

**Zeitschrift:** Mitteilungen / Naturforschende Gesellschaft des Kantons Solothurn  
**Herausgeber:** Naturforschende Gesellschaft des Kantons Solothurn  
**Band:** 40 (2007)

**Artikel:** Rickenbach unter den Tropen... : vor 25 Millionen Jahren! : Bestimmung des Paläoklimas und der Paläoökologie anhand der Untersuchungen an fossilen Nashornzähnen aus der Sammlung des Naturmuseums Olten  
**Autor:** Emery, E. / Tütken, T. / Becker, D.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-543375>

#### 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:** 24.01.2026

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

# Rickenbach unter den Tropen... vor 25 Millionen Jahren!

Bestimmung des Paläoklimas und der Paläoökologie anhand der Untersuchungen an fossilen Nashornzähnen aus der Sammlung des Naturmuseums Olten

Emery E. (1), Tütken T. (2), Becker D. (3), Bucher S. (4) Flückiger P. F. (4) & Berger J.-P. (1)

## Adressen der Autoren

(1) Département de Géosciences  
Géologie et Paléontologie  
Université de Fribourg-Pérolles  
Chemin du Musée 6  
1700 Fribourg  
E-Mail: [jean-pierre.berger@unifr.ch](mailto:jean-pierre.berger@unifr.ch)

(3) Section d'archéologie et paléontologie  
Office de la Culture, Hôtel des Halles  
Case postale 64  
2900 Porrentruy 2  
E-Mail: [damien.becker@palaeojura.ch](mailto:damien.becker@palaeojura.ch)

(2) Institut für Geowissenschaften  
Abteilung für angewandte analytische Paläontologie  
Johannes Gutenberg Universität Mainz  
Johann-Joachim-Becher-Weg 21  
55099 Mainz, Germany  
E-Mail: [T.Tuetken@geo.uni-mainz.de](mailto:T.Tuetken@geo.uni-mainz.de)

(4) Naturmuseum Olten  
Kirchgasse 10  
4600 Olten  
E-Mail: [info@naturmuseum-olten.ch](mailto:info@naturmuseum-olten.ch)

# Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung .....	53
2.	Historisches .....	53
3.	Geologie und Paläontologie .....	54
4.	Fossile Fauna und Flora .....	56
5.	Rekonstruktion des Umweltbedingungen des Paläoklimas und der Paläoökologie anhand der Kohlenstoff- und Sauerstoffisotopenzusammensetzung von Säugetierzähnen .....	59
5.1.	Die Kohlenstoffisotopie ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) al Nahrungsindikator .....	59
5.2.	Die Sauerstoffisotopie ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) als Klimaindikator .....	60
6.	Paläoökologie und Paläoklima .....	62
7.	Dank .....	62
8.	Literatur .....	63

# Rickenbach unter den Tropen... vor 25 Millionen Jahren!

Bestimmung des Paläoklimas und der Paläökologie anhand der Untersuchungen an fossilen Nashornzähnen aus der Sammlung des Naturmuseums Olten

## 1. Einführung

Die «Huppergrube» in Rickenbach ist ein Naturschutzgebiet von kantonaler und sogar nationaler Bedeutung (Fig. 1). Auf einer Fläche von 3.5 ha erstrecken sich eine grosse Wiese, fünf Teiche und bewaldete Zonen, in der diverse geschützte Pflanzenarten wachsen (*Dactylorhiza maculata*, *Epipactis palustris*, *Iris pseudocorus*, *Iris sibirica*, *Lilium martagon*, *Listera ovata*, *Orchis purpurea* und *Phyllitis scolopendrium*). In einigen Metern Tiefe, wo die Gesteinsschichten ein geologisches Alter von 25 Millionen Jahren erreichen (Spätes Oligozän), steigt die Bedeutung der Grube sogar auf ein europäisches Niveau. Im Boden unter den Laubbäumen liegen Fossilien, d.h. versteinerte Tiere und Pflanzen begraben, welche die europäische Referenz für einen Abschnitt der «geologischen Zeitskala» (Säugetierzone MP29) bilden.

Obwohl die grosse Bedeutung der Fossilien der «Huppergrube» schon im letzten Jahrhundert bekannt war, sind die Ausgrabungen, die bis zur Schliessung der Grube im Jahre 1964 durchgeführt wurden, nur teilweise dokumentiert. Aus diesem Grunde hat in den vergangenen Jahren eine Gruppe von Geologen und Paläontologen der Universität Fribourg sämtliche Fossilien aus Rickenbach, die sich über die Jahre in den Sammlungen von Schweizer Museen angehäuft haben,

genauer analysiert. Dabei zeigte sich, dass die im Naturmuseum Olten aufbewahrten Fossilien der Fundstelle Rickenbach von grosser wissenschaftlicher Bedeutung sind.

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der Diplomarbeit von Emery (2005), welche die Bestimmungskriterien der fossilen Nashörner (*Ronzotherium romani*) untersucht hat, sowie neue geochemische Analysen an den fossilen Nashornzähnen aus der Sammlung des Naturmuseums Olten vorgestellt. Mit diesen Analysen konnten die paläoklimatischen und paläökologischen Bedingungen, die vor 25 Millionen Jahren in Rickenbach geherrscht haben, bestimmt werden: Es herrschten subtropische Temperaturen, die durchschnittliche Jahrestemperatur betrug 20°C. In der bewaldeten savannenartigen Landschaft lebten Nashörner, Krokodile und Schildkröten, die im Schatten der Palmen vor der Hitze Schutz suchten.

## 2. Historisches

Die Sandsteine der Grube von Rickenbach (Fig. 2), die im Volksmund auch «Huppergrube» genannt wird, sind im Jahre 1897 beim Bau eines Ziehbrunnens entdeckt worden. Das Gelände gehörte damals der Familie Glutz. In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde ein Teil der Sandsteine aus Rickenbach für die Zementherstellung genutzt, während ein anderer Teil in den Giessereien von Luzern und Schaffhausen verarbeitet wurde.

Während des Betriebs des Steinbruches haben verschiedene geologische und paläontologische Nachforschungen zur Entdeckung des reichen Fossilvorkommens geführt.

Zunächst waren es jedoch die seltenen Pflanzen und Tiere, welche sich in der verlassenen Grube angesiedelt hatten, die die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit auf die Grube lenkten. Im Jahre 1964 begannen sich der «Natur- und Vogelschutzverein Wangen» (NVVV) und der «Solothurnische Naturschutzverband» (SNV) für die stillgelegte Grube zu interessieren. Am 31. Juli 1964 unterzeichnete das Unternehmen AG Hunziker & Cie., der Besitzer des Geländes, mit dem SNV einen



Fig. 1: Das Naturschutzgebiet in Rickenbach heute.



Fig. 2: Sandsteinaufschluss in der «Huppergrube» von Rickenbach im Jahre 2005.

