Biologische Anthropologie : Rekonstruktionen von Lebensgeschichten mit klassischen und modernen naturwissenschaftlichen Methoden

Autor(en): **Landis, Sabine / Lösch, Sandra**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern**

Band (Jahr): **75 (2018)**

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-823109

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Biologische Anthropologie –

Rekonstruktion von Lebensgeschichten mit klassischen und modernen naturwissenschaftlichen Methoden

Aus alten Knochen lassen sich erstaunliche Informationen über den Menschen herausfinden. Wie alt war er – Frau oder Mann oder Kind – wie gesund war er – woher stammt er – woran ist er gestorben ... Was mittels biologischer Anthropologie herausgefunden werden kann, ist mitunter eine detektivische Meisterleistung mit Hightech-Methoden!

Autoren

Sabine Landis, Sandra Lösch

Skelette erzählen – was uns Knochen über den Menschen verraten

Bis vor einigen Jahrzehnten lieferten aufgefundene menschliche Überreste vor allem eine Aussage zum Alter, Geschlecht, Phänotyp (z.B. Statur und Gesichtszüge) oder Verletzungen. Neue Methoden erlauben heute noch umfangreichere Aussagen, und teilweise lässt sich beinahe eine Lebensgeschichte (Osteobiographie) rekonstruieren. Welche Krankheiten hatte die Person, wie war ihre Ernährung, woher stammte sie, oder wie war ihre soziale Stellung?

Die Fachrichtung der biologischen Anthropologie beschäftigt sich dabei mit der Untersuchung von menschlichen skelettierten oder mumifizierten Überresten. Während sich die Paläoanthropologie mit der Entstehung und Herkunft der Frühmenschen zu Urzeiten befasst, werden in der physischen Anthropologie menschliche Skelette aus (prä-)historischen bis modernen Fundkontexten analysiert. Die Fragen nach dem wer, woher und wie bleiben über die Jahrtausende der menschlichen Geschichte gleich (Herrmann et al. 1990, Lösch 2015).

Zur Erstellung der Osteobiographie – der Rekonstruktion der individuellen Informationen und Lebensgeschichte aus den Knochen – bildet die morphologische Skelettanalyse die Grundlage der anthropologischen Forschung. Dabei werden Geschlecht, Alter, Körperhöhe und am Knochen erkennbare Krankheiten, Verletzungen und Anomalien bestimmt, dokumentiert und wenn möglich diagnostiziert (Lösch 2015, Groen et al. 2015). Zur Bestimmung des Geschlechtes eignen sich dabei definierte Merkmale am Schädel, den Langknochen und vor allem am Becken (Buikstra und Ubelaker 1994). Aufgrund dessen Anpassung an die Anforderungen von Schwangerschaft und Geburt bei Frauen ist die Geschlechtsbestimmung am Becken die sicherste Methode, während die Unterschiede am Schädel und an den Langknochen auf der unterschiedlichen Robustizität der Geschlechter beruhen. Das Sterbealter ausgewachsener Individuen kann

ebenfalls durch die Untersuchung der Knochen eingegrenzt werden. Dazu eignen sich bestimmte Verschleissmerkmale am Schädel, den Zähnen, den Langknochen und dem Becken (Rösing et al. 2007, Buikstra und Ubelaker 1994). Im Gegensatz zum Geschlecht lässt sich das Alter von Kindern und Jugendlichen sowohl an Knochen als auch an Zähnen relativ präzise bestimmen, da Wachstum und Entwicklung von Kindern regelmässigen Rhythmen folgen. Sind Langknochen vorhanden, kann mittels Osteometrie (Knochenvermessung) die Körpergrösse der Person ermittelt werden. In der Regel wird dazu die grösste Länge eines oder mehrerer Langknochen bestimmt und mittels Regressionsgleichungen die ursprüngliche Körpergrösse berechnet (Bach 1965, Breitinger 1937). Am Schädel lassen sich auch erste Informationen zur ethnischen Zugehörigkeit finden und familiär gehäuft auftretende, nicht metrische Merkmale geben erste Rückschlüsse zu Verwandtschaften (Byers 2005).

Heute geht die anthropologische Analyse um einiges weiter. Neue und bewährte naturwissenschaftliche Methoden werden eingesetzt, um spezifische Fragestellungen zu Herkunft oder Verwandtschaft sowie Lebensweise und Erkrankungen zu klären. In Kombination mit der morphologischen Bestimmung von Alter, Geschlecht und Körperproportionen werden die neuen Methoden immer wichtiger zur Rekonstruktion der Lebensbedingungen in früheren Zeiten.

Isotope – der kleine Unterschied machts aus

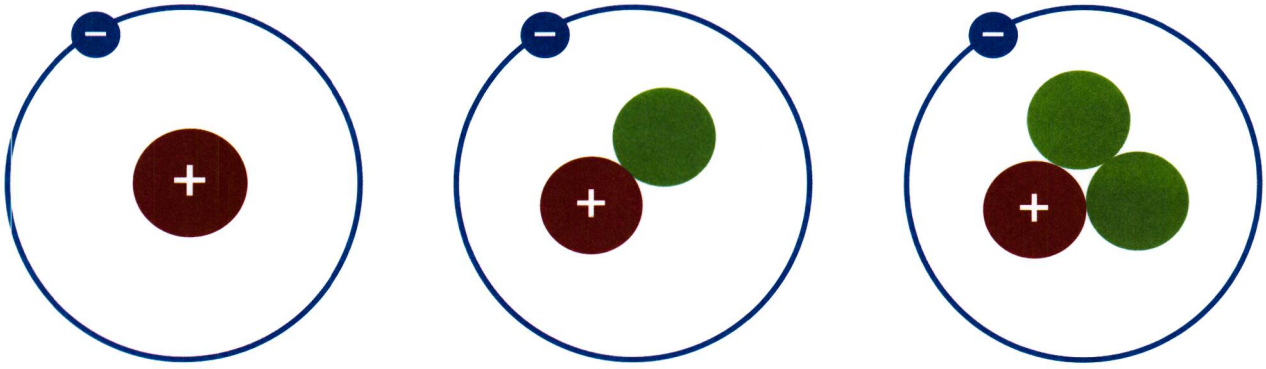
Die kleinsten Bausteine, die Elemente, die im Körper eingelagert werden, liefern heute Informationen, die noch vor einigen Jahren undenkbar gewesen wären. Die Isotopenuntersuchung hat in der Archäologie und benachbarten naturwissenschaftlichen Disziplinen – wie der biologischen Anthropologie – langsam aber stetig Einzug gehalten. Sie wird eingesetzt, um die Mobilität, Herkunft, Ernährung und Lebensweise von Menschen und Tieren zu rekonstruieren. Sie erlaubt auch Rückschlüsse auf Klima- und Umweltveränderungen und ermöglicht eine neue Interpretation von bestehenden und neuen Grabungsbefunden.

«Die Isotopenuntersuchung hat in der Archäologie und benachbarten naturwissenschaftlichen Disziplinen – wie der biologischen Anthropologie – langsam aber stetig Einzug gehalten.»

Der Aufbau der einzelnen Atome aller Elemente besteht aus einem Kern (mit positiv geladenen Protonen und ladungsfreien Neutronen) und einer Hülle mit negativ geladenen Elektronen. Die natürlichen Elemente des Periodensystems besitzen jeweils eine gleiche Anzahl an Elektronen

Abb. 1: Die Isotope des Wasserstoffs mit ihren individuellen Bezeichnungen je nach Anzahl Neutronen (grün). Nur bei Wasserstoff besitzen die Isotope eigene Namen.

Isotope von Wasserstoff



und Protonen – diese Atome sind elektrisch neutral. Ein Element kann aber in seiner Neutronenzahl variieren, das hat keinen Einfluss auf die Ladung, es verändert jedoch die Masse des Atoms, so dass vom gleichen Element leichte und schwere Isotope existieren *(Abb. 1)*. Der Begriff «isotop» stammt von dem griechischen Wort iso («Gleich») und topos («Platz») und beschreibt, dass verschiedene Isotope eines Elementes den gleichen Platz im Periodensystem einnehmen. Anders als radioaktive Isotope zerfallen die stabilen Isotope nicht.

Durch ihre unterschiedliche Masse bewegen sich die Atome bei konstanten Umgebungsbedingungen mit minimal unterschiedlicher Geschwindigkeit. Das kann je nach Umgebung aber bereits ausreichen, um diese Isotope zu fraktionieren, also relativ an- oder abzureichern. Dies führt schliesslich zu einer messbaren Veränderung des Isotopenverhältnisses.

