

halten, der bei anderen großen Rundzügen in der Mammuthöhle festgestellt wurde, weicht der Fehler auf der Y-Achse doch sehr erheblich ab. Ganz generell kann für die Mammuthöhle festgestellt werden, daß die neueren, in die Tiefe führenden Vermessungszüge die alten etwa um den Betrag von 20 Meter nicht erreichen, daß also etwa das Minotauruslabyrinth und alle daran angeschlossenen Höhlenteile nach alten Vermessungen zu tief liegen. Dies sollte zwar bei allen Überlegungen beachtet werden, ändert jedoch nichts am derzeitigen Gesamthöhenunterschied, da dieser sich aus der Eingangshöhe des Däumelkogelschachtes (1814,5 m) und aus neueren Vermessungen in die tiefsten Teile des Wasserschachtes ergibt.

Zur allgemeinen Orientierung über die bei Rundzügen in der Mammuthöhle auftretenden Fehler sind die wesentlichsten in Tabelle 1 aufgeschlüsselt. Zwar wird es das ständige Trachten des Vermessers sein, die Fehlerquellen auszuschalten und den Fehler möglichst gering zu halten, doch kann diese Tabelle sicherlich zur Einordnung eigener Fehler herangezogen werden.

Eine der wesentlichsten Schwierigkeiten beim Auftreten solcher Fehler liegt jedoch darin, daß eine Fehleraufteilung auf den Polygonzug in der Praxis nicht durchführbar ist. Nach geodätischen Regeln müßte dieser auf den gesamten Rundzug aufgeteilt werden. Nun liegen aber die früher vermessenen Teilstrecken des Rundzuges bereits als Plan oder Teilblatt vor, sodaß die Korrektur lediglich an dem zuletzt vermessenen Verbindungsstück — im Fall des erwähnten großen Rundzuges wäre dies die Strecke vom oberen Einstieg des Teufelsloches über den Einstieg des Däumelkogelschachtes bis zum Anschlußpunkt im Wienerlabyrinth — durchgeführt werden kann.

Literatur:

Fuchs, G. (1978): Angabe der Meßgenauigkeit auf Höhlenplänen. Mitt. Landesver. f. Höhlenkunde i. d. Stmk. 7, 1: 7–10.

Hartmann, W. (1975): Dachstein-Mammuthöhle: Die Schlucht des Grauens — ein kurzer Zugang zur Unterwelt. Höhlenkundl. Mitt. Wien 31, 6: 105–108.

Über Aminosäuren- und Stickstoff/Fluor-Datierung fossiler Knochen aus österreichischen Höhlen

Von Peter Hille, Karl Mais, Gernot Rabeder, Norbert Vávra und Eva Wild (alle Wien)

Summary: The time dependence of chemical changes in fossil bones has been investigated using nuclear physics and gaschromatographic methods to obtain an age estimate.

1. Problemstellung

Die Möglichkeit einer Datierung von Fossilien, deren geologisches Alter über 40.000 Jahren liegt und die daher mit der C^{14} -Methode (Radiokarbon-

methode) derzeit nicht erfaßt werden können, wäre für viele paläontologische Fragenkomplexe (Biostratigraphie, Phylogenie, Faunengeschichte) von immenser Bedeutung.

Es sollte daher im Rahmen eines Forschungsprojektes die Frage geprüft werden, ob die chemischen Veränderungen, denen fossile Knochen unterliegen, eine Zeitabhängigkeit zeigen, die zur altersmäßigen Einstufung herangezogen werden kann. Zu diesem Zweck wurden zwei Wege beschritten. Einerseits wurde, auf eine Dissertation (EISENBARTH 1975) am Institut für Radiumforschung und Kernphysik der Österreichischen Akademie der Wissenschaften aufbauend, die Stickstoff-/Fluormethode weiterentwickelt. Der Stickstoff- bzw. Fluornachweis erfolgt dabei über die instrumentale Aktivierungsanalyse mit schnellen Neutronen. Andererseits wurde versucht, die Abbaureaktionen der auch in fossilen Knochen nachweisbaren Eiweißstoffe analytisch zu erfassen. Dazu wurden Hydrolysate der Paläoproteine gaschromatographisch auf Aminosäuren untersucht.

2. Forschungsprojekt

Die hier beschriebenen Untersuchungen wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes durch den „Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung in Österreich“ finanziert. Das Projekt hat die Nr. 3019 und läuft unter dem Titel „Altersbestimmung von Fossilien mit neuen physikalischen und chemischen Methoden“.

3. Untersuchte Proben

Die ausgewählten Knochenproben stammen fast alle aus pliozänen und pleistozänen Höhlenfaunen Österreichs; ergänzt wurde das Probenmaterial durch Proben aus Lößprofilen. Die Fundstellen, von denen Knochenproben untersucht worden sind, sind in einer Kartenskizze (Abb. 1) zusammengestellt.

3.1. Niederösterreich

Bad Deutsch-Altenburg

Durch die nun über zehnjährige Grabungstätigkeit konnten in den Höhlen im Steinbruch Hollitzer (Kat.Nr. 2921/18) bis jetzt 26 Wirbeltierfundstellen entdeckt werden, von denen einige durch ihren Fossilreichtum zu biostratigraphischen Fixpunkten (z. B. die Fundstellen DA 2, DA 4 und DA 20) wurden, andere jedoch fast nur Fledermaus- und Schlangenreste lieferten, mit denen eine genauere biostratigraphische Einstufung nicht möglich ist. Dies spielte auch bei der Probenauswahl eine Rolle.

Für die Eichung einer Zeitskala wurden Proben aus folgenden Fundschichten herangezogen:

Deutsch-Altenburg 2 C₁ (DA 2 C₁), Altbiharium, Betfium. Diese Fundschicht enthielt die Hauptfauna der Fundstelle 2 (RABEDER 1972 a, 1972 b, 1973 a, 1973 b, 1973 c, 1974 a, 1976, 1978; MAIS 1973),

Deutsch-Altenburg 4 B (DA 4 B), Altbiharium. Aus dieser Schicht konnte eine noch artenreichere Fauna geborgen werden, die nach dem Profilzusammenhang, aber auch nach der Fauna deutlich jünger ist als Deutsch-Altenburg 2 C₁. (RABEDER 1978, 1981),

Deutsch-Altenburg 3 (DA 3), Jungvillanyium. Diese kleine Höhlenfüllung enthielt eine Mikrovertebratenfauna, die nach den Wühlmäusen gut eingestuft werden kann (MAIS 1973; RABEDER 1981),

Deutsch-Altenburg 20 (DA 20), jüngerer Csarnotium. Kleine Höhlenfüllung mit einer sehr reichen Mikrovertebratenfauna (MAIS & RABEDER 1977 b).

