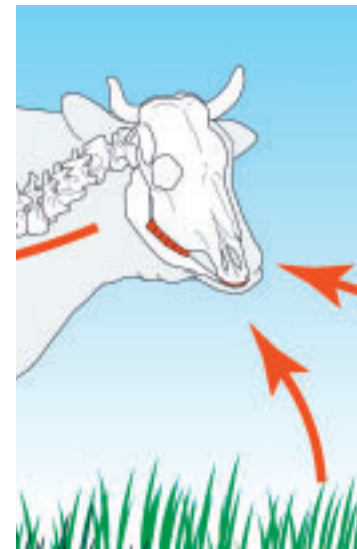


Sesshaft oder mobil?

Strontiumisotopen-Analysen erlauben Einblicke in das Leben von Menschen und Tieren in der Ur- und Frühgeschichte

Die moderne Archäologie bedient sich heute in zunehmendem Maße naturwissenschaftlicher Methoden, um kulturhistorische Fragestellungen und Probleme zu lösen. Die Ursache hierfür sind die revolutionären Entwicklungen analytischer Verfahren der letzten Jahrzehnte. Sie ermöglichen es, archäologisches Fundmaterial mit hochempfindlichen Messgeräten zu untersuchen und Fragenkomplexe zu entwickeln und zu beantworten, die noch vor zwei bis drei Jahrzehnten undenkbar waren. Im Rahmen dieser Entwicklung haben sich die Isotope des Elements Strontium in Knochen und Zähnen als ausgezeichnete Anzeiger für die Herkunft und Mobilität prähistorischer Menschen sowie die Weidegebiete von Haustieren erwiesen.

Elisabeth Stephan



Was ist „Archäometrie“?

Unter dem Begriff „Archäometrie“ wird die Verknüpfung altertumswissenschaftlich-archäologischer Fragestellungen mit dem Einsatz modernster naturwissenschaftlicher Methoden verstanden. Die Basis dieser relativ neuen Wissenschaft ist eine fächerübergreifende Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen archäologischen Disziplinen, Kunstgeschichte, Bau- und Kunstdenkmalspflege und Restaurierung und den verschiedenen Richtungen der Naturwissenschaften Physik, Chemie, Mineralogie, Material- und Werkstoffkunde sowie den Geo- und Biowissenschaften.

Die Methoden und Fragestellungen umfassen eine erhebliche Bandbreite und reichen von Prospektion und Materialanalysen über physikalische und dendrochronologische Datierungen zu geomorphologischen, sedimentologischen, dendrologischen, botanischen, zoologischen, anthropologischen und genetischen Untersuchungen.

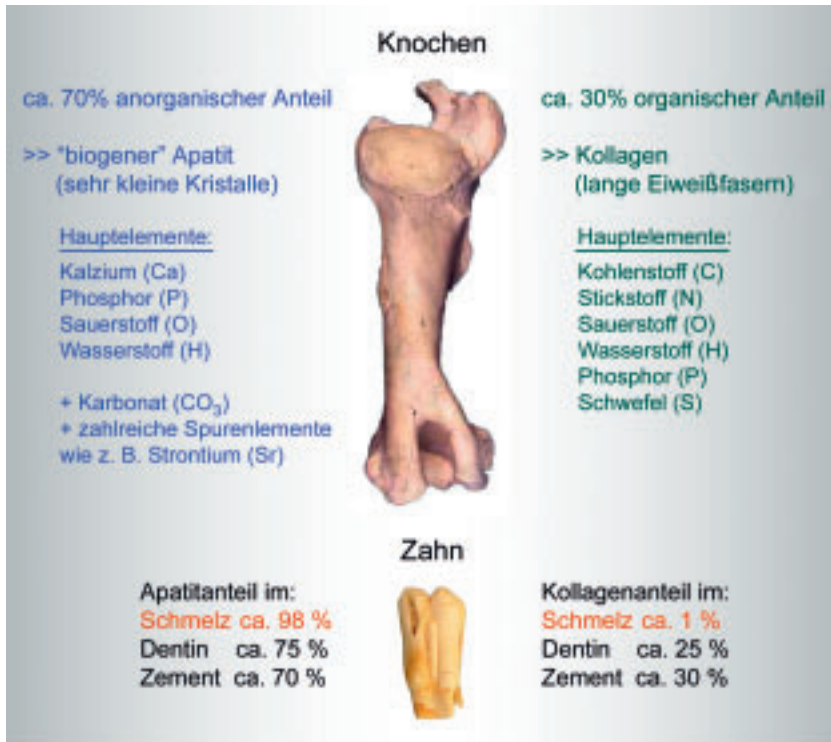
Archäozoologie und Paläoanthropologie befassen sich mit den bei archäologischen Grabungen geborgenen Skelettresten von Mensch und Tier. Archäozoologische Arbeiten geben Auskunft über Viehwirtschaft und Jagd und die vielfältigen Beziehungen zwischen Mensch und Tier in der Vorgeschichte. Mittels anthropologischer Untersuchungen werden Kenntnisse über die demografische Entwicklung und den Ernährungs- und Gesundheitszustand prähistorischer Menschen gewonnen.