Pachtvertrag über 25 Jahre: In einer Parzelle von 2.63 ha sollte eine geschützte Zone geschaffen werden. Kurz darauf wurde mit den Umgestaltungsarbeiten begonnen. Der Bereich wurde gereinigt, mit Humus bedeckt, es wurden Teiche angelegt und Setzlinge gepflanzt.

Es dauerte aber noch bis in die achtziger Jahre, bis eine Stiftung gegründet wurde. Im Jahre 1980 erwarb die PCO Portlandzementwerk AG Olten das Gelände und schuf die «Biotopt-Stiftung des Portlandzementwerks AG Olten». Die Stiftung hatte die Entwicklung und Aufrechterhaltung eines Biotops im Bereich der «Huppergrube» (Gemeinden Rickenbach und Kappel) sowie die Einrichtung eines didaktischen Lehrpfades zum Ziel, was zur Sensibilisierung der Öffentlichkeit für den Naturschutz beitragen sollte.

Am 24. Juni 2002 schliesslich wurde eine neue – von der «Portlandzementwerk AG Olten» unabhängige – «Biotopt-Stiftung Huppergrube» gegründet.

Seit den siebziger Jahren ist die «Huppergrube» von Rickenbach als europäisches Referenzniveau für die Säugetierzone MP29 des Späten Oligozäns (25 Millionen Jahre) anerkannt. 1996 ist die Bedeutung des Standortes für die Geowissenschaften (Geotope) im «Inventar geowissenschaftlich schützenswerter Objekte, Kanton Solothurn, INGESO» offiziell anerkannt worden. In einer nahen Zukunft dürfte die «Huppergrube» in die Liste der Geotope von nationaler Bedeutung aufgenommen werden.

### 3. Geologie und Paläontologie

Wie es der Name bereits sagt, war das heutige Natur- schutzgebiet einst eine Grube, in der Sedimente, welche man «Huppererde» nannte, abgebaut wurden. Der Abbau hat zahlreiche Fossilien zu Tage gefördert, die heute auf verschiedene Museen verteilt sind. Die «Huppergrube» liegt westlich von Olten (632.200/240.300), an der nördlichen Grenze der Vorland-Molasse (Fig. 3).

Die Sedimente gehören zur Unteren Süßwassermolas- se, welche vor rund 25 Millionen Jahren während der Alpenbildung entstanden sind. Nördlich der Alpen gab es dazumal ein grosses Becken, in welches die Flüsse das in den Alpen erodierte Material ablagerten. In Alpennähe entstanden riesige Schuttkegel aus dem abgetragenen Schotter, wie z.B. die Thunersee- oder Rigi-Schüttungen. Weiter von den Alpen entfernt wurde das feinere Material in einer von Flüssen und Seen dominierten Landschaft abgelagert. Diese Ablagerun- gen tragen den geologischen Namen Süßwassermo- lasse. Grosse weltweite Meeresspiegelschwankungen führten dazu, dass das Meer zeitweise bis in dieses Becken vorgestossen ist, was anhand von Fossilien belegt ist. Die zu jener Zeit abgelagerten Gesteins- schichten tragen deshalb den Namen Meeresmolasse. Flüsse und Seen wechselten sich während der ganzen Zeit der Molasseablagerung von 32 bis 10 Millionen Jahren vor heute mehrmals mit dem Meer ab. Die Geo- logen unterteilen die Molasse deswegen in die Untere Meeresmolasse, die Untere Süßwassermolasse, die Obere Meeresmolasse sowie die Obere Süßwasser- molasse.

Die ersten paläontologischen Ausgrabungen in der «Huppergrube» sind von H.G. Stehlin, R. Martin und J. Stuber im Jahre 1905 durchgeführt worden. Bis zur

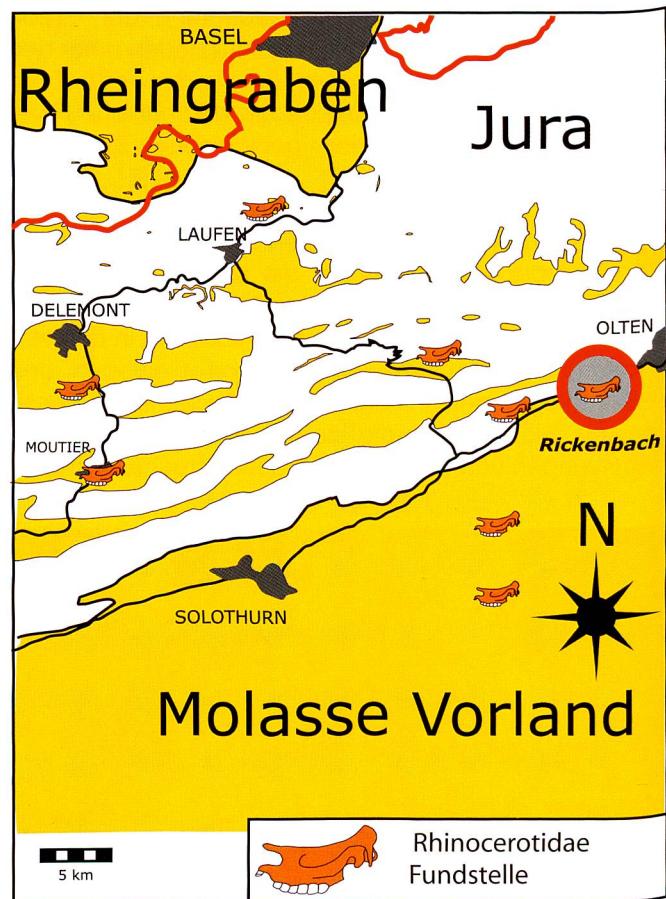


Fig. 3: Geologische Karte. In gelb sind die Molasseablagerungen des Vorlandes und des Juras sowie die Tertiären Ablagerungen des Rheingrabens eingezeichnet.

Schliessung der Grube im Jahre 1964 haben weitere Ausgrabungen stattgefunden, die jedoch schlecht dokumentiert sind. Die einzigen Hinweise sind Fotos, die aus den Jahren 1914 und 1946 stammen (Fig. 5 & 6, Kataster der Fundorte fossiler Säugetiere des Naturhistorischen Museums Basel). Eine detaillierte Untersuchung der einzelnen Schichten wurde von Baumberger 1928 vorgenommen und in Form eines lithologischen Profiles der Grube dokumentiert. Dank Baumberger (1928) und Martin (1905) sowie den unpublizierten Daten des Katasters der Fundorte fossiler Säugetiere des Naturhistorischen Museums Basel (Rickenbach CH/1088/2) konnte ein synthetisches Profil erstellt werden (Fig. 4). Lithostratigraphisch gehört die Fundstelle zur Formation der Aarwanger Molasse.

