



# Haare als Spiegel des Lebens

## Isotopenanalysen an historischen Haarresten erlauben Rückschlüsse auf die Ernährungsgewohnheiten ihrer einstigen Träger

Unter den vielfältigen Fragestellungen der Anthropologie spielt die Rekonstruktion der Nahrungsgewohnheiten (prä-)historischer Populationen eine große Rolle. Bei günstiger Erhaltung lassen sich mithilfe der Archäometrie Informationen über den bevorzugten Speiseplan, die Menge bestimmter Nahrungsmittel, eine gute Versorgung oder Hinweise auf Mangelernährung und eventuell auch auf den Gesundheitszustand einzelner Personen gewinnen. Erwartungsgemäß können dabei für Vertreter verschiedener Sozialschichten abweichende Ernährungsstrategien aufgezeigt werden. In diesem Beitrag wird anhand zweier Individuen aus dem 17. und 18. Jahrhundert veranschaulicht, welche Aussagen Haarreste in diesem Zusammenhang liefern können.

Ferdinand Neuberger/Sebastian Gruber/Joachim Wahl

### Ein Mann der Kirche und ein Delinquent

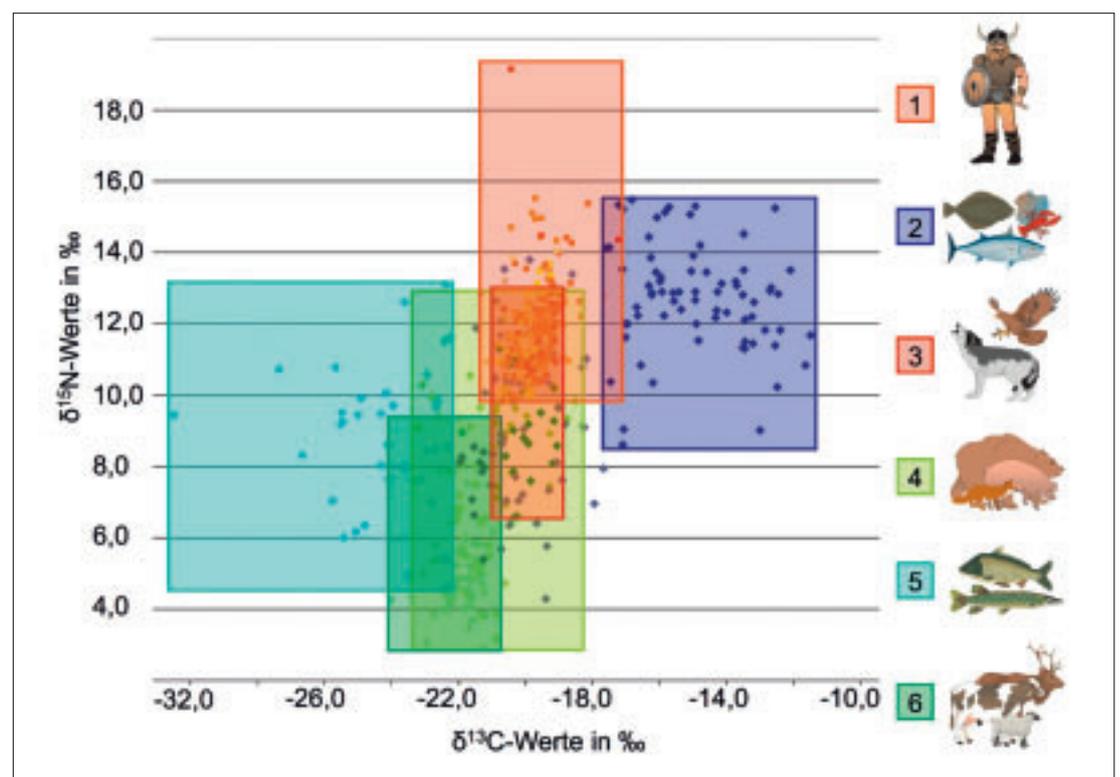
Untersucht wurden Haarproben zweier Personen von unterschiedlichen Fundorten:

**Individuum 1:** ein hochrangiger Kleriker aus der Christuskirche in Konstanz (Grab 7: Mann, über 60 Jahre, Größe etwa 1,65 m; Bestattung aus dem 17. Jahrhundert im Bereich des Mittelgangs) und **Individuum 2:** ein wahrscheinlich männliches

Hinrichtungsoffer aus einem Sammelgrab des 18. Jahrhunderts vom Wasenplatz in Schwäbisch Gmünd „Kiesmühle 16“.