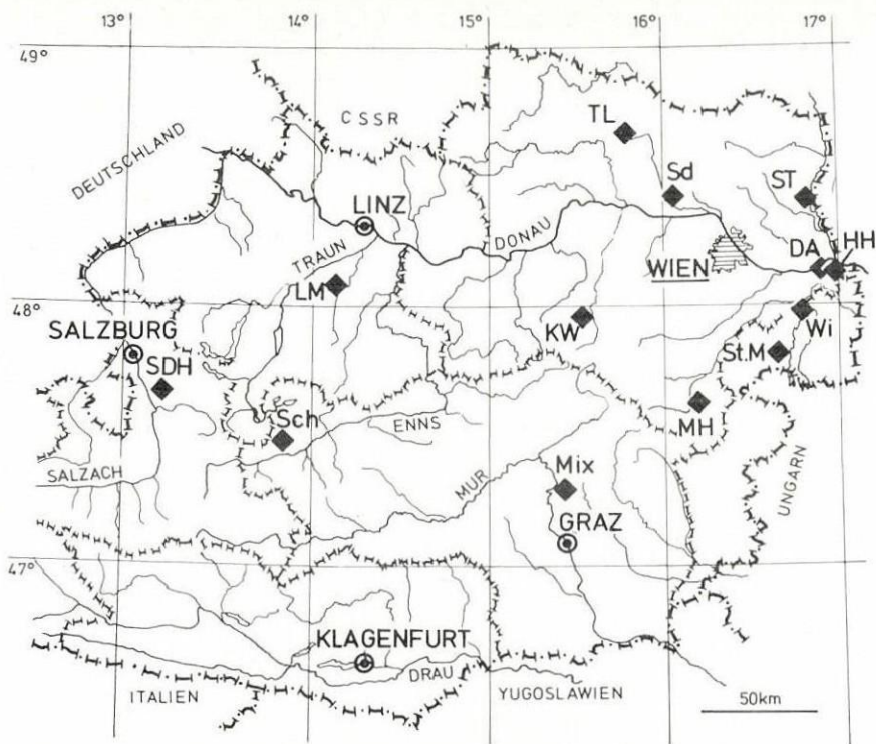


Abb. 1: Lageskizze der beprobten Fundstellen.

Abkürzungen:

DA: Bad Deutsch-Altenburg	Sd: Stranzendorf
HH: Hundsheim (Knochenspalte)	SDH: Schlenken-Durchgangshöhle
KW: Köhlerwandhöhle	ST: Stillfried
LM: Lettenmayerhöhle	StM: Sankt Margarethen
MH: Mehlwurmhöhle	TL: Teufelslucke
Mix: Mixnitz (Drachenhöhle)	Wi: Winden (Bärenhöhle)
Sch: Schottloch	

Drei weitere Fundschichten, deren biostratigraphische Stellung gesichert ist, wurden unter Kontrolle der Zeitskala herangezogen:

Deutsch-Altenburg 9 (DA 9), Jüngerer Csarnotium. Nur geringfügig jünger als Deutsch-Altenburg 20 (MAIS & RABEDER 1977 a),

Deutsch-Altenburg 10 (DA 10), Jungvillanyium. Nach den Wühlmausresten etwas jünger als Deutsch-Altenburg 3 (RABEDER 1978),

Deutsch-Altenburg 16 (DA 16), Altbiharium. Stratigraphisch tiefste Fundschicht des Höhlenprofils Deutsch-Altenburg 2–4–16 (RABEDER 1978).

Altersmäßig nicht näher einstuftbar sind die Fundstellen Deutsch-Altenburg 6, 7, 8, 13, 14, 18 und 19. Sie enthielten hauptsächlich nur Fledermausreste, während die aussagekräftigen Wühlmausreste entweder fehlen oder nur spärlich vertreten sind.

Hundsheim (HH), Jungbiharium

Die Hundsheimer Knochenspalte (Kat. Nr. 2921/13) ist schon seit der Jahrhundertwende als Fossilfundstelle bekannt und wurde durch zahlreiche Grabungen ausgebeutet (s. RABEDER 1972 c).

Köhlerwandhöhle (Kat. Nr. 1835/6, KW), Jungpleistozän

Voralpine Bärenhöhle mit Resten des Höhlenbären (MAIS 1962).

Mehlwurmhöhle (Kat. Nr. 2872/25, MH), Jungpleistozän bis Holozän

Die Mehlwurmhöhle war im Jungpleistozän ein Schlupfwinkel der Höhlenhyäne. Die Knochen der „Fundschicht“ 1 (MH 1) sind Hyänenfraßreste. Später wurde die Höhle von Murmeltieren bewohnt (MH 2) und im Holozän hat vor allem der Fuchs Beutestücke in der Höhle gelagert (MH 3). Durch die grabende und wühlende Tätigkeit der Füchse und Murmeltiere sind die Schichten durchmischt. Die Knochenreste können jedoch auf Grund der Farbe und des Erhaltungszustandes auseinandergehalten werden (MAIS & RABEDER 1974).

Stillfried (ST), Jungpleistozän

Paläolithstation (Gravettien) im Löß von Stillfried an der March (FELGENHAUER 1980).

Teufelslucke (Kat. Nr. 6846/3, TL), Jungpleistozän bis Holozän

In ähnlicher Weise wie bei der Mehlwurmhöhle wurde die Teufelslucke zuerst von der Höhlenhyäne, später vom Fuchs bewohnt. Auch die Sedimente dieser Höhle waren vor der Untersuchung durchwühlt (EHRENBERG 1966).

Stranzendorf (Sd), Altvillanyium

Die Knochenprobe stammt aus einem mächtigen Lößprofil, das durch zahlreiche Paläoböden unterteilt ist. Auf Grund der Wühlmausreste und der paläomagnetischen Messungen ist das Alter der Fundschicht F (Braunlehm, Sd F) mit etwa 2,3 Millionen Jahren anzugeben (RABEDER 1974 b).

3.2. Burgenland

St. Margarethen (StM), Mittelpleistozän

Die zeitliche Einstufung dieser Spaltenfauna (westlich Kat. Nr. 2911/28) stützt sich auf ein Uran-Serien-Datum von 175.000 Jahren (WILD, HILLE & RABEDER, im Druck; RABEDER 1977 a, 1977 b).

Winden (Wi), Jungpleistozän

Die Windener Bärenhöhle, auch Ludlloch genannt (Kat. Nr. 2911/1), ist die am tiefsten gelegene Höhle mit Resten des Höhlenbären (EHRENBERG 1932, 1951).

3.3. Steiermark

Mixnitz (Mix), Jungpleistozän

Die „Drachenhöhle von Mixnitz“ (Kat. Nr. 2839/1) wurde wegen der in riesigen Mengen vorkommenden Höhlenbärenreste sowie durch die umfangreiche Monographie von ABEL & KYRLE (1931) weltberühmt. Aber auch die Kleinsäugerfauna ist interessant (WETTSTEIN 1931, RABEDER 1974 a).

Schottloch (Kat. Nr. 1544/14, Sch), Jungpleistozän

Hochalpine Bärenhöhle im östlichen Teil des Dachsteinplateaus, schon früh durch seine Funde bekannt (KRAUS 1894).

3.4. Salzburg

Schlenken-Durchgangshöhle (Kat. Nr. 1525/20, SDH), Jungpleistozän

Umfangreiche Grabungen seit dem Jahre 1965, Bärenhöhle. Es liegen zwei C¹⁴-Daten vor (Groningen): 33.300 ± 1150 b.p. in 0,75 m Tiefe, 42.600 b.p. in 2,75 m Tiefe (EHRENBERG & MAIS 1972).