Die Messung des Isotopenverhältnisses erfolgt mittels eines Massenspektrometers. Um eine schlüssige Aussage zu treffen, wird das Ergebnis der Messung zu entsprechenden Standardwerten in Relation gestellt. Dabei wird das Resultat als δ (Delta) angegeben und in Promille angezeigt. Dieser Wert charakterisiert das Verhältnis von schweren zu leichten Isotopen in einer bestimmten Umgebung. Ist das δ zum Standardwert erhöht (positiv), so enthält die Probe mehr schwere Isotope. Ist das Resultat jedoch im negativen Bereich, sind im Verhältnis zum Standardwert mehr leichte Isotope des Elements vorhanden. (Fry 2006). Für die Fraktionierung können so unterschiedliche Faktoren wie das Kli-

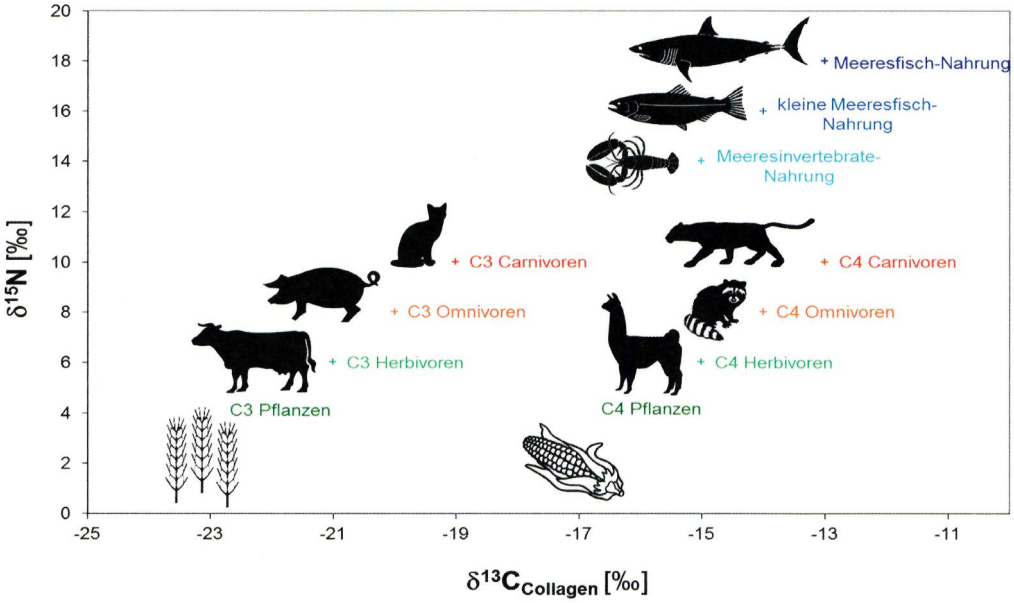


Abb. 2: Nahrungsnetz in Verbindung zu Kohlenstoff und Stickstoff.

C3 vs. C4 Pflanzen

C3 und C4 Pflanzen werden nach ihren biochemischen Photosynthese-Vorgängen und der dadurch bevorzugten Methode der Kohlenhydratspeicherung unterschieden. Je nach chemischem Vorgang werden leichte oder schwere Isotope des Kohlenstoffs bevorzugt eingebaut. Diese Bevorzugung des einen oder anderen Isotops widerspiegelt sich dann im Isotopenverhältnis des «Pflanzenfressers».

C3 Nutzpflanzen sind beispielsweise Weizen, Roggen, Hanf, Hafer oder Reis.

C4 Nutzpflanzen sind Amarant, Hirse, Mais und Zuckerrohr.

ma, die geografische Herkunft oder Ernährungsgewohnheiten verantwortlich sein. Für Anthropologen und Archäologen sind solche stabilen Isotopensysteme äusserst spannend, da Lebewesen wie Pflanzen oder Tiere die fraktionierten Isotope «einbauen» und somit Informationen zu den dafür verantwortlichen Prozessen im Körper speichern.

Die wichtigsten Isotope, welche in der Anthropologie untersucht werden, sind Kohlenstoff (C), Stickstoff (N), Schwefel (S), Sauerstoff (O) und Wasserstoff (H) sowie Strontium (Sr) und Blei (Pb). Am Institut für Rechtsmedizin werden CNSOH im eigenen Labor extrahiert und zur Massenspektrometrie weiterversendet. Die Untersuchung von Strontium und Blei ist aufwendiger und erfolgt in den Laborräumen des Geologischen Institutes der Universität Bern.

^{1}H ^{2}H Wasserstoff
^{16}O ^{18}O Sauerstoff

Wasserstoff und Sauerstoff dienen zur Eingrenzung der Klimazone; bei der Verdampfung von Wasser (H_2O) verdampfen die leichten stabilen Isotope, also ^{1}H und ^{16}O, eher. Die Isotopenzusammensetzung ist somit temperaturabhängig und von warmen und kalten Gebieten verschieden, in der Schweiz sind v.a. die Höhenunterschiede von Relevanz.

^{12}C ^{13}C Kohlenstoff
^{14}N ^{15}N Stickstoff

Kohlenstoff und Stickstoff liefern Informationen zur Ernährung; zum Beispiel zeigt der $\delta^{13}C$ Wert das Verhältnis des Konsums von C3 zu C4 Pflanzen. Bei erhöhten $\delta^{15}N$ Werten wurde vermehrt tierisches Protein – z.B. Fleisch oder Milch – konsumiert. Der C und N Wert ändert sich je nach Trophie-Stufe (Ernährungsstufe), d.h. Pflanzenfresser haben höhere Werte als die Pflanze selbst, und der Fleischfresser besitzt wiederum höhere Werte an ^{13}C als der Pflanzenfresser *(Abb. 2)*.

^{87}Sr ^{86}Sr Strontium
^{204}Pb ^{206}Pb ^{207}Pb ^{208}Pb Blei

Strontium und Blei dienen der Eingrenzung der geografischen Herkunft (lokal versus fremd) und dienen als Marker von Migration. Strontium und Blei gelangen aus den lokal vorkommenden Gesteinen und Böden in die Nahrungsmittel und das Trinkwasser und werden so von uns Menschen aufgenommen. Hierbei handelt es sich um schwere Isotope mit einer Massenzahl über 50. Anders als bei den leichten Isotopen wird bei der Untersuchung von Blei und Strontium nicht der δ-Wert angegeben, sondern die absolute Isotopenhäufigkeit bestimmt. Ob ein Individuum aus der Umgebung stammt, kann durch einen Vergleich seiner Strontium-Werte mit denen der lokalen Umgebung beantwortet werden. Dazu bilden geologische Informationen eine wichtige Grundlage, als direkte Vergleichsbasis dienen aber Erdproben aus dem Bestattungskontext und aus angrenzenden Zonen, deren Strontium- und Bleigehalt mit den Werten der Person verglichen werden können. Zusätzlich dienen die Werte von Knochen endemischer Tiere als Vergleich, da diese auch den lokalen Wert widerspiegeln. Je nachdem wie sehr sich die Strontium-Werte verschiedener Regionen unterscheiden, können mögliche Herkunftsgebiete unterschiedlich klein- oder grossräumig ausfallen. Dass die Strontium Werte manchmal über grosse Distanz ähnlich sind, erschwert die Herkunftsbestimmung (Meller und Alt 2010) und deshalb sollten im Idealfall weitere Isotopenwerte wie Schwefel, Wasserstoff, Sauerstoff und Blei analysiert werden.

^{34}S ^{32}S Schwefel

Schwefel dient zur Eingrenzung der geografischen Herkunft, liefert aber auch Informationen zur Ernährung. Erhöhte $\delta^{34}S$ Werte sind auf fischreiche Nahrung (verstärkt noch bei Meerestieren) zurückzuführen. Dies bedeutet ferner, dass die Personen auch aus Gebieten mit einer hohen Verfügbarkeit an Meeresfischen und/oder Küstennähe stammen könnten.

Knochen und Zähne widerspiegeln das Leben – «Man ist, was man isst»

Der Satz «Man ist, was man isst» ist nirgends so wahr wie bei der Isotopenuntersuchung. Vielleicht sollte es auch heissen «Man ist von dort, wo man isst», denn die Isotope werden vom Körper durch die Nahrung und das Trinkwasser (bei Neugeborenen über die Muttermilch) aufgenommen und widerspiegeln nicht nur die Nahrung, sondern auch den Lebensraum, die Herkunft. In den körpereigenen Aminosäuren eingebaut, werden sie an diversen Stellen im Körper gespeichert, verbaut oder umgesetzt. U.a. werden diese Aminosäuren zur Knochenbildung oder zur Zahnentwicklung verwendet.

Knochen ist lebendes Gewebe und besteht aus Zellen, die stark durchblutet werden. Er unterliegt regelmässigen Umbauvorgängen und ist am Stoffwechsel des Körpers beteiligt: So stellt er Speicher und Lieferant wichtiger Mineralien wie Calcium und einiger Spurenelemente dar.