Von den zur Analyse vorgesehenen Haarproben beider Bestattungen wurden jeweils circa 25 Haare entnommen und mit einem Faden gebündelt. Diese Bündel wurden mit einer Methanol-Chloroform-Lösung gereinigt und mit destilliertem Wasser gespült, um sie von anhaftenden Fremd-

1 Nahrungsnetz am Beispiel der mittelalterlichen Siedlung Haithabu. Alle Messwerte wurden anhand von Knochenproben ermittelt (verändert nach Vohberger et al., 2011). Messwerte für: (1) Menschen, (2) Meerestiere, (3) Fleischfresser, (4) Allesfresser, (5) Süßwasserfische, (6) Pflanzenfresser.



materialien wie zum Beispiel Hautresten und Sedimentpartikeln zu befreien, die die Messungen beeinflussen können. Als Nächstes wurden die Haare in einen Streifen Aluminiumfolie eingewickelt und in einem Trockenschrank bei 30 °C über Nacht getrocknet, zuletzt die Streifen dann in 1,2 cm (Individuum 1) beziehungsweise 0,5 cm (Individuum 2) lange Abschnitte zertrennt, die Haarlinge der einzelnen Teilstücke in Zinnkapseln eingewogen und in einem Massenspektrometer analysiert (Abb. 4).

### Was uns die Isotope sagen

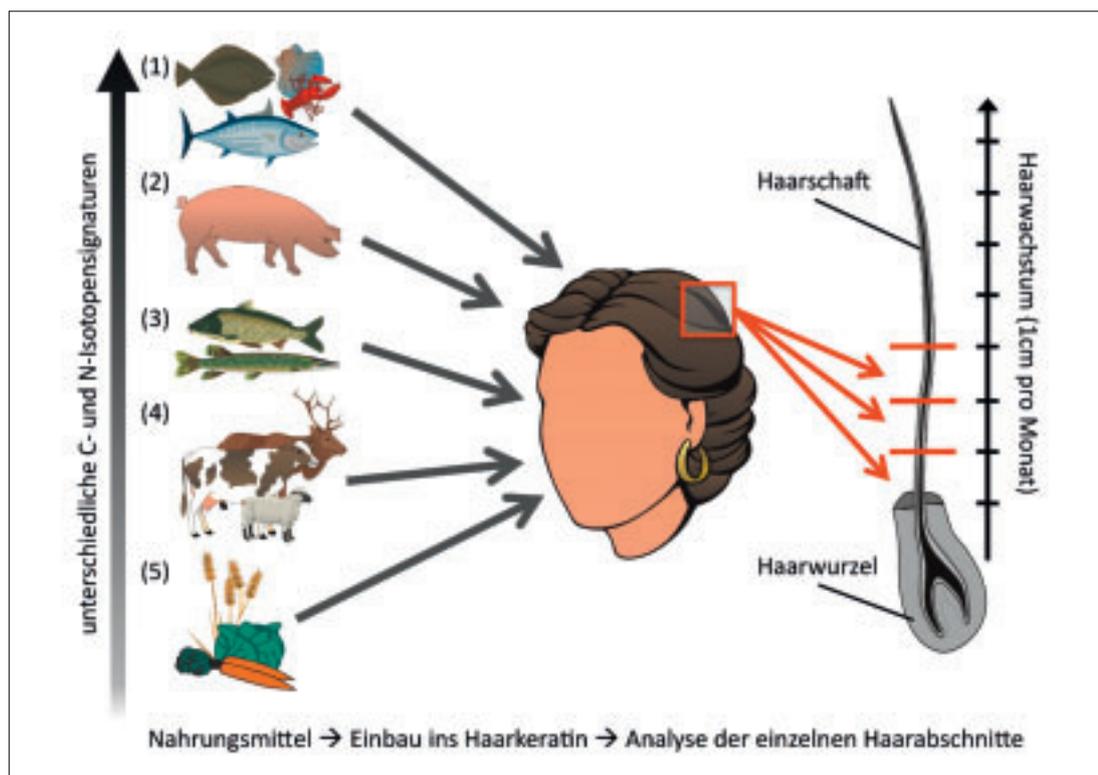
Die meisten chemischen Elemente bestehen aus zwei oder mehreren Atomvarianten (Isotope). Diese weichen bezüglich der Neutronenanzahl in ihren Atomkernen voneinander ab und weisen somit unterschiedliche Atomgewichte auf. Obwohl Isotope desselben Elements prinzipiell identische chemische Eigenschaften zeigen, können sie sich aufgrund ihrer abweichenden Atommassen in biologischen Prozessen unterschiedlich verhalten. Isotope, die keinem radioaktiven Zerfall unterworfen sind, werden stabile Isotope genannt. Für die vorliegende Untersuchung sind von den Elementen Kohlenstoff (C), Stickstoff (N) und Schwefel (S) die Verhältnisse von jeweils zwei stabilen Isotopen von Belang:  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  und  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ .

