Zeitschrift: Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène

Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit

Band: 75 (1984)

Heft: 2

Artikel: Wie zuverlässig läßt sich die Bleibelastung des Menschen früherer Zeiten aus archäologischen Knochenfunden abschätzen? = Is the lead concentration of archeological bone finds a reliable method for the determination of lead exposure in ancient times?

Autor: Knutti, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-982704

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. 75, 173–182 (1984)

Wie zuverlässig läßt sich die Bleibelastung des Menschen früherer Zeiten aus archäologischen Knochenfunden abschätzen?

Is the Lead Concentration of Archeological Bone Finds a Reliable Method for the Determination of Lead Exposure in Ancient Times?

R. Knutti
Institut für Toxikologie der ETH und Universität Zürich, Schwerzenbach

Einleitung

Blei und alle anderen Metalle gehörten schon immer zur Umwelt. Ein Teil dieser Elemente wurde von den Lebewesen unseres Planeten während ihrer Entwicklung nutzbringend eingesetzt; es bildeten sich aber auch Abwehrmechanismen gegen schädliche Auswirkungen von Elementen in der Umwelt. Für eine toxikologische Beurteilung der heutigen Belastung der Bevölkerung durch Blei ist es deshalb von Interesse zu wissen, wie groß diese Belastung durch unsere zivilisatorischen Tätigkeiten gegenüber der naturbedingten ist. Da das vom Körper aufgenommene Blei zu über 90 % in den Knochen gespeichert wird (1, 2), ergibt sich im Prinzip die Möglichkeit, aus der Bleikonzentration im Skelett die Bleibelastung der Bevölkerung in der heutigen Zeit mit derjenigen früherer Epochen und Kulturen zu vergleichen.

Die Feststellung, daß ein solcher Vergleich der Bleibelastung nur sinnvoll ist, wenn vergleichbares Probenmaterial zur Verfügung steht, mag trivial erscheinen. Den Beweis zu führen, daß die untersuchten Knochenproben dieser Anforderung genügen, stellt sich bei der hier besprochenen Problemstellung gerade als einer der schwierigsten Punkte heraus.

Im folgenden soll anhand verschiedener Arbeiten anderer Autoren, aber auch aufgrund eigener, unangenehmer Erfahrungen dargelegt werden, von welchen Faktoren die Bleikonzentration in Knochenproben abhängt. Schließlich werden noch kurz einige Arbeiten zum Thema Bleibelastung der Bevölkerung in früheren Zeiten diskutiert. Wer sich ausführlicher mit dem Thema befassen möchte, sei auf die entsprechenden Original- und Übersichtsartikel verwiesen (3–13).

Faktoren, die die Bleikonzentration im Knochen beeinflussen

Bei der zu beurteilenden Belastung eines Individuums durch Blei gibt es eine ganze Reihe von Faktoren, die zu berücksichtigen sind:

- Richtigkeit der Analysenresultate
- Todesalter des untersuchten Individuums
- Geschlecht
- Knochentyp
- Verteilung von Blei innerhalb des untersuchten Knochens
- Bezugsgrößen für die Bleikonzentration
- Post-mortem-Veränderungen (Kontamination durch Lagerung im Boden)

Richtigkeit der Analysenresultate

Die Präzision moderner spurenanalytischer Meßmethoden verdeckt leider häufig systematische Fehlerquellen bei Bestimmungen in komplex zusammengesetzten biologischen Probenmaterialien. Eine gute Präzision und in sich konsistente Analysendaten sind leider noch lange kein Beweis für die Richtigkeit der Resultate. Mit der Methode der Standardadditions-Eichung können Matrixeffekte, die sich nur auf die Empfindlichkeit des Meßsignals auswirken, eliminiert werden. Dies ist aber auch nur dann der Fall, wenn sich das in den Proben zu bestimmende Element und der Eichzusatz identisch verhalten, was meistens gar nicht so leicht zu beweisen ist. Dabei darf aber nicht vergessen werden, daß Matrixeffekte, die sich *additiv* auf das Meßsignal auswirken, mit der Standardadditions-Eichung nicht erfaßt werden können! Bei der Bestimmung von Blei in Knochen ist deshalb z. B. zu beachten, daß bei Verwendung der Atomabsorptionsspektrometrie der hohe Calciumgehalt, auch bei einer Atomisierung der Probe in der Flamme, ein zusätzliches, unspezifisches Absorptionssignal verursachen kann.