Die Knochenstrukturen unterteilt man morphologisch in eine kompakte äussere Knochenschicht (Compacta) und das schwammartige, poröse Knocheninnere (Spongiosa oder Trabekularknochen). Die Porosität der beiden Schichten ist unterschiedlich, auch die Umbaurate ist verschieden. In ihrer biochemischen Zusammensetzung sind sie aber gleich. Die Hartsubstanz des Knochens ist ein Verbund von organischen Proteinfasern (Kollagen) und anorganischen Mineralien (Hydroxyl-Apatit, $Ca_5(PO_4)_3(OH)$). Während die Mineralien für die Druckstabilität sorgen, resultiert aus den Kollagenfasern eine Biege- und Zugfestigkeit. Etwa 30–40% des Knochens bestehen aus dem Eiweiss Kollagen. In dessen Aminosäuren werden verschiedene Elemente (und entsprechend auch deren Isotope) eingebaut, wo sie über längere Zeit – mehrere tausend Jahre – überdauern können.

Zur Isotopenuntersuchung muss also das Kollagen aus dem Knochen extrahiert werden: Circa 1 g Knochen reicht für die Untersuchung aus; die Knochenprobe wird in einem ersten Schritt gewaschen und zermahlen. Mittels Behandlung durch Säure und Basen werden entweder die organischen oder die mineralischen Bestandteile entfernt, in Abhängigkeit von den zu untersuchenden Isotopen. Schlussendlich kann das extrahierte Material für die Messung im Massenspektrometer verwendet werden (Currey 2012, Ambrose 1990).

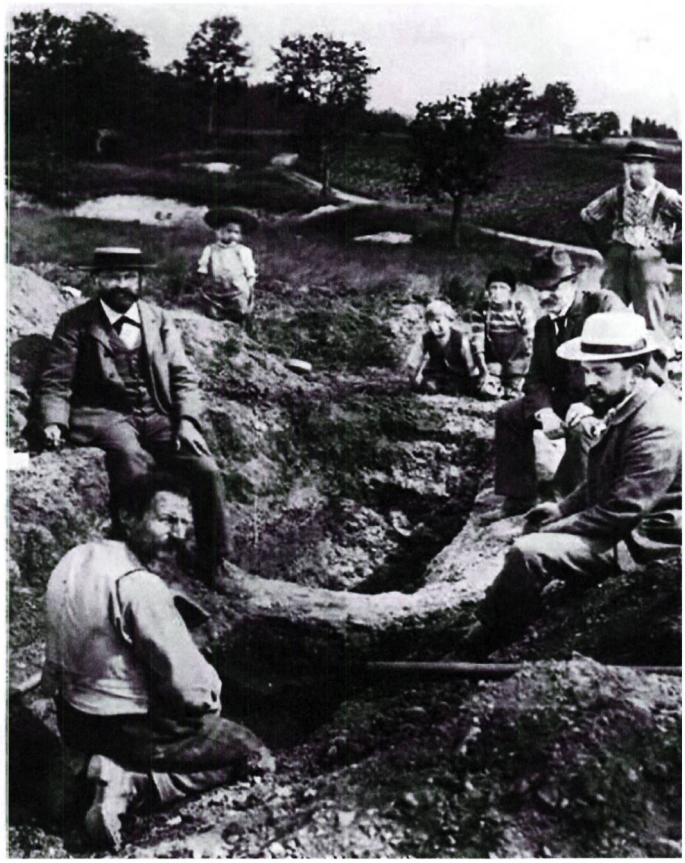
Auch Zähne enthalten für Isotopen-Untersuchungen geeignete Bestandteile wie das Dentin (das «Zahnbein»), welches den Hauptteil des Zahnes und seiner Wurzel bildet. Die Zahnkrone besteht aus dem Zahnschmelz, dem härtesten Material des menschlichen Körpers. In den Zahnschmelz werden bei der Entwicklung des Zahnes im Kindheitsalter Elemente wie beispielsweise Strontium, Blei, Sauerstoff und Kohlenstoff eingebaut. Da der Zahnschmelz nach seiner Bildung, im Gegensatz zum Knochen, keinem Umbau unterworfen ist, bildet die Isotopenzusammensetzung der oben diskutierten Elemente die Ernährungs- und Umweltbedingungen zur Zeit der Zahnbildung ab. Die Zähne des permanenten Gebisses entwickeln sich nach einem Schema, wobei sich der erste Dauermolar im Alter von circa zwei Jahren im Kiefer entwickelt und mit circa sechs Jahren als erster Dauerzahn durchbricht (der letzte Dauerzahn ist normalerweise der Weisheitszahn mit ca. 19 Jahren) (Ambrose 1990).

Die Untersuchung unterschiedlicher Zähne eines Individuums lässt deshalb einen Ortswechsel oder eine Nahrungsveränderung während des entsprechenden Alters der Zahnentwicklung erkennen. Somit lässt sich eine Aussage treffen, ob diese Person als Kind und Jugendlicher an unterschiedlichen Orten gelebt hat oder sich eine gravierende Ernährungsänderung ereignete. Vergleicht man hingegen die Isotopenwerte des Zahnschmelzes mit jenen des Knochens, lässt sich eruieren, ob die Person die letzten Jahre ihres Lebens am selben Ort verbrachte wie zu ihrer Jugendzeit. Da der Knochen stetigem Umbau unterworfen ist, repräsentiert seine Isotopenzusammensetzung den Aufenthaltsort und die Nahrung der letzten Lebensjahre. Die Werte des Zahnschmelzes repräsentie-

ren hingegen den Ort, an dem die Person aufgewachsen ist (Grupe et al. 2015).

Münsingen-Rain und die Kelten – Fleisch für privilegierte Männer

Das eisenzeitliche Gräberfeld von Münsingen-Rain liegt wenige Kilometer südöstlich von Bern und wurde im Jahre 1906 entdeckt und ausgegraben *(Abb. 3)*. Es datiert zwischen 420–240 vor Christus und wird der Latènezeit (jüngere Eisenzeit) zugeordnet. Die 220 reich ausgestatteten Gräber markierten einen Meilenstein in der Erforschung der jüngeren Eisenzeit. Aufgrund seiner Grösse und der zahlreichen Grabbeigaben stellt das Gräberfeld von Münsingen-Rain eine Referenz für die Chronologie der Eisenzeit dar. Eine Doktorarbeit in der Abteilung Anthropologie der Universität Bern untersuchte dieses Gräberfeld bezüglich Ernährung, Mobilität und Sozialstruktur und verglich es mit anderen eisenzeitlichen Gräberfeldern auf dem Gebiet der heutigen Schweiz (Moghaddam et al. 2016). Von den menschlichen Überresten aus Münsingen sind 77 Schädel und einige weitere Knochen erhalten. Diese Überreste wurden morphologisch untersucht, um das Geschlecht, das Alter zum Zeitpunkt des Todes, die Körpergrösse und allenfalls Erkrankungen und Verletzungen am Knochen zu bestimmen. Von 71 Individuen konnte Kollagen für eine Isotopenuntersuchung extrahiert werden. Nach Anwendung der Qualitätskriterien für das Kollagen konnten davon 63 Proben auf die stabilen Isotope Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel im Massenspektrometer untersucht werden.



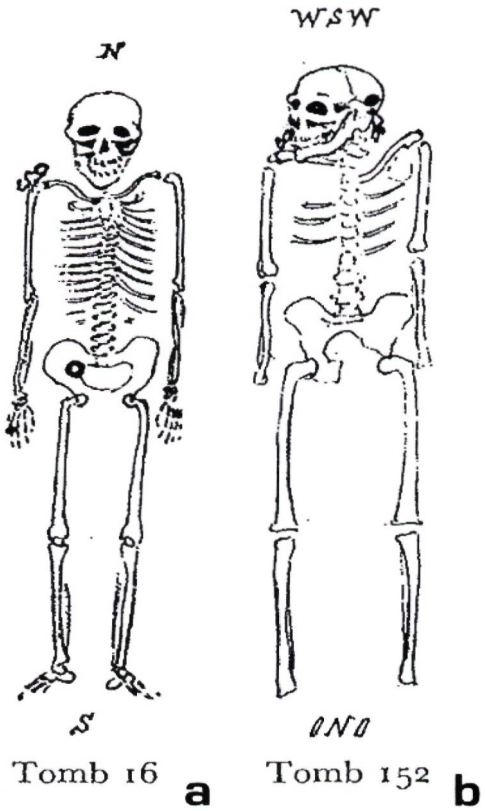


Abb. 3: Originalaufnahme der Grabung (links) und Zeichnungen aus der Grabungsdokumentation von 1906 (rechts) (Müller und Lüscher 2004).