Diese Isotopenverhältnisse werden im Untersuchungsmaterial mithilfe eines Massenspektrometers bestimmt und einem für jedes Element spezifischen Standard gegenübergestellt. Sie werden in Promille (‰) als so genannte  $\delta$ -Notation darge-

stellt. Einzelne Nahrungsmittel weisen je nach Protein- und Energiegehalt unterschiedliche  $\delta$ -Werte auf. Grundsätzlich zeigt der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert den Proteinanteil in der Ernährung an, wogegen der  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert Auskunft über den Kohlehydrat- und Fettanteil liefert. Je nach konsumierter Nahrung findet sich diese Signatur auch im menschlichen Gewebe wieder. Bei der Gewebesynthese kommt es allerdings zu einer Selektion (Fraktionierung) zugunsten der schweren Isotope  $^{13}\text{C}$  und  $^{15}\text{N}$ . Dies führt dazu, dass das menschliche Gewebe einen höheren Anteil an  $^{13}\text{C}$ - und  $^{15}\text{N}$ -Isotopen und somit auch höhere  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aufweist als die konsumierte Nahrung. Die Schwefelwerte zeigen an, ob Süßwasser- oder Meeresfische auf dem Speiseplan gestanden haben. Als Richtwert gilt hierbei, dass marine Organismen bei einem  $\delta^{34}\text{S}$ -Wert von circa 20 ‰ liegen. Im Gegensatz dazu weisen terrestrische Organismen und Süßwasserfische  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte zwischen -5 ‰ und 10 ‰ auf. Der  $\delta^{34}\text{S}$ -Wert bleibt bei der Aufnahme in den Körper nahezu unverändert.

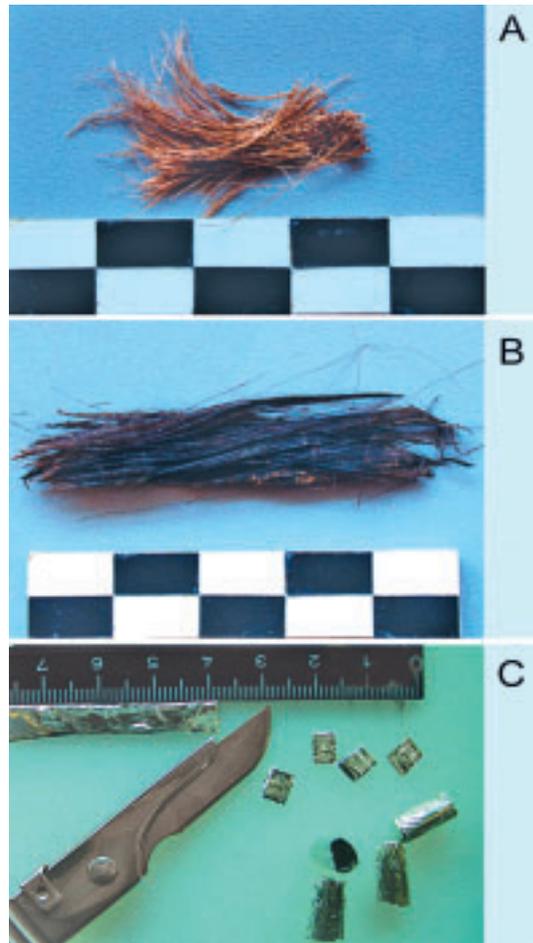
### Rekonstruktion des Speisezettels

Bei der Rekonstruktion der Ernährung ist es speziell im Hinblick auf historische Bevölkerungen wichtig, das damals verfügbare Nahrungsspektrum zu kennen. Je nach Zeitstellung und Region können die Ressourcen sehr unterschiedlich gewesen sein, woraus sich für die jeweils untersuchten Populationen verschiedene  $\delta$ -Werte ergeben. Die Analyse von Tier- und Pflanzenresten aus Siedlungsgrabungen gibt zwar Auskunft über die Zu-



2 Einbau der Isotopen in den Haarschaft und chronologische Rekonstruktion der Ernährungsgewohnheiten und des Ernährungszustandes. (1) Meeresfische/-tiere, (2) Allesfresser, (3) Süßwasserfische, (4) Pflanzenfresser, (5) Gemüse und Getreide.

3 Haarproben der beiden untersuchten Individuen und deren Vorbereitung für die Massenspektrometrie (Zerteilen des Haarstranges). (A) Individuum 1, (B) Individuum 2, (C) Haarstrang in Alufolie, bereits abgetrennte Haarabschnitte und Zinnkapseln.



sammensetzung der Nahrung, liefert jedoch keine Informationen darüber, wie hoch der Anteil der tierischen und pflanzlichen Nahrungsbestandteile war. Hinweise darauf können die genannten Isotopenverhältnisse in archäologischen Knochen-, Zahn- und auch Haarfunden geben. Das heißt, man misst die dort enthaltenen Isotopenverhältnisse und erstellt daraus ein lokal- und zeitspezifisches Nahrungsnetz. Die  $\delta$ -Werte aus den mensch-

lichen Proben innerhalb dieses Nahrungsnetzes liefern dann Auskunft über die Zusammensetzung des Speiseplans der untersuchten Bevölkerung (Abb. 1; 2).

