

**Begleitartikel zur gleichnamigen Sonderausstellung des
Paläontologischen Museums München**

Barthelt-Ludwig, D.¹, Heißig, K.¹, Kowalke, Th.², Krings, M.¹,
Mayr, H.¹, Nose, M.¹ & Werner, W.¹ (2004):

Rätsel im Stein – Auf paläontologischer Spurensuche

Sonderdruck aus dem offiziellen Katalog der 41. Münchner Mineralientage
(niedrig auflösende Preprint-Version, ggf. noch mit unkorrigierten Fehlern)

Adresse der Autoren:

¹: Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und Geologie

²: Department für Geo- und Umweltwissenschaften, Sektion Paläontologie, Ludwig-
Maximilians-Universität München

¹⁺²: Richard-Wagner-Str. 10, 80333 München

www.palaeo.de/muenchen



Doris Barthelt-Ludwig
Kurt Heißig
Thorsten Kowalke
Michael Krings
Helmut Mayr
Martin Nose
Winfried Werner

Rätsel im Stein ...

Auf paläontologischer Spurensuche

„Hoppla - ein Stein! Aber kein gewöhnlicher Stein, denn da ist etwas drin oder drauf oder was ist das überhaupt?“ So ähnliche Gedanken drängen sich auf, wenn man einen Stein zu Gesicht bekommt, der durch seine besondere Form oder markante Farbgegensätze oder regelmäßige Strukturen auffällt. Der kundige Betrachter wird rasch erkennen, dass er ein Sedimentgestein in Händen hält und es kommt ihm in den Sinn, es könne sich um eine Versteinerung - ein Fossil - handeln. Aber ist es wirklich der versteinerte Rest eines Lebewesens oder zumindest ein Indiz, dass da einmal Leben war? Vielleicht ist es auch nur etwas anorganisch Entstandenes - eine Laune der Natur?

Links. Dinosaurierfährte, *Eubrontes giganteus* E. HITCHCOCK, Länge eines Fußabdrucks 35 cm, Obere Trias (199 Millionen Jahre), Tal des Connecticut River, Massachusetts, USA. Diese großen dreizehigen Fährten wurden bereits im 19. Jahrhundert entdeckt und beschrieben. Als Verursacher der Fährten gattung wird ein großer Raubsaurier vermutet. Foto G. Janßen.

Manchmal wird schon tatsächlich-kriminalistischer Spürsinn benötigt, um dererlei Rätsel zu lösen. Nicht selten kommt es erst zu etlichen Irrtümern und Fehlinterpretationen, bevor solch ein eigentümlicher Stein sein Geheimnis preisgibt.