Die Grabungen haben unzählige Fossilien (Pflanzen und Tiere, siehe unten) zu Tage gefördert. Neben verschiedenen Pflanzenresten ist v.a. die Vielfalt der fossilen Säugetiere von grosser Bedeutung. Es sind die Säugetiere, die im Tertiär, nach dem Aussterben der Dinosaurier, eine enorme Artenvielfalt entwickeln. Innert kur-

zer Zeit entstehen viele Arten, die teilweise aber genau so schnell wie sie entstanden sind wieder aussterben. Genau diese Tatsache erlaubt es, Gesteinsschichten anhand ihres Fossilinhalts spräzise zu datieren. Von besonderem Interesse für die Datierungen sind die kleinen Säugetiere wie zum Beispiel die Hamster oder Siebenschläfer. Die Fundstelle von Rickenbach wird charakterisiert durch zahlreiche Funde vieler verschiedener solcher Kleinsäugetiere (v.a. Nagetiere). Deshalb ist diese Fundstelle in der «Huppergruppe» Rickenbach zur europäischen, biostratigraphischen Referenzlokalität für die Säugetierzone MP29 (Engesser & Mayo 1987, Engesser & Mödden 1997), mit einem Alter von 24.5 Millionen Jahren vor unserem Zeitalter, ernannt worden. Insgesamt hat die Fossilfundstelle Rickenbach mehr als 2200 Fundstücke geliefert, die heute auf die Museen von Basel, Solothurn und Olten verteilt sind. Die Wiederentdeckung der sehr reichen Sammlung des Naturmuseums Olten, die allein ungefähr 2000 Stücke umfasst, hat zu neuen Erkenntnissen, was die Paläökologie und das Paläoklima betrifft, geführt.

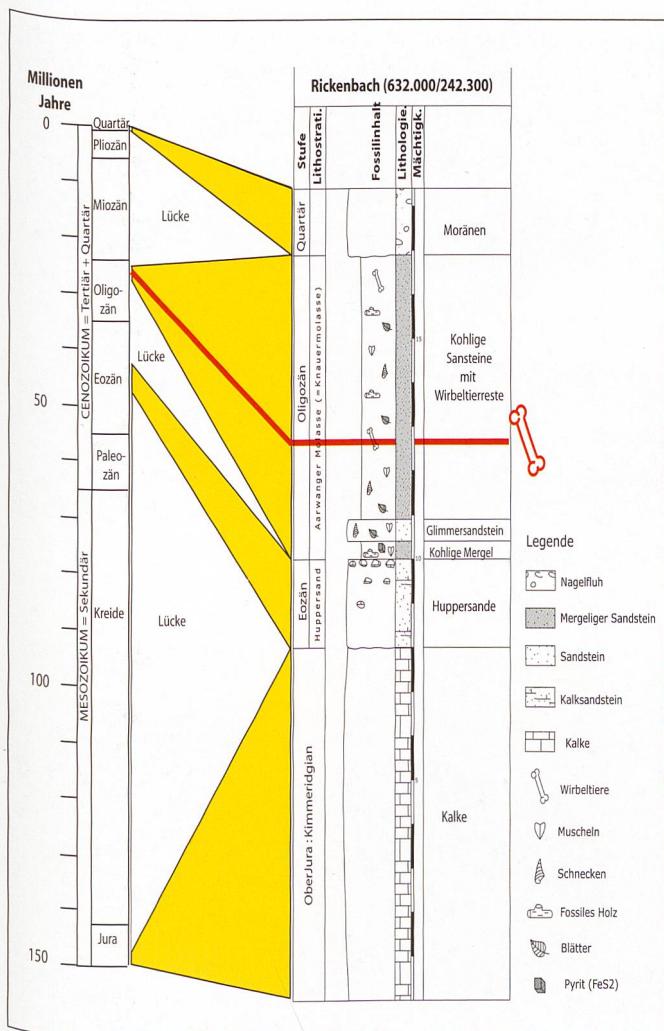


Fig. 4: Stratigraphische Übersicht; rechts die geologische Zeitskala in Millionen Jahren und links das stratigraphische Profil von Rickenbach. Die Fossilfundstelle von Rickenbach ist rot eingezeichnet.



Fig 5: Der Abbau in der Grube im Jahre 1914.



Fig 6: Die «Huppergrube» von Rickenbach 1946.

## 4. Fossile Fauna und Flora

Wie bereits erwähnt ist die Artenvielfalt in der Fundstelle Rickenbach beeindruckend und von grosser internationaler Bedeutung. Dementsprechend zahlreich sind die Untersuchungen: Viele Autoren haben sich für die Kleinsäugerfauna und für die Biostratigraphie (Datierung anhand von Fossilien) interessiert (Schaub 1925 & 1933, Viret & Zapfe 1951, Hrubesch 1957, Engesser 1975, 1982 & 1990, Crochet 1978, Vianet-Liaud 1979, Engesser & Mayo 1987, Mödden 1993, Engesser & Mödden 1997). Die Arbeiten über andere Säugetiere sind oft unvollständig und untersuchten nur Rhinocerotidae (Nashörner) und Carnivora (Raubtiere) (Stehlin 1914 & 1922, Helbing 1928, Heissig 1969, Brunet 1979, Michel 1983, Becker 2003).

Die letzte Zusammenstellung der Fossilienfunde von Rickenbach datiert aus dem Jahre 1997 und wurde von Engesser & Mödden im Rahmen des Kongresses «Biochron'97» in Montpellier veröffentlicht.

Hier eine Zusammenstellung:

Pflanzen

Kieferzapfen, Erle- (*Alnus*), Zimtbaum- (*Cinnamomum*), Weide- (*Salix*) und Palmblätter (Fig. 7)

Weichtiere (Mollusken)

Landschnecken (*Heliciden*) und Flussmuscheln (*Unio*)

Reptilien

Schildkröten- und Krokodilreste (Fig. 8)

Beuteltiere (Marsupialia)

*Amphiperatherium exile*

Paarhuftiere (Artiodactyla)

Schweinartige Tiere: *Microbunodon minimum*, *Anthracotherium cf. magnum* (Fig. 9), *Propalaeochoerus* sp.

Hirschartige Tiere: *Caenotherium*

sp. 1 und sp. 2, *Amphitragulus* sp. (Fig. 10)

Maulwürfe und Spitzmäuse (Insectivora)

Talpidae indet.,

*Amphechinus* sp.,

*Dinosorex huerzeleri* (Fig. 11)

Fleischfresser (Carnivora)

Fossile Ordnung Creodonta (Urraubtiere):

*Hyaenodon* aff. *compressus*, *Hyaenodon filholi*

Hunde- & bärenartige Tiere (Canidae, Ursidae):

*Cephalogale* sp. 1 & sp. 2, *Amphicyon* sp.,

*Haplocyon* sp.

Marderartige Tiere (Mustelidae): *Plesictis* sp.

Ginsterkatze (Viverridae): *Stenogale* sp.

