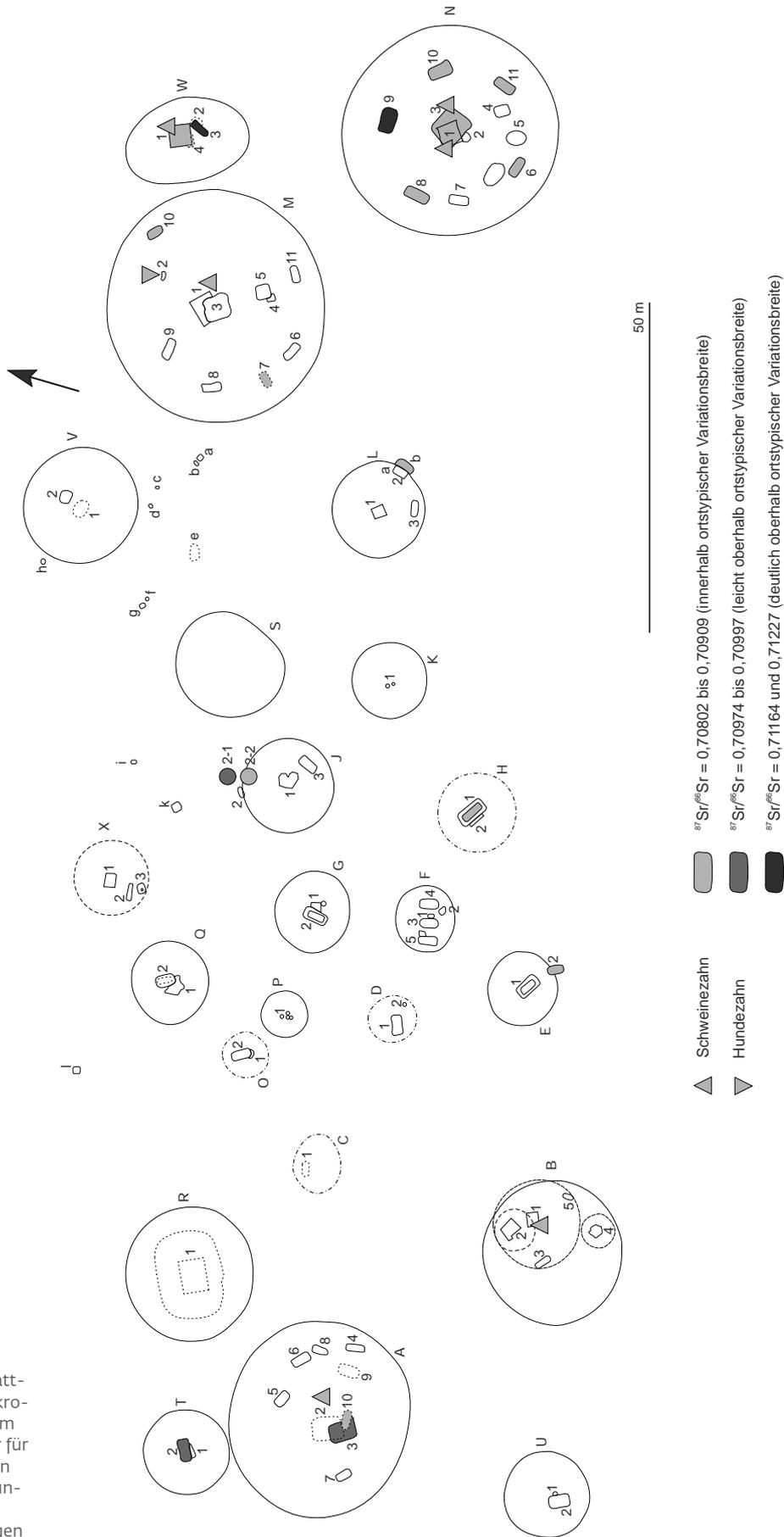


4 Sauerstoff- und Strontium-Isotopenverhältnisse von Zahnschmelz der hallstattzeitlichen Bestattungen aus der Hügelnekropole von Mauenheim im Vergleich zu Analysedaten von Individuen aus dem Magdalenenberg bei Villingen und frühbronzezeitlichen Bestattungen aus Singen. (Vergleichsdaten: Oelze u. a. 2012a; Oelze u. a. 2012b).

ationsbreite. Dies unterstreicht den möglichen Einfluss der Aufnahme von Muttermilch auf den  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert des Kindes.

Im regionalen Kontext bietet sich ein Vergleich der Analysewerte für die hallstattzeitlichen Gräber von Mauenheim mit den Daten-

sätzen aus dem frühbronzezeitlichen Gräberfeld von Singen (Oelze u. a. 2012b) und den hallstattzeitlichen Gräbern vom Magdalenenberg bei Villingen-Schwenningen, Schwarzwald-Baar-Kreis, Baden-Württemberg (Oelze u. a. 2012a) an. Abb. 4 zeigt eine weitgehende



5 Plan der späthallstattzeitlichen Hügelnecropole von Mauenheim mit Markierung der für Sr-Isotopenanalysen beprobten Bestattungen und Tierzähne. Die Graustufen zeigen die Wertebereiche der Sr-Isotopendaten.

Überlappung der Sr- und O-Isotopendaten der Bestattungen von Mauenheim mit denjenigen der Gräber von Singen und einer Gruppe von Individuen mit weniger radiogenen  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnissen vom Magdalenenberg (Gruppe Hegau – Keuper/Braunjura; [Oelze u. a. 2012a, Fig. 5]).

Dies verdeutlicht die generell gute Übereinstimmung der Isotopendaten der Individuen von Mauenheim mit den regionstypischen Isotopenverhältnissen. Dies gilt insbesondere in Anbetracht der Messfehler und der von Oelze u. a. (2012b) und Oelze u. a. (2012a) durchgeführte Normierung auf den mitpräparierten NBS 120c = 21,7 ‰, was im Fall von Mauenheim nicht durchgeführt wurde, da die Normierung hier auf den mit den Proben gemessenen IVA-Standard erfolgte.<sup>5</sup> Die Isotopendaten der in Mauenheim als ortsfremd identifizierten Individuen (W, 3 und N, 9) fügen sich ebenfalls in das Datenspektrum der Individuen vom Magdalenenberg ein. Diese belegen gerade für den Schwarzwaldrand den Eintrag vergleichsweise radiogenen Strontiums in die Nahrungskette. In Kombination mit den ebenfalls gut übereinstimmenden  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten kann der Schwarzwaldrand als eine mögliche Herkunftsregion der ortsfremden Individuen erscheinen. Er ist auch unter rein geochemischen Gesichtspunkten die nächstmögliche Herkunftsregion. Dabei ist zu betonen, dass derartig radiogene Sr-Isotopenverhältnisse nicht auf den Schwarzwald beschränkt sind, sondern es weitere von Sandsteinen oder Grundgebirge geprägte Mittelgebirgslagen, wie z. B. in den Vogesen, im Odenwald oder auch im Bayerischen Wald mit ähnlichen Isotopenverhältnissen des biologisch verfügbaren Strontiums gibt (Bentley/Knipper 2005). Außer den Mittelgebirgslagen konnten kürzlich auch die durch eiszeitliche Geschiebe skandinavischen Ursprungs geprägten Regionen Mitteldeutschlands als Gebiete mit sehr radiogenem biologisch verfügbarem Strontium herausgestellt werden (Knipper u. a. 2016a).

Verbindungen in den Schwarzwald sind für die beiden in Hügeln am Ostrand des Mauenheimer Grabhügelfeldes bestatteten Individuen W, 3 und N, 9 (Abb. 5) auch aus archäologischer Sicht erkennbar (vgl. Löhlein u. a. in diesem Band).

Vor allem der Bronzehalsring der jugendlichen weiblichen Person in Grab N, 9 und die beiden Tonnenarmbänder in Grab W, 3 finden gute Parallelen in Frauengräbern des Magdalenenbergs. Dass es sich bei beiden Individuen um Frauen handelt, mag von engen Austauschbeziehungen zwischen gleichzeitigen benach-

barten Siedlungsgemeinschaften und exogenen Residenzregeln zeugen.

Die anderen beiden Individuen mit Hinweisen auf eine ortsfremde Herkunft (A, 3 und T, 2) liegen ebenfalls vergleichsweise nahe beieinander in Hügeln am westlichen Rand des Grabhügelfeldes (Abb. 5). Die Beigaben der Frau in Grab A, 3 sind charakteristisch für den Westhallstattkreis und bezüglich einer genaueren Herkunft unspezifisch. Hinsichtlich des Mannes T, 2 mit ähnlichen Isotopenverhältnissen scheinen die Hocklage und die Orientierung des Toten innerhalb des Gräberfeldes ungewöhnlich und könnten evtl. mit seiner ortsfremden Herkunft in Zusammenhang stehen.