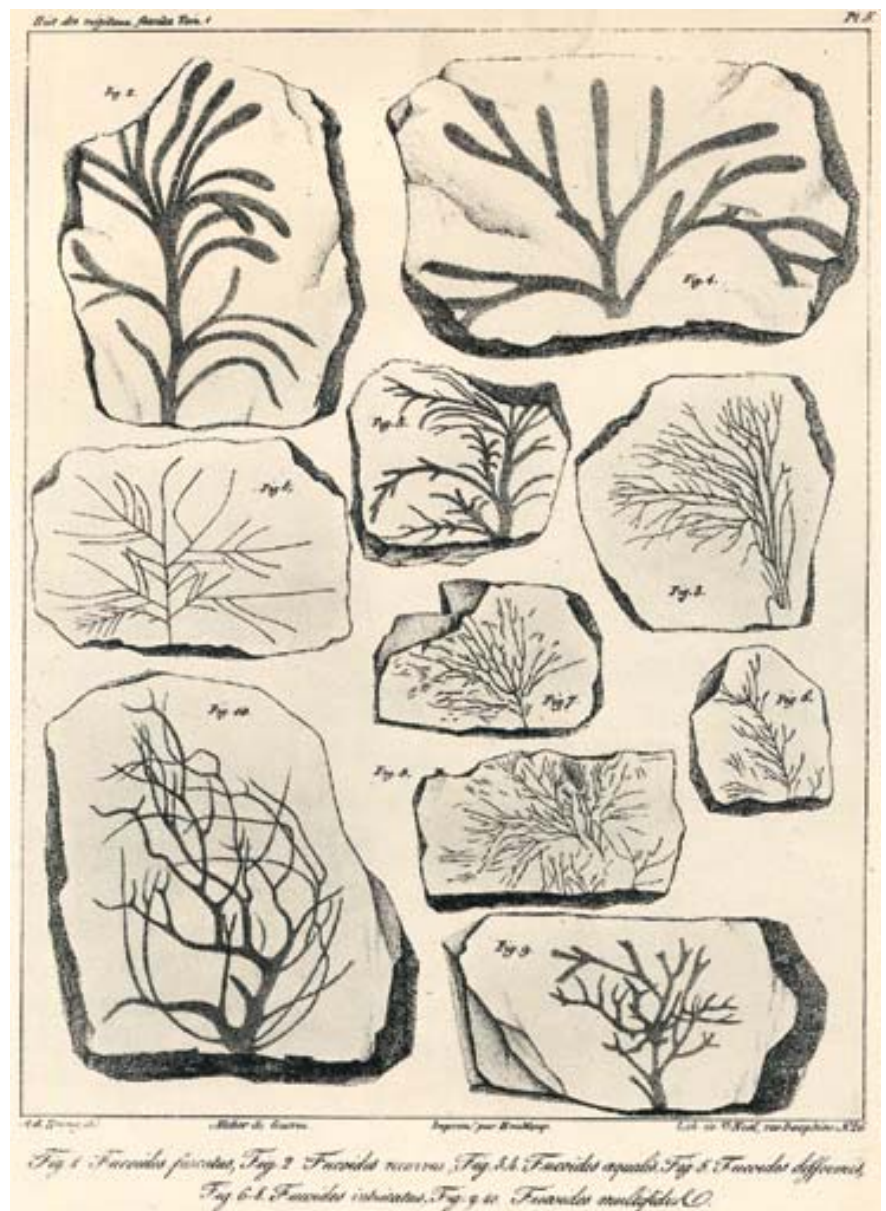
Ganz schwierig wird es bei auffälligen Strukturen in präkambrischen Sedimentgesteinen, die aus einer Zeit stammen (vor rund 2,5 Milliarden Jahren), in der alles Leben auf dieser Erde ohnehin erst in seinen Anfängen steckte. Eine Entscheidung, ob es sich bei Funden in solchen Gesteinen überhaupt schon um Organismenreste handelt, ist besonders problematisch.

Ist man in seiner Analyse aber immerhin schon soweit fortgeschritten, dass man mit Bestimmtheit sagen kann, der Stein birgt tatsächlich den versteinerten Rest von früherem Leben, muß geklärt werden, ob ein Körperfossil, ein Spurenfossil oder nur ein Markenfossil vorliegt. Unter Körperfossilien versteht man beispielsweise Skelett- oder Schalenreste, also körpereigene Teile eines Lebewesens. Spurenfossilien dokumentieren dagegen nicht das Lebewesen selbst, sondern belegen lediglich deren Aktivitäten; sie repräsentieren sozusagen versteinerte Tätigkeiten. Völlig anders verhält es sich bei Markenfossilien, da sie nicht auf biologische Ursachen zurückzuführen sind. Sie werden lediglich durch physikalisch auf das Substrat wirkende Kräfte produziert. Zwar können auch tote Lebewesen entsprechende Marken produzieren, wie beispielsweise Schleif- oder Rollmarken, doch zählen auch sie zu den anorganisch entstandenen Strukturen.

Besonderes Augenmerk soll nun der Spurenfossilkunde, auch Ichnologie genannt, gewidmet werden. Sie stellt jenen Teilbereich der Paläontologie dar, der sich mit den Auswirkungen biologischer Aktivität auf das abgelagerte Sediment (wie Sand, Schlamm oder Kalk) beschäftigt.

