

Kleinsäugerfossilien der miozänen Thurgauer Molasse : vom Fund zur Auswertung

Autor(en): **Bolliger, Thomas**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft**

Band (Jahr): **59 (2003)**

PDF erstellt am: **10.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-593966>

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.

Kleinsäugerfossilien der miozänen Thurgauer Molasse: vom Fund zur Auswertung

THOMAS BOLLIGER

Mitt. thurg. naturf. Ges.	59	11 Seiten	2 Abb. – Tab.	– Tafel	Frauenfeld 2003
---------------------------	----	--------------	------------------	------------	-----------------

1 EINLEITUNG

1.1 GEOLOGISCHER RAHMEN

Vor 22 bis 18 Mio. Jahren drang ein schmaler Meeresarm vom Rhonetal in das Schweizer Molassebecken bis nach Süddeutschland vor (BERGER, 1985; KELLER, 1989). Im Kanton Thurgau finden sich davon Ablagerungen bei Neuparadies. Nach dem Meeresrückzug bildeten sich grosse, von aus den Alpen herkommenden Flüssen gebildete Schuttfächer (Napf, Hörnli) der Oberen Süsswassermolasse (OSM), welche sich sukzessive nach Norden vorbauten (BOLLIGER, 1992a; BÜRGISSER, 1980; HOFMANN, 1951). Die vor rund 18–11 Mio. Jahren erfolgten Ablagerungen der Oberen Süsswassermolasse sind überwiegend aus Trümmersedimenten aufgebaut: Nagelfluh, Sandstein und Mergel.

1.2 ERDWISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN

Die Molasseforschung hat zu vielen Teilen auch ihre Wurzeln in der Schweiz. Zahlreiche Erkenntnisse wurden aus der Schweizer Molasse gewonnen. Die Thurgauer Molasse hat daran einen eher geringen Anteil. Gerade als Bindeglied zwischen der Schweizerischen und der Süddeutschen Oberen Süsswassermolasse ist das Verständnis der Thurgauer Molasse aber von Bedeutung.

Während vielen Jahrzehnten arbeiteten Geologen über die Sedimentologie, Tektonik, Stratigraphie und Paläontologie der Ostschweizer Oberen Süsswassermolasse. So steuerten BÜCHI (1957, 1959), BÜCHI et al. (1965), BÜRGISSER (1981), HOFMANN (1951, 1956, 1959, 1960, 1965, 1970, 1974, 1975), LEMCKE (1973), PAVONI (1956, 1959), PAVONI & SCHINDLER (1981), HANTKE (1953), RUTSCH (1956) und SCHMIDLE (1931) Beiträge zu einem detaillierten lithostratigraphischen und tektonischen Rahmen bei, der für die Thurgauer Molasse bedeutsam ist. WÜRTEMBERGER (1906) und weitere Autoren hatten im südlichen Bodenseeraum den Fossilinhalt der Molasse zu erforschen begonnen. Absolute Altersdaten konnten durch radiometrische Altersbestimmungen an vulkanischen Mineralien aus der Ostschweizer Molasse ermittelt werden (FISCHER et al. 1987; FISCHER, 1988; GENTNER et al. 1963; GUBLER et al. 1992). HOFMANN (1975) publizierte neue Funde von vulkanischen Ascheablagerungen im Kanton Thurgau und erkannte einen Mergelhorizont in der Ostschweiz (Bernhardzell, SG) mit eckigen Weissjurakalkbrocken als Impaktsediment des Ries-Meteoriteneinschlages in Süddeutschland, die am weitesten entfernten bekannten Sedimente dieser Art (HOFMANN, 1973).

1.3 BIOSTRATIGRAPHISCHE ARBEITEN

Biostratigraphische Arbeiten, überwiegend mit Kleinsäugerzähnen, wurden von BOLLIGER (1994a, 1996) und HÜNERMANN (1981) publiziert. BOLLIGER (1992a, 1992b) erarbeitete eine biostratigraphische Grundlage im Gebiet des westlichen Hörnli-Schuttfächers. ENGESSER (1989) und KÄLIN (1997) steuerten weitere biostratigraphische Daten für ein besseres Verständnis der Schweizer Molasse (OMM und OSM) bei, wobei sie sich auf die Westschweiz konzentrierten. Korrelationen in einem mittleren Abschnitt der Oberen Süsswassermolasse zwischen der Ostschweiz und Bayern wurden durch BOLLIGER (1994b) ermittelt. Die jüngsten Zusammenfassungen über die OSM-Biostratigraphie der Schweiz, insbesondere der Ostschweiz, wurden durch BOLLIGER (1997, 1998) gegeben. Eine magnetostratigraphische Korrelation des Hörnligebietes erfolgte durch KEMPF et al.

(1997). Alle vorgenannten Autoren verwendeten zur biostratigraphischen Korrelation seit Mitte der siebziger Jahre die gängige Kleinsäugerzonierung des Europäischen Neogens, die MN-Gliederung (MEIN, 1975; LINDSAY et al. 1989), was sich neben einer regionalen Zonierung bis heute bewährt hat. Eine gute Übersicht verschiedener biostratigraphischer Zonierungen der Molasse gibt BERGER (1992).