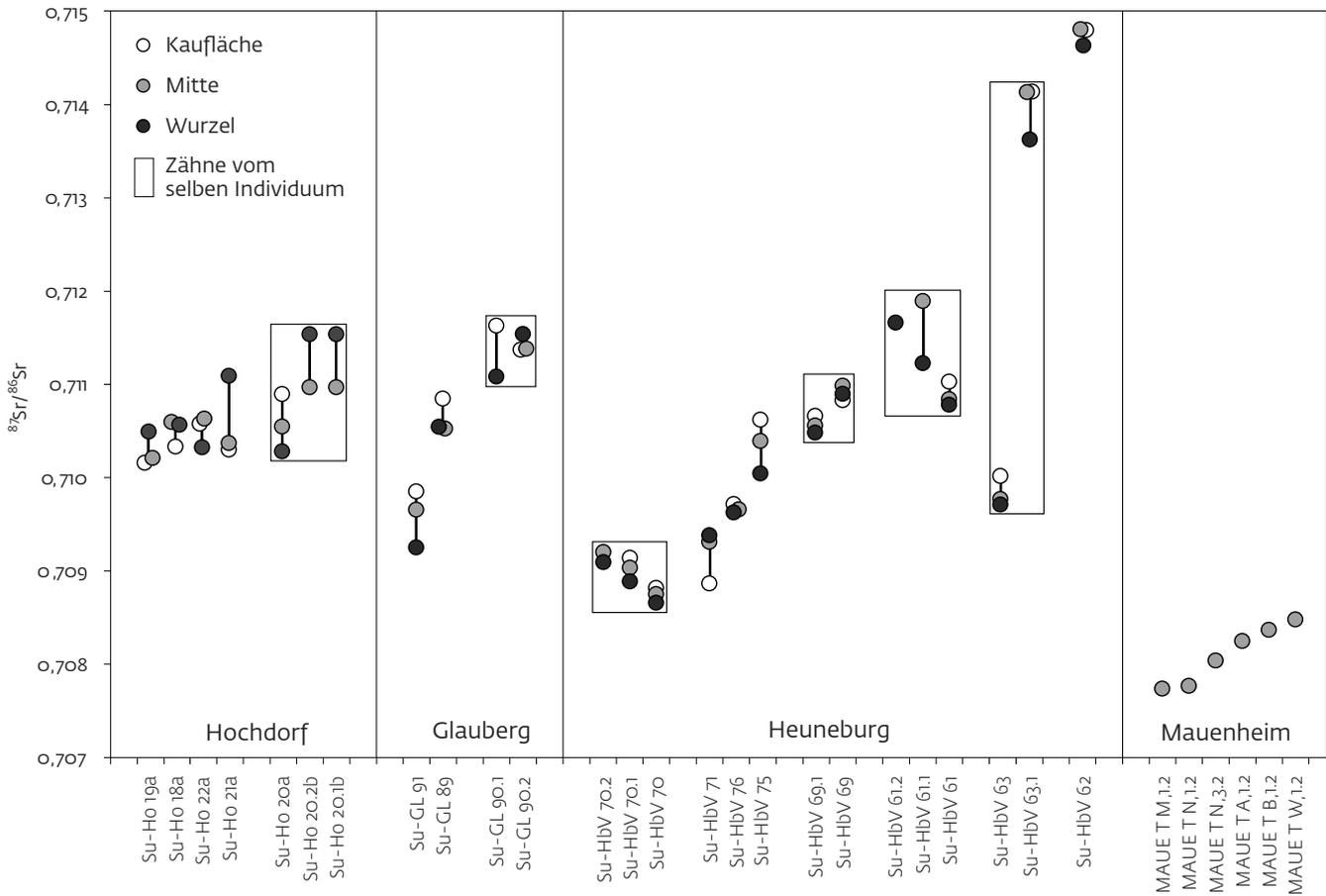
### Implikationen zur Tierhaltung

Im Rahmen des Schwerpunktprogramms der Deutschen Forschungsgemeinschaft SPP 1171 (Frühe Zentralisierungs- und Urbanisierungsprozesse – Zur Genese und Entwicklung „frühkeltischer Fürstentümer“ und ihres territorialen Umlandes) wurden die Faunenreste mehrerer späthallstatt- und frühlatènezeitlicher Zentralsiedlungen umfassend archäozoologisch untersucht (Fischer u. a. 2010). Dazu zählten auch Strontium-Isotopenanalysen an Tierzähnen aus Eberdingen-Hochdorf, Kr. Ludwigsburg, Baden-Württemberg von der Heuneburg bei Herbertingen-Hundersingen, Kr. Sigmaringen, Baden-Württemberg, vom Glauberg, Wetteraukreis, Hessen und vom Ipf bei Bopfingen, Ostalbkreis, Baden-Württemberg (Knipper u. a. 2014; Stephan 2009; Stephan u. a. 2012). Die oft sehr variablen Analysedaten sind Zeugen überregionaler Kontakte der Bevölkerung der Zentralorte und einer extensiven Wirtschaftsweise, die auch für den Anbau von Kulturpflanzen weniger gut geeignete Flächen in den Mittelgebirgslagen einschloss. Insbesondere für die Heuneburg und auch für den Glauberg zeigen die Sr-Isotopendaten ein weites Spektrum, was darauf hinweist, dass es sich jeweils nicht nur um Tiere aus dem näheren Umland der jeweiligen Zentralorte handelt (Abb. 6).

Für kleinere Fundplätze jenseits der Zentralorte fehlen derartige Untersuchungen bislang, sodass die analysierten Schweinezähne aus Mauenheim hier erste Anhaltspunkte geben. Die weitaus geringere Variabilität ihrer Sr-Isotopendaten und die Übereinstimmung mit anderen Vergleichswerten aus der Region spricht für eine Haltung bzw. Versorgung dieser Tiere im näheren Umfeld der Fundstelle. Die Mehrzahl der Proben wurde von Jungtierzähnen gewonnen. Auch wenn hier vielleicht

5 Im Gegensatz zu den Daten aus Singen und dem Magdalenenberg wurden die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte für Mauenheim nicht auf  $\delta^{18}\text{O} = 21,7$  ‰ für den mit den

Proben präparierten und gemessenen Standard NBS 120c normiert. Eine solche Korrektur würde die Werte von Mauenheim um ca. 0,5 ‰ reduzieren.



6 Strontium-Isotopenverhältnisse der Schweinezähne aus Mauenheim im Vergleich zu Analysedaten aus Hochdorf, vom Glauberg und von der Heuneburg Vorbürg (Phasen Ha D1 und Ha D3). Die Zähne der Vergleichsfundstellen wurden jeweils nahe der Kauffläche, auf halber Höhe der Zahnkrone und in Wurzelnähe beprobt. (Vergleichsdaten: Stephan u. a. 2012; Knipper u. a. 2014; Stephan 2009).

mit einem generell niedrigeren Mobilitätsradius als bei erwachsenen Tieren zu rechnen ist, hätten in einem entsprechenden Netzwerk von Beziehungen auch Jungtiere aus einem weiteren Umfeld importiert werden können. Die vorliegenden Daten stehen daher mit einer durch zahlreiche andere archäologische Anhaltspunkte belegten Hierarchisierung späthallstattzeitlicher Siedlungen in Einklang. Zur Abschätzung der Tragweite dieses Ergebnisses bedarf es jedoch weiterer Untersuchungen im Kontext kleinerer, ländlicher Fundstellen, die nicht nur Schweine, sondern auch andere Haustierarten einschließen.

## UNTERSUCHUNGEN ZUR ERNÄHRUNG

Die leichten stabilen Isotope von Stickstoff und Kohlenstoff im Knochenkollagen der Be-

stattungen von Mauenheim geben Aufschluss über das Nahrungsverhalten der hallstattzeitlichen Gruppe. Zielsetzungen der Untersuchung waren die grobe Charakterisierung der Nahrungszusammensetzung sowie die Evaluierung gruppeninterner Unterscheide bezüglich des Alters, Geschlechts und eventueller durch die Grabbeigaben angezeigter sozialer Differenzen.

## Methodische Grundlagen von Stickstoff- und Kohlenstoff-Isotopenanalysen

Bei der Kohlenstoff (C)- und Stickstoff (N)-Isotopenanalyse werden die Verhältnisse der stabilen Isotope  $^{13}\text{C}$  zu  $^{12}\text{C}$  und  $^{15}\text{N}$  zu  $^{14}\text{N}$  des Knochenkollagens ermittelt. Die Darstellung erfolgt als  $\delta$ -Wert, der die Abweichung des Analysewertes der Probe vom Isotopenverhältnis eines Standards in Promille (‰) angibt<sup>6</sup>. Die C-Isotopenverhältnisse beziehen sich auf den

6 Die Berechnung erfolgt nach folgender Gleichung:  

$$\delta (\text{‰}) = \left[ \left( \frac{R_{\text{Probe}}}{R_{\text{Standard}}} \right) - 1 \right] \times 1000$$
 [R = Ratio (Verhältnis)].

Karbonatstandard VPDB (Belemnite aus der Pee-Dee-Formation in South Carolina) und die N-Isotopenverhältnisse auf die Isotopenverhältnisse des Stickstoffs in der Luft (AIR).

Die Unterscheidung verschiedener Nahrungsmittel mit Hilfe von stabilen Isotopenverhältnissen beruht auf Isotopenfraktionierung (Fry 2006). Die unterschiedlichen Massen und kinetischen Eigenschaften der einzelnen Isotope bewirken Veränderungen der isotopischen Zusammensetzung eines Stoffs bei chemischen Reaktionen oder beim Stofftransport. Von zentraler Bedeutung für die Ernährungsrekonstruktion ist die unterschiedlich starke Fraktionierung der Kohlenstoffisotope während der Photosynthese von C<sub>3</sub>- und C<sub>4</sub>-Pflanzen (Ambrose 1993; Katzenberg 2000). Zu den C<sub>3</sub>-Pflanzen gehören die meisten Kulturpflanzen Mitteleuropas, darunter fast alle Getreide, während die Hirse die einzige nahrungsrelevante C<sub>4</sub>-Pflanze im vorgeschichtlichen Mitteleuropa ist (Hakenbeck u. a. 2010). Geringe Variationen der  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte innerhalb des C<sub>3</sub>-Pflanzen-Spektrums gehen auf die jeweiligen Standortbedingungen zurück. Dazu zählen der „*canopy effect*“, der bei am Waldboden wachsenden Pflanzen niedrigere  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte als bei Pflanzen im Offenland bewirkt (Drucker u. a. 2008; van der Merwe/Medina 1991) oder ähnliche Effekte in pflanzlichem Gewebe an Standorten mit höheren Niederschlagsmengen und Feuchtigkeit (Kohn 2010).

Auch bei der Übertragung der Nährstoffe innerhalb von Nahrungsketten kommt es zur Isotopenfraktionierung („*trophic level effect*“). Sie fällt für Kohlenstoff mit einer Differenz von ca. 5 ‰ zwischen den Nahrungspflanzen und dem Kollagen des Erstkonsumenten und daraufhin 0 bis 2 ‰ zwischen dem Kollagen von zwei benachbarten Gliedern einer Nahrungskette (Bocherens/Drucker 2003) geringer aus als bei der Stickstoffisotopie, wo der Trophiestufen-Unterschied jeweils ca. 3 bis 5 ‰ (Hedges/Reynard 2007) beträgt. Rezente Studien legen für den Menschen sogar eine Differenz von 6 ‰ zwischen seiner Nahrung und seinen Körpergeweben nahe (O’Connell u. a. 2012). Außerdem bewirkt die anthropogene Veränderung des Bodens durch Düngung eine Anreicherung schwerer Isotope, die sich in Form erhöhter  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in der Nahrungskette fortsetzt (Bogaard u. a. 2007; Fraser u. a. 2011). Vor allem der Trophiestufeneffekt der  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte ist der Schlüssel zur Abschätzung des Anteils tierischer Nahrungskomponenten, wobei die diesbezüglichen Aussagen möglichst durch Vergleichsanalysen an Knochen von Fauna verschiedener Trophiestufen und an botanischen Makroresten der potenziellen landwirtschaftlichen Nutzflächen zu eichen sind (Fraser u. a. 2011; Lightfoot/Stevens 2012).

## Probenmaterial

Für die Stickstoff- und Kohlenstoff-Isotopenanalysen wurde Kollagen aus 23 Proben der hallstattzeitlichen Bestattungen von Mauenheim sowie der beiden frühmittelalterlichen Individuen extrahiert. Der zum Teil schlechte Erhaltungszustand des Skelettmaterials verhinderte eine nach Skelettelement einheitliche Auswahl, sodass Rippen, verschiedene Langknochen und auch Schädelteile herangezogen wurden. Die von den einzelnen Individuen analysierten Proben sind in Tab. 2 aufgelistet.

Neben den menschlichen Skelettresten schloss die Beprobung elf Tierknochen ein (Tab. 3). Darunter sind zwei Rinder, ein Schaf/Ziege, ein Schaf, ein Hund und sechs Schweine. Sie alle stammen aus den Hügeln, in denen die Menschen ihre letzte Ruhe fanden und können in den meisten Fällen auch einzelnen Gräbern zugeordnet werden. Im Falle der Schweine und des Hundes stammen die Knochen von vollständigen Skeletten. In einigen Fällen handelt es sich um Jungtiere (Vgl. Beitrag E. Stephan in diesem Band).

## Aufbereitung und Analyse

Die Aufbereitung der Knochenproben für C- und N-Isotopenanalysen erfolgte nach der erstmals von Longin (1971) beschriebenen und nach Knipper (2014; Knipper u. a. 2013) modifizierten Methode. Die Proben wurden mit diamantbeschichtetem Dentalwerkzeug portioniert und die Oberfläche und spongiöse Bereiche abgefräst. Über einen Zeitraum von ca. zwei Wochen erfolgte die Demineralisation in ca. 10 ml 0,5 N Salzsäure (HCL) zunächst bei 4°C und nach einigen Tagen bei Zimmertemperatur mit einem Säurewechsel nach einer Woche. Nach fünfmaligem Spülen mit Reinstwasser bis zur Neutralität wurden die Proben für einen Tag ebenfalls im Kühlschrank in 0,1 M Natriumhydroxid (NaOH) eingelegt, um während der Bodenlagerung eingedrungene Huminsäuren zu lösen. Daran schloss sich ein erneutes Neutralisieren durch mindestens fünfmaliges Spülen an. Anschließend wurden die Proben in 4 ml Reinstwasser, das mit Hilfe einiger Tropfen HCL auf pH 3 angesäuert wurde, über 48 h bei 70°C geschmolzen. Ezee-Filter<sup>TM</sup> (Firma Elkay; Porengröße ca. 60–90 µm) ermöglichten die Abtrennung unlöslicher Bestandteile (Müldner/Richards 2005), woraufhin die Proben tiefgefroren und anschließend über 48 h gefriergetrocknet wurden. Auf Ultrafiltration wurde aufgrund des damit verbundenen Materialverlustes bei geringem Einfluss auf das Analyseergebnis verzichtet (Jørkov u. a. 2007; Sealy u. a. 2014). Die Bestimmung der C- und N-Gehalte sowie der Isotopenzusammensetzung erfolgte in Triplikaten mit einem Thermo Flash 2000 Orga-