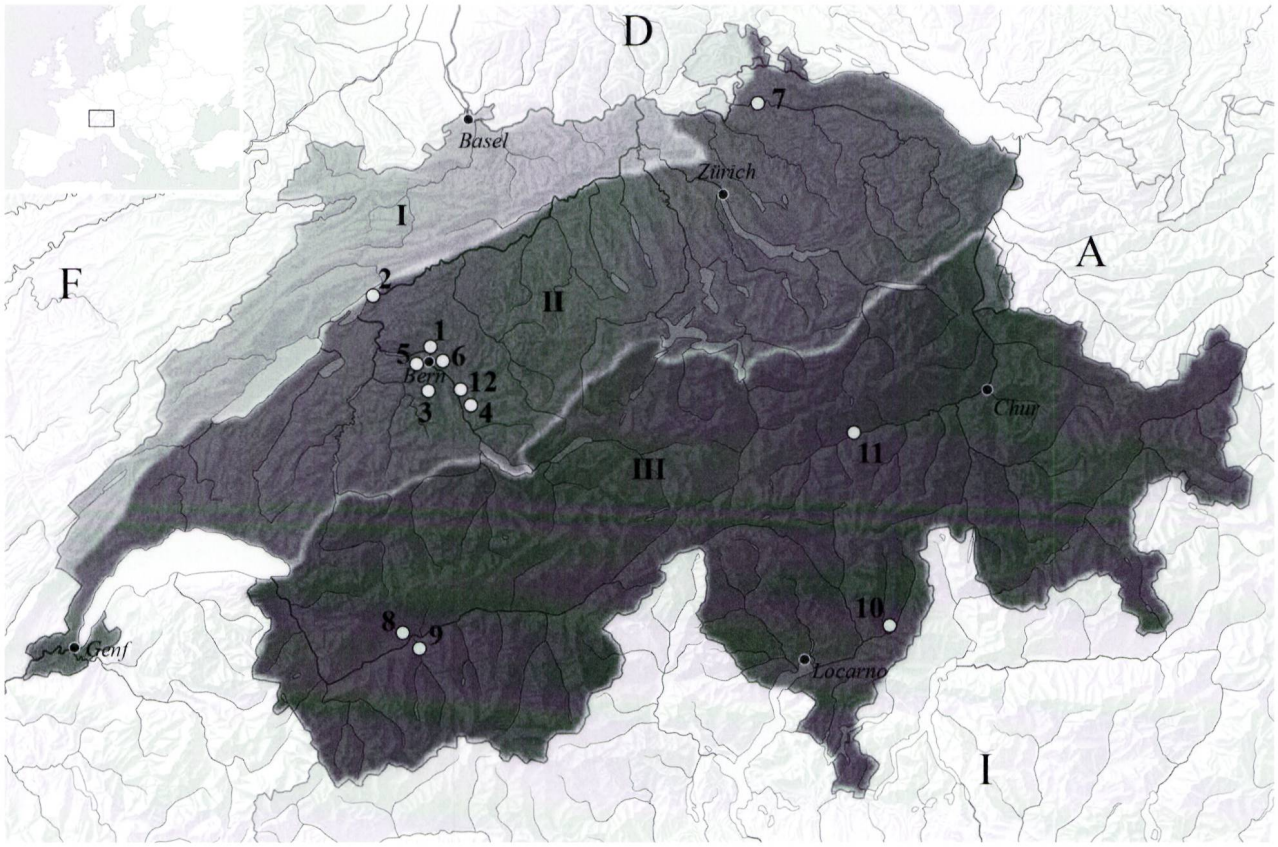


Abb. 4: I Jura Berge; II Mittelland; III Alpengebiet.
1 Engehalbinsel; 2 Ipsach; 3 Belp; 4 Niederwichtrach; 5 Bümpliz; 6 Stettlen-Deisswil; 7 Andelfingen; 8 Sion; 9 Bramois; 10 Castaneda; 11 Trun Darvella; 12 Münsingen (Kartengrundlage Swisstopo).

Die Ergebnisse lassen darauf schliessen, dass alle Individuen hauptsächlich C3 Pflanzen konsumiert haben. Auffallend war eine Diskrepanz zwischen den Isotopenwerten von Kohlenstoff und Stickstoff bei Männern und Frauen. Diese zeigt, dass die Männer mehr Fleisch – oder andere tierische Proteine – zu sich nahmen als Frauen. Männergräber mit reichen Beigaben, wie Waffen und Fleischresten (impliziert durch Tierknochen im Grab), zeigten die höchsten $\delta^{15}N$ Werte und daher eine besonders proteinreiche Ernährung aus tierischer Quelle. Aufgrund der Kombination von reichen Beigaben und hohem Fleischkonsum resp. hoher Proteinzufuhr vermuten wir, dass diese Männer eine privilegierte Stellung in der Gesellschaft der Eisenzeit innehatten.

«Diese zeigt, dass die Männer mehr Fleisch – oder andere tierische Proteine – zu sich nahmen als Frauen.»

Es fanden sich jedoch isotopisch gesehen keine Hinweise, dass grössere Mengen an Süsswasser- und Meeresprodukten auf dem Speiseplan standen. Nur bei sieben Individuen wurde ein leicht erhöhter Schwefel ($\delta^{34}S$) Wert festgestellt. Es ist daher möglich, dass diese Personen nach Münsingen eingewandert sind. Vier dieser Individuen wurden im ältesten Bereich des Gräberfeldes gefunden und könnten die «Gründerpopulation» repräsentieren (Moghaddam et al. 2016).

Zur Betrachtung der Ernährung in keltischer Zeit wurden weitere Gräberfelder aus dem Gebiet der heutigen Schweiz untersucht. 129 Proben aus 11 Gräberfeldern erfüllten die Qualitätskriterien für eine Isotopen-Untersuchung. Davon stammen 72 Proben aus Gräbern aus dem Mittelland, 57 von Gräbern aus dem Alpenraum *(Abb. 4)*.

Die Isotopenverhältnisse zeigten signifikante Unterschiede zwischen den Proben aus dem Mittelland und den Alpen, wobei die Proben aus dem Alpenraum höhere Kohlenstoff- ($\delta^{13}C$) und Stickstoffwerte ($\delta^{15}N$) aufwiesen. Dies zeigt, dass im Alpenraum mehr Fleisch und Milchprodukte konsumiert wurden als im Mittelland.

Weiter belegen die Daten eine hauptsächlich auf C3 Pflanzen basierende Ernährung im Mittelland. Dagegen weisen die vermehrt positiven $\delta^{13}C$ Werte in den Alpenregionen auf einen höheren Konsum an C4 Pflanzen wie Hirse hin. Ursache für die unterschiedlichen Ernährungsgewohnheiten können verschiedene Methoden der Tierhaltung sein, beispielsweise Wanderweidewirtschaft in den Bergen, sowie der Anbau von anderen Getreidesorten, vor allem im südlichen Teil der Alpen. Zudem sollte der Handel und kulturelle Austausch mit der mediterranen Welt berücksichtigt werden, der Einfluss auf die Populationen hatte, insbesondere auf jene des südlichen Alpenraumes. Geschlechtsspezifische Ernährungsunterschiede konnten jedoch nur in Münsingen festgestellt werden.

War es Mord? – eine Vorstudie zur Unterscheidung von Lebend- oder Todgeburt

Hinter jedem toten Kleinkind steht eine tragische Geschichte. Dabei macht es emotional wenig Unterschied, ob der Fund historisch oder modern ist. Finden sich im forensischen Kontext Überreste von Neonaten – also Neugeborenen – ist es von Bedeutung, ob es sich um eine Totgeburt handelt oder ob das Kind lebend zur Welt gekommen ist. Ist ein Kind lebend geboren worden, könnte es sich im schlimmsten Fall um eine Kindstötung handeln. Es kann schwierig sein, zwischen einer Lebend- oder einer Totgeburt oder einer Totgeburt zu unterscheiden, insbesondere wenn die Leiche verwest ist. Die Längenmasse der Langknochen eines Neugeborenen grenzen lediglich das Sterbealter ein. Dies ergibt aber nicht zwingend den Hinweis, ob das Neugeborene lebend zur Welt gekommen ist.

Säuglingsbestattungen im römischen Vicus etinesca. Archäologie Bern, 2011, 157–170. (Susi Ulrich-Bochsler und Rudolf Zwahlen)

Wann ist ein Fall forensisch relevant?