Eine detailliertere, umfassende biostratigraphische Arbeit mit Kleinsäugerfossilien könnte die besonderen tektonischen Verhältnisse im südlichen Bodenseeraum klären helfen. Dies stellt jedoch ein äusserst arbeitsintensives Unterfangen dar, wobei sich die Frage nach dem Verhältnis von Aufwand und Ertrag, nach Machbarkeit und Sinn stellt. Dies soll nachfolgend etwas näher erläutert werden. Neben den biostratigraphischen Resultaten stehen auch mögliche Beiträge zur Paläo-Ökologie zur Diskussion.

2 ARBEITSMETHODEN

2.1 PROFILAUFNahme UND BEPROBUNG IM GELÄNDE

Für die Thurgauer Obere Süsswassermolasse sind geologisch-lithologische Daten sowie einige tektonische Hinweise vorhanden, welche eine erste Datenbasis vorgeben. Oft sind jedoch Fragen, ob tektonische oder sedimentologisch-fazielle Grenzen vorliegen, ungeklärt, wie etwa am östlichen Ottenberg (Ottebärg), wo in der Grube Berg unvermittelt eine mächtige Mergelfolge die weiter westlich liegende mächtige Konglomeratsequenz ablöst. Leider liegen hier bislang keine verwertbaren Fossilnachte vor, welche die eine oder andere These erhärten könnten. Denkbar ist zudem auch eine synsedimentäre tektonische Aktivität.

Die primär wichtigste Datenbasis bilden detaillierte Profilaufnahmen entlang zugänglicher Bachrisse, wobei die Aufschlussqualität von Jahr zu Jahr markant ändern kann. Werden fossilführende Horizonte entdeckt (meist kohlige oder graue, Schneckenschalen enthaltende Mergel), so werden diese durch Probeschlammungen auf Verwertbarkeit untersucht. Das Sediment wird möglichst bereits im Gelände auf den Fossilgehalt untersucht. Das geübte Auge entdeckt bereits hier die knapp ein paar Millimeter messenden Knochensplitterchen, die sich nur geringfügig von ebenfalls häufig vorhandenen winzigen Kohlestückchen unterscheiden. Knochen ergeben beim Zerreiben im Gegensatz zur Kohle jedoch keinen schwarzen Strich. Das Abpacken von Proben erfolgt in Plastiksäcke (z.B. 35-l-Abfallsäcke), die später leicht entsorgt werden können. Bei wiederverwertbaren Säcken besteht eine gewisse Kontaminationsgefahr. Ein Zerkleinern der Proben von Hand in wenige Zentimeter grosse Stücke erleichtert die spätere Handhabung im Labor, grössere Fossilien können so bereits im Gelände separiert werden. Für eine erste Beprobung sind 1–2 Säcke empfohlen, was etwa 20–30 kg Sediment entspricht.

2.2 AUFARBEITUNG UND ANALYSE IM LABOR

Technisch wird das Sediment abgepackt und zur Trocknung vorbereitet (Trockenschrank im Labor oder auf Kunststoffgeflecht an der Sonne im Freien). Danach wird mit Wasser und/oder schwacher Wasserstoffperoxid-Lösung aufgeschlämmt und durch 2–3 verschiedene Maschenweiten durchgeseibt (vorzugsweise etwa 5 mm, 1,25 mm, 0,4 mm). Bei Bedarf wird der Vorgang mehrfach wiederholt, bis keine tonigen Sedimentreste

zurückbleiben. Bis hierher finden sich neben Knochen- und Zahnteilen auch sämtliche kalkigen Fossilreste wie Schneckenschalen, Characeen-Oogonien (Vermehrungskörperchen von Armleuchteralgen), Splitter fossiler Eischalen usw. Liegen jedoch übermässig viele Schneckenschalen oder auch andere kalkige Sedimentpartikel im zu untersuchenden Schlämmrückstand vor, so hilft nur ein Auflösen mit Säure. Am besten bewährt hat sich dabei Ameisensäure, die selbst in höherer Konzentration für die Knochenreste ungefährlich ist, sofern auf genügende Pufferung geachtet wird. Diese wird durch Zugießen von bereits mit Kalziumkarbonat reagierter Säurerestlösung erreicht. Optimale Säurekonzentration, Pufferung sowie Einwirkungszeit (meist etwa $\frac{1}{2}$ –1 Tag) sind Erfahrungssache und müssen bei jeder Probe neu ermittelt werden. Nach erneutem Durchsieben bleiben nur Sandkörner (Quarz, Glimmer u. dergl.) sowie Knochen- bzw. Zahnreste übrig. Störende kohlige Reste und rezente Wurzelteile können dank ihrem spezifisch viel leichteren Gewicht relativ einfach abdekantiert werden. Nach dem Wässern und Trocknen zeigt sich der wichtigste Vorteil der Verwendung von Ameisensäure gegenüber der oft angepriesenen Essigsäure: Die entsprechenden Kalziumsalze sind leicht löslich und die Probe trocknet nach ausreichendem Spülen mit Wasser in der Regel rückstandsfrei, während bei der Essigsäure auch nach mehrfachem Spülen weisse Ausblühungen entstehen und die Proben oft nur schlecht trocknen. Auch entfällt die bei Essigsäure viel unangenehme bis sehr lästige Geruchsemission weitgehend. Salzsäure und Chlor-essigsäure dürfen nicht verwendet werden, da sie die Knochen und Zähne anätzen!