**Tabelle 2** Ergebnisse der C- und N-Isotopenanalysen an Knochenkollagen der menschlichen Bestattungen aus Mauenheim.

Probe	Hügel, Grab	Geschlecht	Alter	Skelettelement	Kollagen-gehalt %	C %	N %	C/N atom	$\delta^{13}\text{C}$ (‰ vs. V-PDB)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰ vs. AIR)	Bemerkung
MAUE a.1	Flachgrab a	n.b.	Fötus/Neugeborenes	unbestimmtes Fragment	2,6	36,2	12,0	3,5	-19,5	10,3	
MAUE e.1	Flachgrab e	n.b.	erwachsen	Femur rechts	18,1	36,8	13,9	3,1	-19,5	9,7	
MAUE A, 2.1	A, 2	Männlich?	erwachsen	Tibia rechts	19,7	43,6	16,4	3,1	-18,7	10,0	
MAUE A, 3.1	A, 3-1	Männlich?	35-45	Tibia oder Femur	22,6	43,9	16,5	3,1	-19,3	9,3	
MAUE A, 10.1	A, 10	n.b.	2-4	Kalottenfragment	6,3	42,3	15,0	3,3	-20,0	8,3	
MAUE H, 1.1	H, 1	Weiblich	35-45	Tibia?	16,0	37,7	13,8	3,2	-19,0	8,9	
MAUE L, 2b.1	L, 2b	Männlich	18-19	Tibia rechts	13,1	40,6	14,9	3,2	-19,5	8,7	
MAUE M, 3.1	M, 3	Weiblich	40-50	Costa	21,8	44,6	16,5	3,2	-19,6	10,4	
MAUE M, 7.1	M, 7	Weiblich	30-40	Costa	20,3	43,9	16,3	3,1	-19,5	9,5	
MAUE M, 10.1	M, 10	n.b.	3-4	Femur links	16,7	42,7	15,8	3,1	-19,1	10,9	
MAUE M, 11.1	M, 11	Weiblich	20-60	Femur rechts	15,4	41,3	15,4	3,1	-19,5	9,3	
MAUE N, 3.1	N, 3	n.b.	50-60	Costa	19,6	43,6	16,2	3,1	-19,1	10,9	
MAUE N, 6-1.1	N, 6-1	Weiblich	35-45	Costa	21,6	44,1	16,4	3,1	-19,8	9,3	
MAUE N, 6-2.1	N, 6-2	Männlich	erwachsen	Femur rechts	15,3	42,0	15,6	3,1	-19,6	9,2	
MAUE N, 8.1	N, 8	Männlich	45-55	Costa	17,0	42,9	16,0	3,1	-19,4	9,4	
MAUE N, 9.1	N, 9	Weiblich	14-17	Costa	15,4	44,6	16,7	3,1	-19,7	9,5	
MAUE N, 10.1	N, 10	Männlich	45-55	Costa	16,3	44,5	16,7	3,1	-19,1	11,8	
MAUE N, 11.1	N, 11	Weiblich	40-55	Femur links	15,0	43,3	16,2	3,1	-19,5	12,8	
MAUE T, 1.1	T, 1	Weiblich?	erwachsen	Humerus links	22,2	43,9	16,5	3,1	-18,6	10,3	
MAUE T, 2.1	T, 2	Männlich	45-55	Costa	0,4	--	--	--	--	--	zu wenig Kollagen für Analyse
MAUE W, 1.1	W, 1	Weiblich	40-50	Costa	21,4	43,5	15,9	3,2	-19,3	9,5	
MAUE W, 3.1	W, 3	Weiblich	18-25	Tibia links	14,6	43,6	16,0	3,2	-20,2	9,1	
MAUE W, 4.1	W, 4	Männlich	18-24	Femur links	12,1	38,6	13,8	3,3	-19,2	8,3	
<b>Frühmittelalter</b>											
MAUE J, 2-1.1	J, 2-1	Männlich	40-50	Fibula rechts	5,9	29,6	10,5	3,3	-19,4	9,1	
MAUE J, 2-2.1	J, 2-2	Weiblich	40-50	Mandibula	16,0	43,9	16,1	3,2	-20,2	10,4	

nic Elemental Analyzer und einem Thermo Finnigan Mat 253 Massenspektrometer. Die Rohdaten der Isotopenverhältnisse wurden auf die internationalen Standards USGS 40 und USGS 41 normiert (Zweipunktnormierung; Paul u. a. 2007). Der analytische Fehler ( $1\sigma$ ) beträgt  $\pm 0,3\text{‰}$  für  $\delta^{13}\text{C}$  und  $\pm 0,2\text{‰}$  für  $\delta^{15}\text{N}$  bestimmt über die Standards USGS 40 und 41 ( $n = 48$ ) und IVAB2157 Wheat flour ( $n = 9$ ).

## Ergebnisse

### Kollagenqualität

Von den 23 beprobten hallstattzeitlichen Bestattungen aus Mauenheim konnte von 22 erfolgreich Kollagen extrahiert werden (Tab. 2), während die Probe des Individuums T, 2 kein

analysierbares Kollagen enthielt.<sup>7</sup> Für die 22 analysierbaren Individuen schwankte die Kollagenausbeute zwischen 2,6 und 22,6 % (Mittelwert  $16,5 \pm 5,0\%$ ), während die Kohlenstoff-Gehalte zwischen 36,2 und 44,6 % (Mittelwert  $42,2 \pm 2,3\%$ ) und die Stickstoff-Gehalte zwischen 12,0 und 16,7 % (Mittelwert  $15,6 \pm 1,2\%$ ) lagen. Die atomaren C/N-Verhältnisse variierten zwischen 3,16 und 3,51 mit einem Mittelwert von  $3,16 \pm 0,09$ . Alle diese Proben erfüllten die Qualitätskriterien für sehr gut erhaltenes archäologisches Kollagen (Klinken 1999; Nehlich/Richards 2009). Lediglich für das Kollagenextrakt aus der Probe des Neugeborenen bzw. Fötus in Flachgrab a (MAUE a.1) deuten die innerhalb der Studie niedrigste Aus-

<sup>7</sup> Die beiden frühmittelalterlichen Individuen (J, 2-1 und J, 2-2) erbrachten ebenfalls gut erhaltenes Kollagen, das alle Qualitätskriterien erfüllte.

**Tabelle 3** Ergebnisse der C- und N-Isotopenanalysen an Knochenkollagen der tierischen Vergleichsproben aus Mauenheim.

Probe	Hügel/Grab	Spezies	Geschlecht	Alter	Skelett- element	Kollagen- gehalt %	C%	N%	C/N atom	$\delta^{13}\text{C}$ (‰ vs. V-PDB)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰ vs. AIR)
MAUE T A, 1.1	Hügel A, Zentralgrab; Fund 2447	Schwein		< 1 a	Rippe	15,2	41,9	15,2	3,2	-20,3	5,7
MAUE T A, 3.1	Hügel A, Grab 3	Schaf/ Ziege		juvenil	Radius	16,4	43,2	16,0	3,1	-21,3	6,1
MAUE T A, ?1	Hügel A Fund 2403	Rind		subadult-adult	Tibia rechts	6,3	42,0	15,2	3,2	-20,9	5,8
MAUE T B, 1.1	Hügel B, Grab 1; Fund 221	Schwein		ca. 6 Monate	Tibia links	14,6	43,1	15,4	3,3	-20,3	8,8
MAUE T J, 1.1	Hügel J, Grab 1	Schaf/ Ziege		infantil-juvenil	Humerus	12,9	42,8	15,1	3,3	-21,2	6,2
MAUE T M, 1.1	Hügel M, Grab 1; Fund 6008	Schwein	männlich	18-20 Monate	Mandibula	9,9	42,7	15,4	3,2	-21,2	5,9
MAUE T M, 2.1	Hügel M, Be- fund 2; Fund 5913	Hund		13-15/18 Monate	Mandibula	12,4	43,0	15,8	3,2	-19,8	8,5
MAUE T N, 1.1	Hügel N, Grab 1	Schwein	weiblich	2,5-3,5 Jahre	Mandibula	15,4	36,7	13,3	3,2	-21,1	6,2
MAUE T N, 3.1	Hügel N, Grab 3	Schwein	weiblich	ca. 1,5 Jahre	Mandibula	13,6	43,5	15,8	3,2	-20,8	6,8
MAUE T W, 1.1	Hügel W, Grab 1	Schwein	weiblich(?)	8-10/12 Monate	Mandibula	9,3	42,4	15,3	3,2	-21,1	7,4
MAUE T 69, 3.1	Fundstelle 69,3	Rind			Radius rechts	16,2	44,7	16,5	3,2	-20,8	4,7

beute (2,6 %) und der niedrigste N-Gehalt (12,0 %) bei gleichzeitig höchstem C/N-Verhältnis (3,5)<sup>8</sup> auf eine bereits etwas weiter fortgeschrittene Degradierung hin. Die elf Tierknochen erfüllten ebenfalls die Qualitätskriterien für gut erhaltenes Kollagen (Tab. 3). Die Kollagengehalte lagen zwischen 6,3 und 16,4 % (Mittelwert  $12,9 \pm 3,2$  %), die Kohlenstoffgehalte zwischen 36,7 und 44,7 % (Mittelwert  $42,4 \pm 2,0$  %), die Stickstoff-Gehalte zwischen 13,3 und 16,5 % (Mittelwert  $15,4 \pm 0,8$  %) und die atomaren C/N-Verhältnisse zwischen 3,14 und 3,32 % (Mittelwert  $3,22 \pm 0,05$  %).

#### Delta<sup>13</sup>C und $\delta^{15}\text{N}$ -Werte

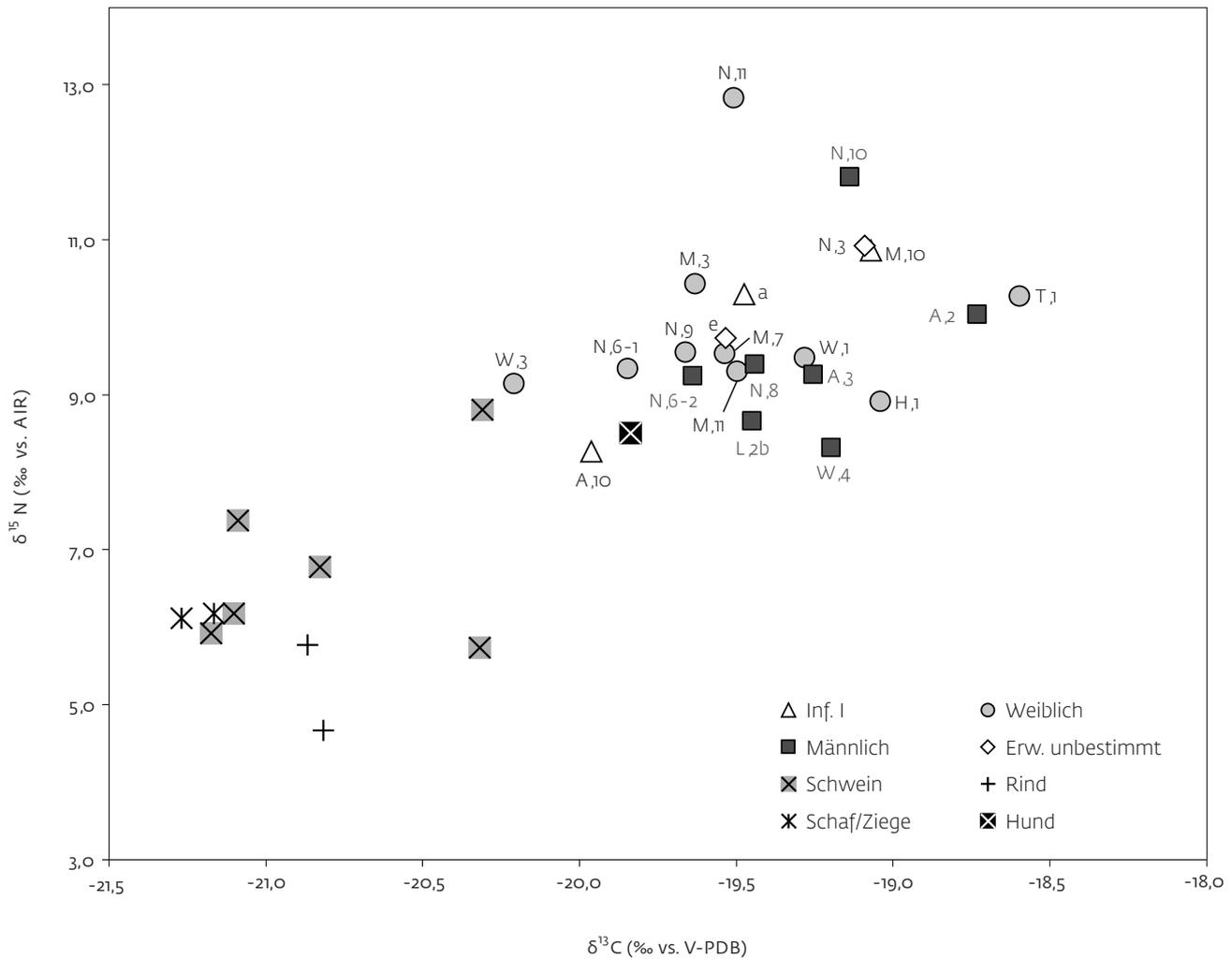
Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte des menschlichen Kollagens lagen zwischen -20,2 und -18,6 ‰, wobei das Minimum und das Maximum jeweils für Knochen erwachsener Individuen ermittelt wurden (Tab. 2; Abb. 7).