### Spezielle Aussagekraft der Haare

Für die Ernährungsrekonstruktion historischer Populationen liefern Knochen seit Jahrzehnten das klassische Analysematerial. Daneben ermöglichen auch Haarproben verlässliche Ergebnisse. Haare bestehen aus dicht gepackten Keratinfasern, die über Schwefelverbindungen und Wasserstoffbrücken miteinander verbunden sind. Aus atomarer Sicht setzen sich Haare aus 50 Prozent Kohlenstoff, 23 Prozent Sauerstoff, 17 Prozent Stickstoff, 6 Prozent Wasserstoff und 4 Prozent Schwefel zusammen.

Haare wachsen kontinuierlich, sodass die aufgenommenen und eingelagerten Nahrungskomponenten fortwährend dokumentiert werden. Da ein nachträglicher Umbau des einmal gebildeten Haarkeratins ausgeschlossen ist, lässt sich die Ernährung über die gesamte Länge der Haare chronologisch ablesen. Abhängig vom Liegemilieu widerstehen Haare den Zersetzungsprozessen im Boden relativ lange, und es kommt kaum zu Interaktionen (An- oder Abreicherung von Elementen) mit dem umgebenden Medium. Außerdem sind Haarproben, je nach Überlieferungszustand, meist problemlos zu entnehmen. Es hängt von der Fragestellung ab, ob zusätzlich Skelettmaterial beprobt werden muss. Die Ergebnisse der Knochen- und Haaranalysen korrelieren zwar gut miteinander, unterscheiden sich jedoch in ihrer Aussagekraft deutlich. Die  $\delta$ -Werte aus Knochen dokumentieren aufgrund der langsamen Umbaurate von Knochengewebe die durchschnittliche Ernäh-

Tab. 1: Messwerte der beiden Haarproben von Individuum 1 und Individuum 2

|  | Analysennr. | $\delta^{13}\text{C}$ -Wert (‰) | $\delta^{15}\text{N}$ -Wert (‰) | $\delta^{34}\text{S}$ -Wert (‰) |
|--|-------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>Individuum 1 (Konstanz)</b>         |             |                                 |                                 |                                 |
|  | 1           | -20,39                          | 9,86                            | 1,22                            |
|  | 2           | -20,06                          | 9,78                            | 2,22                            |
| <b>Individuum 2 (Schwäbisch Gmünd)</b> |             |                                 |                                 |                                 |
|  | 1           | -21,13                          | 10,43                           | –                               |
|  | 2           | -21,23                          | 10,62                           | –                               |
|  | 3           | -21,48                          | 10,95                           | –                               |
|  | 4           | -21,42                          | 10,97                           | –                               |
|  | 5           | -21,07                          | 10,93                           | –                               |
|  | 6           | -21,20                          | 10,76                           | –                               |
|  | 7           | -21,21                          | 10,63                           | –                               |
|  | 8           | -21,35                          | 10,43                           | –                               |
| <i>Standardabweichung</i>              |             | <i>SD 0,06</i>                  | <i>SD 0,1</i>                   | <i>SD 0,16</i>                  |

rungsweise während der letzten fünf bis zehn Lebensjahre. Im Gegensatz dazu ist bei Haarproben – der Haarlänge entsprechend – eine Rekonstruktion der Ernährungssituation der letzten Wochen und Monate vor dem Tod des Individuums möglich, wobei man von einem Wachstum von circa 1 cm pro Monat ausgehen kann.

Verschlechtert sich die Ernährungssituation, sind entlang des Haarschaftes ein starker Anstieg des  $\delta^{15}\text{N}$ -Wertes und je nach Ausmaß des Mangels auch ansteigende oder abfallende  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte festzustellen. Diese Veränderungen sind Konsequenzen des menschlichen Hungerstoffwechsels, da bei einer Unterversorgung die körpereigenen Protein- und Fettreserven abgebaut und verwertet werden.

### Die Wuchsrichtung der Haare ist wichtig

Sofern die Wachstumsrichtung einer Haarprobe zu erkennen ist, lassen sich die Ernährungsweise über einen gewissen Zeitraum hinweg chronologisch rekonstruieren und mögliche Veränderungen des Konsumverhaltens ablesen. Die Wachstumsrichtung gibt somit die zeitliche Abfolge der  $\delta$ -Werte vor. Sie kann für ein komplettes Haarbündel an wenigen Haaren bestimmt, muss bei Einzelhaaren allerdings individuell ermittelt werden.