2.3 VORBEREITUNG ZUR AUSWERTUNG

Die getrockneten Siebrückstände werden schliesslich unter der Stereolupe ausgelesen. Eine Ausbeute von 1–2 Zähnchen pro kg Sediment gilt bereits als sehr aussichtsreich, besonders, wenn das Sediment gut schlammbar ist und wenig Rückstand aufweist. Meist liegt die Ausbeute jedoch deutlich unter diesen Erwartungen. Ganze Backenzähnchen besitzen die diagnostisch am leichtesten erkenntlichen Merkmale und sind daher am sichersten taxonomisch zuzuordnen. Es empfiehlt sich, die Zähnchen wurzelseitig mit verdünntem Weissleim zu behandeln. Sie werden so viel bruchresistenter. Der hydrophile Weissleim bildet zudem eine wirkungsvolle Barriere gegenüber ölartigen Substanzen wie sie in den diversen Montagekitt-Materialien vorkommen. Das Aufsetzen und Ordnen der Zähnchen erfolgt auf einer entsprechenden Kittmischung, die eine gewisse Haftung aufweisen sollte, aber ein späteres Umsetzen der Zähnchen erlaubt. Oft trocknen diese Kitten mit den Jahren aus, oder sie sondern ölige Substanzen ab, was beides unerwünscht ist. Gute Erfahrungen hat der Autor mit einer Mischung aus grünem Typenreiniger der Firma Läufer und handelsüblichem weissem Mineralienkitt gemacht (Abbildung 1). Diese werden etwa im Verhältnis 1:1 gut durchgeknetet und immer wieder in die Länge gezogen, wodurch sich das Material aufheizt und dadurch zunehmend leichter verarbeiten lässt. Teile der noch warmen Mischung lassen sich einfach in den Deckel von durchsichtigen Kunststoffschächtelchen anpressen, wobei je nach Zahngrössen eine unterschiedliche Kittdicke gewählt werden kann. Übliche Döschenhöhen liegen bei 1–1,5 cm, die übrigen Masse können mit 2 x 3 cm, 3 x 5 cm oder 4 x 6 cm gewählt werden (Abbildung 1). Je nach Anordnung haben so in einem Schächtelchen bis über 100 Zähnchen Platz! Die Zähnchen werden so angeordnet, dass man direkt auf deren Kaufläche schaut. Die Zahnseite, die nach vorn im Mund