3.5. Oberösterreich

Lettenmayerhöhle (Kat. Nr. 1673/1, LM), Jungpleistozän

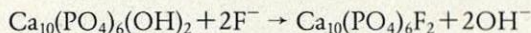
Bärenhöhle in der Nagelfluh bei Kremsmünster (EHRENBERG 1962).

4. Die Stickstoff-/Fluormethode zur Altersbestimmung von fossilen Knochen

4.1. Allgemeines

Die Stickstoff-/Fluormethode ist eine Methode zur Altersbestimmung von fossilen Knochen, die sich zeitabhängige chemische Veränderungen in der Knochensubstanz zunutze macht. Der Stickstoffgehalt eines Knochens wird

durch die Verwesung der organischen Substanz im Laufe der Zeit abgebaut. Der anorganische Hauptbestandteil des Knochens, Hydroxylapatit, wird durch das Fluorangebot im Grundwasser in den chemisch beständigeren Fluorapatit umgewandelt; als Folge werden die im Knochen fixierten Fluorionen aus diesem nicht mehr herausgelaut, d. h. es kommt zu einer Fluoranreicherung. Dieser Ionenaustauschvorgang wird durch die folgende chemische Reaktionsgleichung beschrieben:



Die Sättigungsgrenze der Fluoraufnahme liegt bei einem Fluorgehalt von 3,8 Gewichtsprozent nach Austausch der OH^- -Ionen durch F^- -Ionen (KLEMENT 1933). Die Konzentration an Stickstoff und Fluor in einer Knochenprobe kann daher zu einer Altersabschätzung herangezogen werden. Da aber der Stickstoffabbau und die Fluoranreicherung unter anderem von den Umweltbedingungen an der Lagerstelle des Knochens abhängen (siehe Kapitel 4.2), ist eine absolute Altersbestimmung nicht möglich. Die N/F-Methode bietet nur die Möglichkeit, einzelne Proben einander zeitlich zuzuordnen, also eine relative Datierung vorzunehmen, wobei bei der Probenauswahl starke Einschränkungen zu treffen sind. Zum Vergleich können nur Knochen derselben Knochenart herangezogen werden, da unterschiedliche rezente Knochenarten auch unterschiedliche Fluorgehalte aufweisen. Weiters sollten nur Proben, die während ihrer Lagerung im Boden ähnlichen Umwelteinflüssen ausgesetzt waren, mit dieser Methode datiert werden.

4.2. Austauschproblematik

Wie bereits erwähnt, unterliegen sowohl der Stickstoffabbau als auch die Fluoraufnahme Einflußfaktoren, die lediglich eine relative Altersabschätzung zulassen. Nur unter extremer Einschränkung dieser Faktoren bietet sich eventuell die Möglichkeit einer absoluten Altersangabe.

Die Geschwindigkeit der Fluoranreicherung in der Knochensubstanz hängt wesentlich von den hydrologischen Bedingungen des Bodens und somit auch von der Bodenbeschaffenheit ab, also vom Fluorgehalt des Grundwassers, der sich im Laufe der Fossilwerdung des Knochens ändern kann, und von der Grundwasserzirkulation. Toniger Boden ist bekanntlich wasserundurchlässiger als sandiger, schottriger Boden (EISENBARTH 1975). Weiters wird die Fluoraufnahme durch höhere Temperaturen begünstigt, was eine schnellere Sättigung zur Folge hat.

Ein weiterer Parameter, der die Fluoraufnahme beeinflusst, ist die Knochenbeschaffenheit, wie porös oder glatt, kompakt oder röhrenförmig.

Der Stickstoffabbau wird ebenfalls von den Umweltbedingungen an der Lagerstelle des Knochens stark beeinflusst. Warmes Klima begünstigt die Verwesung der organischen Knochensubstanzen. Bodenbeschaffenheit, der Säuregehalt des Bodens und bakteriologische Bedingungen wirken auf die Geschwindigkeit des Stickstoffabbaus ein. In speziellen Bodenarten, wie z. B. Ton oder

Lehm, kann die organische Substanz infolge von Luftabschluß und Bakterienausschluß über lange Zeiten „konserviert“ werden (OAKLEY 1963). Erhöhter Säuregehalt des Bodens beschleunigt den Abbau der organischen Substanz, Bakterienbefall hingegen kann einen höheren Stickstoffgehalt des Knochens vortäuschen (EISENBARTH 1975).

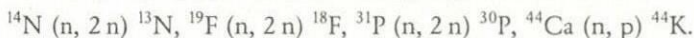
4.3. Anwendbarkeitsgrenzen für Fluor- und Stickstofftest

Aufgrund des oben Gesagten ist eine allgemein gültige Aussage über die Anwendbarkeitsgrenze des Stickstoff- und Fluortests nicht möglich. In der Literatur gibt es Annahmen für die Sättigungsgrenze der Fluoraufnahme für verschiedene Zeitalter wie Silur, Tertiär (RICHTER 1956) und Quartär (BRINKMANN 1967). EISENBARTH (1975) gibt die Anwendbarkeitsgrenze des Stickstofftests bei einem Alter von $2 \cdot 10^6$ Jahren an. In gewissen Fällen kann die Stickstoffmethode auch über noch größere Zeiträume zur relativen Datierung herangezogen werden, wenn z. B. durch Luft- und Bakterienausschluß und unter günstigen klimatischen Bedingungen die organische Knochensubstanz (Kollagen) lange Zeit erhalten bleibt und daher die Stickstoffabgabe äußerst langsam vor sich geht (COOK 1960). Aus den Meßergebnissen dieser Arbeit läßt sich jedoch schließen, daß sich der Stickstoffgehalt der Proben ab einem Zeitbereich von etwa 10^5 Jahren nicht mehr wesentlich ändert, d. h. der Stickstofftest läßt bei Proben, die älter als 10^5 Jahre sind, keinen Aufschluß über das eigentliche Alter dieser Proben zu. Diese Aussage bezieht sich zunächst nur auf die untersuchten österreichischen Höhlenfunde.

4.4. Zerstörungsfreie Datierung nach der N/F-Methode durch Aktivierung mit 14 MeV Neutronen

Eine einfache, rasche und zerstörungsfreie Möglichkeit zur Datierung von Knochen nach der N/F-Methode bietet die Aktivierungsanalyse mit 14 MeV Neutronen (EISENBARTH & HILLE 1977). Es wird der zeitlich veränderliche Gehalt von Stickstoff und Fluor relativ zum Gehalt eines Elements, dessen Konzentration in der Knochenprobe zeitlich konstant bleibt, nämlich Phosphor und Kalzium, festgestellt. Um zu überprüfen, ob die Probe keine starken chemischen Veränderungen erlitten hat, wird zusätzlich zu den Gewichtsverhältnissen N/P und F/P das Atomverhältnis Ca/P, das für Knochen den konstanten Wert 10/6 haben sollte, bestimmt.

Bei der Aktivierung einer Knochenprobe auftretende Kernreaktionen, die zur Bestimmung von F, P, N und Ca herangezogen werden, sind:



^{13}N , ^{30}P , ^{18}F sind Positronenstrahler. Ihre Aktivitäten werden durch ihre Annihilationsstrahlung (511 keV Gammastrahlung) festgestellt. Eine Analyse der zeitlichen Abfallskurve der 511 keV-Linie nach den Anteilen von ^{13}N , ^{30}P und ^{18}F ist möglich, da diese Isotope sehr unterschiedliche Halbwertszeiten auf-

weisen. Die Aktivitäten von ^{44}K und anderen eventuell interessierenden Gammastrahlern, die ebenfalls mit 14 MeV Neutronen erzeugt werden, bestimmt man anhand ihrer charakteristischen Gammalinien.