Die dachziegelartige Anordnung der Kutikulaschuppen auf der Haaroberfläche ermöglicht unter dem Mikroskop prinzipiell eine sichere Beurteilung der Wuchsrichtung. Bei archäologischen Haarfinden ist die Ansprache bisweilen jedoch erschwert, da bestimmte physikalische und chemische Eigenschaften des Liegemilieus während der Bodenlagerung eine Beschädigung der Schuppenstruktur bewirken können. In solchen Fällen können einzelne Haare vor dem Mikroskopieren auf einem Objektträger mit 0,125 M Natriumhydroxid beträufelt werden. Aufgrund des basischen Milieus spreizen sich die Schuppen etwas ab und die Wachstumsrichtung wird leichter erkennbar. Alternativ lässt sich von einzelnen Haaren mithilfe von Sekundenkleber ein Negativabdruck anfertigen (Abb. 3) und die Wuchsrichtung anhand der abgebildeten Schuppenstruktur der Haarkutikula ansprechen. Da die Bestimmung der Wachstumsrichtung bei schlecht erhaltener Kutikula viel Erfahrung erfordert, wurde die mikroskopische Untersuchung der beiden vorliegenden Haarproben außer in unserer Arbeitsgruppe zur Absicherung zusätzlich noch beim Bayerischen Landeskriminalamt in München durchgeführt.

### Die „Probanden“ aus Konstanz und Schwäbisch Gmünd

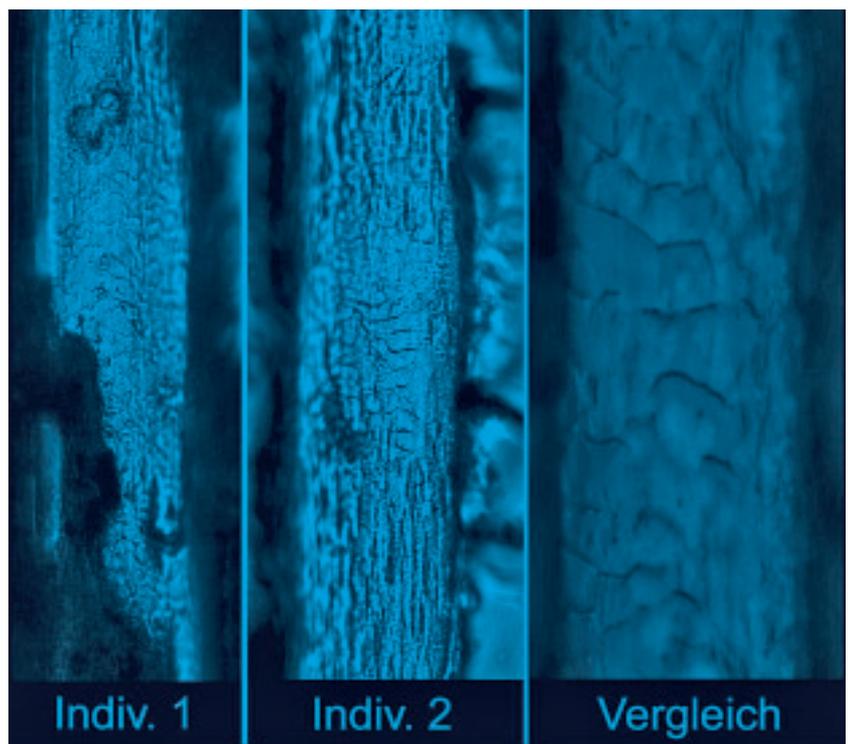
Die Haarproben von Individuum 1 waren mit einer Länge von 2,5 cm relativ kurz und sehr brüchig.

**Tab. 2: Isotopenwerte moderner Haarproben aus Deutschland (nach Petzke et al., 2005)**

|                      | $\delta^{13}\text{C}$ (‰) | SD  | $\delta^{15}\text{N}$ (‰) | SD  | n  |
|----------------------|---------------------------|-----|---------------------------|-----|----|
| Veganer              | -20.9                     | 0.3 | 6,2                       | 0.4 | 6  |
| Ovo-lacto-Vegetarier | -20,2                     | 0.3 | 7,7                       | 0.5 | 15 |
| Allesesser           | -19,6                     | 0.4 | 9,9                       | 0.6 | 99 |

Demzufolge konnten hier nur zwei Analysen durchgeführt werden (Tab. 1). Die Haarlänge bei Individuum 2 betrug etwa 4,5 cm und erlaubte somit die Analyse von acht Proben. Basierend auf einem Haarwachstum von ungefähr 1 cm pro Monat dokumentieren die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte bei Individuum 1 somit den Ernährungszustand in monatlichen, bei Individuum 2 in 14-tägigen Schritten. Da die Schuppenstruktur der Kutikula von Individuum 1 nicht mehr erhalten war (Abb. 3), ließ sich die Wachstumsrichtung dieser Haarprobe nicht eindeutig ansprechen. Folglich ist auch eine chronologische Einordnung der Einzelanalysen zueinander nicht möglich. Des Weiteren kann für beide Individuen nur geschätzt werden, in welchem Abstand sich die Haarproben ursprünglich zur Kopfhaut befanden, da sie lose im Bereich des Schädels angetroffen wurden. Demnach bleibt eine gewisse Restunsicherheit hinsichtlich des zeitlichen Abstands der gemessenen Analysen zum Todeszeitpunkt. Doch in Anbetracht der Tatsache, dass es sich bei diesem Ansatz um eine Methode handelt, die noch im Aufbau begriffen ist, liefern die ermittelten Isotopendaten im Vergleich mit Daten einer modernen mitteleuropäischen Bevölkerung (Tab. 2) bemerkenswerte Resultate.

