

Die Strontiumisotopenanalyse: eine naturwissenschaftliche Methode zur Erfassung von Mobilität in der Ur- und Frühgeschichte

Corina Knipper

Magisterarbeit Tübingen 2002 (Prof. Dr. Dr. H.-P. Uerpmann, Prof. Dr. M.K.H. Eggert)

Räumliche Mobilität ist ein grundlegender Bestandteil menschlichen Lebens und war seit Beginn der wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit der ur- und frühgeschichtlichen Vergangenheit des Menschen im Bewußtsein der Archäologen. Wanderungen galten als Erklärung für scheinbar plötzlichen Wandel in der materiellen Kultur, standen Pate für die Benennung von Zeitstufen wie der "Völkerwanderungszeit" oder von Spezialisten wie den "Wanderhandwerkern". Sie wurden entweder unreflektiert vorausgesetzt, scharfsinnig aus den materiellen Hinterlassenschaften des Menschen abzuleiten versucht oder teilweise aufgrund von Mißerfolgen in diesen Bemühungen nahezu gänzlich ignoriert.

Seit Beginn der 1980er Jahre bieten naturwissenschaftliche Untersuchungen an Knochen und Zähnen die Möglichkeit, regelhafte und unregelmäßige Ortswechsel von Menschen und Tieren festzustellen (ERICSON 1985). Die bisher am weitesten entwickelte und am häufigsten eingesetzte Methode ist die sogenannte "Strontiumisotopenanalyse". Obwohl mittlerweile zahlreiche Einzelstudien vorliegen, fehlte es bislang an einer systematischen Zusammenstellung der methodischen Grundlagen und der daraus resultierenden Problemfelder, der archäologischen Anwendungsmöglichkeiten sowie an einer Einschätzung des Erkenntnispotentials dieser zukunftsweisenden Methode für ur- und frühgeschichtliche Fragestellungen. Diesem Desiderat entgegenzuwirken, war Ziel der Magisterarbeit.

Die Forschungsgeschichte der Strontiumisotopenanalyse läßt sich in drei Strängen zurückverfolgen. Der erste wurzelt in der Geochemie und betrifft die isotopische Zusammensetzung von Strontium in Gesteinen bzw. Grund- und Oberflächenwasser. Der zweite umfaßt die biologische Grundlagenforschung, die sich – angeregt durch die Problematik des gesundheitsschädigenden ^{90}Sr – mit dem Verhalten von Strontium in der Nahrungskette und dessen Einbau in Knochen und Zähne auseinandersetzt. Der dritte Strang greift auf

die Ergebnisse der unabhängig von archäologischen Fragestellungen durchgeführten Untersuchungen zurück und wendet sie an, um Mobilität von Mensch und Tier in der Ur- und Frühgeschichte zu erforschen.

Ausgangspunkt für die Strontiumisotopenanalyse ist Strontium, das in Gesteinen als Spurenelement weit verbreitet ist. Seine isotopische Zusammensetzung ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) variiert mit der Art und dem Alter der Gesteine. Strontium gelangt durch Verwitterung in den Boden und ins Grundwasser und kann von Pflanzen aufgenommen und weiter durch die Nahrungskette bis zum Menschen transportiert werden, wobei sich seine ortsspezifische isotopische Zusammensetzung nicht ändert. Bei Säugetieren – und so auch beim Menschen – wird Strontium an Stelle von Calcium hauptsächlich in Knochen und Zähne eingelagert. Zahnschmelz erfährt nach seiner Bildung keine Veränderungen mehr. Deshalb entspricht seine Isotopensignatur dem Ort wo er gebildet wurde – also dem Wohnort des Individuums in seiner Kindheit. Knochen hingegen unterliegen Umwandlungsprozessen, bei denen ständig neues Strontium eingelagert wird. Ändert ein Individuum seinen Aufenthaltsort und nimmt damit Strontium mit einer anderen isotopischen Zusammensetzung auf, so wird sich im Laufe der Zeit das Strontiumisotopenverhältnis der Knochen ändern. Signifikante Unterschiede zwischen Knochen und Zahnschmelz des gleichen Individuums oder zwischen dem Zahnschmelz und der Isotopie des am Fundort biologisch verfügbaren Strontiums weisen auf einen Ortswechsel zu Lebzeiten des Menschen hin (Abbildung).