Wer war der Täter - kriminalistischer Spürsinn ist gefragt

Wie Täter in Kriminalfällen hinterlassen lebende Organismen auch bei ihren ganz alltäglichen Aktivitäten sichtbare Spuren -



Originaltafel (17 x 23 cm) aus A. BRONGNIART (1823) mit verschiedenen Arten seiner erstmals aufgestellten vermeintlichen „Alge“ (Fucoïdes).

ob beim Wohnen, Fressen oder Ausscheiden, beim sich Ausruhen oder Fortbewegen! Dann allerdings steht der Paläontologe vor dem Problem zwar die Hinterlassenschaften eines Lebewesens vor sich zu sehen, aber noch lange nicht zu wissen, was diese Seltsamkeiten darstellen oder wer der Verursacher war.

Gerade in den alten wissenschaftlichen Werken aus den Anfängen der Paläontologie finden sich die merkwürdigsten Be-

schreibungen und Deutungen von steinernen Objekten. Mitunter entlockt uns dies aus heutiger Sicht ein amüsiertes Lächeln ob der vermeintlichen Unwissenheit früherer Forschergenerationen.

Ein klassisches Beispiel für solche Fehldeutungen lieferte im Jahre 1823 der französische Paläobotaniker A. BRONGNIART: Er interpretierte verzweigte, algenähnliche Versteinerungen als Meeresalge Fucoïdes. Erst sehr viel später ergaben genauere Un-

tersuchungen, dass es sich um Spurenfossilien, genauer gesagt um Grabgangssysteme von marinen Würmern oder Gliedertieren handelte.

Ein anderer Fall von falscher Zuordnung eines Spurenfossils stellt die Gattung *Kouphichnium* dar. Diese auf Solnhofener Platten des Oberjura zunächst als Kriechspur eines Flugsauriers gedeutete Fährte wurde erst durch die Hartnäckigkeit und Neugier eines Steinbruchbesitzers richtig zugeord-

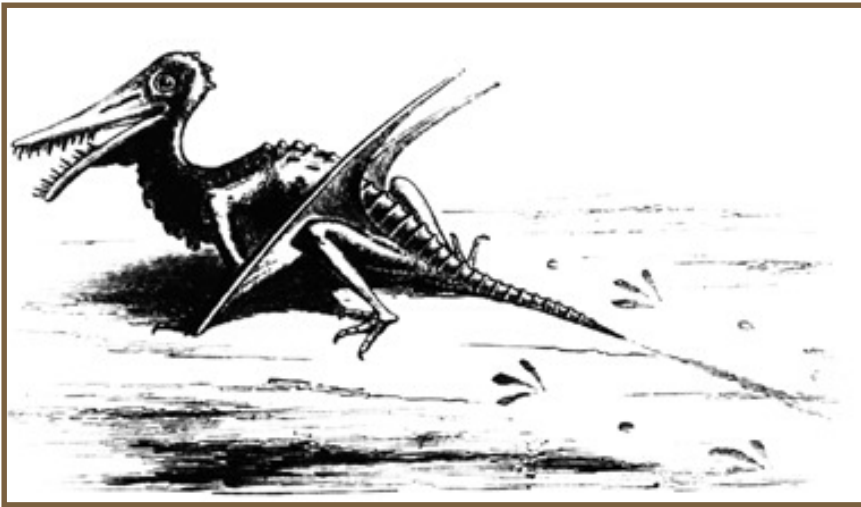
nenresten ähneln, haben aber keinen „lebendigen“ Ursprung, sondern sind - obgleich natürlich - anorganisch entstanden. Diese Erscheinungen werden „Pseudofossilien“ genannt. Ein bekanntes Beispiel hierfür sind die bäumchenförmigen Gebilde auf den Schichtflächen der Solnhofener Plattenkalke, die im Jahre 1740 von dem Gelehrten Johann Georg LIEBKNECHT noch als versteinerte Moose gedeutet wurden. Tatsächlich aber handelt es sich um Rückstände aus

den sich verstreut über die Museen Mitteleuropas über 320 dieser Lügensteine, wovon 200 Exemplare in dem berühmt-berüchtigten Werk „Lithographiae Wirceburgensis“ abgebildet wurden.

Spurenfossilien - Lebenszeichen

Nun aber zurück zu den Spurenfossilien und zu deren systematischer Einteilung: Nach den Grundverhaltensmustern von Tieren, die deren lebensnotwendige Bedürfnisse widerspiegeln, unterscheidet man als häufigste der vorkommenden Formen Ruhe-, Kriech- und Schreitspuren, Weidespuren sowie Freß- und Wohnbauten.