Wird die Messung mit der Graphitrohr-Atomabsorptionsspektrometrie oder der Inversvoltametrie durchgeführt, dann können bei der Bestimmung von Blei in Knochen die Probelösungen dank der extrem hohen Empfindlichkeit dieser zwei Meßmethoden so stark verdünnt werden, daß Matrixeffekte weitgehend wegfallen, dies allerdings auf Kosten einer erhöhten Kontaminationsgefahr für die Meßlösungen, wenn im tiefen ng/g-Bereich gemessen werden soll. Die Beurteilung der Richtigkeit publizierter Analysendaten für Blei in Knochen ist meistens schwierig, da auch heute noch kaum laborinterne oder -externe Möglichkeiten einer effektiven Analysenqualitätskontrolle bestehen. Die in den folgenden Abschnitten diskutierten großen Streuungen von publizierten Analysenresultaten für verschiedene Knochenproben des gleichen Individuums sind möglicherweise in manchen Fällen eher auf die hier aufgezeigten analytischen Probleme als auf einen biologischen Effekt zurückzuführen.

Abhängigkeit der Bleikonzentration der Knochen vom Lebensalter

Ein Teil der vom Körper aufgenommenen Bleimenge wird in die Knochenstruktur eingebaut. Da wir Blei – vor allem mit der Nahrung – mehr oder weniger kontinuierlich aufnehmen, ist zu erwarten, daß die Bleikonzentration in den Knochen mit dem Lebensalter ansteigt. *Rabinowitz* (14) hat in Metabolismusstudien mit stabilen Bleiisotopen gezeigt, daß die Abgabe von Blei aus dem Skelett so langsam verläuft, daß bei einer konstanten Exposition mit einer lebenslangen Zunahme der Bleikonzentration in den Knochen zu rechnen ist. Dies wurde in einer Reihe von Untersuchungen an menschlichen Knochen bestätigt (12, 15, 16). *Steenhout* (17) gibt in ihrer Zusammenfassung von Literaturdaten über die Akkumulation von Blei in den Knochen bei beruflich nicht bleiexponierten Personen eine jährliche Zunahme der Bleikonzentration von 0,5 bis 1 μg/g an. Auch wenn sich diese Untersuchungen auf Probenmaterial von beruflich nicht bleiexponierten Personen beziehen, können die individuellen Bleibelastungen noch beträchtlich schwanken, was zu einer recht großen Streuung der Konzentrationswerte für die einzelnen Individuen führt. Ein recht typisches Bild gibt Abbildung 1, in der die alters- und geschlechtsabhängige Verteilung der von *Grandjean* (6) gemessenen Bleikonzentrationen in Wirbeln von dänischen Autopsieproben aus dem Jahre 1972 dargestellt ist.

Abhängigkeit der Bleikonzentration der Knochen vom Geschlecht

Verschiedene Studien bei beruflich nicht belasteten Personen (18, 19) haben gezeigt, daß Frauen gegenüber Männern im Mittel eine um 10 bis 15 % tiefere Blutbleikonzentration aufweisen. Dies widerspiegelt sich offenbar auch im Bleigehalt der Knochen, wie wir aus den Daten von *Grandjean* in Abbildung 1 gesehen haben. *Barry* (20) fand bei einer Untersuchung an Skeletten von 36 weiblichen und 58 männlichen, beruflich nicht bleiexponierten Personen, bei den Frauen im Mittel sogar um bis zu 40% tiefere Konzentrationen als bei den Männern. Aus der Arbeit geht allerdings nicht hervor, ob diese großen Differenzen nur durch einen biologisch bedingten Unterschied zu erklären sind.