Die C-Isotopenwerte der Kinder der Altersgruppe Infans I lagen mit einer Variation

zwischen -20,0 und -19,1 ‰ innerhalb des Bereichs der Erwachsenen. Für die erwachsenen Individuen beider Geschlechter gemeinsam ergibt sich ein Mittelwert von  $-19,4 \pm 0,4$  ‰, wobei die Werte der Frauen mit  $-19,5 \pm 0,4$  ‰ (n = 10) im Schnitt nur unwesentlich niedriger als diejenigen der Männer mit  $-19,3 \pm 0,3$  ‰ (n = 7) sind. Die Unterschiede zwischen den beiden normal verteilten Datensets (Kolmogorov-Smirnov-Test  $p_{\text{weiblich}} = 0,75$ ;  $p_{\text{männlich}} = 0,93$ ) sind statistisch nicht signifikant (Student's t-Test für homogen Varianzen: p = 0,28).

Die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte des menschlichen Kollagens lagen zwischen 8,3 und 12,8 ‰. Der niedrigste Wert wurde für ein zwei bis vierjähriges Kind (MAUE A, 10) ermittelt und der höchste für eine erwachsene Frau (MAUE N, 11). Für die erwachsenen Individuen ist ein Mittelwert von  $9,8 \pm 1,1$  ‰ zu verzeichnen. Dabei fallen die Frau MAUE N, 11 und der Mann MAUE N, 10 durch erhöhte Werte von 12,8 bzw. 11,8 ‰ auf. Die Frau MAUE N, 11 erscheint auch statis-

<sup>8</sup> Werte zwischen 2,9 und 3,6 gelten allgemein als Indikatoren für gute Erhaltung, wobei Werte ab 3,4 zum Teil als kritisch angesehen werden.



7 Stickstoff- und Kohlenstoff-Isotopendaten der hallstattzeitlichen Bestattungen aus der Hügelnekropole von Mauenheim sowie von Tierknochen aus den Gräbern.

tisch unter den erwachsenen Individuen als Ausreißer, da ihr  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert von 12,8 ‰ mehr als vier Standardabweichungen vom Mittelwert entfernt liegt ( $p = 0,0496$ ). Ohne diese beiden Werte sinken Mittelwert und Standardabweichung auf  $9,5 \pm 0,6$  ‰. Unter Einbeziehung aller Daten haben die weiblichen Individuen mit  $9,9 \pm 1,1$  ‰ leicht höhere mittlere  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte als die Männer mit  $9,5 \pm 1,1$  ‰. Der Unterschied zwischen den beiden normalverteilten Datensets (Kolmogorov-Smirnov-Test  $p_{\text{weiblich}} = 0,28$ ;  $p_{\text{männlich}} = 0,72$ ) ist statistisch jedoch nicht signifikant (Student's t-Test für homogen Varianzen:  $p = 0,95$ ).

Die Isotopendaten der pflanzenfressenden Tiere Rind und Schaf/Ziege sowie der Schweine lagen mit  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten zwischen -21,3 und -20,3 ‰ und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten von 4,7 bis 8,8 ‰ in stark überlappenden Wertebereichen (Tab. 3; Abb. 7). Dabei zeigten die Schweine im Vergleich zu den typischen Pflanzenfressern leicht erhöhte  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte (Mittelwert Schaf/Ziege und Rind:  $5,7 \pm 0,7$  ‰; Mittelwert

Schwein:  $6,8 \pm 1,2$  ‰), was insbesondere durch die Analyseergebnisse für die beiden Jungtiere MAUE T B, 1 (ca. 6 Monate) und MAUE T W, 1 (ca. 8–10 Monate) bedingt ist. Die Kollagenprobe des Hundeknochens zeigte mit  $\delta^{15}\text{N} = 8,5$  ‰ einen im Vergleich zu den anderen Haustieren deutlich erhöhten Stickstoff-Isotopenwert, während der  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von -19,8 ‰ im Bereich der anderen Vergleichsproben liegt.

## Diskussion

### Die Isotopendaten der Tiere

Zur Charakterisierung der menschlichen Ernährungsgrundlage dient in erster Linie der Vergleich der Isotopenwerte der menschlichen Proben mit denjenigen der Tierknochen. Vor allem die Proben der Rinder und Schafe/Ziegen bilden die Richtwerte für eine Ernährungsweise auf pflanzlicher Basis aus terrestrischen Habitaten. Ihr mittleres Kohlenstoff-Isotopenverhältnis von  $-21,0 \pm 0,2$  ‰ lässt unter Berücksichtigung einer durch die Stoffwechselprozesse und den Einbau von Kohlenstoff in das

Kollagen bedingte Isotopenfraktionierung auf einen Mittelwert der pflanzlichen Nahrungsgrundlage von ca. -26,0 ‰ schließen. Dieser Wert liegt innerhalb der für C<sub>3</sub>-Pflanzen typischen Wertespanne von -35 bis -22 ‰ (Cerling u. a. 1997) und bestätigt die für das gemäßigtere Klima Mitteleuropas typische Pflanzengruppe als hauptsächliche Nahrungsgrundlage. Innerhalb des Datenspektrums der C<sub>3</sub>-Pflanzen zeugen die Kollagenwerte von deutlich über -22 ‰ vom Überwiegen von offenen Habitaten für die Futtergewinnung (Doppler u. a. im Druck; Drucker u. a. 2003; Drucker u. a. 2011; Drucker u. a. 2008). Dies steht im Einklang mit früher erhobenen Kohlenstoff-Isotopendaten, die z. B. für den Zürichsee in der Schweiz bereits im Laufe des Neolithikums eine Öffnung der Landschaft bezeugen sowie mit archäobotanischen Beobachtungen, nach denen in der späten Bronzezeit von einer extensiven Waldweidewirtschaft zur Nutzung von Grasland als Weideflächen und zur Heugewinnung übergegangen wurde (Jacomet 1999; Kühn/Heitz 2015).

Die Subtraktion der für eine Trophiestufe typischen Anreicherung der δ<sup>15</sup>N-Werte von 3 bis 5 ‰ vom mittleren Stickstoff-Isotopenverhältnis der Rinder, Schafe und Ziegen ergibt für die durch die Tiere konsumierten Pflanzen δ<sup>15</sup>N-Werte von ca. 0,7 bis 2,7 ‰. Dies ist charakteristisch für von Mistdüngung unbeeinflusste Standorte (Bogaard u. a. 2013). Das Ausbringen von Fäkalien auf die Anbauflächen bewirkt eine Anhebung der Stickstoff-Isotopenverhältnisse der dort kultivierten Pflanzen (Bogaard u. a. 2007; Fraser u. a. 2011). Die Isotopendaten der Rinder und Schafe/Ziegen bilden daher eine Vergleichsbasis für eine auf Pflanzen basierende Ernährung, die aus offenen und nicht bzw. wenig durch Mistdüngung beeinflussten Habitaten stammte. Sie sind darüber hinaus sehr gut mit Proben von Tierknochen aus dem hallstattzeitlichen Großgrabhügel Magdalenenberg bei Villingen-Schwenningen vergleichbar (Oelze u. a. 2012a).

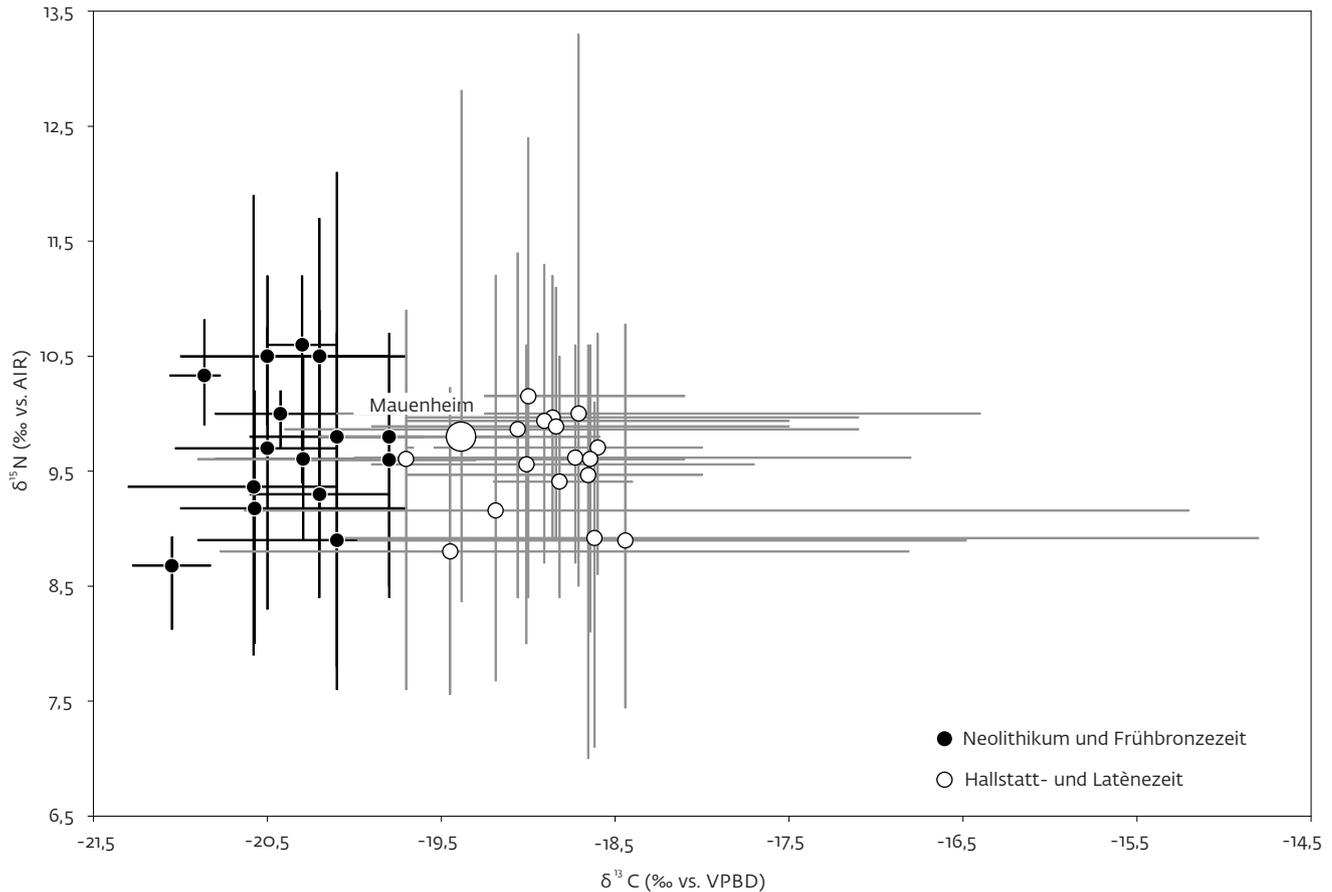
Der mittlere δ<sup>13</sup>C-Wert des Kollagens der Schweineknochen (-20,8 ± 0,4 ‰) ist demjenigen der typischen Pflanzenfresser sehr ähnlich und belegt ebenfalls C<sub>3</sub>-Pflanzen an der Basis der Nahrungskette. Der mittlere δ<sup>15</sup>N-Wert ist mit 6,8 ± 1,2 ‰ gegenüber demjenigen der Rinder, Schafe und Ziegen leicht erhöht. Dies könnte von einem breiteren Nahrungsspektrum der Schweine zeugen, das neben pflanzlichen auch tierische Komponenten enthielt. Bei genauerer Betrachtung ist jedoch zu bemerken, dass insbesondere die höchsten δ<sup>15</sup>N-Werte für Jungtiere zu verzeichnen sind. Charakteristische Beispiele sind das ca. 6 Monate alte Tier MAUE T B, 1 mit einem δ<sup>15</sup>N-Wert von 8,8 ‰, gefolgt von MAUE T W, 1 (8–10 Mo-

nate; δ<sup>15</sup>N = 7,4 ‰) und MAUE T N, 3 (1–1,5 Jahre; δ<sup>15</sup>N = 6,8 ‰). Erhöhte N-Isotopenwerte sind bei jungen Säugetieren regelhaft zu beobachten und auf die Ernährung von Muttermilch zurückzuführen (Fuller u. a. 2006; Jenkins u. a. 2001; Nitsch u. a. 2011). Die Ferkel von Mauenheim mit ihren mit zunehmendem Alter abnehmenden δ<sup>15</sup>N-Werten sind ein sehr anschauliches Beispiel für diesen Effekt. Die sehr gut mit den δ<sup>15</sup>N-Werten der Rinder, Schafe und Ziegen vergleichbaren N-Isotopenverhältnisse der etwas älteren Tiere implizieren, dass der Fleischanteil am Futter der Schweine insgesamt ebenfalls recht gering war.