Bemerkenswert ist, dass einerseits gleichartige Spuren von ganz verschiedenen Tieren verursacht werden können, andererseits kann ein- und dasselbe Tier auch ein ganzes Spektrum völlig unterschiedlicher Spuren hinterlassen, wodurch die Zuordnung äußerst erschwert wird. Die Ermittlung des Erzeugers - häufig durch den Vergleich mit den Spuren heute lebender Tiere - erfordert umfassende biologische Kenntnisse und nicht selten das detektivische Gespür des Paläontologen.



Kouphichnium, erste Rekonstruktion (1866) des vermeintlichen Verursachers einer Fährte: ein kriechender Flugsaurier der Gattung *Rhamphorhynchus*.

net: Er verfolgte durch gezielten Gesteinsabbau diese Fährte, bis sich am Ende der Spur der wahre „Täter“ zeigte, nämlich der Pfeilschwanzkreb *Mesolimulus walchi*. Doch leider ist es die große Ausnahme, wenn sich Spur und Verursacher an ein- und demselben Ort ausmachen lassen.

Mehr Schein als Sein - Pseudofossilien und Fälschungen

Nicht nur die Identifizierung einer Spur und ihres Verursachers kann sehr schwierig sein, sondern schon die Entscheidung, ob eine Struktur überhaupt von einem Lebewesen herrührt oder gar eine ganz andere Entstehungsweise hat.

Sonderbare Sedimentstrukturen, ungewöhnliche Gerölle, auffälliger Mineralwuchs oder seltsame Verwitterungsformen können zwar in ihrem Aussehen Organis-

eisen- oder manganhaltigen Lösungen, die entlang feiner Haarrisse in Schicht-, Schieferungs- oder Spaltflächen eingedrungen waren und dort als Mineralneubildungen zurückblieben.

Nicht natürlichen Ursprungs ist dagegen die Menge an mehr oder weniger geschickt ausgeführten Fälschungen, die es zu erkennen gilt. Dabei sind dererlei Dreistigkeiten nicht immer so einfach zu entlarven wie im Fall der berühmten Beringerschen Lügensteine aus dem Jahr 1725. Seinerzeit beabsichtigten missgünstige Kollegen, Adam BERINGER, Mitglied der medizinischen Fakultät in Würzburg, mittels dieser gefälschten Fossilien wissenschaftlich zu blamieren. Insgesamt wurden zu diesem Zweck über 2000 dieser Fälschungen angefertigt. Sie waren später, nach der Aufklärung des Schwindels, begehrte Sammelobjekte. Noch heute fin-

Spurenfossilien - Ruhen, Kriechen, Schreiten

Ruhe- oder Liegespuren entstehen, wenn Tiere auf feuchtem Sediment verweilen und dabei Eindrücke auf dem weichen Untergrund hinterlassen. Kriech- und Schreitspuren werden hingegen durch gerichtete Fortbewegung ohne weitere offensichtliche Aktivität erzeugt. Das Tier wanderte lediglich von einem Ort zum anderen. Derartige Spuren sind typischerweise auf den Schichtflächen erhalten. Häufig kennt man nur die Spuren und der Verursacher ist schwer oder gar nicht zu ermitteln. Im Anklang an die kriminalistische Spurensuche stellte bereits Sir Conan DOYLE 1891 fest: „Kein Bereich der Kriminalistik ist so wichtig und wird so häufig vernachlässigt, wie die Kunst, Fußspuren richtig zu verfolgen.“

Wie aber können nun dererlei Spuren überhaupt konserviert werden - denkt man beispielsweise an die Vergänglichkeit unserer eigenen Fußspuren am Strand, wie rasch eine Welle oder Flut sie verschwinden lässt?



„Lügensteine“, Tafel Nr. X aus dem berühmten Buch J. BERINGERS „Lithographiae Wirceburgensis“ über die sogenannten Lügensteine. Foto: G. Janßen.