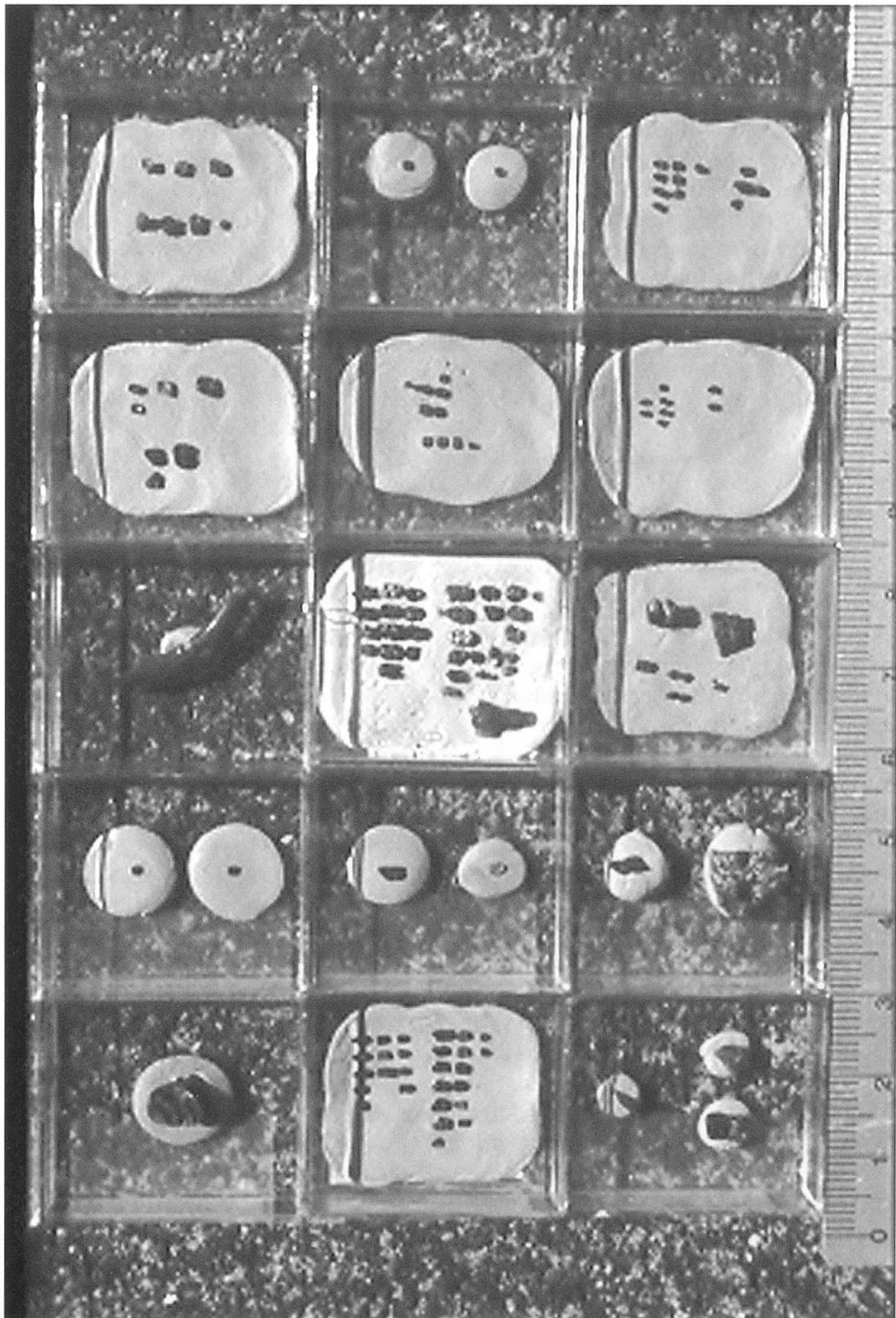
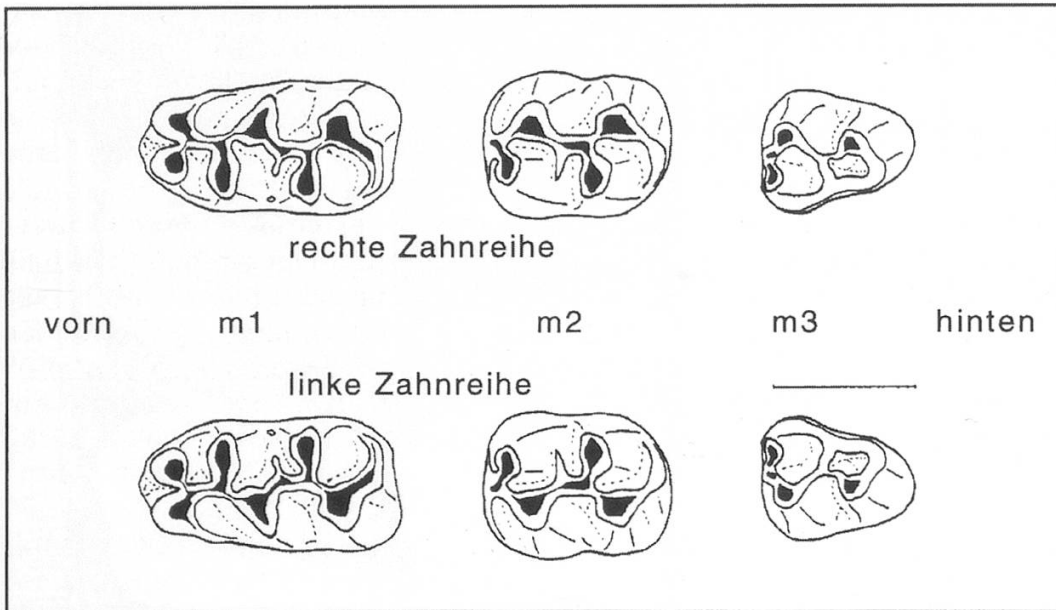
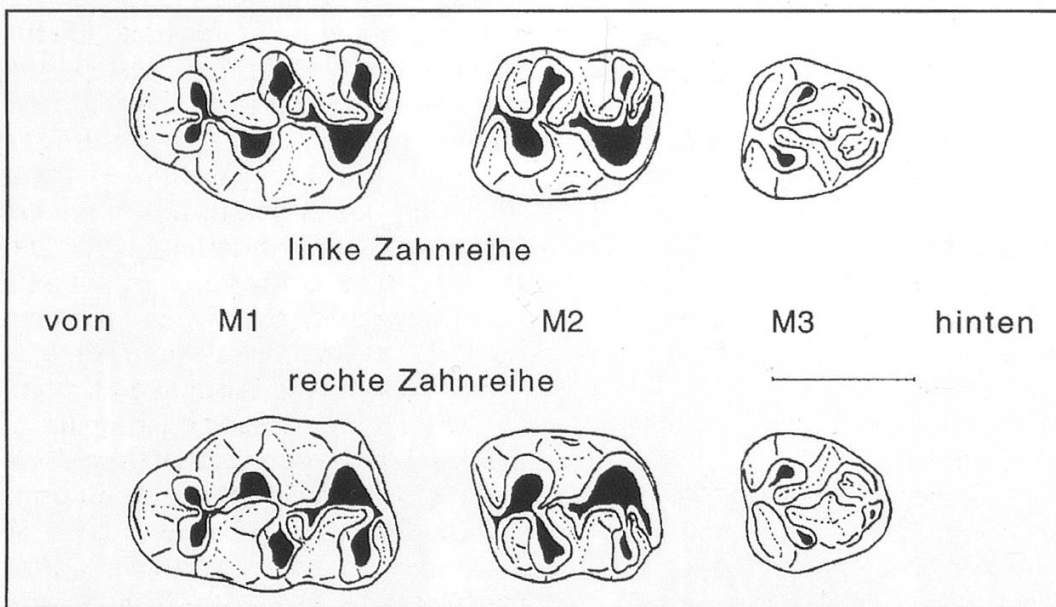