Das entsprechende Kapitel in der Magisterarbeit erläutert zunächst die geologischen Grundlagen, d.h. gesteinstypische Isotopensignaturen, sowie die biologischen Grundlagen, d.h. den Weg von Strontium durch die Nahrungskette sowie den Einbau in Zahnschmelz, Dentin und Knochen, wobei jeweils die chemische Zusammensetzung und der histologische Aufbau, die Bildungsmechanismen und Bildungszeiträume, Stoffwechsel- und Umwandlungsvorgänge im lebenden Organismus sowie die Bedeutung für Strontium-

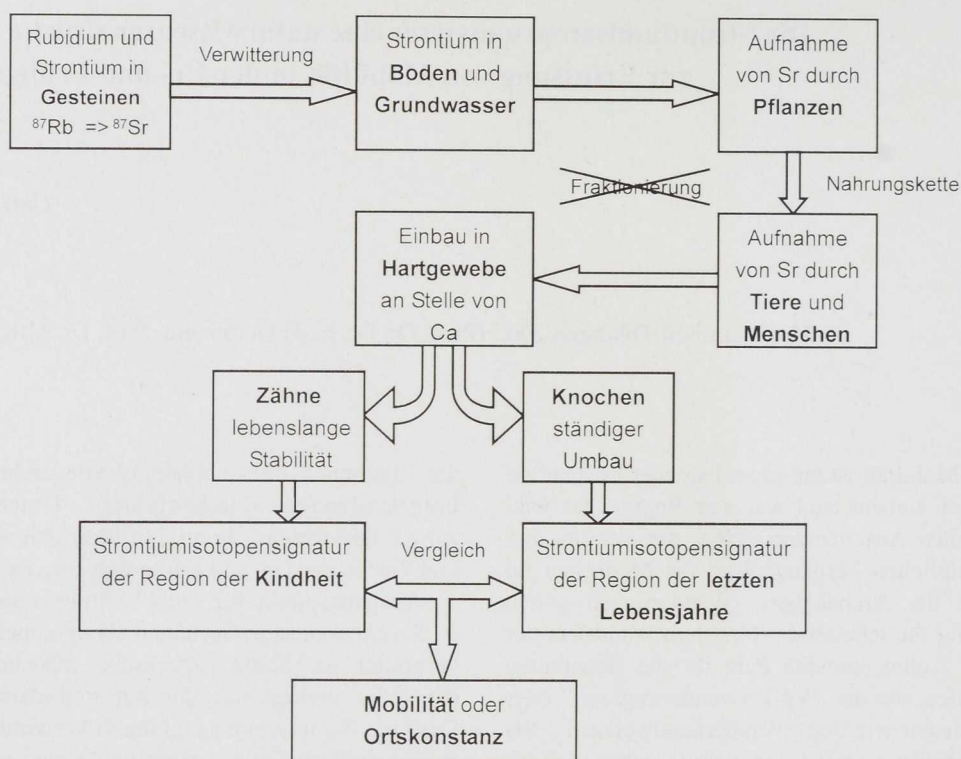


Abb. Grundlagen der Strontiumisotopenanalyse zum Nachweis von Mobilität.

isotopenmessungen mit archäologischer Fragestellung besprochen werden.

Zur letztendlichen Differenzierung von Einheimischen und Zuwanderern anhand von Strontiumisotopenverhältnissen gibt es mehrere methodische Ansätze. Sie beruhen entweder auf einem Vergleich der Meßdaten von Skelettresten mit Strontiumisotopenverhältnissen der am Fundort anstehenden Gesteine oder des Grund- und Oberflächenwassers, auf Differenzen zwischen Zahnschmelz und Knochen oder zwischen Zahnschmelz und dem am Fundort biologisch verfügbaren Strontium. Das biologisch verfügbare Strontium ist das Strontium, das Organismen mit ihrer Nahrung aufnehmen können und das vergleichsweise zuverlässigste Kriterium (PRICE et al. 2002). Für die jeweils interessierenden Fundorte sollte es aus Zahnschmelz von Tieren abgeleitet werden, die einen relativ kleinen Aktionsradius haben und für die es unwahrscheinlich ist, daß sie auf unterschiedliche, unter Umständen weit voneinander entfernte Weiden gebracht wurden.