Isotopenuntersuchungen an Skelettresten

Untersuchungen stabiler Isotopen der Elemente Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Strontium und Schwefel in Skelettresten haben in den letzten Jahrzehnten in der Archäologie zunehmend an Einfluss gewonnen. Knochen und Zähne sind wichtige chemische Archive. Überdauern sie die Bodendeposition in guter Erhaltung, sind in ihrer chemischen Zusammensetzung Informationen über die Lebens- und Ernährungsweise von Mensch und Tier sowie über die Klima- und Umweltbedingungen, denen diese ausgesetzt waren, gespeichert. Der große Vorteil dieser Methoden ist, dass die Informationen direkt aus den Funden gewonnen werden. So können paläoklimatische und paläoökologische Aussagen mit einzelnen Individuen oder bestimmten Tierarten sowie archäologischen Fundorten gekoppelt werden, ohne dass dazu mit anderen Methoden ermittelte Kenntnisse zu Lebensweise und Umwelt zwingend notwendig sind.

Woraus bestehen Knochen und Zähne?

Knochengewebe ist – anders als die meisten anderen Gewebe in Lebewesen – eine Kombination aus organischen und anorganischen Bestandteilen (Abb. 1). Die organische Komponente macht circa 30 Gewichtsprozent aus. Sie besteht hauptsächlich aus dem Eiweiß Kollagen. Bei den restlichen 70 Gewichtsprozenten handelt es sich um ein Salz,



1 Zusammensetzung von Knochen und Zähnen.

das aus Kalzium, Phosphor, Sauerstoff, Wasserstoff und zahlreichen Spurenelementen wie zum Beispiel Strontium gebildet wird. Eine weitere Besonderheit des Knochengewebes ist die Tatsache, dass dieses Salz in Form von sehr kleinen Hydroxylapatit-Kristallen vorliegt. Sie bilden zusammen mit dem Kollagen die feste Knochenmatrix, in der die Knochenzellen eingebettet sind. Primär dienen die speziellen chemischen und mechanischen Eigenschaften des Knochengewebes der Funktion des Skeletts im lebenden Organismus. Sie sind aber auch der Grund dafür, dass Knochen und Zähne die oft mehrere tausend Jahre andauernde Lagerung im Boden überdauern. Wie andere Gewebe auch wird das Knochengewebe zu Lebzeiten kontinuierlich erneuert. Diese Erneuerung erfolgt jedoch langsam und variiert abhängig vom Alter des Individuums und der jeweiligen Skelett- und Knochenregion. Beim Men-

schen dauert ein vollständiger Umbau zwischen fünf und mehr als 20 Jahren. Bei Tieren mit einer kürzeren Lebensdauer erneuert sich das Knochengewebe in kürzeren Zeiträumen. Die Zähne von Säugern bestehen aus Krone und Wurzel (Abb. 2). Der größte Teil des Zahnes besteht aus Zahnbein (Dentin). Dies wird ähnlich wie Knochen aus Apatit und Kollagen gebildet und – wie dieser auch – zeitlebens erneuert. Die Zahnkrone ist von Zahnschmelz überzogen. Dieser besteht fast ausschließlich aus Apatit und schützt als härteste Substanz im Organismus den Zahn vor Beschädigungen, mechanischem Abrieb und chemischen Einflüssen. Das Wachstum der Zähne beginnt mit der Schmelzbildung an der Krone und wird mit der Wurzelbildung abgeschlossen. Zahnschmelz ist gegenüber chemischen, physikalischen und biologischen Einflüssen während der Bodenlagerung wesentlich widerstandsfähiger als Knochengewebe und deshalb für isopenchemische Analysen besonders geeignet.