Eine ausführliche Beschreibung der verwendeten Meßtechnik findet sich in WILD, HILLE & RABEDER (im Druck) und in WILD (1981).

4.5. Meßergebnisse

Experimentell wurden die Gewichtsverhältnisse von N/P und F/P sowie das Ca/P Atomverhältnis der einzelnen Proben bestimmt. Aus den Ca/P Atomverhältnissen geht hervor, daß bei einem Teil der Knochenproben während ihrer Lagerung im Höhlenboden größere chemische Veränderungen im Knochen aufgetreten sein müssen. Bei einigen untersuchten Proben konnte aufgrund des paläontologischen Befundes eine Zeitzuordnung getroffen werden (Tab. 1).

Diese Zeitzuordnung wurde mit den absoluten Altern der nach der U-Serien-Methode datierten Proben ergänzt und folgendermaßen präzisiert:

Köhlerwandhöhle (KW)	18.000 Jahre
Stillfried, Probe B (ST B)	20.000 Jahre
Teufelslucke (TL)	23.000 Jahre
St. Margarethen (StM)	175.000 Jahre

Tabella 1: Biostratigraphische Stellung der beprobten Wirbeltierfundstellen

absolutes Alter in 10^6 Jahren	Chronostrati- graphische Zeiteinheit	Säugetierzonen	Fundstellen
0,01	Holozän		Mehlwurmhöhle 3
0,1	Jung-Pleistozän		Köhlerwandhöhle Stillfried B Teufelslucke, Mehlwurmhöhle 1 Schlenken-Durchgangshöhle, Schottloch
0,7	Mittel-Pleistozän	Jung-Biharium	St. Margarethen Hundshelm
ca. 1,3	Alt-Pleistozän	Alt-Biharium	Deutsch-Altensburg 4 Deutsch-Altensburg 2
1,8	Ältest-Pleistozän	Jung-Villanyium = Kislangium	Deutsch-Altensburg 10 Deutsch-Altensburg 3
2,5	Jung-Pliozän	Alt-Villanyium = Beremendium	Stranzendorf F
		Csarnotium	Deutsch-Altensburg 9 Deutsch-Altensburg 20

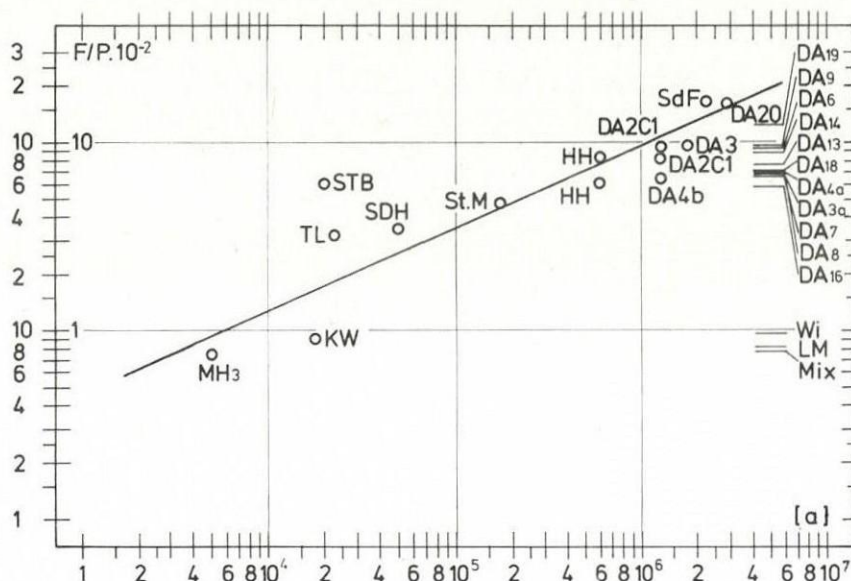


Abb. 2: Doppelt logarithmische Darstellung der Zeitabhängigkeit der Fluoraufnahme von fossilen Knochen. Die durchgezogene Gerade entspricht einem Fit, der die relativen Fehler minimalisiert (siehe Text).

Abbildung 2 zeigt die F/P-Werte der zu einer Eichung herangezogenen Proben aus Tabelle 1 in Abhängigkeit des Probenalters. Die durchgezogene Gerade entspricht einem least square Fit, der die relativen Fehler minimalisiert (linearer Fit in doppelt logarithmischer Darstellung, Korrelationsfaktor 0,81). Die übrigen Proben, die zur Zeiteichung nicht herangezogen wurden, sind in Abbildung 2 durch waagrechte Striche, die den gemessenen F/P-Werten entsprechen, gekennzeichnet.

In Abbildung 3 wurden die gemessenen N/P-Verhältnisse gegen das Alter aufgetragen. Es ist daraus ersichtlich, daß sich das N/P-Verhältnis bei einem Alter von ca. 10^5 Jahren nicht mehr wesentlich ändert. Außerdem ist die Streuung der N/P-Werte im Altersbereich $<10^5$ Jahre beträchtlich, sodaß höchstens grobe Altersschätzungen getroffen werden können.

4.6. Diskussion der Ergebnisse

Wie aus den in 4.5. angeführten Daten hervorgeht, steigt der Fluorgehalt von fossilen Knochen bis zu einem Alter von $3 \cdot 10^6$ Jahren an. Die Fluorbestimmung ist für Altersabschätzungen bis zu diesem Zeitbereich im Prinzip geeignet. Da aber die Fluorwerte ebenso wie die Stickstoffwerte einzelner Proben sehr streuen, ist eine Altersbestimmung von einzelnen Proben eher problematisch.

Es können nur grobe Altersabschätzungen vorgenommen werden. Für jeweils einen speziell interessierenden Fundort besteht jedoch die Hoffnung, eine Kalibrierung der Fluoraufnahme durch Vergleich mit über die Uran-Serien-Methode gewonnene Daten für einen Zeitbereich von $3 \cdot 10^5$ Jahren erstellen zu können. Gelänge es, eine solche Eichung vorzunehmen, so könnten durch Extrapolation der Eichkurve auf höhere Alter mit dem Fluortest absolute Datierungen für einen Zeitbereich, der im Zusammenhang mit der Entwicklungsgeschichte des Menschen interessant ist und von anderen Methoden nicht erfaßt werden kann, ermöglicht werden. Dies könnte durch Untersuchung einer großen Anzahl von Proben und umgebender Sedimente eines Fundortes erreicht werden. Solche Untersuchungen wären imstande, Aufschluß über die Streuung der N- bzw. F-Werte und deren Ursachen zu geben.