Nagetiere (Rodentia)

Fossile Familie Eomyidae:

*Eomys* cf. *ebnatensis*, *E. huerzeleri*,

Fossile Familie Theridomyidae (Chinchillaartige

Nagetiere): *Archaeomys helveticus*, *A. arvernensis*, *Issiodoromys pseudanoema*  
Familie Gliridae (Schläfer): *Gliravus bruijni*, *Microdyromys cf. praemurinus*,  
Familie Cricetidae (Hamsterartige) : *Eucricetodon praecursor*, *E. cf. dubius*,  
*Melissiodon cf. quercyi*, *Adelomyarion vireti*  
Familie Zapodidae (Hüpfmäuse): *Plesiosminthus promyarion*  
Familie Sciuridae (Hörnchen): *Sciurus* sp.  
Familie Castoridae (Biberartige): *Steneofiber dehmi*, *Rhizospalax poirrieri*

Koprolithen von Wirbeltieren

Fossile Kote gibt es auch unter den Funden. Sie wurden jedoch wissenschaftlich noch nicht genau analysiert.



Fig. 7: Palmblatt.



Fig. 8: Schildkrötenplatte



Fig. 9: Zähne eines *Antracotherium cf. magnum* (Urnipferd), die vor 25 Millionen Jahren in Rickenbach lebten.



Fig. 10: Unterkiefer des *Amphitragulus*, eines hirschartigen Tieres.



Fig. 11: Teil des Kiefers eines *Dinosorex hurzeleri* (Spitzmaus)

Im Jahre 2005 hat Emery eine Revision von 450 Fossilien von Huftieren (darunter 400 aus dem Naturmuseum Olten) im Rahmen ihrer Diplomarbeit untersucht. Dabei stand die Untersuchung der Gruppe der Nashörner (Rhinocerotidae) und im speziellen der Gattung *Ronzotherium* im Zentrum.

Reste von grossen Säugetieren sind in den meisten Fossilfundstellen zu finden, jedoch selten sind die ganzen Tiere, respektive Skelette erhalten. Oft sind nur einige Zähne von den Grossäugtieren erhalten, denn Zähne zersetzen sich über die Jahrmillionen kaum und werden deshalb bei paläontologischen Grabungen in einem guten Erhaltungszustand wiedergefunden. Aus diesem Grunde beruht eine grosse Anzahl von Bestimmungskriterien für Fossilien auf den Zähnen. Das Ziel der durchgeführten paläontologischen Untersuchungen ist deshalb, anhand einiger Zähne die Art bestimmen zu können und damit eine Datierung der Gesteine zu ermöglichen. Dies ist jedoch nur möglich, wenn erstens der gesamte Zahnsatz inklusive der Kieferknochen einmal vollständig beschrieben und ausgemessen worden ist und zweitens wenn bekannt ist, wie alt dieses Säugetier ist. Genau diese beiden Bedingungen sind in Rickenbach für die Nashörner gegeben. Es ist bekannt, dass in Westeuropa diese Gattung drei zeitlich aufeinander folgende Arten umfasst:

- Ronzotherium velaunum*, Frühes Oligozän, MP21 (Ronzon)
- Ronzotherium filholi*, Frühes Oligozän, MP22 (Kleinblauen) bis MP25 (Bumbach)
- Ronzotherium romani*, Spätes Oligozän, MP24 (Ferté-Alais) bis MP29 (Rickenbach)

Da die Fundstelle Rickenbach die geologische Zeitstufe MP29 definiert, studierte Emery folglich die Art *Ronzotherium romani*. Im Speziellen wurde der Zahnsatz dieser Art im Detail studiert.

Im Allgemeinen werden Rhinocerotidae durch die Reduktion ihrer vorderen Zähne, bestehend aus einer Kombination von i1 (erste obere Schneidezähne) in Scherenform und i2 (zweite untere Schneidezähne) in Stosszahn- oder in Bajonettform, definiert (Radinsky 1966). Ausserdem besitzen die oberen und unteren Backenzähne (Molare) eine charakteristische Morphologie. Die oberen Zähne bestehen aus vier Spitzen (Kuspid) die, nachdem sie fusioniert haben, drei Kanten (Lophen) zeigen, die den Buchstaben  $\pi$  bilden. Die unteren Zähne werden in zwei Lappen geteilt.

Die Wiederentdeckung des Materials des Naturmuseums Olten und des naturhistorischen Museums Basel hat die Beschreibung des ganzen Materials von *Ronzotherium romani* aus Rickenbach erlaubt (Fig. 12 – 15). Dabei ist es zum erstmals gelungen die post-cranialen Skelettelemente (Fig. 16: Astragalus, Sprungbein; Fig. 17: Humerus, Oberarmknochen; und Metatarsale, Mittelfussknochen) dieser Art zu beschreiben (Emery 2005).



Fig. 12a und b: *Ronzotherium romani*, Unterkiefer (Naturmuseum Basel, UM 3832).



Fig. 13: *Ronzotherium romani*, rechte obere Molare, M1 dext. (Naturmuseum Olten, I3/13).



Fig. 14: *Ronzotherium romani*, linke obere Molare, M1 sin. (Naturmuseum Olten, I12/24).



Fig. 15: *Ronzotherium romani*, rechte obere Prämolare, P2 dext. (Naturmuseum Olten, I1/104).



Fig. 16: *Ronzotherium romani*, Astragalus (Sprungbein) (Naturmuseum Olten, I12/20).



Fig. 17: *Ronzotherium romani*, Humerus (Oberarmknochen) (Naturmuseum Olten, K3/5).

## 5. Rekonstruktion der Umweltbedingungen des Paläoklimas und der Paläökologie anhand der Kohlenstoff- und Sauerstoffisotopenzusammensetzung von Säugetierzähnen

Anhand der Isotopenzusammensetzung der Zähne kann das «Menu» der Tiere und damit die Umweltbedingungen in welchem die Tiere gelebt haben bestimmt werden. Aus der Kombination der fossilen Pflanzenreste, der Tierarten die in der Gegend gelebt haben und der Isotopenanalysen kann auf die Paläökologie respektive auf das Paläoklima geschlossen werden.