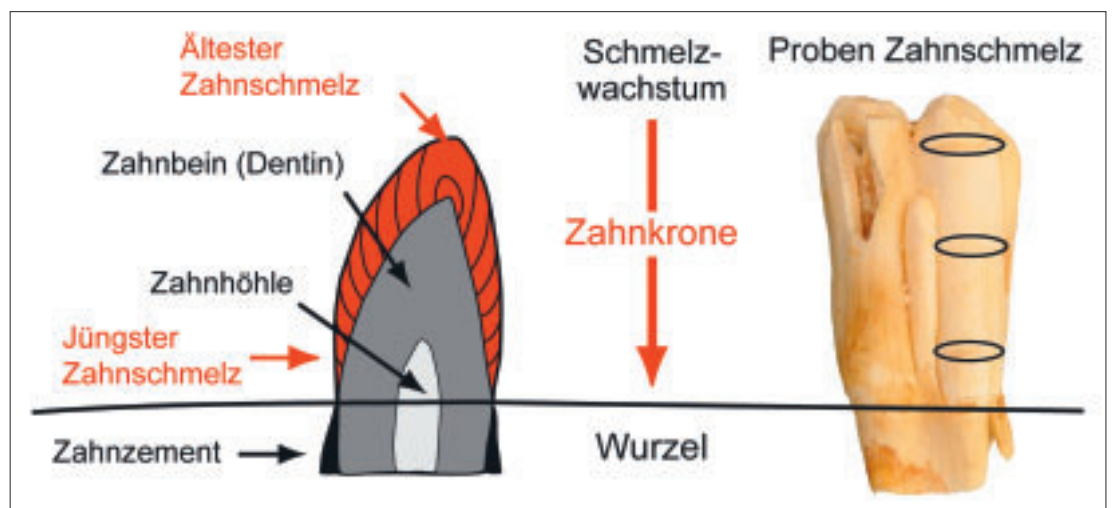
Strontiumisotope, Mobilität und Migration: Was sind Isotope?

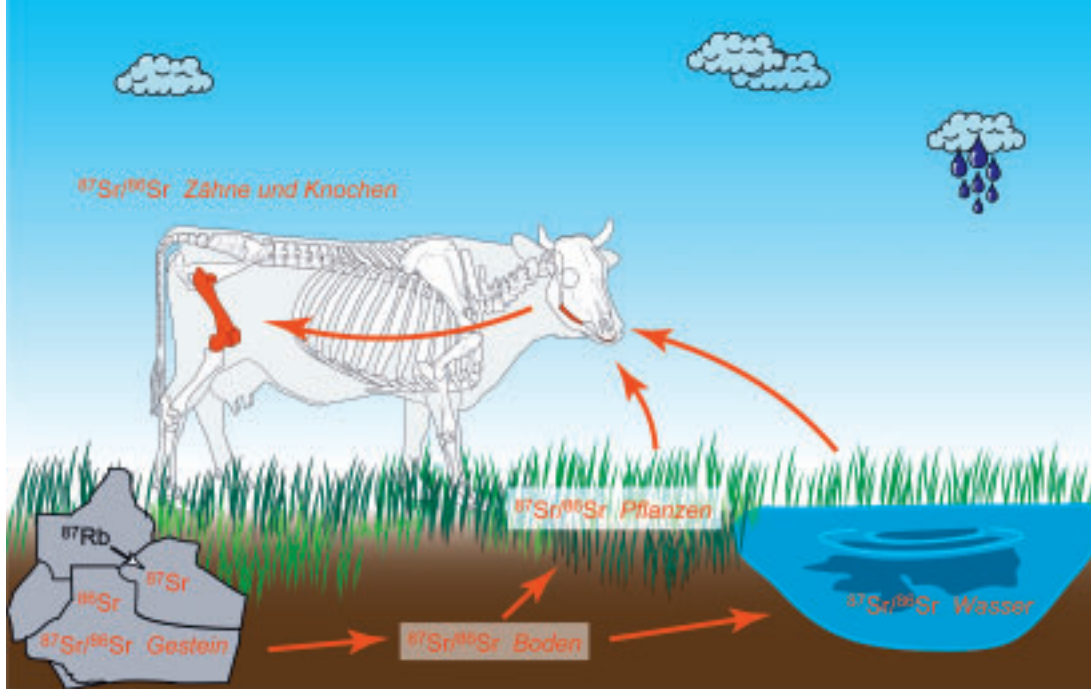
Fast alle chemischen Elemente liegen in der Natur als Isotopengemische vor. Als Isotope werden die Atomarten eines Elements bezeichnet. Sie haben eine unterschiedliche Anzahl von Neutronen im Atomkern und besitzen deshalb unterschiedliche Atommassen. Alle Isotope eines Elements haben prinzipiell die gleichen chemischen Eigenschaften. Sie verhalten sich aber aufgrund ihrer Masseunterschiede in physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen geringfügig unterschiedlich.

Stabile Isotope des Elements Strontium

Strontium (Sr) besitzt vier natürliche stabile Isotope. Diese sind nicht radioaktiv, zerfallen also nicht spontan und sind in fast allen Gesteinen als

2 Zahnaufbau, Schmelzbildung und Beprobung von Zähnen für Isotopenanalysen am Beispiel eines Backenzahns vom Rind.





3 Bildung des Strontiumisotops ^{87}Sr aus ^{87}Rb (Rubidium) in Gesteinen und Weg der Strontiumisotope vom Gestein bis in das Skelett von Menschen und Tieren.



4 Strontiumisotopen-Signaturen ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) vom Gestein zum Skelett. Grundlagen zum Nachweis von Herkunft, Mobilität und Weidegebieten/Aufenthaltsorten.