Abbildung 1: Auf Kitt aufgesetzte Kleinsäugerzähnen in Plastikschächelchen nach Arten sortiert.

zeigte, ist vorzugsweise nach links zeigend auszurichten. Dies erleichtert die Unterscheidung von rechten und linken sowie von oberen und unteren Backenzähnen (Abbildung 2). Auch das systematische Messen mittels Messokular gelingt so relativ rasch und effizient. Die Döschen lassen sich gut beschriften (Klebe-Etiketten oder Tipp-Ex und Tuschstift) und sind sichere Aufbewahrungsorte, die sich auch für den Transport eignen.



Unterkieferzähne



Oberkieferzähne

Abbildung 2: Orientierung von Backenzähnen (Molaren) eines fossilen Hamsters (*Megacricetodon gregarius*, von der Fundstelle Helsighausen). Der Massstab balken entspricht einem Millimeter. m1–m3 sind untere Molaren, M1–M3 obere Molaren.

2.4 AUFWAND UND SCHWIERIGKEITEN

Das oben genannte Prozedere erfordert viel Handarbeit. Zunächst sind die Aufschlussverhältnisse im dicht besiedelten Schweizerischen Mittelland und bei dichter Vegetation grundsätzlich eher schlecht und zudem von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich, so dass die Auffindung eines Fundhorizontes ein Glücksfall darstellt. Dank guter Karten und mit detaillierten Notizen lässt sich ein einmal entdeckter Fundhorizont dagegen jederzeit wieder auffinden und nötigenfalls sogar nachgraben.

Das meist mergelige Ausgangsmaterial wird bergfeucht bis nass oft aus unzugänglichen Schluchten geborgen, so dass an einem Tag oft weniger als hundert Kilogramm Ausgangsmaterial resultieren. Dieses muss unter hohem Platzbedarf getrocknet und mit viel Aufwand im Labor aufkonzentriert werden. Das Auslesen des Rückstandes ist schliesslich nur effizient, wenn nicht zu viel störender Sandanteil vorliegt. Von 500 kg Ausgangsmaterial sind an sehr fossilreichen Lokalitäten 500 und mehr Backenzähnen von Kleinsäugetern zu erwarten, meist bleiben es jedoch deutlich weniger! Lässt sich das Sediment rückstandsarm und relativ leicht schlämmen, so lohnt sich eine Bearbeitung auch bei wesentlich niedrigeren Konzentrationen. Ansonsten ist eine weitere Berücksichtigung nur aus «Neugierde» zu erklären, etwa wenn wegen lithologischen oder tektonischen Korrelations-Schwierigkeiten dringend ein Säugetieralter gesucht wird oder weil die Fundstelle der einzige Fundpunkt einer Region ist oder weil er eine spezielle stratigraphische Stellung einnimmt.

3 RESULTATE

3.1 ALLGEMEIN

Je nach taphonomischem Hintergrund, d.h. der Art und Weise wie die Tierreste ins Sediment gelangten, liegen unterschiedlich variable fossile Faunenvergesellschaftungen vor. Fundhorizonte in Glimmersanden sind oft sehr artenreich, da sie Fossilien aus einem grossen Einzugsgebiet zusammenführen. Theoretisch können hier durch Wiederaufarbeitungen auch längere Zeithorizonte und somit auch Klimavariationen in einer Fundstelle repräsentiert sein (meist kaum mehr als einige hundert bis tausend Jahre). Viele gute Horizonte, meist in Mergelschichten, sind eher artenarm, was für eine spezifische Ökologie und kleines Einzugsgebiet, sowie einen kurzen repräsentierten Zeitabschnitt spricht. Solche Faunengemeinschaften lassen sich biostratigraphisch meist nur schlecht korrelieren. Um eine genügende Artenvielfalt zu erreichen, sind dann auch hier oft mehrere Tonnen Sediment zu verarbeiten! Dagegen können hier unter Umständen spezifische Ansprüche gewisser Gattungen und Arten hergeleitet werden, was zwar wiederum mit Vorsicht betrachtet werden muss, da die Fossilien als Gewöllreste von Raubvögeln ins Sediment gelangt sein könnten und die Fossilgemeinschaft dann überwiegend die Speisegewohnheiten des Raubvogels repräsentiert (ANDREWS, 1990). Eine biostratigraphische Verwendbarkeit ist prinzipiell gegeben, wobei grösserer Artenreichtum und statistisch relevante Zahnmengen (ab ca. 50 Backenzähnen pro Art) Quervergleiche für eine abschliessende Einstufung wesentlich vereinfachen helfen.