Der Begriff Forensik wird als Begriff für wissenschaftliche und technische Untersuchungen zur Aufklärung von kriminellen Handlungen verwendet. In der forensischen Anthropologie stehen die Fragen nach der Identität der menschlichen Überresten und deren Todesumstände im Vordergrund. Dabei werden die gleichen Methoden angewandt wie bei historischen Knochenfunden. In der Regel werden Knochen mit einer Liegezeit, dem sog. postmortalen Intervall, von weniger als 30 Jahren als forensisch betrachtet, d.h. wenn die betreffende Person nicht länger als 30 Jahre tot ist. Zur Bestimmung des postmortalen Intervalls – dem Zeitpunkt des Todes bis zur Auffindung – kann u.a. die ^{14}C Methode eingesetzt werden (Siehe Beitrag Szidat und Stapfer, S. 20.)

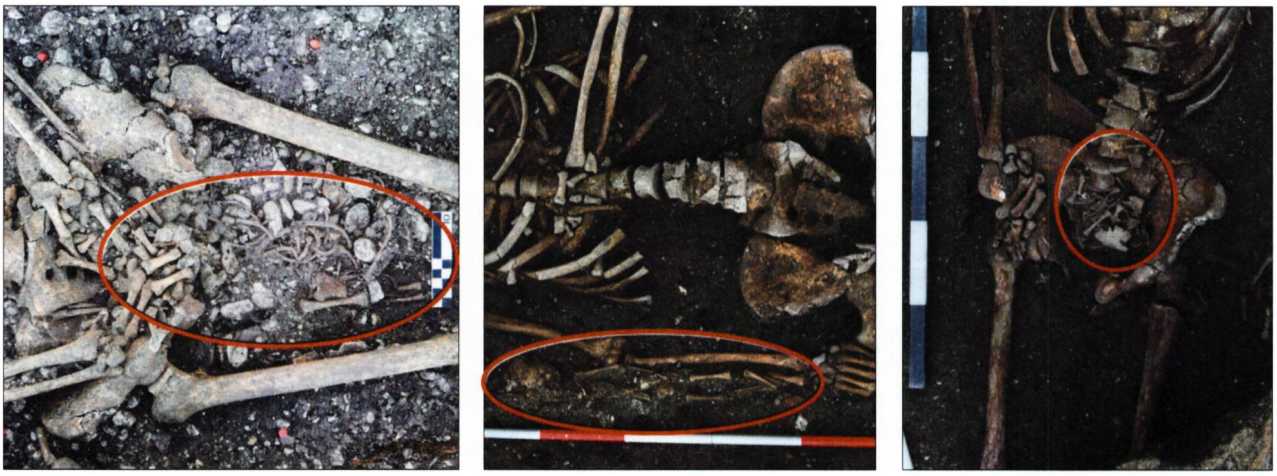


Abb. 5: Archäologische Funde der Mutter-Kind-Paare. Rote Umrandungen zeigen die Neugeborenen, die a) direkt zwischen den Beinen, b) neben dem Arm und c) auf – eventuell noch im – Bauch der Mutter gelegen haben (Siebke et al. 2016).

Eine Methode zur Untersuchung, ob ein Baby die Geburt einige Tage überlebt hat, ist die mikroskopische Detektion der Neonatal-Linie (NNL) in Zähnen. Diese Linie – welche durch den erhöhten Stress um den Geburtszeitraum gebildet wird – lässt sich im Zahnschmelz der im Kiefer angelegten ersten Milchzähne erkennen. Sie wird jedoch erst nach ca. 7–10 Tagen im Zahnschmelz sichtbar. Verstirbt das Kind innerhalb der ersten Tage, ist sie unter Umständen noch nicht erkennbar (Scheuer und Black 2000).

Im archäologischen Kontext werden stabile Isotope von Stickstoff (N) zur Bestimmung der Abstillzeit resp. des Abstillalters herangezogen. Muttermilch ist mit dem schweren Isotop ^{15}N angereichert, was sich bei Kindern, welche noch gestillt werden, in den $\delta^{15}N$ Werten ihres Gewebes widerspiegelt. Gestillte Kinder zeigen ein sog. Stillsignal, beispielsweise durch einen erhöhten $\delta^{15}N$ Wert im Knochenkollagen, welcher nach dem Abstillen wieder sinkt. Daher wird ^{15}N häufig für die Bewertung des allgemeinen Abstillalters verwendet, resp. ob das Kind um den Zeitpunkt des Todes noch gestillt wurde oder nicht (Fuller et al. 2006).

«Hinter jedem toten Kleinkind steht eine tragische Geschichte. Dabei macht es emotional wenig Unterschied, ob der Fund historisch oder modern ist.»

Die Abteilung Anthropologie des Instituts für Rechtsmedizin der Universität Bern versucht nun stabile Isotope als Indikatoren für eine Totgeburt zu etablieren. Der Hintergrund der Studie ist, dass $\delta^{15}N$ oder $\delta^{13}C$ Informationen liefern, ob ein Kind die Geburt überlebt hat. Dabei wird erwartet, dass eine nur geringe Abweichung der δ Werte aus Knochenkollagen zwischen Kind und Mutter erkennbar ist, wenn es sich um eine Totgeburt handelte.

Bisher wurden einige archäologische Funde sogenannter «Mutter-Kind-Paare» untersucht *(Abb. 5)*. Die Knochen der Neugeborenen wurden in direkter Nachbarschaft zu einem weiblichen Skelett vorgefunden, daher geht man davon aus, dass es sich um eine Mutter-Kind-Beziehung handelt. Es wird angenommen, dass Mutter und Kind um den Zeitpunkt der Geburt verstorben sind.

Im Vergleich dazu wurden Neonate und Frauen einer Skelettserie untersucht, welche wahrscheinlich keinen direkten Bezug zueinander hatten, aber aus dem gleichen Gräberfeld stammen. Bei einigen dieser Neugeborenen konnte eine histologische Untersuchung der Zähne durchgeführt und die Neonatal-Linie identifiziert werden. Die meisten dieser Kinder zeigen zudem ein Stillsignal, also einen erhöhten $\delta^{15}N$ Wert im Vergleich zu den Frauen, die als Referenzwert dienten.

Die ersten Resultate zeigen, dass sich die Stickstoffwerte nicht eindeutig zur Bestimmung einer Totgeburt eignen (Siebke et al. 2016, Siebke und Lösch 2016), die Kohlenstoffwerte zeigen sich dagegen um einiges vielversprechender. Die Studie wird derzeit weiterentwickelt und zeigt, wie wichtig die Isotopenforschung auch für die Knochenanalyse im forensischen Kontext sein kann – ganz zu schweigen von den Untersuchungen von Haaren und Nägeln (Meier-Augenstein 2011). Diese Gewebe sind bei forensischen Fällen oftmals vorhanden und liefern genauer auflösende Resultate, da ihr Bildungszeitraum besser eingegrenzt werden kann.

Desoxyribonukleinsäure (DNS) – der Bauplan des Lebens

Die sich rasant entwickelnden Methoden der genetischen Forschung ermöglichen uns heute nicht nur Einblicke in Verwandtschaftsbeziehungen oder Völkerbewegungen, sie ermöglichen auch neue Erkenntnisse zu Epidemien und Seuchenausbrüchen, deren Opfer oft unbekannt geblieben sind. Die Methoden, welche zur Gewinnung und zum Vergleich der DNS aus dem Knochen- und Zahngewebe angewendet werden, werden immer komplexer und aufwendiger, aber auch aussagekräftiger. Die Analyse der Erbsubstanz gewann durch die stetigen Weiterentwicklungen auch in der anthropologischen Forschung zunehmend an Bedeutung. Heute kann auch sehr altes Erbmaterial untersucht werden, das ein Fenster in die Vergangenheit öffnet (Pääbo et al. 2004).

Die DNA (engl. = Deoxyribonucleic acid – wissenschaftlich wird gängig die englische Schreibweise verwendet, was deshalb im folgenden Text übernommen wurde) ist das Erbgut und der gespeicherte Bauplan von Organismen. Sie bestimmt deren Aussehen und Entwicklung. In der Forensik wird die genetische Untersuchung in der Spurenkunde (Verbindung einer Spur zu einem Spurenleger) und in der Abstammungsanalyse («Vaterschaftstest») angewendet. Im archäologischen Kontext kann es darum gehen, die sterblichen Überreste von berühmten Persönlichkeiten der Geschichte zu identifizieren, indem man Vergleichsmaterial – beispielsweise noch lebender Nachfahren – zur Untersuchung heranzieht. Auch Verwandtschaftsbeziehungen von Personen innerhalb eines Gräberfeldes werden bestimmt (Muhl et al. 2010). Darüber hinaus lassen sich Stammbäume, Herkunftsgeschichten und sogar Epidemien samt Erregerstämmen rekonstruieren.

> «Heute kann auch sehr altes Erbmaterial untersucht werden, das ein Fenster in die Vergangenheit öffnet.»