4 Negativabdruck der Haaroberfläche. Der schlechte Erhaltungszustand der Schuppenstruktur bei Individuum 1 und Individuum 2 lässt sich im Vergleich zum dritten Bild deutlich erkennen. Das Vergleichsbild stammt aus einer Mehrfachbestattung auf dem Hamburger Domplatz (17./18. Jh.). (Ind. 1 und 2: 400-fache Vergrößerung, Vergleich: 600-fache Vergrößerung).



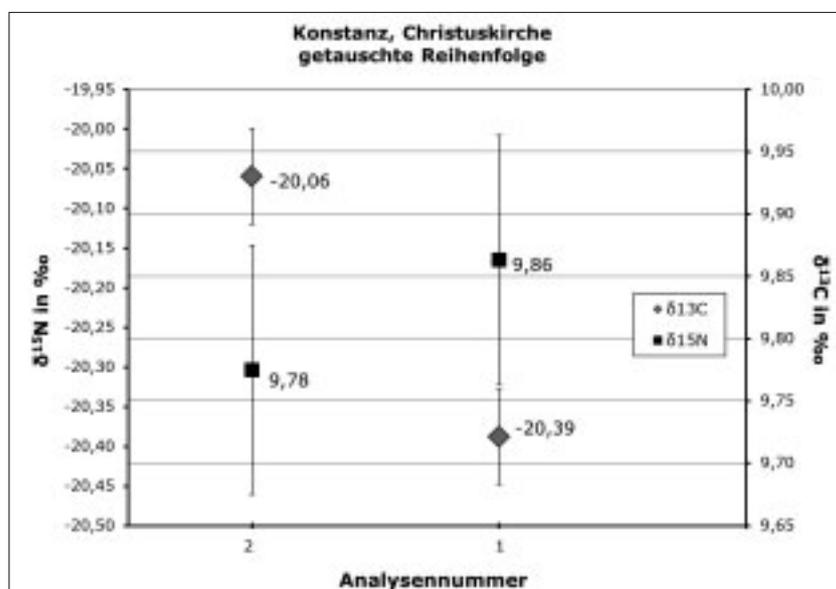
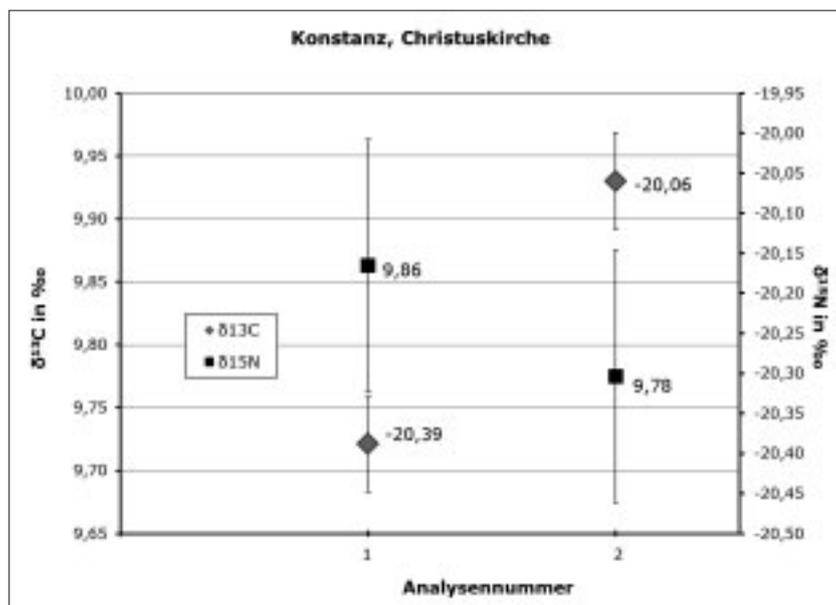
Die Ergebnisse der Isotopenanalysen zeigen sehr deutlich, dass der Kleriker aus Konstanz und der Delinquent aus Schwäbisch Gmünd einen signifikant unterschiedlichen Ernährungsstatus aufweisen.

### Zum Ernährungsverhalten der letzten Wochen/Monate

Bei dem **Kirchenmann aus Konstanz (Individuum 1)** weisen die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte gegenüber den modernen Vergleichsdaten keine Auffälligkeiten auf. Zwischen den zwei vorliegenden Messwerten ist eine Differenz von 0,33 ‰ zu beobachten. Es handelt sich um typische Isotopenwerte, wie sie beim Konsum heimischer Getreide- und Gemüsesorten zu erwarten sind. Die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte liegen im oberen Bereich der Vergleichsdaten (Abb. 5). Somit kann für den Kleriker eine proteinreiche, omnivore Ernährung angenommen werden. Zwischen dem ersten und zweiten Wert wurde zwar

5  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte von Individuum 1 (Christuskirche, Konstanz).