3.2 BEISPIELE AUS DEM KANTON THURGAU

Wichtige und einigermaßen gut beprobte Kleinsäugeter-Fundstellen aus dem Bereich des Kantons Thurgau sind Grat und Imenberg (BOLLIGER, 1992a), Hellsighausen (BOLLIGER, 1994a), Ottenberg (BOLLIGER, 1996), Mettlen und Chräzerentobel (BOLLIGER, 1998). Daneben liegen weitere Fundhorizonte vor (BOLLIGER unpubliziert, und KÄLIN mündliche Mitteilung, sowie in diesem Band).

Zahlreiche dieser Fundhorizonte sind noch zu wenig beprobt, um biostratigraphisch oder palökologisch aussagekräftig zu sein. In Einzelfällen wird sich zu gegebener Zeit eine ausgiebigere Beprobung aufdrängen.

3.3 SCHLUSSFOLGERUNG

Unter grossem Arbeitsaufwand ist eine grössere Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche Biostratigraphische Korrelation gegeben. Das Risiko einer Fehleinstufung bleibt besonders bei kleinerer Artenzahl bestehen. Das Auffinden potentieller fossil- und artenreicher Horizonte ist zudem Glücksache, besonders unter den bestehenden Aufschlussverhältnissen. Nur ein genügend dichtes Fundstellennetz wird ein schlüssiges, weiterreichend interpretierbares Bild abgeben können.

Kaum ein wissenschaftliches Projekt erlaubt jedoch einen derart grossen Aufwand bei einem relativ ungewissen Ausgang des Ergebnisses. Allerdings zeigten die jüngsten Ansätze, dass bei ausreichendem Aufwand ein entsprechender Erfolg einigermaßen gesichert zu sein scheint und einige der früher geäusserten Mutmassungen betreffend Lagerung und Bruchtektonik bestätigen oder dementieren könnte. Leider sind solche Forschungen jedoch sehr zeit- und personalintensiv und bedürfen zudem einer entsprechenden Infrastruktur (Labor). In der Schweiz wird diese Art der Forschung praktisch nur noch am Naturhistorischen Museum in Basel betrieben. Die Erforschung der Paläontologie der Thurgauer Molasse ist weder an der Universität Zürich, noch am Naturmuseum Thurgau (A. SCHLÄFLI, 1998, schriftliche Mitteilung) ein Thema. In jüngerer Zeit haben auch private Forscher wesentliche Erkenntnisse zur Säugetierpaläontologie der Ostschweizer Molasse, vorwiegend im Kanton Zürich, beige-steuert (z.B. H. H. BRÄM, R. CHIARINI und Mitarbeiter, H. MÄNDLI und andere). Diese Personen haben in freiwilliger Mitarbeit einzelne Fundstellen teilweise intensiv beprobt. In Zukunft scheint eine weitere biostratigraphische und palökologische Erforschung mit Kleinsäugetern auf die Aktivität von unabhängigen Hobbyforschern angewiesen zu sein. Auch D. KÄLIN und der hier schreibende Autor sind wegen Änderung der Berufsverhältnisse inzwischen in die Kategorie der Privatforscher zu stellen. Allenfalls könnten auch ausländische Forscherteams, etwa die Tübinger Molassegruppe oder die Münchner Paläontologie, welche seit R. DEHM ein starkes Standbein in der Molasseforschung mit Säugetieren besitzt, sich der säugetierpaläontologischen (ökologischen und biostratigraphischen) Erforschung der Thurgauischen Oberen Süsswassermolasse annehmen.

Es bleibt zu hoffen, dass auch in Zukunft die Erforschung der Ostschweizerischen Oberen Süsswassermolasse und speziell die Auswertung von Kleinsäugeterfunden noch namhafte neue Erkenntnisse zur Ökologie und Biostratigraphie zu Tage fördern wird, auch wenn dazu ein grosser Aufwand erforderlich sein wird.

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird ein Überblick der erdwissenschaftlichen Arbeiten der Oberen Süsswassermolasse der Ostschweiz gegeben. Insbesondere werden biostratigraphische Arbeiten mittels fossiler Kleinsäugeterfunde vorgestellt, die den Kanton Thurgau betreffen. Weiter wird die Methodik der Gewinnung fossiler Kleinsäugeterzähne detailliert beschrieben. Aufwand und Ertrag werden einander gegenübergestellt. Es wird festgestellt, dass zwar aufschlussreiche Ergebnisse zu erwarten wären, sich aber kaum wissenschaftliche Projekte dafür initiieren lassen. Hobbyforscher könnten hier einen wichtigen Beitrag leisten. Wichtig ist eine gute Zusammenarbeit zwischen Privatforschern und wissenschaftlichen Instituten.