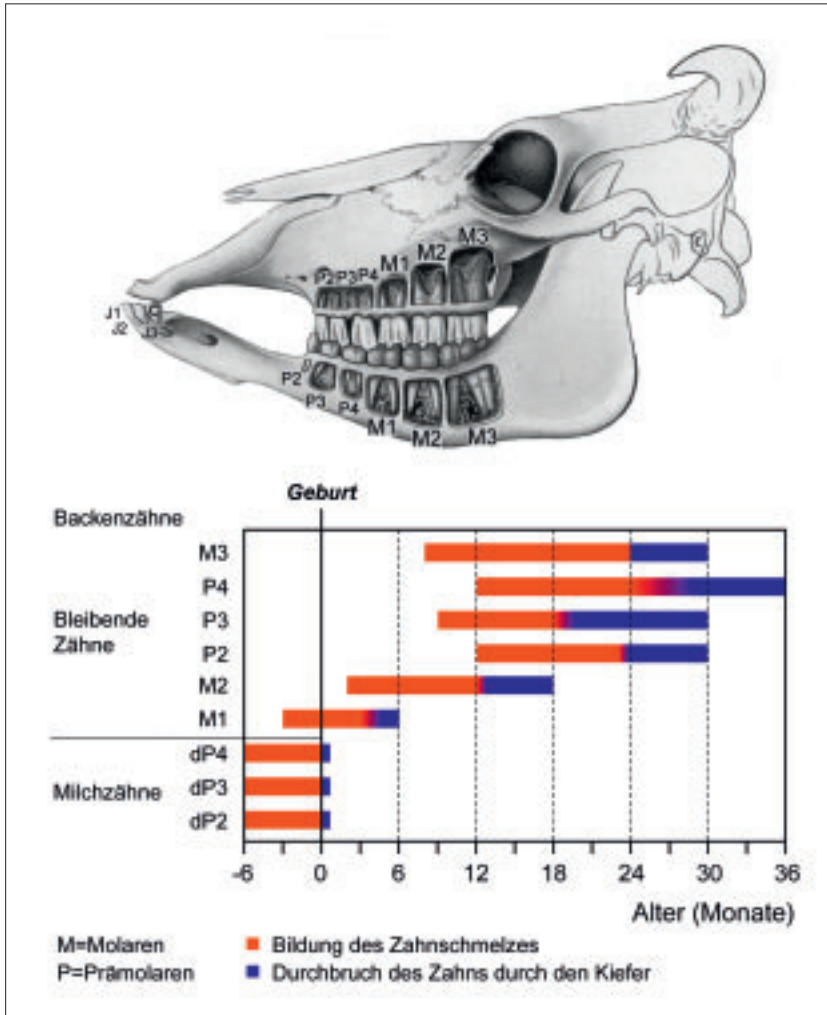
Spurenelemente enthalten. Während die Isotope ^{84}Sr , ^{86}Sr und ^{88}Sr eine konstante Konzentration aufweisen, ist das Isotop ^{87}Sr radiogenen Ursprungs und wird in Gesteinen im Lauf der Zeit durch den Zerfall des Elements Rubidium (^{87}Rb) gebildet. Das Entscheidende für die Analysen sind deshalb die Veränderungen des Verhältnisses von ^{87}Sr zu ^{86}Sr (Abb. 3; 4).

Dieses $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis unterscheidet sich in verschiedenen Gesteinen abhängig vom ursprünglichen ^{87}Rb -Gehalt und vom Alter des Gesteins: Je älter ein Gestein und je höher sein ^{87}Rb -Gehalt desto höher das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis. In geologisch alten Graniten und Gneisen des Schwarzwalds finden sich hohe $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse. Jüngere Gesteine und Sedimente wie zum Beispiel Muschel-

kalk und Löss sind durch deutlich geringere Isotopensignaturen charakterisiert. Zu beachten ist aber, dass unterschiedliche Gesteine ähnliche Signaturen aufweisen können.

Wie kommen die Isotope in Knochen und Zähne?

Durch Verwitterung gelangt das Strontium aus den Gesteinen in die oberen Bodenschichten und in das Grund- und Oberflächenwasser. Das im Wasser gelöste und so biologisch verfügbare Strontium wird von Pflanzen und von Menschen und Tieren mit der Nahrung und dem Trinkwasser aufgenommen, verstoffwechselt und dauerhaft in das Skelett eingebaut. Dabei kommt es weder bei der