6 Umgekehrte Reihenfolge der Analysen bei Individuum 1.



eine Differenz von 0,08 ‰ gemessen, dieser Unterschied ist jedoch nicht von Belang, da er niedriger ist als die typische Streuung der Messwerte bei dieser Methode. Erhöhte  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte sind allerdings nicht nur auf Fleischverzehr zurückzuführen, sie können ebenso mit dem Konsum von Fisch einhergehen. Da Konstanz am Bodensee liegt, sind die hohen  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte bei Individuum 1 also am ehesten mit einem verstärkten Verzehr von Fleisch und/oder Fisch zu erklären. Eine Unterernährung als Auslöser für die hohen  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte kann hingegen ausgeschlossen werden, da dieser Zustand durch ein Absinken der  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte und einen deutlichen Anstieg der  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte charakterisiert wäre. Betrachtet man die Werte in getauschter Reihenfolge (Abb. 6), lassen sich zwar Tendenzen in dieser Richtung erkennen, bei vorhandener Unterernährung müsste in einem Untersuchungszeitraum von acht Wochen jedoch ein wesentlich deutlicherer Anstieg der  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte zu messen sein. Somit unterstützt der anzunehmende hohe Proteinanteil die Vermutung, dass eine ausreichende Versorgung mit tierischen Nahrungsmitteln (Fleisch und Fisch) gewährleistet war.

Die  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte wurden bei diesem Individuum gemessen, da bei Klerikern prinzipiell von Fischkonsum ausgegangen werden kann (Tab. 1). Sie schwanken zwar um 1 ‰, verbleiben in Bezug auf die Referenzdaten aber auf einem ähnlichen Niveau. Um die  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte im menschlichen Gewebe beurteilen zu können, wären Vergleichsdaten der Fischbestände aus den lokalen Gewässern ideal. Mithilfe dieser Werte wäre eine genauere Einschätzung des Fischkonsums möglich. Momentan kann somit nur festgestellt werden, dass mariner Fisch bei der Ernährung von Individuum 1 vermutlich keine Rolle gespielt hat.

Für das **Hinrichtungsoffer aus Schwäbisch Gmünd (Individuum 2)** spiegeln die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte ebenfalls eine Ernährung mit heimischen Gemüse- und Getreidesorten wider, dennoch ist für diese, im Vergleich zu Individuum 1 erkennbar niedrigeren Werte, ein anderer Ernährungsstatus beziehungsweise eine abweichende Ernährungsweise verantwortlich. Die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte liegen phasenweise deutlich über den Werten einer omnivoren Ernährung, sodass dafür keine proteinreiche Ernährung, sondern ein schlechter Ernährungszustand verantwortlich sein könnte. Diese abweichenden  $\delta$ -Werte kommen dabei durch den Abbau und die Verwendung der körpereigenen Reserven (Muskelmasse und Fettgewebe) bei Unterernährung zustande.

Der Verlauf beider  $\delta$ -Werte zeigt deutlich, dass es innerhalb des Untersuchungszeitraums von vier bis fünf Monaten zu einem mangelhaften Ernährungsstatus gekommen sein muss. Vor allem der Bereich zwischen dem achten und dem dritten Ab-

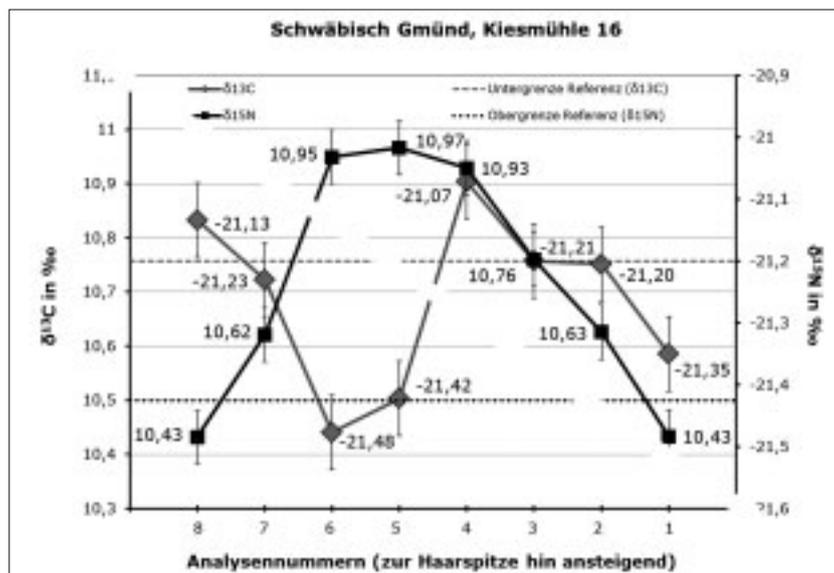
schnitt weist auf eine fortgeschrittene Mangel-situation hin. Der abfallende  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert lässt den Rückschluss zu, dass der Körper etwa sechs Wochen lang (fünfter bis dritter Abschnitt) auf die eigenen Fettreserven zurückgreifen musste. Demgegenüber scheint es nach dieser Episode der Unterversorgung zu einer Verbesserung der Ernährungslage gekommen zu sein, denn beide  $\delta$ -Werte nähern sich dann wieder den Referenzwerten für einen „normalen“ Ernährungszustand an (Abb. 7). Bei Individuum 2 kommt es also – im Gegensatz zu Individuum 1 – im Beobachtungszeitraum bei beiden  $\delta$ -Werten zu aussagekräftigen Änderungen. Da jedoch der Abstand der Haarproben zur Kopfhaut und damit auch zum Todeszeitpunkt nicht bekannt ist, kann lediglich eine mehrwöchige Hungerperiode in den letzten Monaten vor dem Tod postuliert werden. Wie nahe diese Mangelphase dem Todeszeitpunkt gewesen ist, muss offen bleiben. Nachdem die untersuchte Haarprobe sehr wahrscheinlich von einem Hinrichtungsoffer stammt, kann aber spekuliert werden, dass die Hungersignatur der  $\delta$ -Werte auf eine etwaige Inhaftierung zurückzuführen ist. Zur Klärung dieser Frage könnte ein Vergleich mit den Kollagenwerten aus dem Knochen weiterhelfen, denn im Knochenkollagen werden die Ernährungsinformationen der letzten Jahre gespeichert. Das heißt, man könnte damit den Ernährungsstatus vor der möglichen Gefangenschaft rekonstruieren und diesen mit den Daten der letzten Wochen vor dem Tod von Individuum 2 vergleichen. Da die Gebeine der Delinquenten inzwischen allerdings auf dem Friedhof in Schwäbisch Gmünd wieder bestattet wurden, ist ein solcher Abgleich nur nach einer erneuten Exhumierung möglich.