LITERATUR

- ANDREWS, P. (1990): Owls, Caves and Fossils. Predation, preservation and accumulation of small mammal bones in caves with an analysis of the Pleistocene Cave Fauna from Westbury. Sub-Mendip, Somerset, UK. – The University of Chicago Press, 231 S.
- BERGER, J.-P. (1985): La transgression de la molasse supérieure (OMM) en Suisse occidentale. – Münchner Geowiss. Abh., Reihe A, Geol. u. Paläont. **5**: 1–208.
- BERGER, J.-P. (1992): Correlative chart of the European Oligocene and Miocene: Application to the Swiss Molasse Basin. – *Eclogae geol. Helv.* **85/3**: 573–609.
- BOLLIGER, T. (1992a): Kleinsäugerstratigraphie in der miozänen Hörnlichüttung (Ostschweiz). – *Documenta naturae* **75**: 1–296.
- BOLLIGER, T. (1992b): Kleinsäugerstratigraphie in der lithologischen Abfolge der miozänen Hörnlichüttung (Ostschweiz) von MN3 bis MN7. – *Eclogae geol. Helv.* **85/3**: 961–1000.
- BOLLIGER, T. (1994a): Geologie und Paläontologie der Glimmersandgrube Helsinghausen. – *Mitt. thurg. naturf. Ges.* **52**: 63–79.
- BOLLIGER, T. (1994b): Die Obere Süsswassermolasse in Bayern und der Ostschweiz: bio- und lithostratigraphische Korrelationen. – *Mitt. Bayer. Staatsslg. Paläont. hist. Geol.* **34**: 109–144.
- BOLLIGER, T. (1996): Drei neue Kleinsäugerfaunen aus der miozänen Molasse der Ostschweiz (MN3 und MN7/8). – *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.* **202/1**: 95–110.
- BOLLIGER, T. (1997): The Current Knowledge of the Biozonation with small mammals in the Upper Freshwater Molasse in Switzerland, especially the Hörnli-fan. – In AGUILAR, J.-P., LEGENDRE, S. & MICHAUX, J., (Eds.): *Actes du Congrès BiochroM'97*. – *Mémoires et Travaux de l'E.P.H.E., Institut de Montpellier*, S. 501–513.
- BOLLIGER T. (1998): Age and Distribution of the Youngest Upper Freshwater Molasse of Eastern Switzerland. – *Eclogae geol. Helv.* **91/3**: 321–332.
- BÜCHI, U.P. (1957): Zur Gliederung der Oberen Süsswassermolasse (OSM) zwischen Bodensee und Reuss. – *Bull. Ver. Schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing.* **24/66**: 35–42.
- BÜCHI, U.P. (1959): Zur Stratigraphie der Oberen Süsswassermolasse (OSM) der Ostschweiz. – *Eclogae geol. Helv.* **52/2**: 449–460.
- BÜCHI, U.P., WIENER, G. & HOFMANN, F. (1965): Neue Erkenntnisse im Molassebecken auf Grund von Erdöltiefbohrungen in der Zentral- und Ostschweiz. – *Eclogae geol. Helv.* **58/1**: 87–108.
- BÜRGISSER, H.M. (1980): Zur mittel-miozänen Sedimentation im nordalpinen Molassebecken: Das «Appenzellergranit»-Leitniveau des Hörnlichüttfächers (Obere Süsswassermolasse, Nordostschweiz). – *Doktorarbeit, Mitt. Geol. Inst. ETH und Univ. Zürich N.F.* **232**, 196 S.
- BÜRGISSER, H.M. (1981): Zur zeitlichen Einordnung der Oberen Süsswassermolasse in der Nordschweiz. – *Vjschr. natf. Ges. Zürich* **126/3**: 149–164.
- ENGESSER, B. (1989): A preliminary Mammal Zonation of the Upper Marine Molasse of Switzerland. – In LINDSAY, E. H., FAHLBUSCH, V. & MEIN, P., (Eds.): *European Neogene Mammal Chronology*. – *Nato ASI, ser. A, Life sc.* **180**, Plenum Press New York, S. 177–180.
- FISCHER, H. (1988): Isotopengeochemische Untersuchungen und Datierungen an Mineralien und Fossilien aus Sedimentgesteinen. – *Doktorarbeit ETH Zürich*, 207 S.