5 Zeitpunkt und Dauer der Bildung des Zahnschmelzes und Durchbruch der Backenzähne beim Rind.

Aufnahme durch Pflanzen, Tiere und Menschen noch bei Verstoffwechslung und Einbau des Strontiums in Knochen und Zähne zu (messbaren) Veränderungen der ursprünglichen Isotopenverhältnisse. Die im Skelett gemessenen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse spiegeln deshalb die Isotopensignaturen der Geosphäre einer bestimmten Region wider. Die Isotopenverhältnisse in Knochen sind aufgrund der ständigen Erneuerung des Gewebes Mittelwerte über eine gewisse Anzahl von Jahren. Erfolgt ein Ortswechsel, passt sich das Strontiumisotopenverhältnis im Laufe der Um- und Neubildung des Knochengewebes an den neuen Aufenthaltsort an. Zahnschmelz, der – im Gegensatz zu Knochen – nach seiner Bildung nicht mehr erneuert wird, speichert dagegen die Isotopencharakteristik der Aufenthaltsorte zur Zeit seines Wachstums. Da die Schmelzbildung je Zahn schichtweise innerhalb von circa ein bis eineinhalb Jahren erfolgt und sich Zahnbildung und -durchbruch der verschiedenen Zähne über Jahre erstrecken, können durch die Analyse von Schmelzproben von verschiedenen Positionen je Zahn (Abb. 2) und zwei bis drei Zähnen je Individuum die Veränderungen der Isotopenverhältnisse über mehrere Jahre verfolgt werden (Abb. 5).

Analysen der Strontiumisotope in Knochen- und Zahnfunden können so – ergänzend zur archäologischen Auswertung von Beigaben – Auskunft über die menschliche Mobilität und geografische Herkunft einzelner Individuen geben. Die Analysen ermöglichen aber auch Rückschlüsse auf den Aufenthaltsort beziehungsweise die Weidegebiete von Haustieren in der Umgebung prähistorischer Siedlungen und den Handel mit Tieren. Eine derartige Lokalisierung von Weidegebieten ist mittels archäozoologischer Untersuchung der Tierreste allein nicht möglich.

Für die Interpretation der Isotopensignaturen in Knochenfunden ist die Charakterisierung der lokalen Strontium-Isotopie wichtig. Diese erfolgt am besten durch die Untersuchung von Gestein, Sediment, Boden, Wasser und den Resten heute lebender Tiere. Hierzu ist eine gute Kenntnis der lokalen Geologie erforderlich. Und es ist darauf zu achten, dass die ursprüngliche isotopenchemische Zusammensetzung der Proben nicht durch moderne Eingriffe des Menschen zum Beispiel durch Düngung oder die Anwendung von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln verändert wurde.

Mobilität zur Zeit der frühen Ackerbauern und Viehzüchter

Strontiumisotopenanalysen an menschlichen Skeletten und Rinderresten aus den bandkeramischen Gräberfeldern im „Viesenhäuser Hof“ in Stuttgart-Mühlhausen haben neue, spannende Informationen zum Leben der frühen Ackerbauern in Südwestdeutschland geliefert.

In der älteren Bandkeramik (Areal II, ca. 5550–5250 v.Chr.) wurden danach zwei Drittel der untersuchten Männer und Frauen am Ort geboren und verbrachten dort ihre Kindheit und Jugend sowie das Erwachsenenalter. Die restlichen analysierten Skelette wiesen ortsfremde Signaturen auf. Dabei zeigten sich erstaunlicherweise Unterschiede zwischen Frauen und Männern. Bei der Hälfte der untersuchten Männer sprachen die Isotopensignaturen zwar für Geburt und Tod vor Ort. Sie zeigten aber Zwischenaufenthalte in der Fremde während der späteren Kindheit und frühen Jugend. Über die Gründe für diese Abwesenheit kann beim derzeitigen Forschungsstand nur spekuliert werden. Anhand ethnologischer Beobachtungen wurde die Tätigkeit als Hütejungen im Rahmen einer Wanderweidewirtschaft in Betracht gezogen. Die analysierten Zähne der Hausrinder gaben aber leider keine Hinweise auf eine (saisonale) Nutzung weiter entfernt liegender Gebiete als Viehweide. Ein anderes Bild zeichnen die Analysen der Frauenbestattungen. Bei knapp der Hälfte der untersuchten Skelette deuten die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse

auf eine ortsfremde Herkunft, das heißt eine Geburt an einem weiter entfernten Ort, hin. Da sich die Isotopenverhältnisse in späteren Lebensjahren aber an die für Stuttgart und Umgebung typischen Werte annähern, scheinen die Frauen als Erwachsene dort gelebt zu haben. Denkbar ist, dass diese Frauen in Familien der Bauerngemeinschaft am „Viesenhäuser Hof“ einheirateten.

Für den jüngeren Teil des Gräberfeldes (Areal I, mittlere bis jüngere Bandkeramik, ca. 5250–5050 v.Chr.) konnten durch die Untersuchungen keine Fremden identifiziert werden. Alle untersuchten Personen waren wahrscheinlich Einheimische oder lebten in der näheren Umgebung.