Bleigehalt verschiedener Knochentypen

Beim gleichen Individuum können verschiedene Knochenarten recht unterschiedliche Bleikonzentrationen aufweisen. *Weinig* und *Börner* (3) fanden bei 30 Skeletten von beruflich nicht belasteten Personen eine ziemlich konstante Reihenfolge der Bleigehalte in der Knochenasche von Wirbel > Rippen > Schienbein > Oberschenkelknochen. Das Verhältnis der Bleikonzentration von Wirbel zu Oberschenkelknochen schwankte dabei zwischen einem Faktor 1,1 und 2,2. *Barry* (20) fand bei 41 erwachsenen Individuen in der Asche von Rippen, Schienbein und Schädeldach im Mittel etwa die gleichen Werte, während die Konzen-

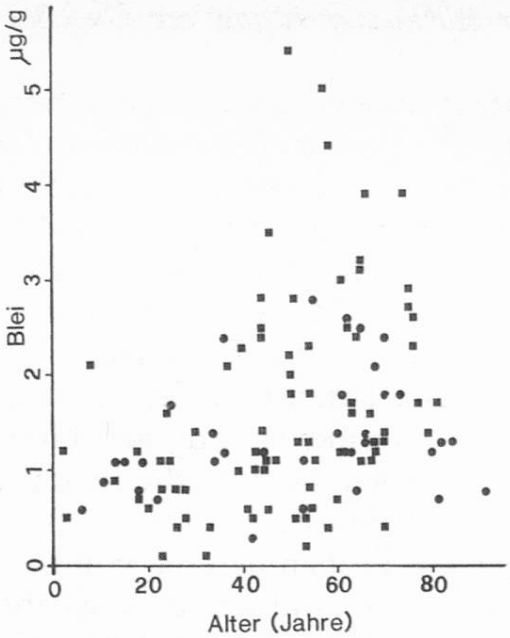

Abb. 1. Abhängigkeit der Bleikonzentration in Rückenwirbeln vom Todesalter bei Personen ohne berufliche Bleibelastung. ■ Männer, ● Frauen (nach *Grandjean* (6), dänische Autopsieproben 1972, Konzentrationen bezogen auf Trockengewicht)

tration im Felsenbein etwa doppelt so hoch war. *Drasch* (11) untersuchte Schädel, Brustbein, Beckenknochen und Oberschenkelknochen und fand bei den einzelnen Individuen sehr unterschiedliche Konzentrationsverhältnisse zwischen den einzelnen Knochenarten, die z. B. für Oberschenkelknochen/Brustbein zwischen 0,8 und 9 lagen. Diese extrem großen Schwankungen lassen allerdings vermuten, daß sehr wahrscheinlich ein beträchtlicher Teil dieser Streuung auf analytische Fehlerquellen zurückzuführen ist.

Verteilung des Bleigehaltes innerhalb des gleichen Knochens

Eine ausführliche Untersuchung der Verteilung des Bleigehaltes in menschlichen Rückenwirbeln und Rippen stammt von *Ulrich* (8). In allen Fällen waren die Konzentrationen in den Rippen tiefer als in den zugehörigen Wirbeln, wobei das Konzentrationsverhältnis zwischen 1,05 und 2,5 lag. Abbildung 2 zeigt die Bleiverteilung innerhalb von 4 Rippen des gleichen Individuums. Die geringsten Schwankungen wiesen die Rippen im ventralen Bereich auf. Vergleichsmessungen zur Beurteilung der Bleibelastung einer Person sollten deshalb mit Vorteil an Knochenproben aus diesem Bereich durchgeführt werden.

Beträchtliche Konzentrationsunterschiede bestehen auch über den Querschnitt der Kompakta von Rippenknochen. Es ist seit langem bekannt (3), daß bei Opfern einer akuten Bleivergiftung in den äußersten Knochenschichten ein Vielfaches der mittleren Bleikonzentration im Knochen gefunden wird. Ein –