4.7. Paläontologische Diskussion der N/F-Daten

Die zur Messung ausgewählten Knochenproben sind in zwei Gruppen zu unterteilen: Die erste Gruppe enthält Proben aus Fundschichten, deren Alter entweder absolut bekannt ist (nach der Uran-Thorium-Methode) oder relativ durch paläontologische Befunde geschätzt wurde. Derartige Altersabschätzungen bergen natürlich Fehlerquellen in sich, die umso größer werden, je jünger die Proben sind. Während nämlich die Evolution im Verhältnis zur Zeit

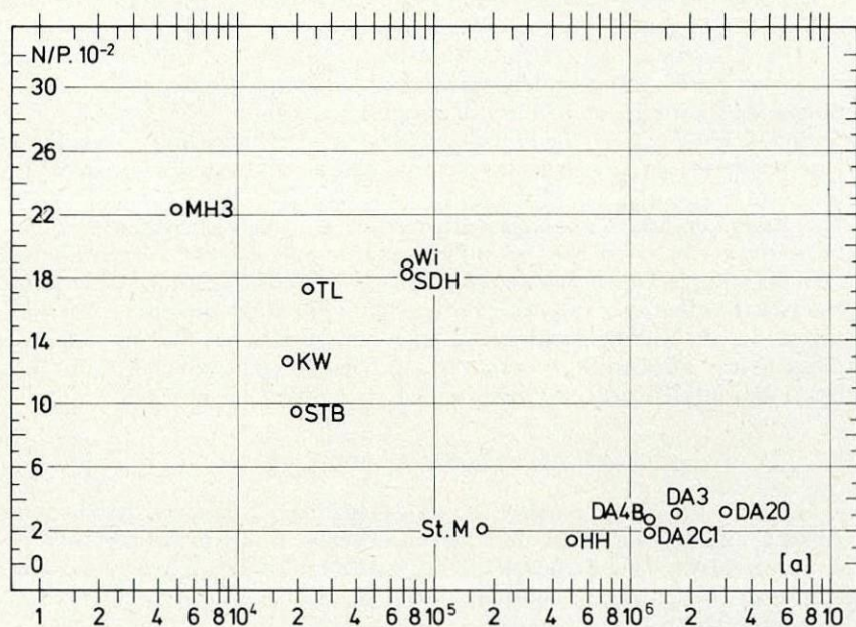


Abb. 3: Abnahme der relativen Stickstoffkonzentration mit dem Alter fossiler Knochen

mehr oder weniger linear abläuft, verändern sich die Knochen in chemischer Hinsicht nach einer exponentialen Funktion.

Vergleichen wir die Meßdaten der ersten Probengruppe mit den paläontologischen Altersschätzungen, sehen wir, daß die Reihenfolge im großen und ganzen stimmt. Die Faunen von Deutsch-Altenburg 20 und von Stranzendorf sind tatsächlich die ältesten, die Knochen der Mehlwurmhöhle (MH 3 mit Haustierresten) die sicherlich jüngsten. Im Verhältnis zu den sicher jungpleistozänen Faunen der Köhlerwandhöhle, Teufelslucke und Schlenken-Durchgangshöhle (alle mit Resten ausgestorbener Eiszeitformen wie Höhlenbär und Höhlenhyäne) ist der F/P-Wert der Probe aus der Mehlwurmhöhle zu niedrig.

Völlig aus dem Rahmen fällt die Probe Stillfried B; das mag darin liegen, daß dieser Knochen aus einem Löß stammt und daher vielleicht anderen chemischen Veränderungen unterworfen war als die Höhlenfunde.

Eine gute Übereinstimmung finden wir im F/P-Verhältnis der Proben Schlenken-Durchgangshöhle, St. Margarethen und Hundsheim, während die Methode bei altbiharischen (altpleistozänen) Proben keine brauchbaren Werte mehr liefert: Die Proben aus Deutsch-Altenburg 2, 3 und 4 sind paläontologisch sehr deutlich zu unterscheiden, ihre F/P-Werte schwanken jedoch zu stark, um auch nur eine richtige Reihenfolge zu bilden. Die pliozänen Faunen DA 20 und Sd F sind hingegen wieder deutlich abgesetzt.

Nach den N/P-Werten ist das Ergebnis für die älteren Proben noch schlechter. Es können jedoch die jungpleistozänen Proben deutlich von den mittel- und altpleistozänen getrennt werden. Auch hier weicht die Probe ST B stark ab.

Die Datierung der zweiten Probengruppe brachte immerhin einige brauchbare Daten. Die jungpleistozänen Höhlenfaunen Winden, Lettenmayerhöhle und Mixnitz gehören in eine Altersgruppe, der auch die Werte der Köhlerwandhöhle entsprechen. Die Proben aus Deutsch-Altenburg hingegen lieferten keine verwertbaren Angaben, bis auf die, daß sie alle mindestens dem Altpleistozän angehören. Die Reihenfolge ist jedoch größtenteils falsch.

Zusammenfassend sei festgestellt, daß sich die Zeitabhängigkeit der Fluorkonzentration bestätigt hat. Für mittel- und jungpleistozäne Proben können sogar brauchbare Daten geliefert werden, doch müßten immer ganze Serien gemessen werden, um mögliche Fehler durch zufällige chemische Veränderungen, die im Sediment entstehen, erkennen zu können. Weniger aussagekräftig ist die Stickstoffkonzentration, doch lassen sich jungpleistozäne von mittel- und altpleistozänen Proben auch damit differenzieren.

5. Analysen der Aminosäuren

Etwa 90 bis 95% der organischen Substanz eines Knochens bestehen aus Kollagen, einem kompliziert aufgebauten Eiweißstoff, der in Form von Fibrillen unregelmäßig in die phosphatische Matrix – den Hydroxylapatit – eingebettet ist. Es ist dies jene Substanz, mit der auch die Radiokarbondatierungen durchgeführt werden.

Das Monomere dieses Kollagens, die sogenannte alpha-Kette, besteht aus

1055 Aminosäuren, deren Anordnung – die „Sequenz“ – genetisch determiniert ist. Mengenmäßig überwiegt unter diesen Aminosäuren das Glyzin, daneben finden sich vor allem Prolin, Hydroxyprolin, Alanin, Glutaminsäure, Asparaginsäure sowie 12 weitere Aminosäuren, darunter das seltene Hydroxylysin, das – ebenso wie das Hydroxyprolin – für die in Bindegeweben vorkommenden Eiweißstoffe typisch ist. Der prozentmäßige Gehalt an einzelnen Aminosäuren ist weitgehend unabhängig von der Herkunft des betreffenden Kollagens; auch Wirbeltiere, die nicht näher miteinander verwandt sind, zeigen sehr ähnliche bzw. fast identische Aminosäuremuster ihrer Kollagene.

Diese Aminosäuren liegen alle in der sogenannten L-Form vor. Während der diagenetischen Veränderungen des fossilen Knochenmaterials kommt es nun zu einem schrittweisen Abbau des Kollagens, zu einem Abbau einzelner Aminosäuren und zu deren Umlagerung in die D-Form (sogenannte „Razemisierung“), einem Molekültyp, der sich zur L-Form wie Bild zu Spiegelbild verhält. Diese Vorgänge sind jedoch keineswegs einfach, und die Einzelheiten sind erst zum Teil bekannt. Handelt es sich doch dabei um vielstufige Abbauprozesse mit komplexen Zusammenhängen zwischen Probenalter und Razemisierungsausmaß (Näheres siehe in HARE, HOERING & KING 1980).