Für deutliche Fleischanteile in der Nahrung sprechen die Isotopendaten der Knochenprobe des Hundes, die mit δ<sup>13</sup>C = -19,8 ‰ und δ<sup>15</sup>N = 8,5 ‰ deutlich über den Analysewerten der anderen Haustiere liegen. Die Differenz zwischen seinem N-Isotopenverhältnis und dem Mittelwert für die Pflanzenfresser Schaf/Ziege und Rind von 2,8 ‰ liegt etwas unterhalb der für eine volle Trophiestufe charakteristischen Abweichung von 3 bis 5 ‰ (Hedges/Reynard 2007). Daraus lässt sich schließen, dass der Hund kein reiner Karnivor war, sondern sich eher von einer Mischung aus pflanzlichen und tierischen Komponenten ernährte.

#### **Charakterisierung der menschlichen Nahrungszusammensetzung**

Sowohl die Kohlenstoff- als auch die Stickstoff-Isotopenverhältnisse der Menschen sind gegenüber denjenigen der Haustiere erhöht. Bezüglich δ<sup>13</sup>C beträgt die Differenz zwischen den Mittelwerten der erwachsenen Menschen und denjenigen aller Haustiere mit Ausnahme des Hundes 1,5 ‰ bzw. 1,6 ‰ bei ausschließlicher Betrachtung der Pflanzenfresser (Rind, Schaf/Ziege). Diese Werte liegen noch innerhalb der konservativeren Spanne von 0 bis 2 ‰ Erhöhung der δ<sup>13</sup>C-Werte von einer Trophiestufe zur nächsten (Bocherens/Drucker 2003; Lee-Thorp 2008) und leicht oberhalb der engeren Variationsbreite von 0,8 bis 1,3 ‰ (Bocherens u. a. 2011; Drucker/Henry-Gambier 2005). Das heißt sowohl, dass die Kohlenstoff-Isotopenverhältnisse der Menschen nicht allein durch den Verzehr tierischer Produkte zu erklären sind, als auch, dass die Isotopenverhältnisse der von den Menschen konsumierten Kulturpflanzen von denjenigen der Futterpflanzen der Tiere abweichen. Bei ausschließlichem Verzehr von tierischen Produkten, sollte die mittlere Anreicherung des menschlichen Kollagens zwischen 0,8 und 1,3 ‰ liegen, bei zusätzlichem Konsum von pflanzlicher Nahrung mit gleichen Isotopenverhältnissen wie das Futter der Tiere, sollte die Differenz geringer sein. Die höhere Abweichung kann durch Standortunterschiede zwischen dem Tierfutter



8 Mittlere Stickstoff- und Kohlenstoff-Isotopenverhältnisse der erwachsenen Individuen von Mauenheim im Vergleich zu entsprechenden Datensätzen neolithischer und frühbronzezeitlicher Bestattungsgemeinschaften aus Südwestdeutschland und der Schweiz sowie eisenzeitlicher Fundstellen aus Mitteleuropa. Die Fundstellen sind in Abb. 9 kartiert.

und den Kulturpflanzen hervorgerufen oder auch auf Unterschiede innerhalb der Pflanzen zurückzuführen sein. Bezüglich letzterem sind z. B. für Getreidekörner (die Grundlage menschlicher Ernährung) ca. 1 bis 2 ‰ höhere  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte als für Blätter oder Stängel (potenzielles Tierfutter) zu verzeichnen (Merah u. a. 2002). Die vergleichsweise niedrigen Werte von Blättern könnten auch für Wildpflanzen relevant sein. Um diese möglichen Differenzen genauer zu ergründen und letztendlich die pflanzliche Nahrungsgrundlage der Menschen zu charakterisieren, wäre es nötig, die Isotopenverhältnisse der pflanzlichen Nahrungsmittel des Menschen nicht über die Analyse von Tierknochen zu erschließen, sondern direkt an verkohlten Makroresten zu bestimmen (Fraser u. a. 2013; Vaiglova u. a. 2014).

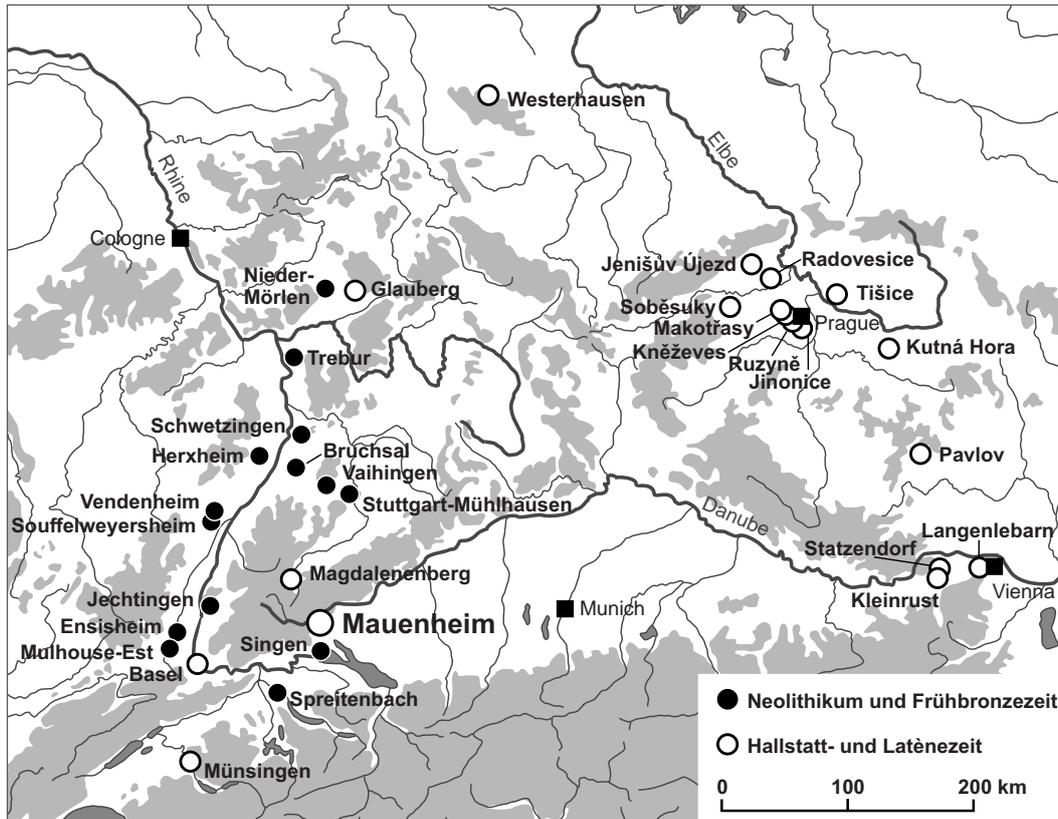
Ein zeitübergreifender und überregionaler Vergleich von mittleren  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten von menschlichem Knochenkollagen von neolithischen und frühbronzezeitlichen Fundstel-

len aus Südwestdeutschland und der Schweiz einerseits und solchen aus der mitteleuropäischen Hallstatt- und Latènezeit andererseits offenbart signifikant höhere Durchschnittswerte für die eisenzeitlichen Fundstellen (Abb. 8 und 9); (Knipper u. a. 2016b).<sup>9</sup>

Obwohl die mittleren Kohlenstoff-Isotopendaten von Mauenheim – wie auch von den anderen eisenzeitlichen Bestattungskollektiven generell – mit dem Konsum von  $\text{C}_3$ -Pflanzen zu vereinbaren sind, ist die Veränderung im Laufe der Zeit nach aller Wahrscheinlichkeit auf die Etablierung der Hirse im Spektrum der Anbaupflanzen zurückzuführen. Hirse hat als  $\text{C}_4$ -Pflanze deutlich höhere  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte als die sonst in Mitteleuropa üblichen  $\text{C}_3$ -Kulturpflanzen, sodass sich auch bereits ein geringer Beitrag zur menschlichen Ernährung in den Kohlenstoff-Isotopendaten manifestiert. In Mauenheim ist der Trend etwas stärker ausgeprägt als bei den Individuen aus dem Großgrabhügel Magdalenenberg, wo ein geringer

9 Eine Auflistung der in Abb. 8 und Abb. 9 einbezogenen Fundstellen mit den jeweiligen mittleren

$\delta^{13}\text{C}$  und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten der erwachsenen Individuen findet sich in C. Knipper u. a. (in Begutachtung).



9 Kartierung der in Abb. 8 verglichenen neolithischen/frühbronzezeitlichen und eisenzeitlichen Fundstellen.

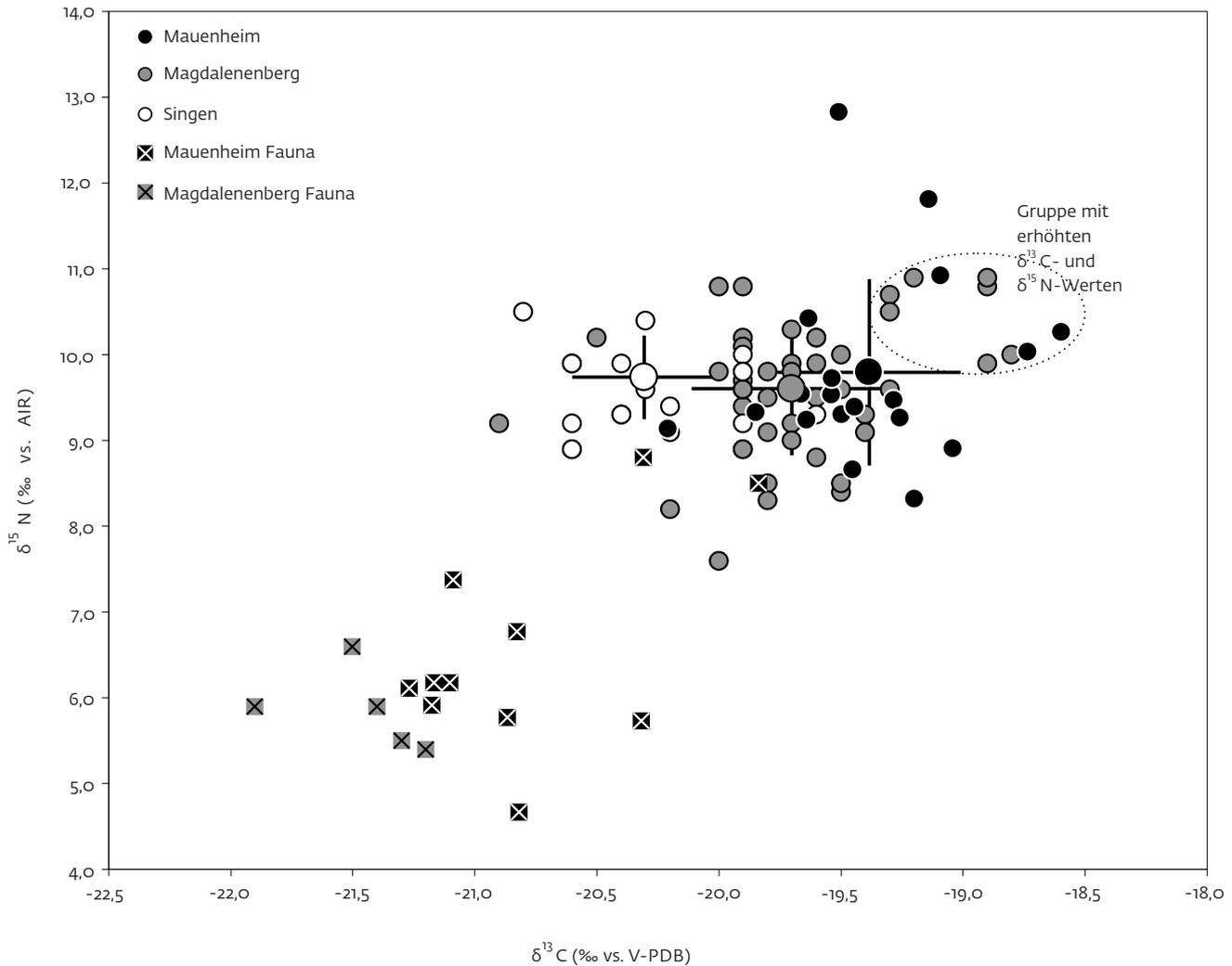
Anteil von Hirse besonders für eine kleine Gruppe herausgehobener Bestattungen diskutiert wurde, deren  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte sich etwas vom Hauptdatencluster absetzen (Oelze u. a. 2012a).