Die DNA besteht aus einer Abfolge von Nukleotiden, welche wiederum aus den Basen Adenin, Thymin, Guanin und Cytosin (abgekürzt A, T, G und C), sowie Zucker und Phosphat aufgebaut sind. Diese Abfolge der Basen kann von spezialisierten Maschinerien in der Zelle gelesen und übersetzt werden (z.B. in Proteine, RNA, etc.). Eine DNA-Sequenzierung ist somit die Bestimmung der Nukleotid-Abfolge eines DNA-Strangs. Obwohl die DNA als Substanz (aber noch nicht als Erbgut) bereits im späten 19. Jahrhundert entdeckt wurde,

Mutation

Als Mutation bezeichnet man eine spontane und dauerhafte Veränderung des Erbguts. Eine Mutation in der DNA kann u.a. durch ein fehlerhaftes «Ablesen» der Basenabfolge beim Duplizieren der DNA entstehen. Bevor sich eine Zelle teilen kann, muss der Chromosomensatz verdoppelt werden. So bekommt jede der Tochterzellen einen vollständigen Chromosomensatz (mit Ausnahme der Keimzellen). Dafür wird die bestehende DNA kopiert, und hier kann es passieren, dass eine andere Base eingebaut wird.

Die meisten Mutationen haben kaum Auswirkungen auf den Organismus. Mitunter können aber lebenswichtige Informationen des Bauplans verloren gehen, so dass die Mutation letal (tödlich) verläuft. Und doch gibt es auch immer wieder Mutationen, die einen Vorteil, meist eine Anpassung an eine neue Lebenssituation, ergeben. Mutation ist einer der Hauptmechanismen für die Evolution, die Anpassung und Entstehung neuer Arten ermöglicht.

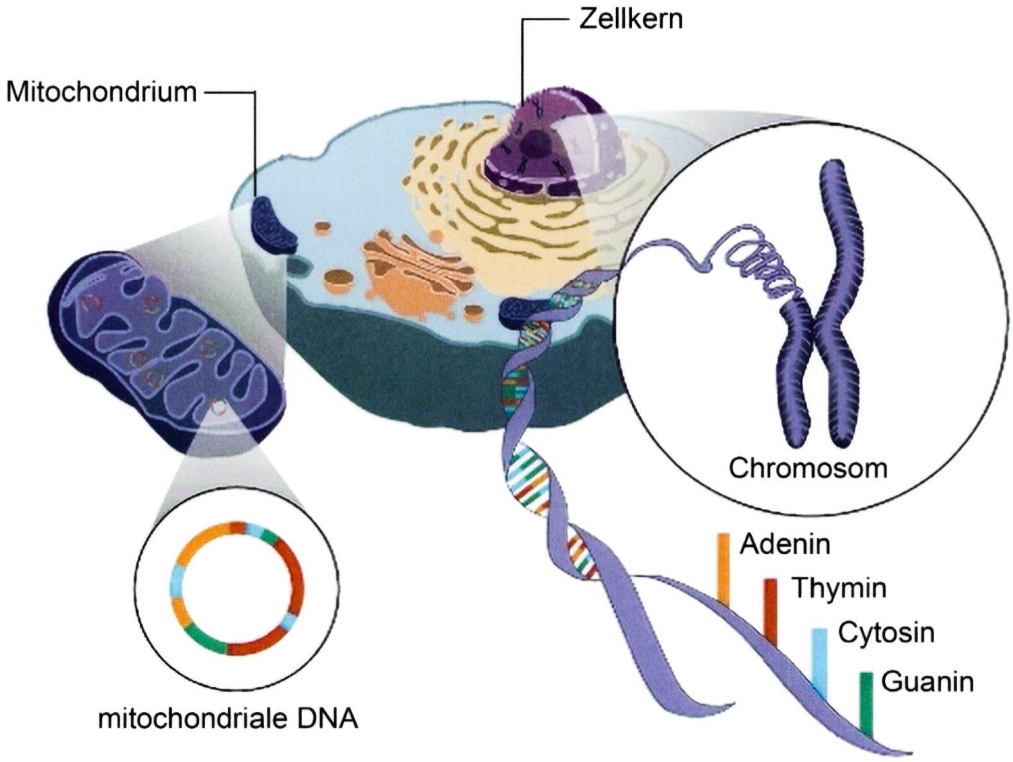


Abb. 6:
Zelle mit Zellkern und Darstellung der Kern- und mitochondrialen DNA, Basen und Chromosomen
(Bearbeitet aus: Franklin Manuel, Rethnaraj Rambabu: https://bit.ly/2u4CKWC)

war das Ablesen der Nukleotid-Abfolge bis in die 70er Jahre nicht möglich (Pettersson et al. 2009, Altmann 1889). Heute existieren unzählige Methoden, die laufend verbessert werden.

Bei Menschen (wie auch bei Tieren oder Pflanzen) ist die DNA des Zellkerns strangförmig aufgebaut und bildet eine Doppelhelix-Struktur *(Abb. 6)*. Diese wiederum wird mehrfach aufgewickelt und liegt als «Bündel», sog. Chromosomen, mikroskopisch sichtbar im Zellkern vor (Hennig 2013).

DNA findet sich aber nicht nur in den Zellkernen, sondern auch in den sogenannten Mitochondrien *(Abb. 6)*. Diese Zellorganellen sind das Kraftwerk der Zelle und produzieren den Energieträger ATP, ohne den kaum eine Reaktion im Körper möglich wäre. Mitochondrien besitzen ihr eigenes Erbgut, das nicht mit dem Erbgut im Zellkern identisch ist. Die DNA der Mitochondrien, auch mtDNA genannt, wird nur von der mütterlichen Seite weitervererbt, denn die Eizelle liefert bei der Befruchtung alle Zellorganellen. Mit der Analyse der mtDNA lässt sich somit die mütterliche Abstammungslinie genetisch bestimmen. Bei der mtDNA werden sogenannte Haplogruppen bestimmt. Dabei handelt es sich um Abstammungslinien, die auf bestimmte Regionen der Welt eingrenzbar sind. Die Linien der «Ur-Frauen» haben sich im Laufe der Zeit u.a. durch Mutationen verändert und wurden weitervererbt. So lässt sich die weibliche Stammeslinie einer Person über Generationen zurückverfolgen. Da nur Frauen mtDNA weitergeben, sterben gewisse mtDNA Linien mit den männlichen Nachkommen aus.

Die Sequenzierung der mtDNA ist technisch weniger anspruchsvoll als die der Kern DNA: Zum einen besitzt sie eine ringförmige Anordnung (statt zu Chromosomen gebündelt), zum anderen besteht sie aus weniger Basenpaaren, vor allem aber besitzt jede Zelle mehrere Mitochondrien, also mehrere Kopien der mtDNA. Daher wird die mtDNA viel häufiger zur Verwandtschafts- und Herkunftsanalyse in der Anthropologie verwendet (Hennig 2013).

Um die männliche Stammeslinie nachzuverfolgen, wird das Y Chromosom untersucht, da auch Y Chromosomen eingrenzbare Haplogruppen ergeben und die männliche Verwandtschaft ersichtlich wird. Dieses Chromosom gehört zu den kleinsten Chromosomen der menschlichen DNA – es besteht also aus weniger Basenpaaren und die verwendeten Marker lassen sich einfacher lokalisieren.

aDNA – Die Suche nach alten Spuren

Als *«ancient»* DNA wird alte DNA bezeichnet, welche aus archäologischen Knochenfunden extrahiert wird. Ab wann dabei von «ancient DNA» gesprochen wird, ist nicht genau definiert und hängt mitunter auch vom Degradationsgrad der DNA ab. Wie bei allen organischen Stoffen beginnt nach dem Tode auch die Zersetzung der DNA. Während bei frischen Knochen oder Weichgewebe mehr intakte DNA erhalten ist, nimmt deren Erhaltung mit zunehmendem postmortalem Intervall ab. Die DNA ist oft nur noch in Fragmenten erhalten und um diese entschlüsseln zu können, müssen sie erst isoliert werden. Das grosse Problem ist dabei die Kontamination: Wird das Knochenmaterial mit blossen Händen berührt, könnten Hautschuppen, Schweiss oder Speicheltröpfen eindringen, welche die Probe mit moderner DNA kontaminieren. In einem solchen Fall würde die moderne DNA – da sie in grösserem Masse vorkommt – die wenigen noch vorhandenen Fragmente der alten DNA überlagern (Burger und Bollongino 2010). Daher sollte bei archäologischem Knochenmaterial mit Schutzkleidung (Handschuhe, Mundschutz, etc.) eine Zahn- oder Knochenprobe entnommen werden, solange der Knochen noch vom Erdreich geschützt wird. Bei der Suche nach pathologischen Erregern (siehe: Paläopathologie) besteht die Kontaminationsgefahr darin, dass beim Reinigen mit Wasser Bakterien in den Knochen eindringen, welche die DNA der Krankheitserreger (ebenfalls Bakterien) überlagern.