Der Vergleich mit Daten für Knochen ist aus zwei Gründen weniger zuverlässig:

1. Knochenumbau geschieht verhältnismäßig langsam, so daß ein vollständiger Austausch des Strontiums frühestens nach 10 Jahren erfolgt ist. Je nach Skelettelement ist eher mit zwischen 30 und 40 Jahren

oder gar länger zu rechnen. Stirbt ein Individuum nur wenige Jahre nach einem Wechsel des Wohnorts, so reicht diese Zeit unter Umständen nicht aus, um das Strontiumisotopenverhältnis der Knochen signifikant zu verändern.

2. Knochen sind im Vergleich zu Zahnschmelz sehr porös und deshalb während der Bodenlagerung anfälliger für Kontamination. Auch, wenn das kontaminierende Strontium nur aus dem umgebenden Boden stammen kann (SCHWEISSING & GRUPE 2003, 1375), ist derzeit noch nicht sicher nachgewiesen, daß dieses diagenetische Strontium auch dem biologisch verfügbaren entspricht.

Zu den methodischen Grundlagen der Strontiumisotopenanalyse zählen weiterhin Überlegungen zur regionalen Einordnung von Zuwandern an einem Fundort. Daten für das biologisch verfügbare Strontium in potentiellen Herkunftsgebieten sind hier wiederum dem Vergleich mit der Strontiumisotopie von Gesteinen, Grund- oder Oberflächenwasser vorzuziehen.

Neben Aussagen zur Herkunft von Zuwanderern ist der Zeitpunkt von Interesse, zu dem ein Ortswechsel innerhalb des Individuallebens eines Menschen erfolgte. Dabei können aus der Untersuchung von Zahnschmelz verschiedener Zähne eines Gebisses Anhaltspunkte zum Zeitpunkt von Wanderungen während der Kindheit abgeleitet werden, während

Knochen – zumindest theoretisch – Ortswechsel im Erwachsenenalter dokumentieren können. Es wurde eine Formel entwickelt und kritisch diskutiert, mit der bei Kenntnis der Strontiumisotopie des Herkunfts- und Zielgebietes sowie der Knochenumbaugeschwindigkeit auf den Wanderungszeitpunkt geschlossen werden kann.

Der zweite Hauptteil der Magisterarbeit setzt sich systematisch mit den archäologischen Anwendungsmöglichkeiten von Strontiumisotopenanalysen auseinander. Für die vielfältigen Arten menschlicher Mobilität werden theoretische Hintergründe, archäologische Erkennungskriterien und -schwierigkeiten sowie ihre Bedeutung in der archäologischen Forschung und vor allem der Beitrag der Strontiumisotopenanalyse zu ihrer Erforschung dargelegt. Dabei wird zwischen nicht regelhaften Formen von Mobilität in sesshaften Gemeinschaften und regelhaften Formen in teil- oder zeitweise mobilen Gruppen unterschieden.

Wanderungen in sesshaften Gemeinschaften wurden in der archäologischen und ethnographischen Forschung bislang nach verschiedenen Kriterien klassifiziert; so nach Gruppengröße, Distanz, Motivation, Dauer der Einzelaufenthalte, Freiwilligkeit, demographischen Auswirkungen, Organisation oder Richtung. Es wird jeweils diskutiert, ob und unter welchen Umständen die verschiedenen Arten von Wanderungen mit Hilfe von Strontiumisotopenanalysen erkennbar sind.

Ortswechsel von Mitgliedern sesshafter Gemeinschaften waren Hauptgegenstand der bisherigen Strontiumisotopenstudien, die eine knappe Vorstellung erfahren. Sie wurden an Populationen einzelner Fundorte durchgeführt, um das Postulat der Herkunft von Zuwanderern von einem bestimmten Ort zu prüfen (PRICE et al. 2000) oder die Rolle von Zuwanderungen zunächst unbekannter Herkunft einzuschätzen (EZZO & PRICE 2002; SCHWEISSING & GRUPE 2003). Außerdem gibt es Studien zu bestimmten fundplatzübergreifenden archäologischen Phänomenen, die mit Mobilität in Verbindung gebracht werden, so z.B. zum Glockenbecherphänomen (PRICE et al. 1998) oder zu Wanderungen im frühen Neolithikum Mitteleuropas (BENTLEY et al. 2002).