Die mittleren Stickstoff-Isotopenwerte der erwachsenen Individuen von Mauenheim sind um 3,4 ‰ höher als die durchschnittlichen  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aller Haustiere mit Ausnahme des Hundes bzw. um 4,1 ‰ höher als die mittleren  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Rinder und Schafe/Ziegen, die charakteristische Pflanzenfressersignale anzeigen. Dies liegt innerhalb des charakteristischen Unterschieds für eine Trophiestufe, d. h. von einer Position in der Nahrungskette zur nächsten, der mit 3–5 ‰ (Hedges/Reynard 2007) bzw. mit bis zu 6 ‰ (O'Connell u. a. 2012) anzusetzen ist. Nimmt man an, dass die N-Isotopenverhältnisse der pflanzlichen Nahrungsgrundlage der Menschen und der untersuchten Haustiere sehr ähnlich sind, so impliziert dieses Ergebnis hohe Anteile tierischer Proteine in der menschlichen Nahrung. In der jüngeren Forschung verstärkt durchgeführte Isotopenanalysen an verkohlten Pflanzenresten zeigen allerdings, dass sowohl bereits im Neolithikum (Fraser u. a. 2013; Styring u. a. 2016), als auch in der Spätlatènezeit (Knipper u. a. 2016b), das Erschließen der  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte menschlicher Nahrungspflanzen aus den N-Isotopenverhältnissen des tierischen Kollagens fehlerbehaftet ist. Stattdessen bedingt das Ausbringen von

Mistdüngung auf die Anbauflächen eine Erhöhung der  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Kulturpflanzen. Dadurch erreichen die N-Isotopenverhältnisse der Getreidekörner die Größenordnung von tierischen Nahrungsmitteln. Für Mauenheim lässt sich dieser Effekt mangels Analysen an verkohlten Makroresten nicht direkt einschätzen. Er ist aber wahrscheinlich, sodass auch für die hier untersuchte Bestattungsgemeinschaft von einer Mischernährung aus pflanzlichen und tierischen Komponenten auszugehen ist. Für eine genauere Quantifizierung der jeweiligen Anteile wären jedoch pflanzliche Vergleichsdaten nötig.

Im überregionalen Vergleich reihen sich die Individuen aus Mauenheim gut in das Datenspektrum anderer eisenzeitlicher Gruppen ein (Abb. 8 und 9), sodass hier prinzipiell von einer für die Eisenzeit typischen Ernährungsweise auszugehen ist. Die Mauenheim am nächsten liegenden bereits publizierten Datenserien stammen aus dem frühbronzezeitlichen Gräberfeld von Singen am Hohentwiel, Baden-Württemberg (Kupke 2010; Oelze u. a. 2012a) und aus den hallstattzeitlichen Gräbern des Großgrabhügels Magdalenenberg bei Villingen-Schwenningen (Oelze u. a. 2012a) (Abb. 10).

Die Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen den Bestattungen aus Mauenheim und diesen Datenserien stehen im Einklang mit überregionalen Trends. Hervorzuheben sind



10 Mittlere Stickstoff- und Kohlenstoff-Isotopenverhältnisse der erwachsenen Individuen von Mauenheim im Vergleich zu den Daten der erwachsenen Individuen des frühbronzezeitlichen Gräberfeldes von Singen und des hallstattzeitlichen Großgrabhügels Magdalenenberg bei Villingen. (Daten: Kupke 2010; Oelze u. a. 2012a; Oelze u. a. 2012b).

die hochsignifikant höheren  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Mauenheimer Individuen im Vergleich zu den weniger als 20 km entfernt im selben Naturraum liegenden Bestattungen von Singen (Student's t-Test  $p < 0,0001$  [homogene Varianzen]). Da sich die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte nicht signifikant unterscheiden (Student's t-Test  $p = 0,83$  [heterogene Varianzen]), ist dies weniger auf höhere Anteile von Süßwasserfisch in der Ernährung der Singener Individuen, als vielmehr auf einen Beitrag der  $\text{C}_4$ -Pflanze Hirse zur Ernährung mindestens einiger Personen aus Mauenheim zurückzuführen. Trotz stärkerer Überlappung mit der Streuung der  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen den Proben aus Mauenheim und aus dem Magdalenenberg zeigen erstere signifikant höhere Kohlenstoff-Isotopenverhältnisse (Student's t-Test  $p = 0,0049$  [homogene Varianzen]). Da dieser Trend auch in den tierischen Vergleichsproben zu verzeichnen ist, mögen sich hier regionale Unterschiede in den Hintergrundwerten

niederschlagen oder auch etwas höhere Hirseanteile in der Ernährung der Individuen von Mauenheim verantwortlich sein. Bezüglich der Stickstoff-Isotopendaten zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Mauenheim und der Bestattungsgemeinschaft des Magdalenenbergs (Student's t-Test  $p = 0,43$  [homogene Varianzen]), sodass für beide Gruppen von ähnlichen Anteilen pflanzlicher und tierischer Komponenten an der durchschnittlichen Ernährung bzw. von ähnlichen Anbaustrategien unter Einsatz tierischer Exkremente zur Düngung der Anbauflächen auszugehen ist.

#### Alter, Geschlecht und interne Trends

Innerhalb der Bestattungsgemeinschaft von Mauenheim variieren die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte um 1,6 ‰ und die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte um 4,6 ‰. Dies ist ein Hinweis auf generelle Unterschiede in der durchschnittlichen Nahrungszusammensetzung der untersuchten Individuen, wobei vor

allem erhöhte  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte auf höhere Anteile tierischer Proteine oder ggf. auch Fisch verweisen. Dabei ist ein bevorzugter Verzehr von pflanzlichen Nahrungsmitteln von besonders intensiv mit tierischen Exkrementen gedüngten Flächen ebenfalls nicht auszuschließen.

Bei einer Betrachtung der internen Differenzierung der Mauener Individuen bezüglich ihrer Ernährung ist zunächst zu verzeichnen, dass sich zwei von drei der untersuchten Kinder von maximal vier Jahren durch leicht erhöhte  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte von über 10 ‰ auszeichnen, die aber noch im Spektrum der Daten der Erwachsenen liegen (Abb. 7). Wie bereits oben im Zusammenhang mit den Ferkeln diskutiert, sind erhöhte Stickstoff-Isotopenverhältnisse ein Charakteristikum von Säuglingen und auf den Verzehr von Muttermilch zurückzuführen (Fuller u. a. 2006; Nitsch u. a. 2011). Durch Isotopenfraktionierung bei Stoffwechselprozessen im mütterlichen Körper reichert sich das schwere  $^{15}\text{N}$ -Isotop in der Milch im Vergleich zur von der Mutter aufgenommenen Nahrung an. Diese Isotopensignatur wird an das gestillte Kind weitergegeben, sodass die kindlichen Isotopenverhältnisse bei voll ausgeprägtem Stillsignal eine Trophiestufe über denjenigen der Mutter liegen. Für die Mauener Kinder sind die Mütter bzw. Ammen nicht bekannt. Im Vergleich zum mittleren  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert der Frauen ist das N-Isotopenverhältnis des Fötus bzw. Neugeborenen aus Flachgrab a um 0,4 ‰ erhöht. Unter Berücksichtigung des Sterbealters zeigt dieser geringe Wert an, dass das Kind bereits verstarb, bevor sich ein volles Stillsignal ausprägen konnte. Im Gegensatz dazu liegt der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert des 3–4-jährigen Kindes MAUE M, 10 um 1,0 ‰ über dem entsprechenden Mittelwert der Frauen. Auch dies ist weniger als eine Trophiestufe und impliziert, dass das Kind zum Todeszeitpunkt wahrscheinlich bereits abgestillt und das Stillsignal in der Rückbildung begriffen war. Der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert des 2–4-jährigen Kindes MAUE A, 10 ist mit 8,3 ‰ der niedrigste der gesamten Datenserie und gibt keine Hinweise auf das Stillen mit Muttermilch. Möglicherweise wurde dieses Kind sehr früh entwöhnt, sodass selbst im untersuchten Schädelfragment, das zu den langsam umbauenden Skelettelementen zählt (Knipper 2004 mit Lit.), das Stillsignal bereits völlig von den Isotopenverhältnissen der festen Nahrung mit offensichtlich geringen Anteilen an tierischen Proteinen überprägt war. Vorstellbar ist, dass das frühe Ausbleiben des Milchflusses der Mutter oder Probleme bei der Nahrungsumstellung zum frühen Ableben des Kindes führten. Bemerkenswert ist andererseits aber auch der im Vergleich zu den anderen Mauener Individuen leicht erhöhte  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert im untersuchten ersten Molaren, der ein

Anzeichen für ein zumindest kurzzeitiges Stillen ist.

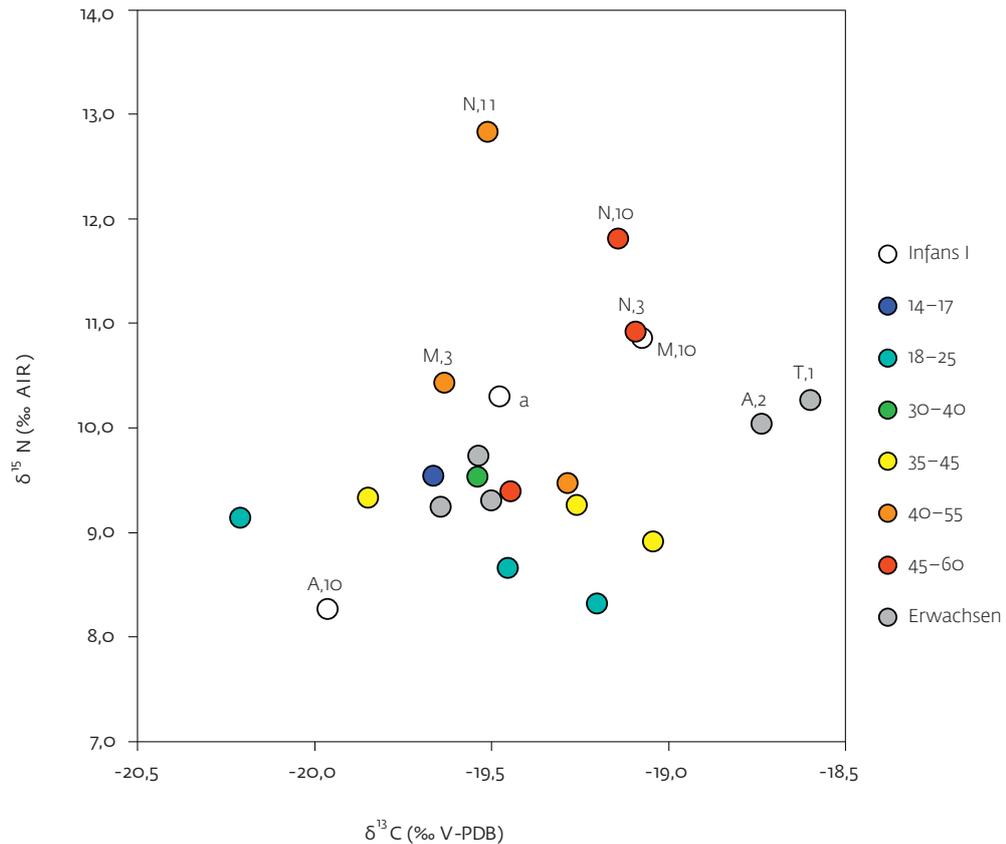
Auch unter den jugendlichen und erwachsenen Individuen zeichnen sich einige altersabhängige Trends ab (Abb. 11).