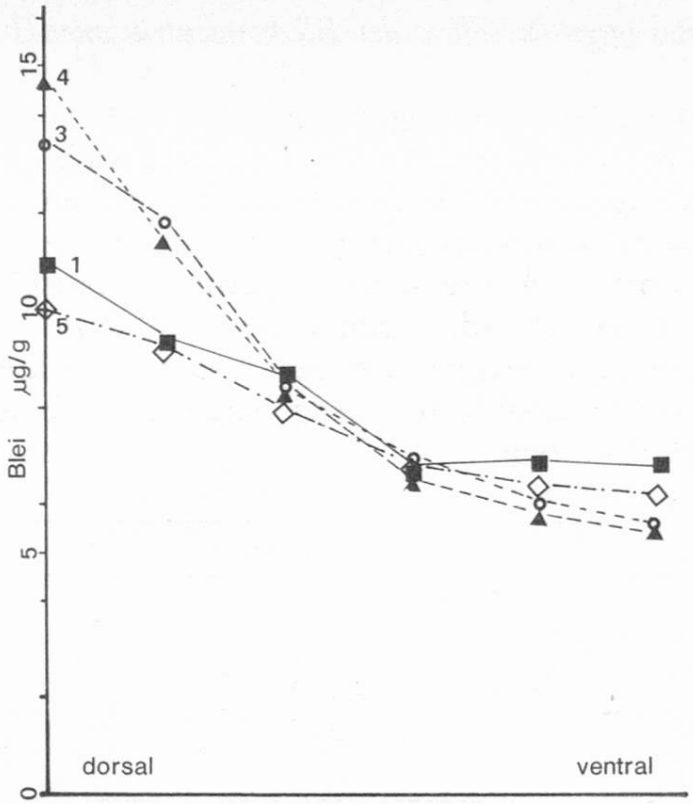

Abb. 2. Verteilung der Bleikonzentration in den Rippen Nr. 1, 3, 4 und 5 bei einem 1975 verstorbenen Erwachsenen (nach *Ulrich* (8), Konzentration bezogen auf Knochenasche)

zwar geringerer – Konzentrationsgradient quer durch den Knochen besteht aber auch bei Personen, die weder akut, noch beruflich einer erhöhten Bleibelastung ausgesetzt waren (Abb. 3). In dieser Darstellung zeigt sich auch deutlich der unterschiedliche Bleigehalt der Knochen von Kindern und Erwachsenen.

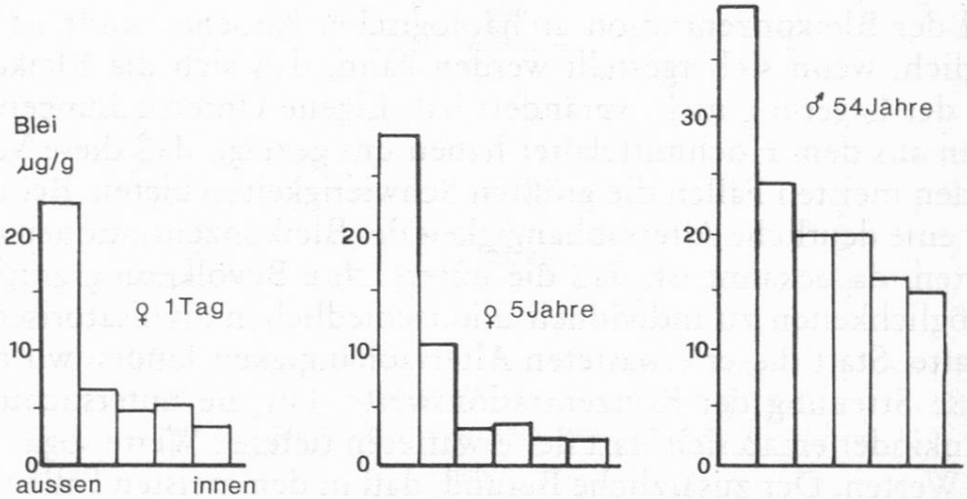

Abb. 3. Konzentrationsprofil quer durch die Kompakta von Rippen bei 1978 verstorbenen Personen ohne berufliche Bleibelastung (nach *Knutti* (10), Konzentration bezogen auf Knochenasche)

Auf welche Bezugsgröße sollen die Bleikonzentrationen bezogen werden?