Zusammen mit den morphologischen Ergebnissen der Skelettuntersuchungen geben die Isotopenanalysen für den „Viesenhäuser Hof“ klare Hinweise darauf, dass sich die Ernährungs- und Versorgungslage und das Migrationsverhalten während der Bandkeramik änderten. Dies zeigt sich auch durch Untersuchungen an Skelettresten aus anderen bandkeramischen Siedlungen wie Vaihingen an der Enz und Schwetzingen bei Heidelberg. Auch hier spiegelt sich in den Strontiumisotopenverhältnissen ein recht hohes Maß an Mobilität. Wanderungen spielten demnach bei den frühen Ackerbauern und Viehzüchtern in Mitteleuropa eine bedeutende Rolle und trugen möglicherweise zur Ausbreitung der sesshaften Lebensweise bei. Dies steht im Gegensatz zu den Vorstellungen von einer weitgehend sesshaften, auf die Lösslandschaften konzentrierten Gesellschaft.

Weidegebiete keltischer Tiere

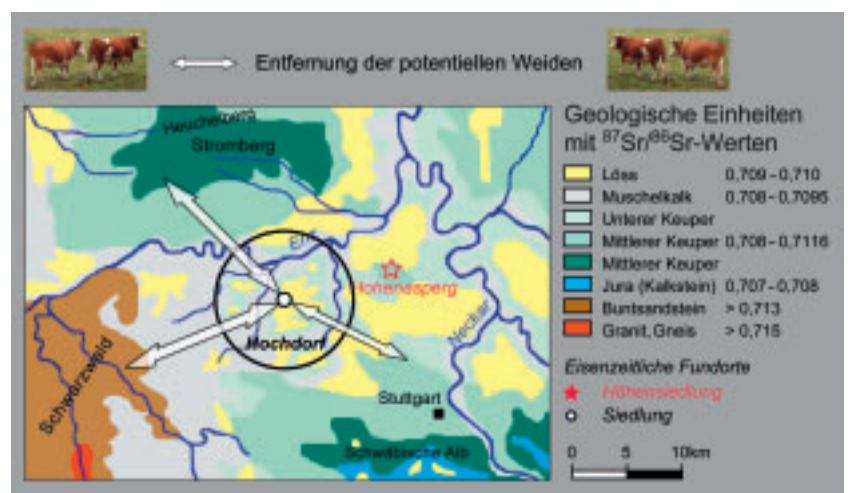
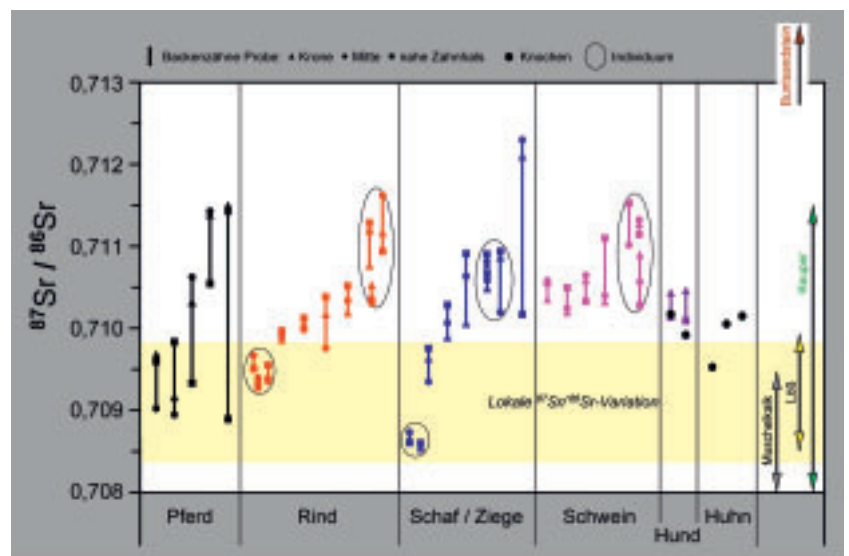
Für die frühe Eisenzeit belegen Analysen der Strontiumisotopenverhältnisse eine andere Viehwirtschaft als zur Zeit der ersten Bauern, und sie weisen abhängig von den naturräumlichen Gegebenheiten ein unterschiedliches Weidemanagement für die untersuchten Siedlungsräume auf. In Eberdingen-Hochdorf, einer frühkeltischen Siedlung (ca. 450–300 v.Chr.) nahe dem Hohenasperg und dem berühmten „Fürstengrab“ (ca. 550–500 v.Chr.), wurden überwiegend Flächen oberhalb von Keuper als Weideareale für Rind, Schaf, Ziege und Schwein genutzt (Abb. 6; 7). Die Gebiete oberhalb von Löss und Muschelkalk in der direkten Umgebung der Siedlung scheinen dagegen nur in geringerem Umfang als Weideland gedient zu haben. Dieser Umstand korreliert mit den naturräumlichen Gegebenheiten im mittleren Neckarland. Diese sanft gewellte Gäulandschaft zeichnet sich durch außerordentlich fruchtbare Böden und ein für Ackerbau günstiges Klima aus. Die Landschaft war – wie ein hoher Anteil von Feldhasen und Pollenuntersuchungen zeigen – während der Eisenzeit schon relativ stark aufgelichtet