So liegen alle Daten der 14–17 bis 35–45-jährigen Individuen in einem Hauptdatencluster mit  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten zwischen 8,3 und 9,5 ‰. N-Isotopendaten von über 10,0 ‰ sind unter den altersbestimmbaren Individuen nur in den höheren Altersklassen der 40–50 bzw. 40–55-jährigen (M, 3 und N, 11) und 45–55 bzw. 50–60-jährigen (N, 3 und N, 10) zu finden. Dies legt nahe, dass die durchschnittlichen Anteile tierischer Proteine an der menschlichen Ernährung mit zunehmendem Alter stiegen, bzw. dass einige ältere Personen mehr Zugang zu Fleisch und Milchprodukten hatten als die jüngeren. Derartige Trends in den Isotopendaten unterstreichen die anhand von Grabbeigaben und Kammergrößen herausgearbeiteten Tendenzen einer altersabhängigen aber auch durch weitere komplexe Aspekte beeinflussten sozialen Differenzierung in der Späthallstattzeit (Burmeister 2000; Müller-Scheeßel 2011).

Der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert des weiblichen Individuums N, 11 (40–55 Jahre) ist mit 12,8 ‰ der höchste in Mauenheim und auch im Vergleich zu anderen eisenzeitlichen Bestattungsgemeinschaften außergewöhnlich hoch. In eisenzeitlichen Kontexten sind noch höhere  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte (> 13 ‰) bislang lediglich für drei Individuen aus Prag-Jinonice in Böhmen bekannt, gefolgt von einem Maximalwert von 12,4 ‰ in Jenišův Újezd, Bez. Teplice, Tschechien (beide Fundplätze Latène B/C) (Le Huray u. a. 2006). Auch der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert des Mannes N, 8 (45–55 Jahre) aus Mauenheim ist mit 11,8 ‰ im überregionalen Vergleich verhältnismäßig hoch.

Der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert von Ind. N, 11 (12,8 ‰) übersteigt sogar das beim ausschließlichen Konsum von Fleisch der hier untersuchten Haustiere (Mittelwert aller Haustiere außer Hund:  $\delta^{15}\text{N} = 6,4 \text{ ‰} + \text{Trophiestufeneffekt von maximal } 6 \text{ ‰}$  [O’Connell u. a. 2012]) zu erwartende Isotopenverhältnis von 12,4 ‰. Mögliche Gründe für derart erhöhte  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte sind der verstärkte Verzehr von Ferkelfleisch mit durch das Säugen erhöhten  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten (z. B. MAUE T B, 1) oder auch ein gewisser Anteil von Süßwasserfisch in der Nahrung, für den ebenfalls erhöhte  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte bei gleichzeitig oft vergleichsweise niedrigen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten zu verzeichnen sind (Fuller u. a. 2012; Häberle u. a. 2016).

Im Großgrabhügel Magdalenenberg setzte sich eine Gruppe von Männern durch leicht erhöhte  $\delta^{13}\text{C}$  (-19,3 bis -18,8 ‰) und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte (9,9 bis 10,9 ‰) ab, was von einem bevorzugten Zugang zu tierischen Proteinen und geringen Anteilen von Hirse in der Nahrung



11 Stickstoff- und Kohlenstoff-Isotopendaten der nach ihrem Sterbealter bestimmbaren hallstattzeitlichen Bestattungen aus der Hügelnekropole von Mauenheim.

zeugt (Oelze u. a. 2012a). Darunter waren das besonders reich ausgestattete Grab 1 sowie mehrere Individuen mit Dolchbeigabe. Auch in den Bestattungen von Mauenheim ist der besagte Wertebereich durch die erwachsenen Individuen M, 10; A, 2 und T, 1 belegt (Abb. 10, Abb. 11). Anders als beim Magdalenenberg, wo es sich ausschließlich um Männerbestattungen handelt, umfasst die Gruppe in Mauenheim einen Mann, eine Frau und ein bezüglich des Geschlechts nicht bestimmtes erwachsenes Individuum, das der Schwertbeigabe nach zu urteilen, dem männlichen Geschlecht zuzuordnen ist. Die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der oben besprochenen Individuen N, 11 und N, 10 liegen sogar oberhalb der besagten Gruppe.

Die C- und N-Isotopenverhältnisse der männlichen und weiblichen erwachsenen Individuen aus Mauenheim überlappen weitgehend, zeigen entsprechend ähnliche Mittelwerte und keine statistisch signifikanten Unterschiede (Abb. 7). Es gibt also keine Hinweise auf eine geschlechtsdifferenzierte Ernährungsweise, bzw. einen bevorzugten Zugang eines der Geschlechter zu tierischen Proteinen. Ein ähnlicher Befund war auch in anderen eisenzeitlichen Bestattungsgemeinschaften zu verzeichnen, darunter beim Magdalenenberg (Oelze

u. a. 2012a), in früh- bis mittellatènezeitlichen Datensätzen aus der heutigen Tschechischen Republik (Le Huray 2006; Le Huray u. a. 2006), frühlatènezeitlichen Individuen vom Glauberg (Knipper u. a. 2014) und bei spätlatènezeitlichen Bestattungen aus zwei Gräberfeldern und aus dem Siedlungsbereich von Basel-Gasfabrik (Knipper u. a. 2016b). Auf dem früh- bis mittellatènezeitlichen Gräberfeld von Münsingen zeigten sich dagegen Hinweise auf höhere Anteile tierischer Proteine in der Nahrung der Männer (Moghaddam u. a. 2016). Dies ist besonders in höheren  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten von Personen mit Waffenbeigabe oder besonders reicher Grabausstattung sichtbar, ein Trend, der auch für Bestattungen im Magdalenenberg (Oelze u. a. 2012a), Karlov, Bez. Kutná Hora, Tschechien (Le Huray/Schutkowski 2005) und den Fürsten vom Glauberg (Knipper u. a. 2014) zu verzeichnen ist, auch wenn sie dort nicht zu generell höheren mittleren N-Isotopenverhältnissen der Männer führen.

Auch in Mauenheim deutet sich an, dass aus den Grabausstattungen ableitbare Hinweise auf soziale Differenzierung zu Lebzeiten mit unterschiedlichen Ernährungsweisen einhergingen (Knipper u. a. 2015). So finden sich die beiden Bestattungen mit Wagenbeigabe und

zahlreichen weiteren Ausstattungselementen (M,3 und N,3) in der Gruppe von Individuen mit erhöhten  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten. Auch die Frau in Grab N, 11, die den höchsten  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert erbrachte, war mit zahlreichen Trachtelementen ausgestattet. Keinerlei Beigaben enthielt dagegen das Grab des Mannes N, 10. Auch unter den Individuen mit mittleren oder niedrigen  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten gibt es durchaus Personen mit „normaler bis guter“ Grabausstattung (vgl. Wamser, Tabelle 1). Dies zeigt, dass das menschliche Ernährungsverhalten durch vielfältige Umstände geprägt sein konnte und die durch die Ausstattung implizierte soziale Stellung darunter lediglich ein möglicher Aspekt war.

Für drei der anhand der Sr-Isotopenanalysen als ortsfremd identifizierten Individuen liegen auch leichte stabile Isotopendaten vor, während die Kollagenerhaltung der Probe des Individuums T, 2 keine Bestimmung der  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte zuließ. Die durch ein besonders radiogenes  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis als in Mauenheim fremd identifizierte junge Frau W, 3 erbrachte auch den niedrigsten  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert in der gesamten Bestattungsgemeinschaft. Auch wenn es sich um keinen statistisch signifikanten Ausreißer handelt, könnte dies als Hinweis auf eine mit ihrer Ortsfremdheit einhergehende abweichende Ernährungsweise zu werten sein – sei es, weil sie abweichende Präferenzen in der Auswahl der konsumierten Nahrungsmittel auch nach der Umsiedlung beibehielt, oder weil ihr Knochensignal möglicherweise noch durch leicht abweichende C-Isotopensignale an ihrem früheren Wohnort geprägt war. Kohlenstoff-Isotopenverhältnisse variieren überregional in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge, wie für neolithische Bestattungen herausgearbeitet werden konnte (Mörseburg u. a. 2015). Deshalb könnte der niedrige  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert als Indikator für die Nahrungsgewinnung aus einem anderen, mutmaßlich feuchteren, Habitat zu werten sein. Darüber hinaus erwähnenswert ist, dass nicht nur das hohe Sr-Isotopenverhältnis ihres Zahnschmelzes Parallelen in den Gräbern des Magdalenenbergs im Südschwarzwald findet, sondern sich diese Bestattungsgemeinschaft im Vergleich zu Mauenheim auch durch niedrigere Kohlenstoff-Isotopenwerte auszeichnet. Dieses Ergebnis könnte als weiterer Indikator für eine mögliche Verbindung in den Schwarzwald gewertet werden. Die C- und N-Isotopenverhältnisse der beiden anderen ortsfremden Individuen N, 9 und A, 3 fallen in das Hauptcluster der Mauenheimer Daten und geben keine Hinweise auf mit der Zuwanderung einhergehende abweichende Ernährungsweisen.

Wie bereits bezüglich der Sr- und O-Isotopendaten herausgearbeitet, zeigen sich auch

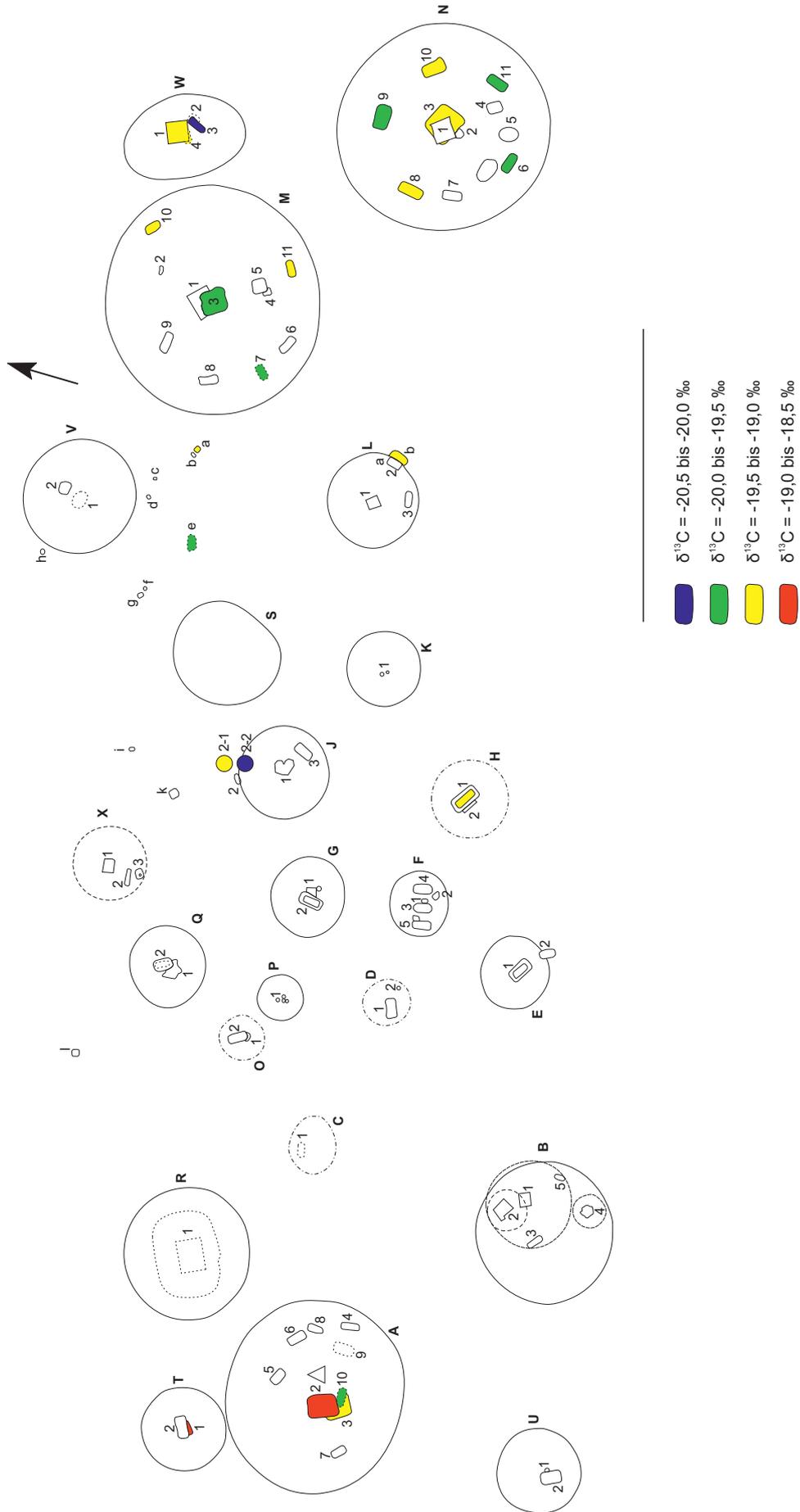
im Hinblick auf die leichten stabilen Isotope gewisse Tendenzen bezüglich der Lage von Individuen mit ähnlichen Isotopenverhältnissen innerhalb des Gräberfelds (Abb. 12 und 13).