Der Paläontologe erklärt den Versteinervorgang beispielsweise von Fußabdrücken allgemein so: In einem feuchten Boden werden Fährten hinterlassen, die anschließend in der Sonne austrocknen und

dadurch in einem gewissen Maß verhärten und widerstandsfähiger werden; die Fußspuren sind somit unanfälliger gegen die Erosionskraft der nächsten Überflutung. Mit neu antransportiertem Sediment werden



Spurenfossil *Asteriacites* (12 x 8 cm), Ruhespur eines Seesterns, Schwarzer Jura, Angulaten-Sandstein (200 Millionen Jahre), Frankenhofen/Hesselberg. Foto: M. Liebert.



Fußabdruck eines Reptils, *Pachypes dolomiticus* LEONARDI et al., Oberes Perm (255 Millionen Jahre), Bletterbachschlucht bei Bozen, Italien. Als Verursacher dieser Spur gelten Pareiasauriden, eine Gruppe von pflanzenfressenden Reptilien, die eine Körperlänge bis zu 3 m erreichen konnten. Diese Tiere sind erstmals im Mittelperm in Afrika nachgewiesen und waren im Oberen Perm in Europa und Asien verbreitet. Foto: F. Höck.

sie sogleich zugedeckt und vor weiterer Zerstörung geschützt, was sie letztendlich fossil überlieferungsfähig macht. Auch vulkanische Aschen sind bestens als konservierende Sedimentbedeckung geeignet.



Rechts. Die einfach gebauten, senkrechten Röhren des Spurenfossils *Skolithos* (Höhe 20 cm) werden zu den Wohnbauten gestellt. Kambrischer Sandstein (540 Millionen Jahre), Kalmar Sund, Schweden.
Foto: M. Liebert.



Unten. Mehrere Arten des Spurenfossils *Chondrites*, (22 x 21 cm), welches zu den Fressbauten gezählt wird. Oberkreide (80 Millionen Jahre), Steinbach bei Bad Tölz.
Foto: M. Liebert.

Fährte eines Pfeilschwanzkrebsses, *Kouphichnium lithographicum* OPPEL, Oberjura (150 Millionen Jahre), Eichstätt. Diese dreispurige Fährte gattung galt lange Zeit als Kriechspur des Flugsauriers *Rhamphorhynchus*, die Mittelspur sollte der Abdruck des Schwanzes sein, die beiden Seitenspur die der Füße. Das Rätsel löste sich, als man am Ende einer solchen Spur den wirklichen Verursacher fand, den Pfeilschwanzkrebs *Mesolimulus walchi* (DEMAREST). Foto: G. Janßen.



Spurenfossilien - Weiden, Fressen, Wohnen

Verlaufen Spuren in mäandrierenden oder spiraligen Bahnen, ist es offensichtlich, dass das Tier einen Teil der Boden- bzw. Sedimentoberfläche systematisch nach Nahrung (z.B. Algenfilmen) abgesucht hat - man spricht von Weidespuren. Fressbauten werden hingegen meist von Tieren angelegt, die im Sediment leben und auch Sediment fressen. Sie graben Gänge, um systematisch das umgebende Sediment zur Nahrungsbeschaffung abzubauen.

Reine Wohnbauten repräsentieren den mehr oder weniger ständigen Aufenthaltsort im Boden lebender Tiere. Häufig handelt es sich um einfache vertikale Röhren, die von Tieren bewohnt werden, welche ihre Nahrung aus dem näheren Umfeld beziehen. Der „Täter“ kann ein filtrierende Muschel, ein im Hinterhalt lauernder Räuber

oder auch ein die Umgebung abweidender Sedimentfresser sein.

Berühmtheit erlangten die in der Erdschichte weit verbreiteten Spurenfossilien Ophiomorpha und Thalassinoides, die als Wohn- bzw. Freißbauten gedeutet werden. Sie zeigen in ihrer Konstruktionsweise deutliche Übereinstimmungen mit den Bauten von heute lebenden Krebsen wie zum Beispiel der Geisterkrabbe Callinectes.