Stellt man die archäologischen und naturwissenschaftlichen Herangehensweisen und Aussagemöglichkeiten zum Erkennen von Wanderungen einander gegenüber, so zeigen sich einige grundlegende Unterschiede. Der Strontiumisotopenanalyse stehen mit Knochen und Zähnen direkte Überreste des Menschen zur Verfügung. Die Aussagen basieren stets auf den untersuchten Einzelindividuen. Wanderungen sind nur in der ersten Generation nachweisbar. Die Nachkommen der zweiten und weiterer Generationen nehmen mit

ihrer Nahrung Strontium vom neuen Wohnort auf und lagern ihn in den Schmelz ihrer Zähne ein, auch wenn sie durch Elemente der materiellen Kultur, wie z.B. durch ihre Kleidung, für ihre Mitmenschen eindeutig als Fremde zu erkennen sind.

Die archäologischen Hinweise auf Wanderungen geben Funde und Befunde, die in der Regel nicht untrennbar mit ihren jeweiligen Herstellern oder Besitzern verbunden sind. Es muß daher zunächst geprüft werden, ob sie für eine Gruppe oder für Einzelindividuen repräsentativ sind oder ob sie unabhängig von der Umsiedlung von Menschen, z.B. durch Handel, Raub oder Ideenübernahme an ihren Fundort gelangten. Materielle Anzeichen für Fremde zeigen sich meist auf Gruppenebene und können durchaus über mehrere Generationen erkennbar sein.

Schließlich sei betont, daß die naturwissenschaftlichen und archäologischen Möglichkeiten, Wanderungen zu erkennen, auf sehr unterschiedlichen Phänomenen beruhen, und Ortswechsel sich daher nicht immer auf beiden Wegen manifestieren können. Ob ein Ortswechsel mit Hilfe von Strontiumisotopenuntersuchungen erkennbar ist, hängt davon ab, ob das betreffende Individuum die Grenzen der "Strontiumisotopenprovinz" des Herkunftsortes überschreitet. In der materiellen Kultur werden sich Umsiedlungen ebenfalls nicht zu erkennen geben, wenn sich der kulturelle Habitus zwischen Ausgangs- und Zielort der Wanderung nicht unterscheidet. Bei der Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen und archäologischen Hinweisen auf Wanderungen ist stets zu bedenken, daß Strontiumisotopenprovinzen und Verbreitungsgebiete materieller Kultur in der Regel nicht deckungsgleich sind.

Im Gegensatz zu den bislang vorzugsweise untersuchten unregelmäßigen Formen von Mobilität in sesshaften Gemeinschaften wurden Fragen zu regelhafter Mobilität des Menschen bislang kaum mit Strontiumisotopenanalysen angegangen. Regelhafte Formen von Mobilität gibt es im Zusammenhang mit einer aneignenden Wirtschaftsweise als Jäger und Sammler oder pastoral geprägten Wirtschaftsweisen wie Nomadismus oder Transhumanz. Mittels Strontiumisotopenanalysen sind mobile Lebensformen nur erkennbar, wenn die Ortswechsel bereits im Kindesalter stattfinden. Der Zahnschmelz des menschlichen Gebisses wird bis zum zwölften bzw. 14. Lebensjahr mineralisiert und lagert dabei im Falle einer mobilen Lebensweise Isotopen verschiedener Aufenthaltsorte ein. Diese werden bei der Durchführung mehrerer Isotopenanalysen an verschiedenen, nacheinander gebildeten Zähnen erkennbar.

Ebenso wie an menschlichen Skeletten können Strontiumisotopenanalysen an Faunenresten durchgeführt werden. Besonders Haustiere mit hochkronigen

Zähnen wie Rinder und Pferde aber auch Schafe und Ziegen bieten gute Möglichkeiten, regelhafte, saisonale oder sporadische Ortswechsel der Tiere zu erkennen. Daraus ergibt sich eine Vielzahl von archäozoologischen Fragestellungen nach der täglichen Praxis und räumlichen Organisation der Haustierhaltung (BALASSE et al. 2002).

Strontium kommt außer in menschlichen und tierischen Überresten auch in anderen biogen oder nicht biogen gebildeten Materialien wie Stein, Holz, Keramik oder Glas vor und kann daher Anhaltspunkte für die Herkunft von Rohmaterialien und Artefakten geben, was wiederum wichtige Schlüsse auf Handels- und Distributionssysteme zuläßt (GALE 1981; GALE et al. 1988; ENGLISH et al. 2001; KNACKE-LOY 1994).