Zu wenig ist noch an gesichertem Wissen über die diagenetischen Veränderungen fossiler Knochen bekannt. Zu sehr hängen Befunde von nur teilweise und ungenügend bekannten Faktoren ab, wie z. B. Temperatur, Feuchtigkeit, Zusammensetzung zirkulierender Wässer und pH-Wert – um nur einige zu nennen.

Eine größere Anzahl bisher in einschlägigen Arbeiten veröffentlichter Resultate (siehe z. B. BADA 1972, BADA & PROTSCH 1973, BADA et al. 1974, DUNGWORTH 1976 etc.) scheint aber doch die Hoffnung zu rechtfertigen, daß solche Untersuchungen in bestimmten Fällen doch einen wesentlichen Aussagewert haben können.

5.1. Arbeitsmethode

Für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen wurden Hydrolysate des gesamten Knochenmaterials ohne vorherige Abtrennung der eigentlichen „Paläoproteine“ u. dgl. verwendet. Um die solchermaßen erhaltenen Aminosäuregemische für die Gaschromatographie zu derivatisieren, wurden s-Butylester oder auch Methylester hergestellt, die dann mit Acetanhydrid acetyliert wurden. Die wesentlich günstigere Verwendung der Trifluoracetyl-derivate kam leider aus bestimmten, durch Arbeitsumstände bedingten Gründen nicht in Frage. Die erhaltenen Gaschromatogramme wurden nach der „100-%-Methode“ ausgewertet, was für den Vergleich der Proben untereinander wohl vollkommen ausreichend ist.

5.2. Experimentelles

Reinigung der Knochenproben durch Behandeln mit Ultraschall in destilliertem Wasser. Zerkleinern in einer Flichkraftkugelmühle. Hydrolyse mit

6 N Salzsäure: 22 Stunden bei 120°. Abtrennung des Calciums durch Ionenaustauscher. Verestern durch $\frac{1}{2}$ stündiges Erhitzen der Probe mit alkoholischer Salzsäure. Acetylieren durch einstündiges Behandeln mit Acetanhydrid bei Zimmertemperatur. Derivatgemische in Benzol aufgenommen und ohne weitere Reinigung direkt chromatographiert.

Verwendetes Gerät: Perkin Elmer 3920 B, gepackte Säulen (Carbowax 1500, OV-17 bzw. zur Trennung der D- und L-Formen: SP-300 der Fa. Supelco, Bellefonte, USA).

Detektion: Flammenionisationsdetektor.

Identifizierung durch Vergleich der Retentionszeiten mit authentischem Material.

5.3. Ergebnisse

Unter den oben angeführten Bedingungen der Derivatisierung und Gaschromatographie konnten folgende Aminosäuren getrennt und nach ihren Retentionswerten identifiziert werden (vgl. auch Abb. 4):

OV-17-Säule: Alanin, Glyzin, Leucin, Prolin, Asparaginsäure, Cystein, Hydroxyprolin, Glutaminsäure

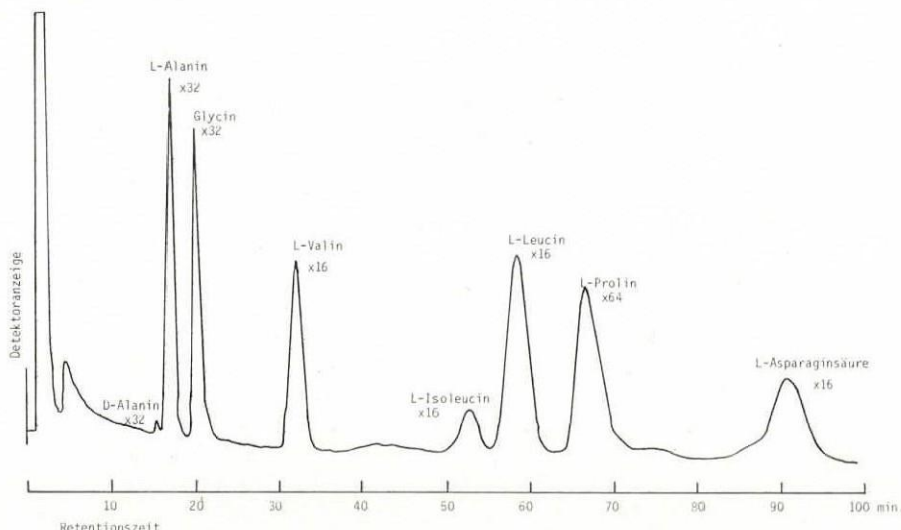


Abb. 4: Gaschromatogramm eines Aminosäuregemisches, das durch Hydrolyse eines Bärenknochens aus der Schlenken-Durchgangsböhle erhalten wurde. Aufnahmebedingungen: Acetylierte Methylester, gepackte Säule, SP-300, 140° isotherm, 10 ml Stickstoff pro min., Säulenlänge 6 Fuß. Die Zahlen unter den Namen der einzelnen Aminosäuren geben die Abschwächung („attenuation“) des Detektorsignals an.

SP-300-Säule: D-Alanin, L-Alanin, Glyzin, D-Valin, L-Valin, D-Alloisoleucin, L-Isoleucin, L-Leucin, Prolin, Asparaginsäure

Typische Beispiele für auf diese Weise erzielte Analysendaten zeigt Tabelle 2 für eine Reihe von Proben unterschiedlichen geologischen Alters.

Ninhydrinpositives Material in wässrigen Extrakten

Als brauchbarer Hinweis, ob ein vorliegendes Material überhaupt als fossil anzusprechen ist, oder ob es sich vielleicht um Material aus historischer Zeit handelt, bewährte sich in verschiedenen Fällen das spektralphotometrische Erfassen des im wässrigen Extrakt enthaltenen Materials (wohl ein Gemisch von Peptiden und Aminosäuren als Abbauprodukte des Kollagens), das mit Ninhydrin in der in der Eiweißchemie üblichen Weise gegen Leucin als Standard spektralphotometrisch gemessen wurde.

Solche Werte gestatten wohl vor allem bei Material, das vergleichbaren Fossilisationsbedingungen unterworfen war, eine größenordnungsmäßige Abschätzung des Probenalters.

Razemisierung der Aminosäuren

Wie bereits erwähnt, kommt es in fossilen Knochen während der Diagenese u. a. auch zu einer Umlagerung der ursprünglich ausschließlich vorhandenen L-Aminosäuren zu ihren D-Isomeren. Auf dieser Grundlage beruhen zahlreiche in der Literatur erwähnte Versuche, eine Korrelation von Fundstellen bzw. deren absolute Datierung zu erreichen.

Bei den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Analysen wurde vor allem die Bildung des D-Alanins erfaßt, die ja auch bei geologisch relativ jungem Material schon deutlich meßbare Größen erreicht (vgl. Tab. 2).

Das für solche Zwecke in der einschlägigen Literatur oft verwendete D-Alloisoleucin war in den jüngeren der untersuchten Proben in zu geringen Mengen vorhanden, um eine sichere Erfassung zu gewährleisten, in den älteren Proben waren zum Teil überhaupt keine Leucine mehr feststellbar. Die beiden Isomeren der Asparaginsäure konnten bei den gewählten Bedingungen der Gaschromatographie leider nicht getrennt werden.