Nach der Probennahme werden die Knochenproben in einem speziellen aDNA-Labor verarbeitet und analysiert. Solche Labore müssen speziellen Anforderungen und Richtlinien entsprechen und sind oft auf einen gewissen Untersuchungsbereich (Menschliche DNA oder Erreger DNA) spezialisiert. In Bern besteht bis jetzt noch kein solches Hightech aDNA Labor, und die aDNA Forschungen werden in Kooperationen mit etablierten Laboren durchgeführt. Trotz dieser Herausforderungen ist es heute möglich, DNA aus über 500 000 Jahre alten Knochen zu untersuchen (Anastasiou und Mitchell 2013, Orlando et al. 2013).

> «Das heisst, dass der heutige europäische Mensch auch Gene des Neandertalers in sich trägt.»

Ein Beispiel sind Knochenfunde des *Homo neanderthalensis*, die 2010 genetisch untersucht wurden. Dabei gelangte die damals gültige Lehrmeinung ins Wanken, dass der Neandertaler nicht, wie immer angenommen, vom modernen Menschen ausgerottet oder verdrängt, sondern ein Stück weit assimiliert wurde. Das heisst, dass der heutige europäische Mensch auch Gene des Neandertalers in sich trägt (Pääbo 2017, Pääbo 2014, Krause et al. 2010).

Paläopathologie – auf Seuchensuche mittels DNA

Krankheitserreger haben einen Einfluss auf die Geschichte des Menschen und haben die Bevölkerungsentwicklung geprägt (Anastasiou und Mitchell 2013). Was die Menschen in früherer Zeit teilweise zu tausenden dahingerafft hat, lässt sich nur noch selten aus historischen Überlieferungen rekonstruieren. Aber dank der genetischen Untersuchung von archäologischen Knochen können heute auch Krankheitserreger entdeckt und analysiert werden. Einige Krankheitserreger hinterlassen ihren genetischen Fingerabdruck im Knochen des Menschen, wo sie durch die Blutzirkulation hingelangen. So können beispielsweise Untersuchungen zu Tuber-

kulose (TB), Pest, Lepra, Syphilis oder Malaria durchgeführt werden. Die DNA von Erregern im archäologischen Knochenmaterial ermöglicht es einerseits, die Verbreitung einer Krankheit, aber auch deren Ursprung und Herkunft zu verstehen. Dank zunehmender Untersuchungen lassen sich Stammbäume und Verbreitungsgebiete der verschiedenen Erreger aufzeichnen. Epidemien, welche oft in Wellen vorkamen, lassen sich so auf gewisse Bakterienstämme und Ursprungsgebiete zurückführen.

Die Pest, ausgelöst durch den Erreger *Yersinia pestis*, hinterlässt keine Spuren am Knochen. Anders als z.B. bei der Tuberkulose, wo die Krankheit über einen längeren Zeitraum auch den Knochen verändern kann, ist die Sterblichkeit bei der Pest-Erkrankung zu schnell, um zu Knochenveränderungen führen zu können. Neben historischen Überlieferungen können auch spezielle Grablegungen wie Massengräber, wo Personen aller Altersklassen gleichzeitig bestattet wurden, Hinweise auf eine grassierende Seuche liefern. Allerdings kommen neben der Pest weitere Krankheiten in Betracht, wie z.B. Fleckfieber, Cholera oder heutzutage harmlos gewordene Infektionskrankheiten. Durch die genetische Untersuchung der menschlichen Überreste kann eruiert werden, welcher Erreger für ein Massensterben verantwortlich war.

Der Doctor Schnabel von Rom, ca. 1656. Darstellung eines Pestarztes mit der typischen Maske (Paul Fürst, picture alliance / CPA Media Co).

Der «schwarze Tod», welcher von 1348 bis 1352 fast ein Drittel der europäischen Bevölkerung dahinraffte, flammte auch in späteren Jahrhunderten immer wieder auf, bis zum letzten grossen Ausbruch vor ungefähr 300 Jahren. Viele dieser Epidemie-Wellen wurden historisch beschrieben, wobei anzumerken ist, dass in den historischen Quellen nicht immer die korrekte oder konsequent die gleiche Bezeichnung für die Krankheit wiedergegeben wurden. Dank genetischer Untersuchungen können diese Krankheiten einem Erreger zugeordnet und die Quellen bestätigt oder widerlegt werden.

Ein Beispiel für eine unzureichende Quellenlage ist der Pestausbruch zu Zeiten des spätantiken Kaisers Justinian (541 n. Chr.). Historische Quellen zu diesem Ausbruch existieren nur aus dem römischen und byzantinischen Reich. Ausserhalb des Reiches wurden keine schriftlichen Quellen gefunden, welche eine Pestwelle erwähnen. Als man in Bayern in einem Grab aus dem 6. Jh. den Pest-Erreger nachwies, wurde gezeigt, dass *Yersinia pestis* früher als angenommen die Alpen überquert hatte und die schriftlichen Quellen zum Justinianischen Pestausbruch schlicht unvollständig waren (Wiechmann et al. 2010, Bergdolt 2011).

Frühmittelalterliches Gräberfeld in Courroux – Ältester Tuberkulosefall der Schweiz im Labor bestätigt

Aufgrund eines Bauprojektes wurde in Courroux im Kanton Jura eine Grabung durchgeführt. Ausgehend von früheren Funden erwarteten die Archäologen, auf eine gallo-römische Villa zu stossen. Die Forscher fanden dementsprechend Hinweise auf Pfostenlöcher, welche die Aussenmauern markierten, aber auch Reste vom Arbeits- und Lebensbereich der Bewohner. Die Entdeckung eines an dieser Stelle nachträglich angelegten frühmittelalterlichen Gräberfeldes war unerwartet.

Die Forscher stiessen auf 54 Gräber in der typischen Reihenanordnung. Sie fanden Grabbeigaben wie Gürtelschnallen, Fibeln oder Ringe, was half, die Gräber zwischen 610–670 n. Chr. zu datieren. Die anthropologische Untersuchung der Skelette ergab 15 Kinder, dabei 4 unter einem Jahr alt, sowie 39 Erwachsene, davon 17 Frauen und 22 Männer (Cooper et al. 2016). Bei einer 40–55 Jahre alten Frau fanden sich stark deformierte Wirbelknochen. Die Wirbelkörper vom 5.–8. Brustwirbel waren degeneriert und eingebrochen, so dass sich eine eckige Kyphose (Wirbelverkrümmung) mit Fusion der Facettengelenke bildete *(Abb. 7a)*. Weitere Skelette zeigten Läsionen und Knochenneubildungen an Rippenknochen, Wirbeln oder Schulterblatt *(Abb. 7b–e)*, wel-

Abb. 7: a: Kyphose der Wirbelsäule mit Destruktion der Brustwirbelkörper (Grab 94). b: Knochenauflösung am Lendenwirbel (Grab 116). c: Knochenneubildung an Rippenenden (Grab 82). d: Knochenneubildungen und Knochenauflösungen an den Rippen (Grab 127). e: Knochenauflösungen am Schulterblatt (Grab 127) (Cooper et al. 2016a).

che ebenfalls auf eine krankhafte Veränderung hindeuteten. Die Individuen wurden daraufhin molekulargenetisch untersucht. In Zusammenarbeit mit Kollegen vom Eurac-Research Institut für Mumienforschung in Bozen wurde die «ancient» DNA im Labor analysiert und dabei wurde die DNA des TB Erregers gefunden. Die Forscher konnten die Hypothese bestätigen, dass es in der Schweiz Tuberkulose bereits im Frühmittelalter gab. Anthropologische und biomolekulare Studien wie diese liefern den Nachweis, dass Tuberkulose fast zu allen Zeiten auf der ganzen Welt verbreitet war (Bos et al. 2014). Auch heute ist diese Infektionskrankheit weltweit verbreitet und seit geraumer Zeit wieder auf dem Vormarsch, vor allem in Ländern mit desolater Gesundheitsversorgung. Können Forscher alte Stämme dieser Krankheit nachweisen, vergleichen sie diese mit heutigen Fällen. Je grösser das Wissen über frühe Formen der Krankheit und ihre Entwicklung über die Jahrtausende hinweg ist, desto schneller hofft man neue Ansätze zu deren Bekämpfung zu finden.

«Die Forscher konnten die Hypothese bestätigen, dass es in der Schweiz Tuberkulose bereits im Frühmittelalter gab.»

Die Abteilung Anthropologie der Universität Bern wies so an Knochen aus Courroux den frühesten TB-Fall der Schweiz nach (Cooper et al. 2016).