In der Literatur findet man Angaben über die Bleikonzentration von Knochen, die sich auf das Frischgewicht, das Trockengewicht, die fettfreie Trockenmasse oder die Knochenasche beziehen. Für einen Vergleich der heutigen Bleibelastung mit derjenigen in früheren Zeiten eignet sich wegen des Abbaus der organischen Knochensubstanz während der Lagerung praktisch nur der Bezug auf die Knochenasche. Dies hat zudem den Vorteil, daß dabei die Unterschiede zwischen verschiedenen Knochenarten geringer werden, wie dies *Barry* (20) für Rippen, Schienbein und Schädeldach gezeigt hat. Für die Umrechnung empfiehlt *Barry* (12) folgende Faktoren:

	Asche: Feucht	Asche: Trocken
Wirbel	6 : 1	3 : 1
Rippen	4 : 1	2 : 1
Kompakte Knochen	1,6 : 1	1,6 : 1

Das Verhältnis für Kompaktknochen gilt auch für den kompakten Anteil von Röhrenknochen. Diese Angaben sind Mittelwerte, die von Publikation zu Publikation leicht schwanken. Für den uns interessierenden Vergleich der Bleibelastung in früheren Zeiten spielen diese Streuungen allerdings keine große Rolle.

Post-mortem-Veränderungen der Bleikonzentration im Knochen

Ein Vergleich der Bleibelastung in unserer mit derjenigen in früheren Zeiten aufgrund der Bleikonzentration archäologischer Knochenfunde ist im weiteren nur möglich, wenn sichergestellt werden kann, daß sich die Bleikonzentration während der Lagerung nicht verändert hat. Eigene Untersuchungen (10) an Skelettfunden aus dem Hochmittelalter haben uns gezeigt, daß diese Voraussetzung wohl in den meisten Fällen die größten Schwierigkeiten bieten. Bei unserem Beispiel war eine deutliche Altersabhängigkeit der Bleikonzentrationen der Knochen zu erwarten, da bekannt ist, daß die untersuchte Bevölkerungsgruppe praktisch keine Möglichkeiten zu individuell unterschiedlichen zivilisatorischen Bleikontakten hatte. Statt dieser erwarteten Altersabhängigkeit fanden wir nun aber nur eine große Streuung der Konzentrationswerte. Für die untersuchten Säuglinge und Kleinkinder ergab sich statt der erwarteten tieferen Werte sogar ein Trend zu höheren Werten. Der zusätzliche Befund, daß in den meisten Fällen die Bleikonzentration der anhaftenden Erde über der mittleren Konzentration der Knochen lag, machte uns eindeutig klar, daß wir nicht die zu Lebzeiten aufgenommene Bleimenge, sondern die Kontamination durch die fast eintausendjährige Lage-

rung der Skelette im Boden bestimmt hatten . . . Dank dem hohen Nachweisvermögen und der geringen benötigten Probenmenge war es dann aber doch noch möglich, zumindest einen Hinweis auf die uns interessierende Bleibelastung zu Lebzeiten zu erhalten. Der Querschnitt durch die Kompakta der untersuchten Rippenstücke (Abb. 4) zeigt einen extrem großen Konzentrationsgradienten von außen nach innen. Die Form dieser Konzentrationsprofile mit einem breiten Konzentrationsplateau in der Mitte der Kompakta läßt vermuten, daß der Plateauwert dem zu Lebzeiten aufgenommenen Blei entspricht. Diese Methode konnte allerdings nur für die Erwachsenenknochen eingesetzt werden, da bei den dünnen Kinderknochen dieser Plateaueffekt noch nicht vorhanden war. Der Vergleich mit den entsprechenden Konzentrationswerten von frischen Knochenproben von Erwachsenen (Abb. 3) gibt einen Hinweis darauf, daß die Bleibelastung der Bevölkerung in Zürich im Hochmittelalter gegenüber heute etwa um einen Faktor 10 geringer war.