Knochen und Zähne von Wirbeltieren stellen als phosphatisch mineralisierte Hartgewebe oft die einzigen direkten fossilen Überreste von Tieren im paläontologischen Fossilbericht dar. Neben phylogenetischen, taxonomischen, genetischen und funktionsmorphologischen Informationen geben diese Skelettreste in ihrer chemischen Element- und Isotopenzusammensetzung

ausserdem Aufschluss über Umweltbedingungen und Lebensweisen des betreffenden Tieres. Die Mineralphase von Knochen und Zähnen ist Hydroxylapatit, ein Calciumphosphat, welches ernährungs-, stoffwechsel- und klimabezogene Isotopen- und Spurenelementzusammensetzungen speichern kann. Die chemischen Elemente und deren Isotope werden vor allem mit der Nahrung und dem Trinkwasser aufgenommen, verstoffwechselt und in den Apatit der Knochen bzw. des Zahnschmelzes eingebaut (Fig. 18). Zahnschmelz ist das härteste und damit am besten erhaltungsfähige biogen gebildete Gewebe. Wenn sich die primären chemischen Informationen in den Skelettresten während der Fossilisation erhalten (Tütken 2003), erlauben sie potentiell Aussagen über die Art der Nahrung des betreffenden Lebewesens (herbivor vs. karnivor, C<sub>3</sub>- vs. C<sub>4</sub>-Pflanzen, marin vs. terrestrisch) und über seine Position in der Nahrungskette. Ausserdem ermöglichen sie die Rekonstruktion fossiler Nahrungsnetze, des geologischen Untergrunds, der Umweltbelastungen, der Migrationsbewegungen sowie der klimatischen Bedingungen, denen der Mensch oder das Tier ausgesetzt waren (Koch et al. 1994, Horn et al. 1997, Katzenberg & Harrison 1997, Gannes et al. 1998, Koch 1998, Kohn & Cerling 2002). Skelettreste von Tieren sind daher ein wertvolles chemisches Umweltarchiv für paläökologische und paläoklimatische Fragestellungen in der Anthropologie, Archäologie und Paläontologie.

Von der spätoligozänen Fundstelle Rickenbach wurden Zahnschmelzproben von insgesamt 18 fossilen Grosssäugerzähnen von Rhinocerosen, Anthracotherien (Kohletier), Ur-Hirschen und Ur-Schweinen aus der Sammlung des Naturmuseums Olten auf ihre Kohlenstoff- und Sauerstoffisotopenzusammensetzung des Carbonats (CO<sub>3</sub>) im Phosphat (Fig. 18) hin untersucht (Fig. 19). Ausgedrückt wird das C- bzw. O-Isotopenverhältnis als so genannter  $\delta$ -Wert in Promille (‰) relativ zu einem Bezugsstandard (Vienna Pee Dee Belemnite – VPDB, bzw. Vienna Standard Mean Ocean Water – VSMOW) gemäss der Formel  $\delta_{\text{VPDB}} = [(R_{\text{Probe}} - R_{\text{Standard}}) / R_{\text{Standard}}] \times 1000$  mit  $R = ^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ , bzw.  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ .

### 5.1. Die Kohlenstoffisotopie (13<sup>o</sup>/12<sup>o</sup>) als Nahrungsindikator

Der  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert des Zahnschmelzes spiegelt die Kohlenstoffisotopie der pflanzlichen Nahrung an der Basis der Nahrungskette. Säugetiere, die grosse Pflanzen fressen, verstoffwechseln die pflanzliche Biomasse und bauen den Kohlenstoff in den Apatit ihrer Knochen bzw. des Zahnschmelzes ein, wobei es zu einer metabolischen Veränderung des  $\delta^{13}\text{C}$ -Wertes von +14.1‰ kommt (Cerling & Harris, 1999). Die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Säugetierzähne von Rickenbach zeigen eine geringe Variabilität und liegen zwischen –8,8‰ und –10,9‰ (Fig. 19). Der Mittelwert des Zahnschmelzes von  $\delta^{13}\text{C} = -9,8 \pm 0,6$ ‰ zeigt, dass alle analysierten Säugetiere Pflanzen gefressen haben, welche den C3-Photosyn-

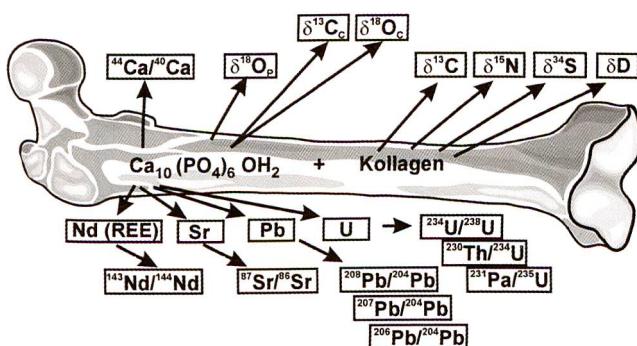


Fig. 18: Vorkommen von für die Ernährungs- und Umweltrekonstruktion relevanten Elementen und ihrer Isotope in der biogenen Mineralphase Apatit von Knochen bzw. Zähnen sowie der organischen Kollagenmatrix von Knochen.

thesezyklus zum Aufbau ihrer Biomasse aus Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) und Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) nutzten. Dies ist zu erwarten, da Pflanzen, welche den C4-Photosynthesezyklus nutzen und im Mittel 14‰ positivere  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte als C<sub>3</sub>-Pflanzen aufweisen (Deines, 1980), erst ab dem Miozän fossil belegt sind und sich erst im späten Miozän, also ca. vor sieben Millionen Jahren global ausbreiten (Cerling et al. 1997). Allerdings können auch Wasserpflanzen, die zu den C3 Pflanzen gehören, höhere  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aufweisen, die den Werten von C<sub>4</sub>-Pflanzen ähneln. (Deines, 1980). Dies liegt daran, dass sie zur Photosynthese gelöstes CO<sub>2</sub> aus dem Wasser aufnehmen, welches höhere  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte hat als das atmosphärische CO<sub>2</sub>. Da aber die analysierten Zahnschmelzproben keine erhöhten  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aufweisen, haben alle untersuchten Großsäuger ihre Nahrung in einem C3-Landpflanzen basierten Ökosystem zu sich genommen und Wasserpflanzen haben keine oder höchstens eine untergeordnete Rolle als Nahrungsressource gespielt. Dies gilt auch für die Anthracotherien, die vermutlich eher wasserbezogen lebten. Sie unterscheiden sich in ihren Zahnschmelz  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten nicht signifikant von den Landlebenden Rhinocerosen (Fig. 19). Der etwa 0,6‰ positivere  $\delta^{13}\text{C}$ -Mittelwert könnte tendenziell eher auf eine wassernähtere Lebensweise der Anthracotherien hindeuten.