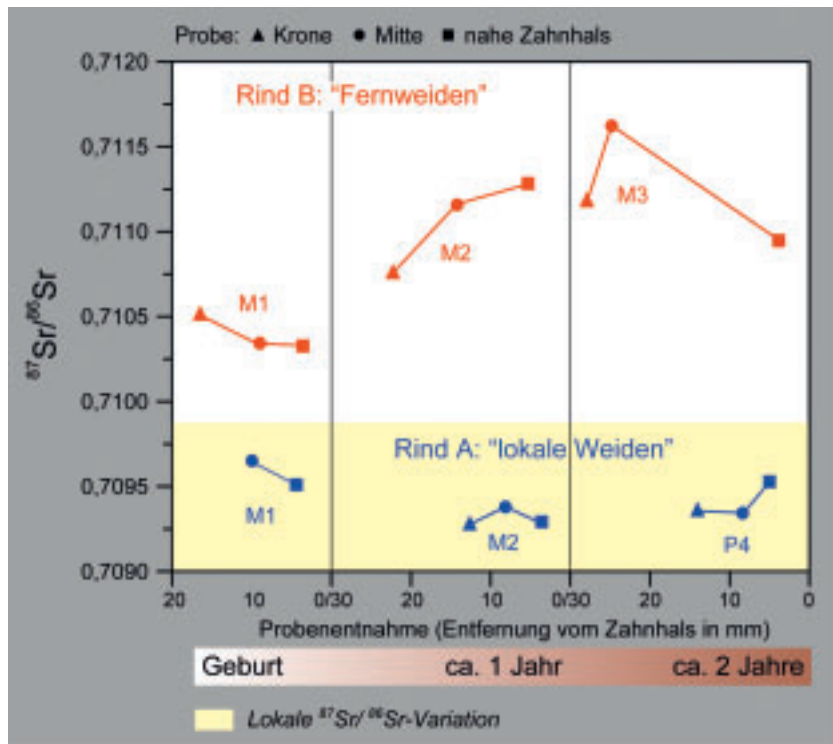
und wurde auch zu dieser Zeit vermutlich vorrangig als Ackerland genutzt. Als geeignete Weidegebiete für die Haustiere boten sich deshalb Keuperlandschaften an. Neben kleinräumigen Keuperflächen in der näheren Umgebung eigneten sich im Süden und Südwesten das Vorland der Schwäbischen Alb und im Nordosten der Strom- und Heuchelberg in einer Entfernung von circa 15 bis 30 km (Abb. 8). Diese weitgehend bewaldeten Berglandschaften weisen ungünstigere Böden auf und sind heute vor allem durch Forstwirtschaft geprägt. Auch denkbar ist eine Nutzung der Buntsandsteingebiete des südwestlich gelegenen Nordschwarzwalds für die Waldweide.

Die großen Unterschiede zwischen den Isotopenverhältnissen der verschiedenen Tiere, aber auch zwischen den Zähnen eines Tieres und sogar innerhalb einzelner Zähne deuten auf eine Art Umtriebsweide hin. Bei dieser werden die Tiere innerhalb eines Jahres oft mehrfach zwischen verschiedenen Weideplätzen umgestellt. Da die früh-eisenzeitliche Besiedlung der Region relativ dicht war, ist es fraglich, ob die hierfür erforderlichen Weideflächen alle im Besitz der Bewohner von Hochdorf waren. Möglicherweise erfolgte das

6 Strontiumisotopen-Signaturen in Haustierzähnen und -knochen aus der frühkeltischen Siedlung Hochdorf im Vergleich mit den Signaturen in Gestein, Boden, Wasser, rezenten und archäologischen Säugtieren und Schnecken in der Umgebung des Fundplatzes.

7 Schematische geologische Karte der mittleren Neckarregion inklusive der Strontiumisotopen-Signaturen und der Lokalisierung der potenziellen Weideregionen für die Haustiere aus der frühkeltischen Siedlung Hochdorf anhand der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Signaturen in Tierknochenfunden.





8 Strontiumisotopen-Signaturen in den Unterkiefer-Backenzähnen von zwei Hausrindern aus der frühkeltischen Siedlung Hochdorf. Die Bildung der verschiedenen Zähne erstreckt sich über einen Zeitraum von etwa zwei Jahren. Die Zähne von Rind A waren deutlich stärker abgekaut als die von Rind B und repräsentieren deshalb jeweils eine kürzere Zeitspanne (Backenzahntypen: M1: 1. Molar; M2: 2. Molar; M3: 3. Molar; P4: 4. Prä-molar).