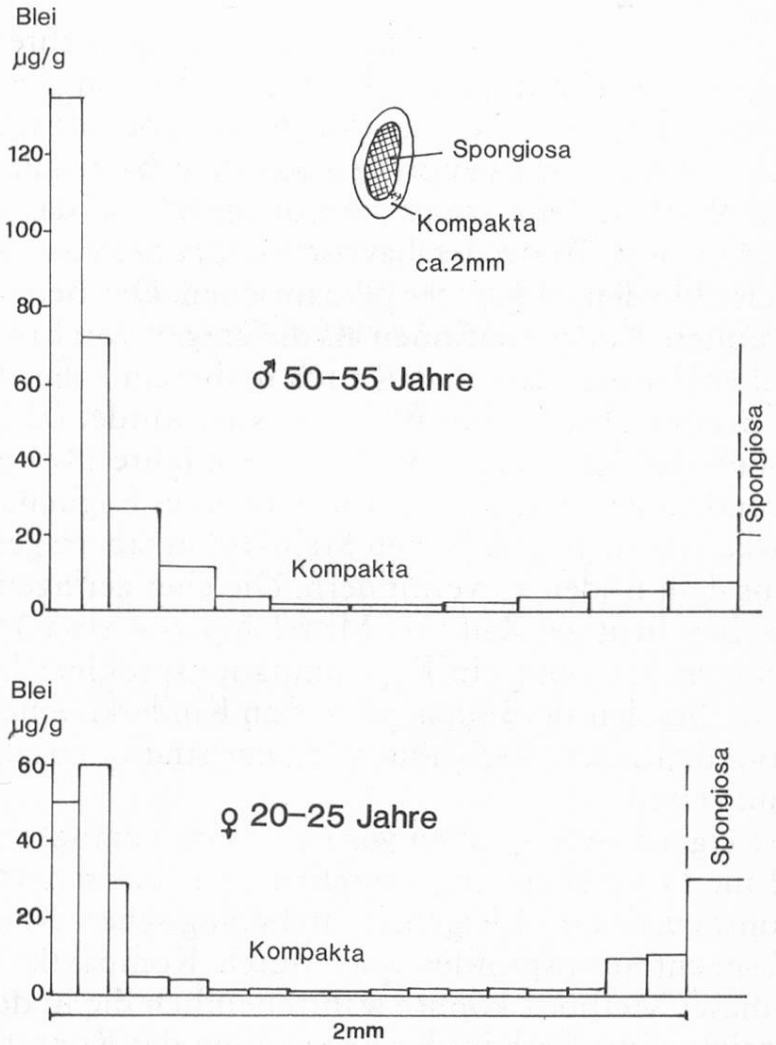

Abb. 4. Konzentrationsprofil quer durch die Kompakta von Rippen bei Personen aus archäologischen Knochenfunden vom Zürcher Münsterhof, 9.–11. Jahrhundert (nach *Knutti* (10), Konzentration bezogen auf Knochenasche).

Beurteilung der Bleibelastung des Menschen in früheren Zeiten

Patterson (21, 22) schätzt aufgrund vor allem geochemischer Überlegungen den von Natur aus bedingten, gesamten Bleigehalt eines Erwachsenen auf etwa 2 mg. Umgerechnet auf die Bleikonzentration in der Knochenasche ergibt dies im Mittel einen Wert von etwa 0,5 bis 1 μg/g. Voraussetzung für eine experimentelle Bestätigung solch tiefer Werte in jahrtausendealten Knochenfunden von Kulturen, von denen angenommen werden kann, daß sie keinen zivilisatorischen Bleibelastungen ausgesetzt waren, ist das vollständige Fehlen einer Kontamination während der langen Lagerung im Boden. *Grandjean* et al. (7) untersuchten im Wüstensand natürlich konservierte Mumien von 5000 Jahren alten nubischen Kulturen. Die gemessene mittlere Konzentration von 0,6 μg/g stimmt gut mit dem von *Patterson* postulierten Wert überein. Ebenfalls in Übereinstimmung mit diesem natürlichen Basiswert sind die von *Drasch* (11) gemessenen mittleren Konzentrationen von ebenfalls 0,6 μg/g bei prähistorischen peruanischen Knochenfunden, die wie die nubischen ebenfalls in trockenem Wüstensand gelagert waren.