5.4. Diskussion

An einer Reihe von Proben aus österreichischen Höhlen konnte gezeigt werden, daß dieses Material grundsätzlich für Aminosäureanalysen verwendbar ist. In einer Reihe von Fällen gestattet der mit steigendem Probenalter abnehmbare Gehalt an wasserlöslichem ninhydrinpositivem Material eine größenordnungsmäßige Abschätzung des Alters einer Probe.

Besonders bemerkenswert ist jedoch der mit steigendem Probenalter abnehmende relative Gehalt an Prolin und Hydroxyprolin in fast allen Proben. Dabei sinkt der Gehalt an Hydroxyprolin schneller ab als der Gehalt an Prolin. Nach Erreichen eines Endwertes von etwa 2 bis 3 Relativprozent für Prolin bei

Proben, die zumindest ältestpleistozänes Alter haben, sowie von 2% Hydroxyprolin ab dem Altpleistozän bleibt dieser Wert dann konstant. Nur selten weichen Proben (vgl. z. B. DA 4B und DA 21 in Tab. 1) von dieser Regel ab. In diesen beiden Fällen handelt es sich jedoch um Material, das auch bei anderen Methoden abweichendes Verhalten zeigte.

Was nun die gemessenen D/L-Verhältnisse für Alanin betrifft (siehe Tab. 2), so ist eine Auswertung solcher Meßreihen in Hinsicht auf die Ermittlung absoluter Probenalter im jetzigen Zeitpunkt noch verfrüht.

Tabellen 2: Aminosäuremuster verschiedener pleistozäner und pliozäner Proben (in Flächenprozenten nach der 100%-Methode). Abkürzungen: Mix = Mixnitz-Drachenhöhle (Fledermausknochen), St.M = St. Margarethen im Burgenland (Schlangenvirbel), DA = Bad Deutsch-Altenburg (mit Fundstellennummer).

	Alanin	Glyzin	Valin	β - Alanin	Leucin	Prolin	Asparaginsäure	Cystein	Hydroxyprolin	Glutaminsäure
Jungpleistozän Mix	13	30	1	-	6	22	4	-	12	11
Mittelpleistozän St.M	14	28	1	-	5	17	8	-	10	17
Altpleistozän DA - 4B	9	7	2	-	10	5	20	2	2	42
Altpleistozän DA - 2 C ₁	8	16	-	-	7	13	20	3	Spur	33
Ältestpleistozän DA - 3	-	21	10	-	14	3	17	-	-	35
Ältestpleistozän DA - 10	13	20	5	-	6	3	13	3	2	36
Jungpliozän DA - 14	11	15	3	-	8	3	19	7	2	31
Jungpliozän DA - 21	5	23	2	-	10	5	25	11	5	25
Mittelppliozän DA - 20	-	40	2	9	4	2	11	-	2	29

Tabelle 3: D/L-Verhältnis für Alanin an einigen der untersuchten Knochenproben

Probe	D/L
Lettenmayerhöhle	0,036
Schlenkendurchgangshöhle	0,033
Teufelslucke	0,013 – 0,015
Mehlwurmhöhle, Probe MH – 3 (rezentes Material)	0,009
Mehlwurmhöhle, Probe MH – 1	0,10 – 0,12
Stillfried	0,035
Schottloch	0,044
Köhlerwandhöhle	0,060

Es liegen derzeit noch zu wenige nach unabhängigen Methoden (C-14 oder z. B. Uran-Serien-Methode) bestimmte Probenalter vor, um eine Kalibrierung der Razemisierungswerte zu ermöglichen. Darüber hinaus scheint noch eine Reihe von Störfaktoren eine Rolle zu spielen, die in Hinkunft besonders durch kritischerer Auswahl des Probenmaterials unter Kontrolle gebracht werden soll.

Jedenfalls liefern bereits die in der Tabelle 3 angeführten D/L-Werte Probenalter, die zwar leider noch nicht verwertbar sind, wohl aber größenordnungsmäßig annehmbare Ergebnisse darstellen, sodaß die geplante Fortführung dieser Untersuchungen auf jeden Fall als vielversprechend bezeichnet werden kann.

6. Erwähnte Literatur

- Abel, O. & Kyrle, G. (Red.) (1931): Die Drachenhöhle bei Mixnitz. Spel. Monogr. (Wien) Band 7–9: 953 Seiten, 200 Taf., 76 Textfig., zahlr. Abb. im Text.
- Bada, J. L. (1972): The dating of fossil bones using the racemization of isoleucine. Earth Planet Sci. Letters, 15: 223–231.
- Bada, J. L. & Protsch, R. (1973): Racemisation reaction of aspartic acid and its use in dating fossil bones. Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 70: 1331–1334.
- Bada, J. L., Schroeder, R. A., Protsch, R. & Berger, R. (1974): Concordance of collagen-based radiocarbon and aspartic acid racemisation ages. Proc. Nat. Acad. Sci. USA 71: 914–917.
- Brinkmann, R. (1967): Lehrbuch der allgemeinen Geologie. Stuttgart 1967 (Enke Verlag), Band 3.
- Cook, S. F. & Heizer, H. (1960): Viking fund publications in Anthropology. 28 (1960): 223.
- Dungworth, G. (1976): Optical configuration and the racemisation of amino acids in sediments and fossils – a review. Chem. Geol., 17 (1976): 135–153.
- Ehrenberg, K. (1932): Über die Ergebnisse der Windener Grabungen und einige Probleme der Diluvial-Paläontologie. Verh. zool. bot. Ges. Wien (Wien), 82: 42–52.
- Ehrenberg, K. (1951): Lebensgeschichtliche Forschungen in österreichischen Höhlen 1921–1950. Protokoll d. 6. ord. Vollvers. d. Höhlenkomm. beim BMfLuf Wien (Wien), Seiten 70–98.