Literatur

Altmann, R. (1889) Ueber Nucleinsäuren. Archiv für Anatomie und Physiologie: Physiologische Abteilung: 524–536.

Ambrose, S. H. (1990) Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis. Journal of Archaeological Science 17(4): 431–451.

Anastasiou, E. and P. D. Mitchell (2013) Palaeopathology and genes: Investigating the genetics of infectious diseases in excava-

ted human skeletal remains and mummies from past populations. Gene 528(1): 33–40.

Bach, H. (1965) Zur Berechnung der Körperhöhe aus den langen Gliedmassenknochen weiblicher Skelette. Anthropologischer Anzeiger 29: 12–21.

Bergdolt, K. (2011) Der schwarze Tod: die grosse Pest und das Ende des Mittelalters, CH Beck.

Bos, K. I., K. M. Harkins, A. Herbig, M. Coscolla, N. Weber, I. Comas, S. A. Forrest, J. M. Bryant, S. R. Harris and V. J. Schuenemann (2014) Pre-Columbian mycobacterial genomes reveal seals as a source of New World human tuberculosis. Nature 514(7523): 494.

Breitinger, E. (1937) Zur Berechnung der Körperhöhe aus den langen Gliedmassenknochen. Anthropologischer Anzeiger 14: 249–274.

Buikstra, J. E. and D. H. Ubelaker (1994) Standards for data collection from human skeletal remains: Proceedings of a seminar at the Field Museum of Natural History, organised by Jonathan Haas. Fayetteville, Arkansas, Arkansas Archeological Survey.

Burger, J. and R. Bollongino (2010) Richtlinien zur Bergung, Entnahme und Archivierung von Skelettproben für palaeogenetische Analysen. Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie 16(1–2): 71–78.

Byers, S. N. (2005) Introduction to Forensic Anthropology. A Textbook. Pearson.

Cooper, C., D. Rüttimann and S. Lösch (2016) Courroux, Place des Mouleurs 2012. Anthropologischer Bericht. Archéologie Cantonale Rapport 2012 R. Fellner. Porrentruy, Office de la Culture. 1: 77–109.

Currey, J. D. (2012) The structure and mechanics of bone. Journal of Materials Science 47(1): 41–54.

Fry, B. (2006) Stable Isotope Ecology. LLC New York, Springer Science and Business Media.

Fuller, B. T., J. L. Fuller, D. A. Harris and R. E. M. Hedges (2006) Detection of breastfeeding and weaning in modern human infants with carbon and nitrogen stable isotope ratios. American Journal of Physical Anthropology 129(2): 279–293.

Groen, W. M., N. Márquez-Grant and R. Janaway (2015) Forensic archaeology: A global perspective, John Wiley & Sons.

Grupe, G., M. Harbeck and G. C. McGlynn (2015) Prähistorische Anthropologie. Springer Spektrum.

Hennig, W. (2013) Genetik, Springer-Verlag.

Herrmann, B., G. Grupe, S. Hummel, H. Piepenbrink and H. Schutkowski (1990) Prähistorische Anthropologie. Leitfaden der Feld- und Labormethoden. Springer Verlag

Krause, J., Q. Fu, J. M. Good, B. Viola, M. V. Shunkov, A. P. Derevianko and S. Pääbo (2010) The Complete Mitochondrial DNA Genome of an Unknown Hominin from Southern Siberia. Nature 464: 894–897.

Lösch, S. (2015) Forensische Anthropologie. Kriminalistik 2015(3): 193–198.

Meier-Augenstein, W. (2011) Stable isotope forensics: an introduction to the forensic application of stable isotope analysis, John Wiley & Sons.

Meller, H. and K. W. Alt (2010) Anthropologie, Isotopie und DNA-biografische Annäherung an namenlose vorgeschichtliche Skelette?: 2. Mitteldeutscher Archäologentag vom 08. bis 10. Oktober 2009 in Halle (Saale), Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt.

Moghaddam, N., F. Müller, A. Hafner and S. Lösch (2016) Social stratigraphy in Late Iron Age Switzerland: Stable carbon, nitrogen and sulphur isotope analysis of human remains from Münsingen. Archaeological and Anthropological Sciences 8(1): 149–160.

Muhl, A., H. Meller and K. Heckenhahn (2010) Tatort Eulau: ein 4500 Jahre altes Verbrechen wird aufgeklärt, Theiss.

Müller, F. and G. Lüscher (2004) Die Kelten in der Schweiz, Theiss.

Orlando, L., A. Ginolhac, G. Zhang, D. Froese, A. Albrechtsen, M. Stiller, M. Schubert, E. Cappellini, B. Petersen, I. Moltke, P. L. F. Johnson, M. Fumagalli, J. T. Vilstrup, M. Raghavan, T. Korneliussen, A.-S. Malaspinas, J. Vogt, D. Szklarczyk, C. D. Kelstrup, J. Vinther, A. Dolocan, J. Stenderup, A. M. V. Velazquez, J. Cahill, M. Rasmussen, X. Wang, J. Min, G. D. Zazula, A. Seguin-Orlando, C. Mortensen, K. Magnussen, J. F. Thompson, J. Weinstock, K. Gregersen, K. H. Røed, V. Eisenmann, C. J. Rubin, D. C. Miller, D. F. Antczak, M. F. Bertelsen, S. Brunak, K. A. S. Al-Rasheid, O. Ryder, L. Andersson, J. Mundy, A. Krogh, M. T. P. Gilbert, K. Kjær, T. Sicheritz-Ponten, L. J. Jensen, J. V. Olsen, M. Hofreiter, R. Nielsen, B. Shapiro, J. Wang

and E. Willerslev (2013) Recalibrating Equus evolution using the genome sequence of an early Middle Pleistocene horse. Nature 499: 74.

Pääbo, S. (2014) Neanderthal Man: In Search of Lost Genomes, Basic Books.

Pääbo, S. (2017) The Caveman Within Us. Annual Review of Genetics 51(1).

Pääbo, S., H. Poinar, D. Serre, V. Jaenicke-Despres, J. Hebler, N. Rohland, M. Kuch, J. Krause, L. Vigilant and M. Hofreiter (2004) Genetic analyses from ancient DNA. Annual Review of Genetics 38: 645–679.

Pettersson, E., J. Lundeberg and A. Ahmadian (2009) Generations of sequencing technologies. Genomics 93(2): 105–111.

Rösing, F. W., M. Graw, B. Marre, S. Ritz-Timme, M. A. Rothschild, K. Rotzscher, A. Schmeling, I. Schröder and G. Geserick (2007) Recommendations for the forensic diagnosis of sex and age from skeletons. Homo-Journal of Comparative Human Biology 58(1): 75–89.

Scheuer, L. and S. Black (2000) Developmental Juvenile Osteology. London, Academic Press.

Siebke, I., F. Kanz, C. Witzel and S. Lösch (2016) Stable Isotope Investigation of Mother – Infant Pairs and the Implication for Forensic Casework: Preliminary Results. American Academy of Forensic Sciences. Las Vegas, NV, USA, AAFS.

Siebke, I. and S. Lösch (2016) Ernährungsuntersuchungen von Kleinstkindern im Labor. Archäologie Schweiz 39.

Wiechmann, I., M. Harbeck and G. Grupe (2010) Yersinia pestis DNA sequences in late medieval skeletal finds, Bavaria. Emerging Infectious Diseases 16(11): 1806.

Sabine Landis

Sabine Landis hat nach ihrem Bachelor in Biologie an der Universität Zürich, 2014 den Master in Anthropologie am Anthropologischen Institut Zürich, in Kooperation mit dem Institut für Evolutionäre Medizin, abgeschlossen. Nach einem Auslandsaufenthalt an der Universität Edinburgh Schottland, kehrte sie 2015 in die Schweiz zurück und arbeitete als Anthropologin im Auftrag verschiedener Archäologischer Dienste. Seit 2017 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin der Abteilung Anthropologie am Institut für Rechtsmedizin der Universität Bern und ist neben ihrer Dissertation im Bereich Frühmittelalter, für morphologische Untersuchungen und Isotopenanalysen forensischer und historischer Skelettfunde zuständig.

Sandra Lösch

Sandra Lösch hat nach ihrem Biologiestudium, mit Schwerpunkt Physische Anthropologie und Humangenetik, 2009 an der Ludwig-Maximilians-Universität in München promoviert. Nach einem Post-Doc am Department für Paläopathologie in München, wurde sie 2010 Leiterin der Abteilung Anthropologie des Institutes für Rechtsmedizin der Universität Bern. Sie baute zusammen mit ihrem Team ein stabiles Isotopenlabor auf und übernimmt neben ihrer Forschungs- und Lehrtätigkeit schweizweit Aufträge aus Forensik und Archäologie. Sie ist Vizepräsidentin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie und als Expertin und Reviewerin international vernetzt.