Schwieriger zu beurteilen sind Knochenfunde, die während Jahrhunderten in Kontakt mit einem feuchten Boden waren, wie dies für die meisten archäologischen Funde aus Europa der Fall ist. *Drasch* hat neben den peruanischen Proben eine große Anzahl von Knochenproben aus dem bayrischen Raum untersucht, die von prähistorischen Zeiten über die Römerzeit und das Mittelalter bis in unsere Tage reichen. Die Werte der bayrischen prähistorischen Funde liegen mit 2 μg/g deutlich über denjenigen der peruanischen. Der Befund, daß die Knochen von Kindern höhere Konzentrationen als diejenigen von Erwachsenen aufweisen, ist ein deutlicher Hinweis darauf, daß auch in diesem Falle eher eine Kontamination als zu Lebzeiten absorbiertes Blei gemessen wurde. *Ulrich* (8) vergleicht Rippen und Wirbel von Autopsiematerial aus dem Jahre 1975 mit frühmittelalterlichen Skelettfunden. Auch in diesem Fall scheint es fraglich, ob die Lagerung der Erwachsenenskelette in geschlossenen Steinkistengräbern genügte, um eine Kontamination aus dem Boden zu verhindern. Die eher geringen Konzentrationsverhältnisse zwischen heutiger Zeit und Mittelalter von etwa 3:1 für Wirbel und 5:1 für Rippen deuten auch auf ein Kontaminationsproblem hin. Noch deutlicher ist die Situation bei den im Boden gelagerten Kinderknochen, welche wie in unserer eigenen Arbeit, zum Teil höhere Konzentrationen als diejenigen der Erwachsenen aufweisen.

Auf unsere eigene Arbeit haben wir bereits im vorangehenden Abschnitt verwiesen (10). Eine Differenzierung zwischen zu Lebzeiten aufgenommenem und kontaminationsbedingtem Bleigehalt archäologischer Knochenfunde ist aufgrund des Konzentrationsprofiles quer durch Kompaktknochen möglich. Die Anwendung dieser Methode könnte wahrscheinlich die in den verschiedenen Arbeiten aufgezeigte Unsicherheit der Beurteilung des Kontaminationsanteiles am gemessenen Bleigehalt beseitigen.

Zusammenfassung

Der Bleigehalt der Knochen ist ein Maß für die lebenslange, kumulative Bleibelastung einer Person. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, die Bleibelastung der Bevölkerung verschiedener Kulturen und Zeiten zu vergleichen. Die Arbeit diskutiert die zusätzlichen Faktoren, von denen die gemessenen Bleikonzentrationen abhängen: Analytische Probleme, Todesalter und Geschlecht, Knochenart, Verteilung innerhalb eines Knochens, Bezugsgröße und Post-mortem-Veränderungen der Bleikonzentration. Dieser letzte Punkt, die Kontamination durch die Lagerung im Boden, stellt bei archäologischen Knochenfunden meistens das größte Problem dar. Zur Unterscheidung zwischen dem zu Lebzeiten aufgenommenen und dem kontaminationsbedingten Bleigehalt wird die Bestimmung des Konzentrationsprofiles quer durch Kompaktknochen empfohlen.

Résumé

Le taux de plomb des os est en corrélation plus au moins étroite avec la quantité de plomb accumulée par les personnes durant leur vie, d'où la possibilité de comparer la charge de populations de différentes époques et civilisations. Dans cet article, les divers paramètres dont dépendent les concentrations en plomb mesurées sont discutés: problèmes analytiques, mortalité, sexe, espèce de l'os, distribution à l'intérieur de l'os, point de référence de la concentration et modification par contamination de la teneur après la mort. Ce dernier point, la contamination due au contact avec le sol, représente le plus souvent le problème majeur au sujet des os provenants de fouilles archéologiques. Pour distinguer au mieux le taux d'accumulation durant la vie du taux dû à la contamination, il est recommandé de déterminer la concentration à travers les couches des parties compactes des os.

Summary

As the skeleton contains more than 90% of the body burden of lead, the exposure of populations of different cultures can thus be compared by measuring the lead content of bones. Additional factors determining the measured concentrations are: analytical problems, age of death and sex, type of bone, distribution of lead within a piece of bone, reference of concentration and post-mortem changes. In most cases, this last point, e.g. contamination from soil, is the main problem in estimating lead exposure. The concentration profile across compact bones allows a distinction between contamination from soil and lead accumulated during life.