- Ehrenberg, K. (1962):* Bemerkungen über die Bestände an Höhlenfunden im Oberösterreichischen Landesmuseum. Jb. öö. Musealverein (Linz), 107: 394–437.
- Ehrenberg, K. (Red.), (1966):* Die Teufels- oder Fuchsenlucken bei Eggenburg (NÖ.). Denkschr. Österr. Akad. Wiss., math. naturw. Kl. (Wien), 112: 158 Seiten.
- Ehrenberg, K. & Mais, K. (1972):* Bericht über die Schlenken-Durchgangshöhlen-Expedition 1971. Anz. math. naturw. Kl. Österr. Akad. Wiss. (Wien), 1972 (1): 21–38.
- Eisenbarth, P. (1975):* Zerstörungsfreie Datierung fossiler Knochen durch Aktivierungsanalyse mit 14 MeV Neutronen. Diss. natw. Fak. Univ. Wien (1975).
- Eisenbarth, P. & Hille, P. (1977):* A non destructive method for age determination of fossil bone. J. Radioanal. Chem. 40: 203.
- Felgenhauer, F. (1980):* Ein jungpaläolithisches Steinschlägeratelier aus Stillfried an der March, Niederösterreich. Zur Herstellungstechnik von Mikrogravettespitzen. Mit Beiträgen von Herbert Binder und Erich Thenius, Wien. Veröff. Österr. Arbeitsgem. Ur- u. Frühgeschichte (Wien) 13/14 (1980): 7–40, Taf. 1–11. = Forschungen in Stillfried (Wien) Band 4: 7–40, Taf. 1–11.
- Hare, P. E., Hoering, T. C. & King, K. (1980):* Biogeochemistry of amino acids. New York (John Wiley & Sons), XVIII, 558 Seiten.
- Klement, R. (1933):* Naturwissenschaften, 21 (1933): 662.
- Kraus, F. (1894):* Höhlenkunde. Wege und Zweck der Erforschung unterirdischer Räume. Wien (1894), 308 Seiten.
- Mais, K. (1962):* Nachweis des Höhlenbären (*Ursus spelaeus* ROSENM.) in der Köhlerwandhöhle bei Lehenrotte (NÖ.). Die Höhle (Wien), 13 (3): 68.
- Mais, K. (1973):* Das Karstgebiet Pfaffenberg bei Bad Deutsch-Altenburg (Niederösterreich) — ein vorläufiger Überblick. Die Höhle (Wien), 24: 1–8.
- Mais, K. & Rabeder, G. (1974):* Eine neu entdeckte jungpleistozäne Hyänenhöhle in Niederösterreich. Die Höhle (Wien), 25 (4): 142–145.
- Mais, K. & Rabeder, G. (1977 a):* Eine pliozäne Höhlenfüllung im Pfaffenberg bei Bad Deutsch-Altenburg (Niederösterreich). Die Höhle (Wien), 28 (1): 1–7.
- Mais, K. & Rabeder, G. (1977 b):* Eine weitere pliozäne Höhlenfauna aus dem Steinbruch Hollitzer bei Bad Deutsch-Altenburg (Niederösterreich). Die Höhle (Wien), 28 (3): 84–86.
- Oakley, K. P. (1963):* Analytical methods of dating bones. In: Science in Archaeology, Brothwell & Higgs. London 1963 (Thames & Hudson).
- Rabeder, G. (1972 a):* Eine fossile Höhlenfauna aus dem Steinbruch Hollitzer bei Bad Deutsch-Altenburg (Niederösterreich). Die Höhle (Wien), 23: 89–95.
- Rabeder, G. (1972 b):* Ein neuer Soricide (Insectivora) aus dem Altpleistozän von Deutsch-Altenburg 2 (Niederösterreich). N. Jb. Geol. Paläont. Mh. (Stuttgart), 1972: 635–642.
- Rabeder, G. (1972 c):* Die Insectivoren und Chiropteren (Mammalia) aus dem Altpleistozän von Hundsheim (Niederösterreich). Ann. Naturhist. Mus. Wien (Wien), 76: 374–474.
- Rabeder, G. (1973 a):* Weitere Grabungsergebnisse von der altpleistozänen Wirbeltierfundstelle Deutsch-Altenburg 2. Die Höhle (Wien), 24: 8–15.
- Rabeder, G. (1973 b):* Ein neuer Mustelide (Carnivora) aus dem Altpleistozän von Deutsch-Altenburg 2 (Niederösterreich). N. Jb. Geol. Paläont. (Stuttgart), 1973 (11): 674–689.
- Rabeder, G. (1973 c):* Fossile Fledermausfaunen aus Österreich. Myotis (Bonn), 11: 3–14.
- Rabeder, G. (1974 a):* Plecotus und Barbastella (Chiroptera) im Pleistozän von Österreich. Naturkundl. Jb. Stadt Linz (Linz), 1973: 159–184.
- Rabeder, G. (1974 b):* Die Kleinsäugerfauna des Jungpliozäns von Stranzendorf. In: Fink, J.:

Führer zur Exkursion durch den österreichischen Teil des nördlichen Alpenvorlandes und den Donauraum zwischen Krems und Wiener Pforte. Mitt. Quartärkomm. Österr. Akad. Wiss. (Wien), 1: 137–139.

Rabeder, G. (1976): Die Carnivoren (Mammalia) aus dem Altpleistozän von Deutsch-Altenburg 2. Beitr. Paläont. Österr. (Wien), 1: 5–119.

Rabeder, G. (1977 a): Wirbeltierreste aus einer mittelpleistozänen Spaltenfüllung im Leithakalk von St. Margarethen im Burgenland. Beitr. Paläont. Österr. (Wien), 3: 79–103.

Rabeder, G. (1977 b): Eine mittelpleistozäne Spaltenfüllung im Römersteinbruch bei St. Margarethen im Burgenland. Die Höhle (Wien), 28 (4): 115–119.

Rabeder, G. (1978): Das fossilführende Pleistozänprofil im Höhlensystem „Deutsch-Altenburg 2-4-18“ im Pfaffenberg bei Bad Deutsch-Altenburg (NÖ.). Beitr. Quartär- u. Landschaftsforschung, Festschrift zum 60. Geburtstag von *Julius Fink*, Kiel-Wien (Hirt Verlag), 449–458.

Rabeder, G. (1981): Die Arvicoliden (Rodentia Mammalia) aus dem Pliozän und älterem Pleistozän von Österreich. Beitr. Paläont. Österr. (Wien), 8 (im Druck).

Richter, K. (1956): Datierungsversuche im Quartär Westdeutschlands mit Hilfe des Fluortests. Eiszeitalter und Gegenwart, 7 (1956): 21.

Wettstein-Westersheim, O. (1931): Die diluvialen Kleinsäugerreste. In: *Abel & Kyrle* 1931: Die Drachenhöhle bei Mixnitz. Spel. Monographien (Wien, 1931), 7–9: 769–789.

Wild, E. (1981): Über kernphysikalische Methoden zur Altersbestimmung von Fossilien. Diss. natw. Fak. Univ. Wien (Wien), 87 Seiten.

Wild, E., Hille, P. & Rabeder, G.: Improvements and same results of the N/F-activation method for dating fossil bone. J. Radioanal. Chemistry (im Druck).

Speläologische Forschungen auf der Insel Sulawesi (Celebes, Indonesien) zwischen 1857 und 1977

Höhlengebiete Südostasiens VIII

Von Heinrich Kusch (Graz)

Die am Äquator gelegene Insel Sulawesi, eine der Großen Sundainseln, ist 189.035 km² groß. Mit rund zehn Millionen Einwohnern gilt die Insel auch heute noch als Sammelbecken für verschiedene Kulturphänomene, die sich in mannigfacher Weise überlagern und miteinander verbinden. Zwei Millionen der Bevölkerung entfallen auf Altvölker; diese recht eigenständigen Stämme und Volksgruppen leben über die gesamte Insel verstreut. Der geologische Aufbau ist sehr kompliziert. Tektonische Verschiebungen, Faltungen und Hebungen wurden größtenteils durch vulkanische Aktivität hervorgerufen; 16 Vulkane auf der Insel sind noch aktiv.

Über die gesamte Insel verteilt findet man großflächige Kalkvorkommen, die die verschiedenartigsten Formen eines Tropenkarstes aufzeigen. Südsulawesi ist der zur Zeit am genauesten untersuchte Teil der Insel. Umfangreiche

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Die Höhle](#)

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: [032](#)

Autor(en)/Author(s): Hille Peter, Mais Karl, Rabeder Gernot, Vávra Norbert,
Wild Eva

Artikel/Article: [Über Aminosäuren- und Stickstoff/Flour-Datierung fossiler Knochen aus österreichischen Höhlen 74-91](#)