So finden sich die beiden Individuen mit den höchsten  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten (A, 2 und T, 1) in Hügeln am Westrand des Gräberfeldes. Die Bestattungen mit den höchsten  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten (N, 10 und N, 11) lagen in unmittelbar benachbarten Gräbern im selben Hügel am Ostrand. Individuen mit niedrigen oder moderaten Werten in beiden Isotopenverhältnissen sind dagegen über das gesamte Gräberfeld verteilt. Sie zeigen keine Hinweise, dass einzelne Hügel von bestimmten Menschengruppen belegt wurden, die sich auch zu Lebzeiten in ihrer Ernährungsweise bzw. im Zugang zu bestimmten Nahrungsmitteln unterschieden.

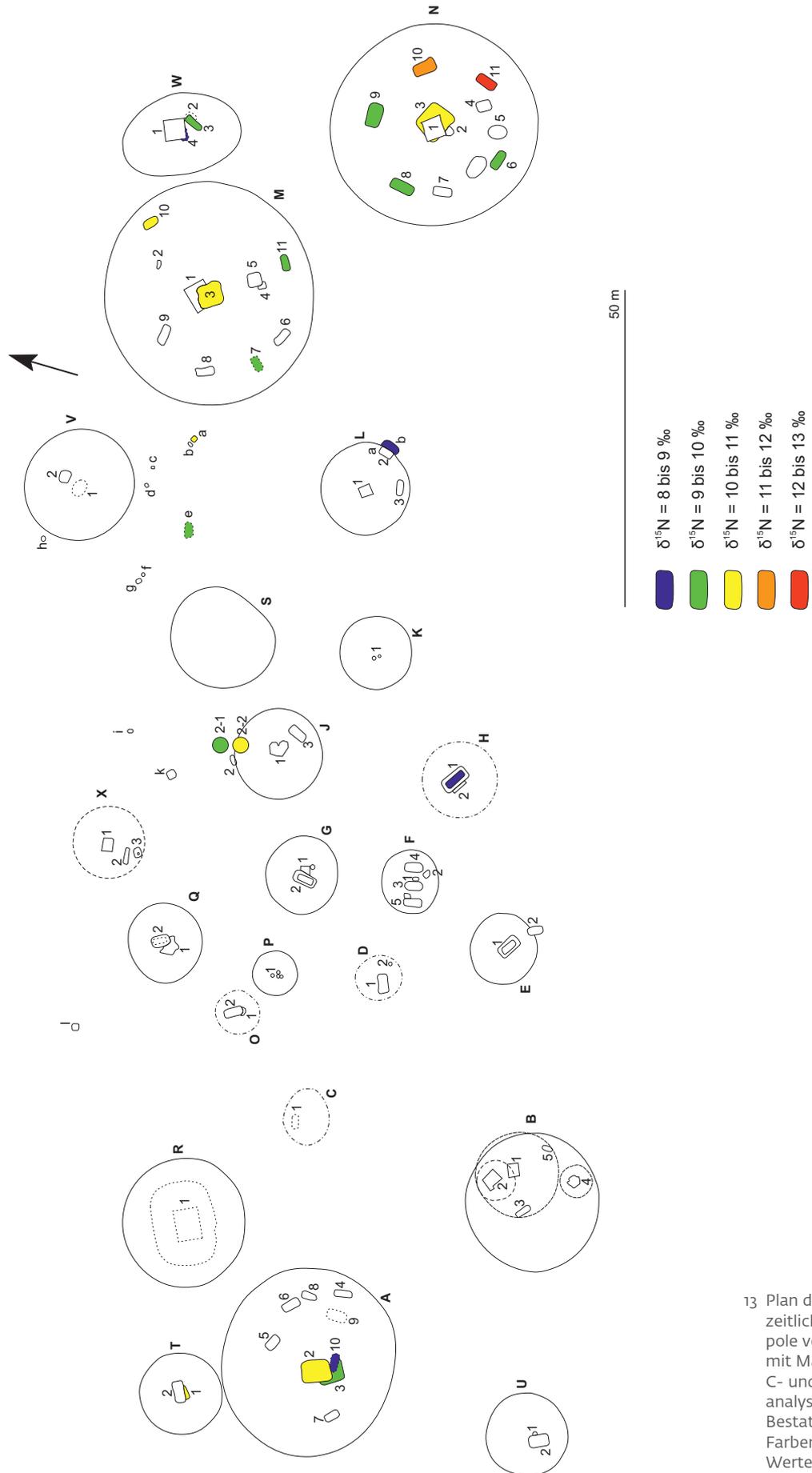
## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Sr- und O-Isotopenanalysen an den Skelettresten der Bestattungen und einigen Schweine- und Hundezähnen implizieren die Belegung der Hügelnekropole von Mauenheim durch eine weitgehend lokale Bevölkerung. Die Sauerstoff-Isotopendaten aller Individuen stehen mit einer Herkunft aus der klimatischen Großregion Südschwarzwald/Hegau/Oberschwaben in Einklang. Dagegen zeigen sich die Strontium-Isotopendaten etwas differenzierter. Für 13 der 17 untersuchten Individuen aus der Späthallstattzeit (76,5 %) legen sie eine Herkunft aus dem näheren Umland von Mauenheim nahe, wobei ein Ursprung aus einer geologisch ähnlichen Region im Einzelfall unerkannt geblieben sein kann. Vier Individuen, darunter zwei männliche und zwei weibliche Personen, waren anhand ihrer Sr-Isotopendaten als ortsfremd zu erkennen. Bei den Individuen mit besonders radiogenen  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werten handelt es sich um Frauen. Sowohl die Isotopendaten als auch das archäologische Fundmaterial finden gute Entsprechungen im hallstattzeitlichen Großgrabhügel Magdalenenberg bei Villingen-Schwenningen und zeigen mögliche Verbindungen in den Südschwarzwald und Kontakte zwischen benachbarten Siedlungsregionen an. Um daraus weiterreichende Schlüsse zu den in der Späthallstattzeit vorherrschenden Residenzregeln oder bezüglich geschlechtsspezifischer Mobilität zu ziehen, ist die Stichprobe allerdings zu klein.

Die Stickstoff- und Kohlenstoff-Isotopenverhältnisse des Knochenskollagens belegen eine Mischernährung aus pflanzlichen und tierischen Komponenten. Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zeigen eine Dominanz der in Mitteleuropa üblichen  $\text{C}_3$ -Pflanzen an, deren Isotopensignatur sich entweder über den direkten Verzehr oder über den Konsum von Fleisch und Sekundärpro-



12 Plan der späthallstattzeitlichen Hügelnecropole von Mauenheim mit Markierung der für C- und N-Isotopenanalysen beprobten Bestattungen. Die Farben zeigen die Wertebereiche der  $\delta^{13}\text{C}$ -Daten.



13 Plan der späthallstattzeitlichen Hügelnekropole von Mauenheim mit Markierung der für C- und N-Isotopenanalysen beprobten Bestattungen. Die Farben zeigen die Wertebereiche der  $\delta^{15}\text{N}$ -Daten.

dukten von Tieren, deren Nahrungsgrundlage  $C_3$ -Pflanzen waren, im menschlichen Kollagen manifestierte. Wie auch für andere eisenzeitliche Bestattungsgemeinschaften belegt und insbesondere durch den Vergleich mit neolithischen und frühbronzezeitlichen Datensätzen erkennbar, trug auch die Hirse – eine  $C_4$ -Pflanze – in geringen Anteilen zur menschlichen Ernährung bei. Die leichten stabilen Isotopendaten bezeugen einen ausgeglichenen Zugang der beiden Geschlechter zu pflanzlichen und tierischen Nahrungskomponenten. Bezüglich des Alters zeigen zwei Kleinkinder leicht erhöhte  $\delta^{15}N$ -Werte, wie es während der Stillzeit charakteristisch ist. Die „Stillsignale“ sind jedoch entweder noch nicht oder nicht mehr vollständig ausgeprägt. Unter den erwachsenen Individuen zeichnen sich einige ältere Personen mit erhöhten  $\delta^{15}N$ -Werten ab, was von einem bevorzugten Zugang zu tierischen Proteinen in Form von Fleisch, Fisch oder tierischen Sekundärprodukten zeugt. Eine Frau und ein Mann zeigten  $\delta^{15}N$ -Werte in einer Höhe, die auch im überregionalen Vergleich wenige Parallelen findet. Die Ausstattungsparameter der Individuen mit erhöhten N-Isotopenwerten sprechen bei einigen Individuen für einen Zusammenhang mit einer gehobenen sozialen Stellung. Die Beigabenlosigkeit eines Individuums mit erhöhtem  $\delta^{15}N$ -Wert und die Unauffälligkeit der N-Isotopendaten einiger vergleichsweise umfangreich ausgestatteten Individuen sprechen allerdings gegen

eine einfache Korrelation zwischen Grabausstattung, Sozialstatus und Ernährungsweise. Zu bedenken bleibt auch, dass die vorliegenden Daten nur einen Ausschnitt der Bestattungsgemeinschaft von Mauenheim widerspiegeln und zahlreiche Individuen aus Erhaltungsgründen oder aufgrund ihrer Niederlegung als Brandbestattungen für die Isotopenanalysen nicht zur Verfügung standen. Insgesamt zeugen die Isotopendaten von einer auf das lokale Umfeld konzentrierten, aber keinesfalls isolierten Gemeinschaft, die sich auch bezüglich des Ernährungsverhaltens gut in das Bild der damaligen Zeit einreicht.

## DANKSAGUNG

Für technische Unterstützung bei der Probenvorbereitung und Analyse der Strontium- und Sauerstoff-Isotopenproben sowie für die  $^{14}C$ -Datierungen am Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie gGmbH Mannheim sind wir Gerlinde Borngässer, Sigrid Klaus, Bernd Höppner, Susanne Lindauer, Robin van Gysegghem, Bernd Kromer und Ronny Friedrich zu herzlichem Dank verpflichtet. Für zahlreiche Kontextinformationen und Anregungen bei der Manuskripterstellung danken wir Andrea Bräuning, Wolfgang Löhlein, Marcus Stecher, Elisabeth Stephan und Joachim Wahl, die sich der archäologischen, anthropologischen und archäozoologischen Bearbeitung des Gräberfeldes von Mauenheim widmeten.