## 5.2. Die Sauerstoffisotopie ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) als Klimaindikator

Die Sauerstoffisotopie von sauerstoffhaltigen Mineralen ist abhängig von der Temperatur und dem  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnis der Lösung, aus der sie sich abscheiden. Die Lösung kann deshalb als Thermometer verwendet werden, wenn das  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnis der Lösung bekannt ist und die Bildung im Isotopenengleichgewicht erfolgte. Umgekehrt kann bei bekannter Temperatur das  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnis der Lösung ermittelt werden. Weil warmblütige Säugetiere eine konstante, von der Umgebung unabhängige Körpertemperatur von  $37 \pm 2^\circ\text{C}$  besitzen, ist die temperaturabhängige Veränderung des  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnisses bei der Mineralisation des biogenen Apatits von Knochen und Zähnen aus dem Körperfluid konstant. Daher kann aus der Sauerstoffisotopie der Knochen und Zähne das  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnis des Trink- bzw. Niederschlagswassers abgeleitet werden (Longinelli 1984, Luz et al. 1984, Luz & Kolodny 1985). Zudem ist der Sauerstoff in der Luft und im Niederschlag isotopisch im Gleichgewicht bzw. wissenschaftlich ausgedrückt: Die mittlere Temperatur der Luft ist positiv mit dem  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnis im Niederschlag korreliert (Dansgaard, 1964), welcher das Trinkwasser der Säugetiere speist. Dies bedeutet, dass aus den  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten von

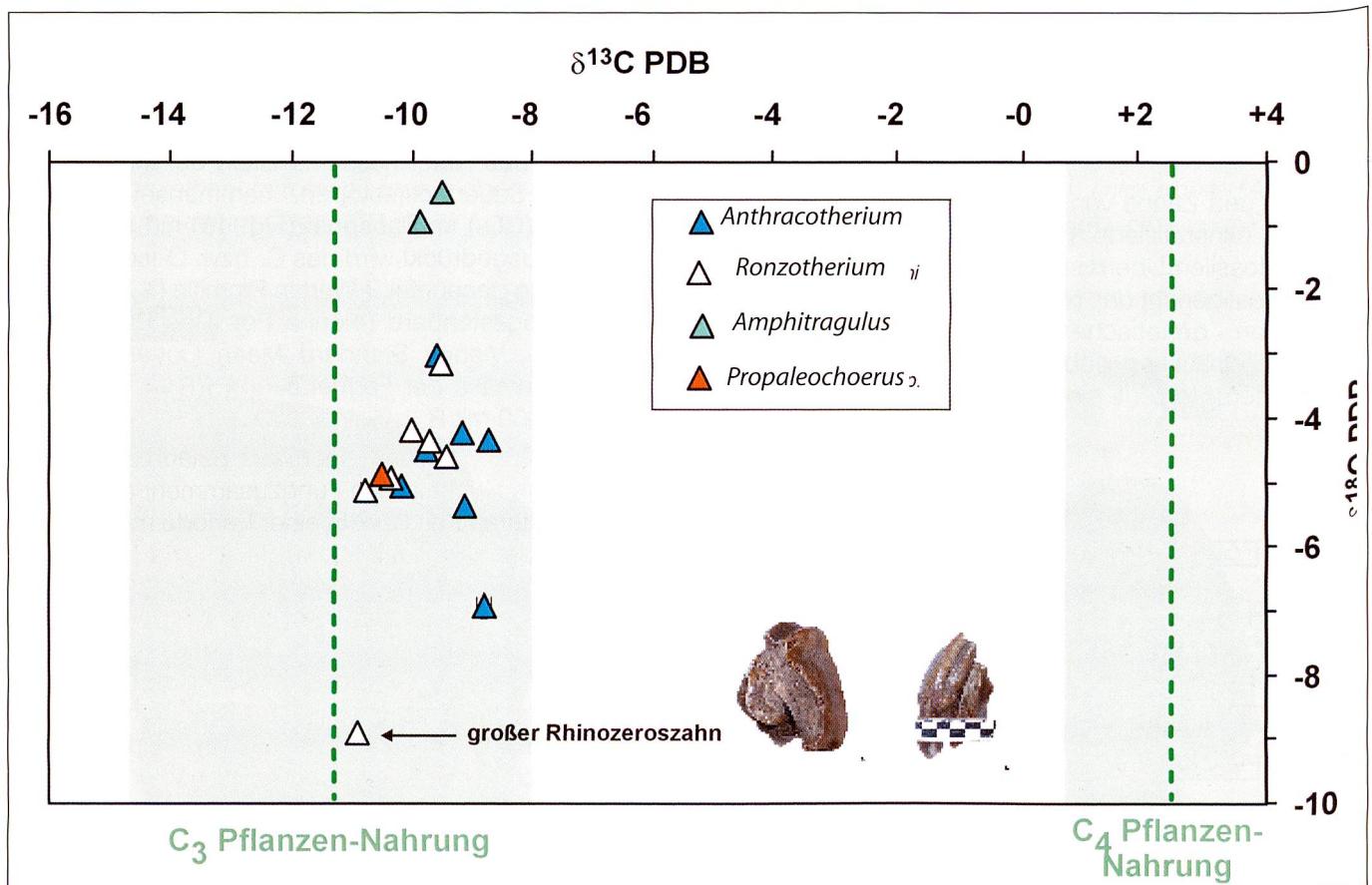


Fig. 19: Kohlenstoff- ( $\delta^{13}\text{C}$ ) und Sauerstoff- ( $\delta^{18}\text{O}^{\text{CO}_3}$ ) Isotopenzusammensetzung des Zahnschmelzes der analysierten Grosssägerzähne der Fundstelle Rickenbach. Zum Vergleich eingetragen sind die Bereiche der Zahnschmelz  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von Säugetieren mit C3- bzw. C4- Pflanzen-Nahrung.

Lebende (A) und fossile (F) Rhinocerotidae	Gewicht (kg) min-max	Gewicht (kg) Durschnitt	Schulterhöhe (m) min-max	Fortbewegung	Ernährungs- weise
Sumatra-Nashorn <i>Dicerorhinus sumatrensis</i> (A)	750-1500	1000	0.9-1.5	mediportal	Blattfresser
Java-Nashorn <i>Rhinoceros sondaicus</i> (A)	1400-2400	2280	1.5-1.7	graviportal	Blattfresser
Panzernashorn <i>Rhinoceros unicornis</i> (A)	1880-2540	1850	1.8-2.0	mediportat	Grasfresser
Spitzmaulnashorn <i>Diceros bicornis</i> (A)	1770-3600	1230	1.4-1.8	mediportal	Gras- und Blattfresser
Breitmaulnashorn <i>Ceratotherium simum</i> (A)	1630-4000	2800	1.5-1.8	graviportal	Grasfresser
<i>Ronzotherium romani</i> (F) Rickenbach	1634-1973	1792	1.3	laufend	Blattfresser

Fig. 20: Vergleich der Körpermasse und Ernährungsweise der rezenten (heute noch lebenden) und der fossilen Nashornarten. Die folgenden Ausdrücke beschreiben die Art der Fortbewegung eines Tieres. Graviportal: Tiere die normalerweise nur gehen, nicht aber rennen; typisch für sehr schwere Tiere wie Elefanten, Mammuts und Rhinocerosse.

Cursorial: Tiere die eher grazil sind und die sich rennen gewohnt sind, wie zum Beispiel Pferde.

Mediportal: Zwischenform, wie zum Beispiel das Sumatra-Nashorn.

Säugetierzähne direkt die Lufttemperaturen für den terrestrischen Bereich abgeschätzt werden (Grimes et al. 2003, 2005) können.