Wesentlich problematischer sind die Bearbeitung wirtschaftsgeschichtlicher Fragestellungen und Untersuchungen zur Landnutzung. Systematische Strontiumisotopenstudien im Rahmen von *Site Catchment* Analysen oder Überlegungen zur *Shifting Cultivation* wurden bislang nicht durchgeführt, bieten aber eine weitere, potentielle Anwendungsmöglichkeit der Methode.

Eine Bewertung des derzeitigen Forschungsstandes kommt zu dem Schluß, daß trotz der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von Strontiumisotopenanalysen weiterhin erheblicher Bedarf im Bereich der Grundlagenforschung besteht. Diese muß vor allem das jeweils lokal und regional biologisch verfügbare Strontium des Arbeitsgebiets und das Erkennen und die Beseitigung von Kontamination des Untersuchungsmaterials während der Bodenlagerung betreffen. Ebenso ist das Potential weiterer chemischer Analysemethoden, die in Kombination mit Strontiumisotopenanalysen durchgeführt werden können, zu testen und auszubauen. Dazu zählen Sauerstoff- oder Bleiisotopenanalysen sowie die Untersuchung von elementarem Strontium und Barium. Anstelle von – wie heute üblich – alleinigen Strontiumisotopenstudien wird in Zukunft wohl eher ein Kriterienbündel zur Bearbeitung von Fragen nach Mobilität von Menschen und Tieren und bei der Erforschung früher Wirtschafts- und Landnutzungssysteme heranzuziehen sein.

Literatur

BALASSE, M., AMBROSE, S.H., SMITH, A.B. & T.D. PRICE (2002) The seasonal mobility model for prehistoric herders in the south-western Cape of South Africa assessed by isotopic analysis of sheep tooth enamel. *Journal of Archaeological Science* 29, 2002, 917-932.

BENTLEY, R.A., PRICE, T.D., LÜNING, J., GRONENBORN, D., WAHL, J. & P.D. FULLAGAR (2002) Prehistoric migration in Europe: Strontium isotope analysis of Early Neolithic skeletons. *Current Anthropology* 43/5, 2002, 799-804.

ENGLISH, N.B., BETANCOURT, J.L., DEAN, J.S. & J. QUADE (2001) Strontium isotopes reveal distant sources of architectural timber in Chaco Canyon, New Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 98/21, 2001, 11891-11896.

ERICSON, J.E. (1985) Strontium isotope characterization in the study of prehistoric human ecology. *Journal of Human Evolution* 14, 1985, 503-514.

EZZO, J.A. & T.D. PRICE (2002) Migration, regional reorganization, and spatial group composition at Grasshopper Pueblo, Arizona. *Journal of Archaeological Science* 29, 2002, 499-520.

GALE, N.H. (1981) Mediterranean obsidian source characterisation by strontium isotope analysis. *Archaeometry* 23/1, 1981, 41-51.

GALE, N.H., EINFALT, H.C., HUBBERTEN, H.W. & R.E. JONES (1988) The Sources of Mycenaean Gypsum. *Journal of Archaeological Science* 15, 1988, 57-72.

KNACKE-LOY, O. (1994) Isotopengeochemische, chemische und petrographische Untersuchungen zur Herkunftsbestimmung der bronzezeitlichen Keramik von Troia. *Heidelberger Geowissenschaftliche Abhandlungen* 77. Heidelberg 1994.

PRICE, T.D., MANZANILLA, L. & W.D. MIDDLETON (2000) Immigration and the ancient city of Teotihuacan in Mexico: a study using strontium isotope ratios in human bone and teeth. *Journal of Archaeological Science* 27, 2000, 903-913.

PRICE, T.D., BURTON, J.H. & R.A. BENTLEY (2002) The characterization of biologically available strontium isotope ratios for the study of prehistoric migration. *Archaeometry* 44/1, 2002, 117-135.

SCHWEISSING, M.M. & G. GRUPE (2003) Stable strontium isotopes in human teeth and bone: a key to migration events of the late Roman period of Bavaria. *Journal of Archaeological Science* 30, 2003, 1373-1383.

Corina Knipper
Institut für Ur- und Frühgeschichte
und Archäologie des Mittelalters
Eberhard-Karls-Universität Tübingen
Schloss Hohentübingen
Burgsteige 11
D - 72070 Tübingen