Spurenfossilien - Fallenstellen und Züchten

Spuren mit regelmäßig gemusterter, komplexer Struktur werden, da sie oftmals an Ornamente oder Schriftzeichen erinnern, als sogenannte „Graphoglyptiden“ zusammengefasst. Früher nahm man an, dass es sich hierbei um Weidespuren handelt. Heute geht man davon aus, dass der zum Teil sehr komplizierte Aufbau der meist feinen,

verzweigten Gangkonstruktionen eher auf spezielle Fallensysteme oder Zuchtanlagen hinweist. Verbindungsgänge zur Sedimentoberfläche deuten zudem in einigen Fällen auf ein intensiv durchflutetes System hin, in welchem beispielsweise Mikroben als Nahrungsquelle gezüchtet und kultiviert wurden („Gärtnerei“). Die Gangsysteme wurden offenbar vom Erzeuger immer wieder durchwandert und nach Nahrungspartikeln abgesucht. Dies erscheint nur dann sinnvoll, wenn sich Nährstoffe in den Gängen neu ansammeln konnten.

Sandsteinplatte (20 x 12 cm) mit verschiedenen Weide- und Züchtungsspuren, Greifensteiner Sandstein, Alttertiär (50 Millionen Jahre), Gablitz im Wienerwald. Foto: M. Liebert.



„Graphoglyptiden“, die vermutlich von Faltenstellern erzeugt wurden, kann man sich nach dem Vorbild des in der Nordsee vorkommenden Wurmes *Paraonis* vorstellen: Er lebt in feinen, verschleimten, spiral- und mäanderförmigen Gangsystemen, die horizontal in Etagen übereinander liegen und vertikal miteinander verbunden sind. *Paraonis* ernährt sich von Kieselalgen (Diatomeen), die sich im Wechsel der Gezeiten und der damit verbundenen zyklischen Umlagerung des Wattersedimentes bewegen und sich in der Gangkonstruktion des Wurmes verfangen. Auf diese Weise wird sozusagen die „Speisekammer“ des Wurmes immer wieder aufgefüllt.

Spurenfossilien - Flüchten und „Gleichgewicht“ halten

Da der Boden eines Gewässers in besonderem Maße ständigen Veränderungen unterworfen ist, indem abgelagerte Sedimente wie Sand oder Schlamm mehrfach abgetragen und wieder abgelagert werden können, sind die im Boden lebenden Tiere gezwungen, sich ständig wieder neu zu orientieren bzw. ihren Freiß- oder Wohngang entsprechend anzupassen.

Spurenfossil *Paleodictyon* (22 x 26 cm). Das typische, polygonale Gangsystem wird als Zuchtanlage für Mikroben gedeutet. Oberkreide (70 Millionen Jahre), Lattengebirge. Foto: G. Janßen.



Bestes Beispiel für derart dynamische Vorgänge ist das Watt, mit seiner ausgeprägten Beeinflussung durch Wellen und Gezeiten.

Im Falle einer sehr raschen Ablagerung von Sediment, sind es nur wenige Tiergruppen, die solchen Lebensbedingungen zu trotzen vermögen. Sie sind in der Lage, fluchtartig wieder an die Sedimentoberfläche gelangen zu können. Hierzu zählen unter anderem diverse Muschelarten.

Stetige Ablagerung von Sediment provoziert dagegen bei Tieren, die darauf angewiesen sind, in einer bestimmten Tiefe im Sediment eingegraben zu leben, eine gleichmäßige Aufwärtsbewegung, die man als „Gleichgewichtsspur“ bezeichnet.

Tintenfischgehäuse (Ammonit) von rezenten Bohrmuscheln angebohrt. Mittlerer Jura, Dogger (160 Millionen Jahre), Nordfrankreich. Foto: G. Janßen.



Bohrspuren

Eine Besonderheit unter den Freiß- und Wohnbauten sind die sogenannten Bohrspuren. Bohrorganismen treten innerhalb sehr verschiedener Gruppen im Tierreich auf. Das Bohren in mehr oder weniger festen Substraten dient verschiedenen Zwecken und erfolgt nach unterschiedlichen Strategien. Fossil bleiben häufig röhren- oder netzförmige Strukturen erhalten, seltener deren Verursacher.