Herdenmanagement in Kooperationen mit Bewohnern der umliegenden Siedlungen. Die auffallend großen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Variationen innerhalb der Pferde Zähne könnten mit der vielseitigen Verwendung dieser Tiere als Transport- beziehungsweise Reittiere zusammenhängen. Denkbar sind zum Beispiel Reisen zwischen den für die anderen Haustiere genutzten Weideregionen und zu Siedlungen, mit denen Handelsbeziehungen gepflegt wurden.

Fleischbedarf und Tierimporte an der Heuneburg

Ein anderes Weidemanagement zeigt sich während der eisenzeitlichen Besiedlung an der Heuneburg, einem bedeutenden frühkeltischen Fürstensitz an der oberen Donau. Den $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnissen in Knochenfunden aus der Heuneburg-Vorbürg und der Außensiedlung zufolge wurden hier Rinder, Schafe, Ziegen, Schweine und Pferde überwiegend auf Weidegebieten in der näheren Umgebung gehalten. Die Schwäbische Alb, die Donauauen und das Alpenvorland kommen zum einen aufgrund der geografischen Lage der Heuneburg am Südrand der Schwäbischen Alb als Weidegebiete in Frage. Zum anderen bieten sie aufgrund der Beschaffenheit der Böden ungünstigere Voraussetzungen für den Ackerbau, sind aber großflächig auch in bewaldeten Hanglagen und Vernässungsstandorten der Donauauen gut als Weideland nutzbar.

Während der Blütezeit auf der Heuneburg von 650 bis 550 v. Chr. scheint es zudem einen Handel mit Tieren gegeben zu haben. In dieser Phase wurde

die Viehhaltung sowohl auf dem Burgareal als auch in der Vorbürg und der Außensiedlung durch die Produktion von Schweine- und auch Rindfleisch dominiert. Dies scheint jedoch für die Versorgung der zahlreichen Bewohner nicht ausreichend gewesen zu sein, denn es wurden – zusätzlich zu den in der nahen Umgebung auf der Schwäbischen Alb und in den Donauauen gehaltenen Tieren – Rinder, Schafe und sogar Schweine wahrscheinlich aus dem Vorland der Schwäbischen Alb und dem Schwarzwald importiert. Nach der Zerstörung der Siedlung auf dem Plateau um 530 v. Chr. und der Neubebauung des Burgareals steht die Fleischwirtschaft nicht mehr im Vordergrund der Viehhaltung, und der Handel mit Tieren scheint aufgrund eines Bevölkerungsrückgangs fast gänzlich zum Erliegen gekommen zu sein. Wie diese Beispiele zeigen, haben sich die Strontiumisotope in Knochen und Zähnen als ausgezeichnete Anzeiger für die Herkunft und Mobilität prähistorischer Menschen sowie die Weidegebiete von Haustieren erwiesen. Das Potenzial dieser Methode ist aber bei Weitem nicht ausgeschöpft. Entsprechende Forschungen sind auch für viele andere archäologische Perioden vielversprechend. Kombinationen mit den Isotopen anderer Elemente ermöglichen zudem eine weitere Differenzierung der bisher gewonnenen Erkenntnisse.

Literatur

E. Stephan/C. Knipper/K. Schatz/T. D. Price/E. Hegner: Strontium isotopes in faunal remains: evidence of the strategies for land use at the Iron Age site Eberdingen-Hochdorf (Baden-Württemberg, Germany). In: Population Dynamics in Prehistory and Early History. New Approaches Using Stable Isotopes and Genetics. E. Kaiser/J. Burger/W. Schier (Hrsg.): Topoi. Berlin Studies of the Ancient World Vol., Berlin 2012, 265–286.
 C. Knipper: Die räumliche Organisation der linearbandkeramischen Rinderhaltung: naturwissenschaftliche und archäologische Untersuchungen. BAR International Series 2305, Oxford 2011, 485.
 E. Stephan: Rekonstruktion eisenzeitlicher Weidewirtschaft anhand archäozoologischer und isotopechemischer Untersuchungen. In: N. Benecke (Hrsg.): Beiträge zur Archäozoologie und Prähistorischen Anthropologie VII, Langweißbach 2009, 65–79.
 T. D. Price/J. Wahl/C. Knipper/E. Burger-Heinrich/G. Kurz/R.A. Bentley: Das bandkeramische Gräberfeld vom „Viesenhäuserhof“ bei Stuttgart-Mühlhausen: Neue Untersuchungsergebnisse zum Migrationsverhalten im frühen Neolithikum. Fundberichte aus Baden-Württemberg 27, 2003, 23–57.

Dr. Elisabeth Stephan
 Regierungspräsidium Stuttgart
 Landesamt für Denkmalpflege

Glossar

Hydroxylapatit

Kalziumphosphatsalz mit der chemischen Formel $\text{Ca}_5[\text{OH}(\text{PO}_4)_3]$, das in mineralischer beziehungsweise kristalliner Form vorliegt.