Die  $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3}$ -Werte des Zahnschmelzes der meisten Säugetierzähne von Rickenbach liegen in einem engen Bereich von -3 bis -5,4‰ (Fig. 19) und zeigen eine durchschnittliche Jahrestemperatur um die 20°C zur Lebenszeit der untersuchten Säugetiere vor 25 Millionen Jahren an.

Zwei Proben weichen von den oben genannten Werten ab. Die beiden Zähne von *Amphitragulus*, einem Hirschartigen, liegen mit  $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3}$ -Werten von -0,5 bis ~0,9‰ deutlich höher. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Amphitraguliden sich v.a. von Blättern ernährt haben, die durch Evapotranspirationseffekte höhere  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnisse des Blattwassers aufweisen. Eine andere Erklärung für die besonderen Werte wäre die Benutzung anderer, stärker von der Verdunstung beeinflusster Trinkwasserquellen.

Ein weiterer Ausreißer, jedoch in die andere Richtung ist der Zahnschmelz eines ungewöhnlich grossen Nas-

hornzahns, der mit -8,9‰ einen deutlich niedrigeren  $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3}$ -Wert als der aller anderen Zähne (Fig. 19) aufweist. Der niedrige  $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3}$ -Wert zeigt, dass dieser Rhinoceroszahn, welcher auch aus paläontologischen Überlegungen nicht in den Fundzusammenhang passt, zu einer anderen Zeit bzw. in einer Periode mit kühleren Klimabedingungen gebildet wurde als die Zähne der anderen Großsäuger. Während aus den  $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3}$ -Werten der anderen Zähne eine Jahresmitteltemperatur um die 20°C für Rickenbach abgeleitet werden kann, impliziert der niedrige  $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3}$ -Wert eine Aufnahme von Trinkwasser mit einem geringeren  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnis in einer deutlich kühleren Klimaphase. Dies belegt, dass der grosse Nashornzahn nicht in den stratigraphischen Fundzusammenhang der Säugetierzone MP29 (ca. 25 Millionen Jahren vor heute) gehört, sondern vermutlich aus anderen Sedimentschichten stammt. Daraus kann geschlossen werden, dass dieser Zahn sicher aus einer anderen Fundstelle stammt und wahrscheinlich ein Etikettenfehler zu seiner Anwesenheit in der Sammlung von Rickenbach geführt hat.

## 6. Paläoökologie und Paläoklima

Die ausführliche Studie der Nashörner von Rickenbach bestätigt ihre Zugehörigkeit zur Art der *Ronzotherium romani* und hat die Bewertung verschiedener paläoökologischer Parameter erlaubt. Verschiedene anatomische Merkmale wie etwa die Schulterhöhe und das Gewicht, sowie die Ernährungsweise konnten anhand dieser Arbeit rekonstruiert werden. Mit seinen ungefähr 1800 kg und seinen 1.3 m Schulterhöhe war das *Ronzotherium romani* der größte Einwohner der Region, in der es keine Raubtiere gab, welche Tiere dieser Größe erbeuteten konnten. Diese Parameter werden in der Figur 20 für das *Ronzotherium romani* von Rickenbach sowie für die fünf heute lebenden Nashorn-Arten zusammengefasst. Dieser Vergleich zeigt, dass keine rezente Nashorn-Art dem *Ronzotherium romani* ähnelt. Durch die Kombination der paläontologischen Analysen und der Isotopendaten kann sowohl auf die Paläoökologie als auch auf das Paläoklima in Rickenbach vor rund 25 Millionen Jahren geschlossen werden.

Für die paläoökologische Rekonstruktion (Dichte der Begrünung, Feuchtigkeit und Temperatur) existiert eine Methode, die darin besteht, auf einem Diagramm die Verteilung des Gewichts der verschiedenen Tierarten, die in einer Lokalität bestimmt wurden, einzutragen (sogenannte «Cenogram method», Legendre 1989). Anhand dieser Methode kann geschlossen werden, dass Rickenbach wahrscheinlich eine bewaldete

Savanne war. Die Landschaft war durch das Vorkommen von Kiefern, Weiden, Erlen, Palmen und Lorbeerbäumen geprägt (Fig. 21). Das Fehlen von Taxodiaceae (Mammutbaum, Sequoia Familie), das Vorkommen von Palmen und Krokodilen sowie die Resultate der Isotopenanalysen erlauben die Interpretation eines warmen subtropischen Klimas (~20° C Jahresmitteltemperatur) unter leicht feuchten Bedingungen (weniger als 1000 mm Niederschlag pro Jahr).

## 7. Dank

Wir danken F. Metternich und K. Fluri (Biotope-Stiftung Huppergrube), C. Pittet (Amt für Umwelt, SO) und R. Glükin (Amt für Raumplanung, SO) für die eingegangene Dokumentation und die Diskussionen, sowie B. Engesser (NHM Basel) und E. Mueller-Merz (NM Solothurn) für den Zugang zu den Sammlungen. Wir sind Herr Tayfun Yilmaz (Section d'archéologie et paléontologie, Porrentruy) sehr dankbar, dass er seine Talente als Künstler in die Dienste der Rekonstruktion der damaligen Landschaft gestellt hat. Wir bedanken uns bei Christina Keller (Section d'archéologie et paléontologie, Porrentruy) für die sprachlichen Korrekturen. Diese Arbeit hat von der Unterstützung des SNF, Projekt 2000-66935 profitiert.



Fig. 21:  
Rekonstruktion der Landschaft in der Umgebung der «Huppergrube» von Rickenbach vor 25 Millionen Jahren.