Zu den Bohrorganismen zählen unter anderem die Clioniden. Es sind dies Bohrschwämme, die in Kalkstein oder Schalen von Weichtieren netzförmige Gänge anlegen, indem sie kleine Kalkpartikel vom Substrat absprengen. Bohrschwämme leben zunächst in den Bohrgängen, sind jedoch in der Lage, später auch die Oberfläche zu besiedeln.

Bei Muscheln ist das Bohren eine Abwandlung des Grabens. Einige Muscheln bohren

entsprechend der geringen Härte ihrer Schale im verfestigten Boden, gehen aber auch in Holz, Torf und Kalkstein. Die Bohrmuschel *Zirfaea* beispielsweise kratzt mit Hilfe ihrer Randzähne durch Zusammenziehen des Fußmuskels und Drehen der Schale das Substrat ab. Durch das mechanische Bohren entstehen meist runde Bohrlöcher. Der Bohrgang dient als schützende Wohnröhre und kann mit einer Kalkschicht ausgekleidet werden.

Lange, bewegliche Schläuche (Siphonen) dienen zum Ein- und Ausstrudeln des Atemwassers und der Nahrung und können mittels Kalkplättchen die Öffnung des Bohrloches abdichten. Spezialisierte „Holzbohrer“ (z.B. der „Schiffsbohrwurm“ *Teredo*) nutzen auch das abgeraspelte Holz als Nahrung. Mit einer anderen Strategie bohrt die Meerdattel (*Lithophaga*). Sie ist mit Säure produzierenden Drüsen am Mantelrand ausgestattet. Damit werden Röhren in festes

Gestein geätzt. Anders als bei den mechanisch bohrenden Formen hängt der Querschnitt der Bohrlöcher von der Schalenform ab, ist also meistens oval.

Raubschnecken bohren mittels ihrer Raspelzunge (*Radula*) ein kreisrundes Loch in die Schale der Beute, wobei deren Schale zusätzlich durch die in speziellen Bohrdrüsen produzierte Säure angeätzt wird. Nabelschnecken (*Naticiden*) z.B. sind räuberische Schnecken, die vorwiegend im Sand verborgenen Muscheln und Schnecken nachstellen. Stachelschnecken (*Muriciden*) jagen an der Sedimentoberfläche. Die Beutetiere werden mit dem großen Vorderfuß der Schnecke umfasst. Sobald die Schale durchbohrt ist, beginnt die Schnecke, den Weichkörper des Beutetieres auszufressen.

Fraßspuren

Eine weitere interessante Form von Spurenfossilien sind die Fraßspuren an Knochen

Unten. Mittelstück eines linken Oberschenkelknochens des Wollnashorns *Coelodonta antiquitatis* (Länge 29 cm) mit Bissspuren der Höhlenhyaene *Crocota spelaea*. Beide Gelenkenden sind abgefressen und ausgehöhlt. Der seitliche Fortsatz zeigt tiefe Bissmarken stumpfer Zähne. Jungpleistozän (20.000 Jahre), Weinberghöhlen bei Mauern. Foto: M. Liebert.



Fraßreste eines Krokodils, bestehend aus Hand- und Fußknochen von wenigstens drei Individuen von Paarhufern verschiedener Größe. An dem großen Fingerglied des Ur-Hirsches *Palaeomeryx* sind zwei Greifmarken erkennbar, die dem Abstand der Krokodilzähne entsprechen. Untermiozän (17,5 Millionen Jahre), Langenau. (Bildausschnitt 10 x 7 cm). Foto: M. Liebert.



von Beutetieren. Hierbei lassen sich Greif- und Knackspuren durch Krokodile, Nage- und Brechspuren durch große Säugetiere und Nagespuren unterscheiden.

Krokodile sind eine stammesgeschichtlich sehr alte Tiergruppe, die sich seit der Trias entwickelt hat. Während der Jura- und Kreidezeit lassen sich ihre Bisspuren nicht leicht von denen fleischfressender Dinosaurier unterscheiden. Im Tertiär sind sie dagegen die einzigen Tiere, die in großer Zahl Greifspuren hinterlassen haben. Dies liegt an ihrer Fresstechnik.