## Dank

Die Autoren danken Herrn Dr. Jan Grunwald vom Bayerischen Landeskriminalamt in München für die externe Zweitbegutachtung der Haarproben hinsichtlich ihrer Wuchsrichtung sowie Herrn Prof. Dr. Michael Joachimski für die Messung der Kollagenproben im Massenspektrometer des Geozentrums Nordbayern der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und Frau Dr. Elisabeth Stephan vom Landesamt für Denkmalpflege im Regierungspräsidium Stuttgart für die konstruktive Durchsicht des Manuskripts.

## Literatur

Ferdinand Neuberger: Serielle Analyse stabiler Isotope an Haarkeratin zur post mortem Rekonstruktion von Lebenslaufparametern in forensisch relevanten Fällen von Unterernährung. Dissertation an der LMU München, München 2013.



Jochaim Wahl/Bernd Trautmann: Auf den Spuren der „Wiedertäufer“ aus dem Jahr 1529 – Anthropologische Untersuchung der Skelettreste vom „Remswasen“ in Schwäbisch Gmünd, in: Fundberichte aus Baden-Württemberg 33, 2013, S. 957–1001.

Marina Vohberger/Joris Peters/Claus von Carnap-Bornheim/Olaf Nehlich/Gisela Grupe: Ecology and Economy in the settlements of Viking Haithabu and Medieval Schleswig: an isotopic perspective. Society of American Archaeology. Vortrag, April 2011, Sacramento, Kalifornien.

Bertram Jenisch/Joachim Wahl: *Sub Mitra fulgere*. Das Grab des Konstanzer Weihbischofs Johann Jakob Mirlgel, in: Denkmalpflege in Baden-Württemberg 4/2010, S. 265–268.

Olaf Nehlich/Dušan Boric/Sofija Stefanovic/Michael P. Richards: Sulphur isotope evidence for freshwater fish consumption: a case study from the Danube Gorges, SE Europe, in: Journal of Archaeological Science 37, 2010, S. 1131–1139.

Klaus J. Petzke/Heiner Boeing/Cornelia C. Metges: Choice of dietary protein of vegetarians and omnivores is reflected in their hair protein C-13 and N-15 abundance, in: Rapid Communications in Mass Spectrometry 19/11, 2005, S. 1392–1400.

**Dipl. Biol. Sebastian Gruber**

AG Anthropologie und Umweltgeschichte

Fakultät für Biologie

LMU München

**Dr. Ferdinand Neuberger**

Institut für Paläoanatomie, Domestikations-

forschung und Geschichte der Tiermedizin

Veterinärmedizinische Fakultät der LMU München

**Prof. Dr. Joachim Wahl**

Regierungspräsidium Stuttgart

Landesamt für Denkmalpflege

7  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte von Individuum 2 (Kiesmühle 16, Schwäbisch Gmünd).

## Glossar

**Kutikulaschuppen**

Kutikula ist die äußerste, aus dachziegel- bzw. schuppenartig übereinandergreifenden, abgestorbenen Zellen bestehende Schicht des Haares

**Omnivore Ernährung**

Ernährung, die ein breites Spektrum an pflanzlichen und tierischen Nahrungsmitteln umfasst