Literatur

1. *Schroeder, H. A.* und *Tipton, I. H.:* The human body burden of lead. Arch. Environ. Health **17**, 965–978 (1965).
2. *Barry, P. S. I.* and *Moßmann, D. B.:* Lead concentrations in human tissues. Br. J. Ind. Med. **27**, 339–351 (1970).
3. *Weinig, E.* und *Börner, B.:* Über den normalen Bleigehalt der menschlichen Knochen. Arch. Toxicol. **19**, 34–48 (1961).

4. *Jaworowski, Z.:* Stable lead in fossil ice and bones. Nature **217**, 152–153 (1968).
5. *Crawford, M. D.* and *Crawford, T.:* Lead content of bones in a soft a hard water area. Lancet **1**, 699–701 (1969).
6. *Grandjean, Ph.:* Lead in Danes. Historical and toxicological studies. In: Griffin, T. B. and Knelson, J. H. (ed.): Lead. Suppl. Vol. II of Environmental Quality and Safety. Thieme, Stuttgart 1975.
7. *Grandjean, Ph., Nielson, O.* and *Shapiro, I. M.:* Lead retention in ancient Nubians and contemporary populations. J. Environ. Pathol. Toxicol. **2**, 781–787 (1979).
8. *Ulrich, L.:* Untersuchungen über den Bleigehalt in Wirbeln und Rippen. Arch. Toxicol. **41**, 133–148 (1978).
9. *Ericson, J. E., Shirahata, H.* and *Patterson, C. C.:* Skeletal concentrations of lead in ancient peruvians. New Engl. J. Med. **300**, 946–951 (1979).
10. *Knutti, R.:* Die Bleibelastung der Zürcher Bevölkerung im Hochmittelalter (9.–11. Jahrhundert). Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **73**, 186–195 (1982).
11. *Drasch, G. A.:* Lead burden in prehistorical and modern human bones. Sci. Total Environ, **24**, 199–231 (1982).
12. *Barry, P. S. I.:* Distribution and storage of lead in human tissues. In: Nriagu, J. O. (ed.): The biogeochemistry of lead in the environment. Part B. Elsevier, Amsterdam 1978.
13. *Steenhout, A.:* Kinetics of lead storage in teeth and bones. An epidemiologic approach. Arch. Environ. Health **37**, 224–231 (1982).
14. *Rabinowitz, M. B., Wetherill, G. W.* and *Kopple, J. D.:* Kinetic analysis of lead metabolism in healthy humans. J. Clin. Invest. **58**, 260–270 (1976).
15. *Gross, S. B., Pfitzer, E. A., Yeager, D. W.* and *Kehoe, R. A.:* Lead in human tissues. Toxicol. Appl. Pharmacol. **32**, 638–651 (1975).
16. *O'Connor, B. H., Kerrigan, G. C., Taylor, K. R., Morris, P. D.* and *Wright, C. R.:* Levels of temporal trends of trace element concentrations in vertebral bone. Arch. Environ. Health **35**, 21–27 (1980).
17. *Steenhout, A.* and *Pourtois, M.:* Lead accumulation in teeth as a function of age with different exposures. Br. J. Ind. Med. **38**, 297–303 (1981).
18. *Mahaffey, K. R., Annest, J. L., Roberts, J.* and *Murphy, R. S.:* National estimates of blood lead levels: United States, 1976–1980. New Engl. J. Med. **307**, 573–579 (1982).
19. *Berlin, A.:* Assessment of exposure to lead of the general population in the European Community trough biological monitoring. Environ. Monit. Assess. **2**, 225–231 (1982).
20. *Barry P. S. I.:* A comparison of lead concentrations in human bones and soft tissues. International symposium environmental health aspects of lead: Amsterdam, 2.–6. Oct. 1972. Luxembourg: Commission of the European Communities 415–426, 1973.
21. *Patterson, C. C.:* Contaminated and natural lead environments of man. Arch. Environ. Health **11**, 344–360 (1965).
22. *Patterson, C. C.:* An alternative perspective – Lead pollution in the human environment: Origin, extent and significance. In: Lead in the human environment. A report prepared by the Committee on lead in the human environment. National research Council, National Academy of Sciences, Washington, D.C. 1980.

Dr. R. Knutti
Institut für Toxikologie der
Eidg. Techn. Hochschule
und der Universität Zürich
CH-8603 Schwerzenbach