- FISCHER, H., OBERLI, F. & MEIER, M. (1987): U-Pb- und K-Ar-Datierungen an OSM-Bentoniten. – Abstracts der Jahrestagung der Schweiz. geol. Ges. Luzern, 2 S.
- GENTNER, W., LIPPOLT, H.H. & SCHAEFFER, O.A. (1963): Argonbestimmungen an Kaliummineralien. 9. Die Kalium-Argon-Alter der Gläser des nördlinger Rieses und der böhmisch-mährischen Tektite. – Geochim. Cosmochim. Acta **27**: 91–100.
- GUBLER, T., MEIER, M. & OBERLI, F. (1992): Bentonites as time markers for sedimentation of the Upper Freshwater Molasse: Geological Observations corroborated by high resolution single-zircon U-Pb ages. – Abstracts 172. Jahresvers. SANW Basel, S. 12–13.
- HANTKE, R. (1953): Gliederungsversuch der Oberen Süsswassermolasse im Gebiet der Hörnlichüttung. – Eclogae geol. Helv. **46**: 1–8.
- HOFMANN, F. (1951): Zur Stratigraphie und Tektonik des st.gallisch-thurgauischen Miozäns (Obere Süsswassermolasse) und zur Bodenseegeologie. – Ber. Tätigk. St. Gall. Naturw. Ges. **74**, 1–87.
- HOFMANN, F. (1956): Die Obere Süsswassermolasse in der Ostschweiz und im Hegau. – Bull. ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing., **23/64**, 23–34.
- HOFMANN, F. (1959): Vulkanische Tuffhorizonte der Schienerbergeruptionen auf dem thurgauischen Seerücken. – Eclogae geol. Helv. **52/2**, 461–475.
- HOFMANN, F. (1960): Beitrag zur Glimmersandsedimentation in der Oberen Süsswassermolasse der Nord- und Nordostschweiz. – Eclogae Geol. Helv. **53/1**, 1–25.
- HOFMANN, F. (1965): Die stratigraphische Bedeutung der Bentonite und Tufflager im Molassebecken. – Jber. Mitt. oberrh. geol. Ver. N.F. **47**, 79–90.
- HOFMANN, F. (1970): Die geologische Entwicklungsgeschichte des Gebietes zwischen Hörnli und Rheinfall. – Mitt. Naturw. Ges. Winterthur, **33**, 23–47.
- HOFMANN, F. (1973): Horizonte fremdartiger Auswürflinge in der ostschweizerischen Oberen Süsswassermolasse und Versuch einer Deutung ihrer Entstehung als Impaktphänomen. – Eclogae geol. Helv. **66**, 83–100.
- HOFMANN, F. (1974): Geologische Geschichte des Bodenseegebietes. – Schr. Ver. Gesch. Bodensee u. Umgebung, **92**. Heft, 251–273.
- HOFMANN, F. (1975): Vulkanische Tuffe auf dem Wellenberg E von Frauenfeld und neue Funde auf dem thurgauischen Seerücken. – Eclogae Geol. Helv. **68/2**, 311–318.
- HÜNERMANN, K.A. (1981): Die Glimmersandgrube am Rodenberg bei Schlatingen (Kt. Thurgau) als paläontologisches Studienobjekt in der Oberen Süsswassermolasse. – Mitt. thurg. naturf. Ges., Frauenfeld, **44**: 7–32
- KÄLIN, D. (1997): The mammal zonation of the Upper Marine Molasse of Switzerland reconsidered. A local biozonation of MN2–MN5. In AGUILAR, J.-P., LEGENDRE, S. & MICHAUX, J., (Eds.): Actes du Congrès Biochrom'97. – Mémoires et Travaux de l'E.P.H.E., Institut de Montpellier, S. 515–535.
- KELLER, B. (1989): Fazies und Stratigraphie der Oberen Meeresmolasse (unteres Miozän) zwischen Napf und Bodensee. – Doktorarbeit Univ. Bern, 403 S.
- KEMPF, O., BOLLIGER, T., KÄLIN, D., ENGESSER, B. & MATTER, A. (1998): New magnetostratigraphic calibration of Early to Middle Miocene mammal biozones of the North Alpine foreland basin. In AGUILAR, J.-P., LEGENDRE, S. & MICHAUX, J., (Eds.): Actes du Congrès Biochrom'97. – Mémoires et Travaux de l'E.P.H.E., Institut de Montpellier, S. 547–561.
- LEMCKE, K. (1973): Vertikalbewegungen des vormesozoischen Sockels im nördlichen Alpenvorland vom Perm bis zur Gegenwart. – Eclogae geol. Helv. **67/1**: 121–133.

- LINDSAY, E.H., FAHLBUSCH, V. & MEIN, P. (1989): European Neogene Mammal Chronology. – Nato ASI Series A: Life Sciences Vol. **180**. Plenum Press, New York, 658 S.
- MEIN, P. (1975): Biozonation du Neogene mediterranéen à partir des mammifères. – Report on activity of RCMN working groups (1971–1975), 78–81.
- PAVONI, N. (1956): Zürcher Molasse und Obere Süsswassermolasse der Ostschweiz, ein stratigraphischer Vergleich. – Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. **22/63**: 25–32.
- PAVONI, N. (1959): Zur Gliederung der Oberen Süsswassermolasse (OSM) im Bereich des Hörnlischuttfächers. – Eclogae geol. Helv. **52**: 477–487.
- PAVONI, N. & SCHINDLER, K. (1981): Bentonitvorkommen in der Oberen Süsswassermolasse und damit zusammenhängende Probleme. – Eclogae geol. Helv. **74/1**: 53–64.
- RUTSCH, R.F. (1956): Bemerkungen zur Arbeit von F. Hofmann: Beziehungen zwischen Tektonik, Sedimentation und Vulkanismus im schweizerischen Molassebecken. – Bull. Ver. Schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. **22/63**: 33–40.
- SCHMIDLE, W. (1931): Die Geschichte der geologischen Erforschung des Bodensees. – Bad. geol. Abh. **3/2**: 1–40.
- WÜRTEMBERGER, O. (1906): Die Tertiärflora des Kantons Thurgau. – Mitt. thurg. naturf. Ges. **17**: 1–44.

Adresse des Autors:

Dr. Thomas Bolliger, Schöpfbrunnenweg 4, CH-8634 Hombrechtikon
 thobo@freesurf.ch oder thomas.bolliger@gsz.stzh.ch