## 8. Literatur

- Baumberger E. 1927: Die stampischen Bildungen der Nordwestschweiz und ihrer Nachbargebiete mit besonderer Berücksichtigung der Molluskenfaunen. *Eclogae geol. Helv.* 20, 533-577.
- Becker D. 2003: Paléoécologie et paléoclimats de la Molasse du Jura (Oligo-Miocène): apport des Rhinocerotoidea (Mammalia) et des minéraux argileux. Thèse Univ. Fribourg, Geofocus 9, 327 p.
- Brunet M. 1979: Les grands mammifères chefs de file de l'immigration oligocène et le problème de la limite Eocene – Oligocene en Europe. Fondation Singer – Polignac (ed.), Paris, 281 p.
- Cerling T. E., Harris J. M., MacFadden B. J., Leakey M. G., Quade J., Eisenmann V. & Ehleringer J. R. 1997: Global vegetation change through the Miocene/Pliocene boundary. *Nature* 389, 153-158.
- Cerling T. E. & Harris J. M. 1999: Carbon isotope fractionation between diet and bioapatite in ungulate mammals and implications for ecological and paleoecological studies. *Oecologica* 120, 347-363.
- Crochet J.-Y. 1978: Les marsupiaux du Tertiaire d'Europe. Thèse Univ. Montpellier (inéd.).
- Dansgaard W. 1964: Stable isotopes in precipitation. *Tellus* 16, 436-468.
- Deines P. 1980: The isotopic composition of reduced organic carbon. Hand book of environmental isotope geochemistry 1, 329-406.
- Emery E. 2005: Le gisement de Rickenbach (canton de Soleure, Oligocene): étude paléontologique des grands mammifères et état actuel du biogéotope. Diplôme Univ. Fribourg et Neuchâtel (inéd.), 129 p.
- Engesser B. 1975: Revision der europäischen Heterosoricinae (Insectivora, Mammalia). *Eclogae geol. Helv.* 68, 649-671.
- Engesser B. 1982: Le plus grand représentant du genre Eomys (Rodentia, Mammalia) de l'Oligocène de l'Europe: Eomys huerzeleri nov. sp. *Geobios* 15, 261-266.
- Engesser B. 1990a: Die Eomyidae (Rodentia, Mammalia) der Molasse der Schweiz und savoyens. Systematik und biostratigraphie. *Schweiz. paläont. Abh.* 112, 144 p.
- Engesser B. & Mayo A. 1987: A Biozonation of the Lower freshwater Molasse (Oligocene and Agenian) of Switzerland and Savoy on the basis of fossil Mammals. *Münchn. Geowiss. Abh. (A)* 10, 67-84.
- Engesser B. & Mödden C. 1997: A new version of the biozonation of the Lower Freshwater molasse (Oligocene, Agenian) of the Switzerland and Savoy on the basis of fossil mammals. In: Aguilar, J.-P., Legende, S. & Michaux, J. (eds.): Actes du Congrès BiochroM'97. Mémoires et Travaux de l'École Pratique des Hautes Études, Institut de Montpellier 21, 581-590.
- Gannes L. Z., del Rio C. M. & Koch P. L. 1998: Natural abundance variations in stable isotopes and their potential uses in animal physiological ecology. *Comparative Biochemistry and Physiology* 119A, 725-737.
- Grimes S. T., Matthey D. P., Hooker J. J. & Collinson M. E. 2003: Eocene – Oligocene palaeoclimate reconstruction using oxygen isotopes: problems and solutions from the use of multiple palaeoproxies. *Geochimica Cosmochimica Acta* 67, 4033-4047.
- Grimes S. T., Hooker J. J. Collinson M. E., Matthey D. P. 2005: Summer temperatures of late Eocene to early Oligocene freshwaters. *Geology* 33, 189-193.
- Heissig K. 1969: Die Rhinocerotidae (Mammalia) aus der oberoligozänen Spaltenfüllung von Gaimersheim bei Ingolstadt in Bayern und ihre phylogenetische Stellung. *Bayer. Akad. Wissens. Abh. NF* 138, 133 p.
- Helbing H. 1928: Carnivoren des Oberen Stampien. *Schweiz. paläont. Abh.* 47, 83 p.
- Hillson S. 1986: Teeth. Cambridge University Press, Cambridge, 376 p.
- Horn P., Hoelzl S. & Storzer D. 1994: Habitat determination on a fossil stag's mandible from the site of *Homo erectus heidelbergensis* at Mauer by use of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . *Naturwissenschaften* 81, 360-363.
- Hrubesch K. 1957: Paracricetodon dehmi n. sp., ein neuer Nager aus dem Oligozän Mitteleuropas. *N. Jb. Geol. Pal. Abh.* 105, 250-271.
- Katzenberg M. A. & Harrison R. G. 1997: What's in a bone? Recent advances in archaeological bone chemistry. *Journal of Archaeological Research* 5, 265-293.
- Koch P. L. 1998: Isotopic reconstruction of past continental environments. *Annual Review of Earth Sciences* 26, 573-613.
- Koch P. L., Fogel M. L. & Tuross N. 1994: Tracing the Diets of fossil animals using stable isotopes. In: Lajtha K. & Michener R. H. (eds.): *Stable isotopes in Ecology and environmental science*. Blackwell Publications, 63-93.
- Kohn M. J. & Cerling T. E. 2002: Stable isotope compositions of biologicalapatite. In: Kohn M. J., Rakovan J., Hughes J. M. (eds.): *Phosphates: Geochemical, Geobiological and Materials Importance. Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 48, 455-488.
- Longinelli A. 1984: Oxygen isotopes in mammal bone phosphate: a new tool for palaeoclimatological and palaeoenvironmental research? *Geochimica Cosmochimica Acta* 48, 385-390.
- Luz B., Kolodny Y. & Horowitz M. 198 : Fractionation of oxygen isotopes between mammalian bonephosphate and environmental drinking water. *Geochimica Cosmochimica Acta* 48, 1689-1693.
- Luz B. & Kolodny Y. 1985: Oxygen isotope variations in phosphate of biogenicapatites, IV. Mammal teeth and bones. *Earth and Planetary Science Letters* 75, 29-36.
- Martin J. 1905: Die untere Süsswassermolasse in der Umgebung von Aarwangen. *Eclogae geol. Helv.* 9, 78-112.
- Michel P. 1983: Contribution à l'étude des Rhinocérotidés oligocènes: (La Milloque; Thezels; Puy de Vaurs). Thèse 3ème cycle Univ. Poitiers 926 (inéd.), 209 p.

- Mödden C. 1993: Revision der Archaeomyini Schlosser (Rodentia, Mammalia) des europäischen Oberoligozän. Schweiz. Paläont. Abh. 115, 83 p.
- Radinsky L. B. 1966: The Families of the Rhinocerozoidea (Mammalia, Perissocactyla). Journ. Mammal. 47, 631-639.
- Schaub S. 1925: Die hamsterartigen Nageltiere des Tertiärs und ihre lebenden Verwandten. Abh. schweiz. paläont. Ges. 45, 1-110.
- Schaub S. 1933: Neue Funde von Melissiodon. Eclogae geol. Helv. 26 241-247.
- Stehlin H. G. 1914: Obersicht über die Säugetiere der schweizerischen Molasseformation, ihre Fundorte und ihre stratigraphische Verbreitung. Verh. Natf. Ges. Basel 25, 170-193.
- Stehlin H.G. 1922: Säugetierpaläontologische Bemerkungen zur Gliederung der oligozänen Molasse. - Eclogae geol. Helv. 16, 575-581.
- Tütken, T. 2003: Die Bedeutung der Knochenfrühdiagenese für die Erhaltungsfähigkeit in vivo erworbeiner Element- und Isotopenzusammensetzungen in fossilen Knochen. Dissertation, Eberhard-Karls Universität Tübingen (ined.), 343 p.
- Vianet-Liaud M. 1979: Evolution des rongeurs à l'Oligocène en Europe occidentale. Palaeontographica 166, 136-236.
- Viret J. & Zapfe H. 1951: Sur quelques soricidés miocènes. Eclogae geol. Helv. 44, 411-426.