Krokodile verschlingen einzelne Extremitätenabschnitte als ganze. Diese werden durch Herumschleudern voneinander getrennt, was enorme Bisskräfte erfordert, um das Objekt sicher festzuhalten. Kleinere, wenig nahrhafte Teile werden entweder durch mehrfache Bisse in die komplexen Hand- oder Fußwurzeln abgetrennt, wobei die Zähne als Keile zwischen die Knochen gepresst werden, oder die Mittelfußknochen werden direkt durchgebissen. Beides hinterlässt charakteristische Bisspuren.

Unter den Säugetieren waren auf Grund ihres Gebisses Hyänen - fossil nachgewiesen seit dem Mittelmiozän - hervorragend geeignet, große Knochen zu zerbrechen, um Knochenmark als zusätzliche Nahrungsquelle zu erschließen. Bei mittelgroßen Beutetieren waren sie in der Lage, deren Extremitätenknochen direkt zu durchbeißen, wobei sich die entstandenen Knackspuren nur durch den Abdruck stumpfer Zähne von denen der Krokodile unterscheiden. Bei den großen Dickhäutern sind deren Markknochen hingegen von den Gelenken her aufgenagt, da dort die äußere Knochen-schicht (Compacta) sehr dünn ist und die Hyänen dadurch leichter an das begehrte Knochenmark gelangen konnten. Der Rand des Knochenschaftes ist von zahlreichen, stumpfen Nagespuren der Prämolaren bedeckt, dort, wo versucht wurde, möglichst viel der kompakten Außenschicht wegzubrechen, um noch tiefer in das Innere vorzudringen.

Nagetiere benagen Knochen einerseits, um ihre Schneidezähne zurückzuschleifen, an-

dererseits um an den Eiweiß- und Fettgehalt der Knochen heranzukommen. Sie greifen bevorzugt an den Kanten an, wo ihre Schneidezähne am besten angesetzt werden können. Dabei entstehen von beiden Seiten aufeinanderzulaufende Striemen (Facetten), die an einer zugeschärften Kante zusammentreffen.

Einzelne oder sternförmig zusammenlaufende Kerben auf Knochenoberflächen dagegen verraten uns die Anwesenheit von tropischen Termiten, nachgewiesen aus dem Tertiär von Böhmen und Süddeutschland.

Lebensspuren in Pflanzenfossilien

Im Gegensatz zu den Tieren, deren Anwesenheit und Aktivität sich durch die Erdgeschichte hindurch in fossilisierten Spuren in vielfältiger Weise widerspiegelt, gibt es kaum fossile Zeugnisse pflanzlichen Lebens, die nicht aus Überresten der Pflanze selbst bestehen. Allerdings stellen Pflanzen seit jeher wichtige Lebensräume und Nahrungsgrundlagen für Tiere dar, so dass sich eine Fülle verschiedener Spuren tierischen Le-



Rezentes Knochenfragment mit facettierten Bruchkanten. Der Knochen wurde also benagt, nachdem er schon zerbrochen war. (Länge 10 cm). Foto: M. Liebert.

Palmfrucht, Eozän (50 Millionen Jahre), Tuilerie de Gau, Pyrenäen. Die ins Meerwasser verdriftete Frucht wurde von der Bohrmuschel *Teredo* befallen. Die wurstartigen Gebilde sind die Ausfüllungen der Bohrgänge. Die eigentliche Schale der Frucht ist nicht erhalten. Foto: G. Janßen.



Oben. Randlich angefressenes Fiederblatt von *Taeniopteris angustifolia*, Cycadee (Bildausschnitt 8 x 4 cm) aus dem süddeutschen Keuper (225 Millionen Jahre). Foto: K.-P. Kelber.

bens auf oder in fossilen Pflanzenresten erhalten haben.

Den weitaus größten Anteil solcher Spuren auf oder in Pflanzenfossilien machen Fraßspuren aus. Man kennt randlich angefressene Blätter, die von Insekten mit beißend-kauenden Mundwerkzeugen (z.B. Käfern) verursacht worden sind. Auch finden sich Einstichlöcher, hervorgerufen durch Tiere mit stechend-saugenden Mundwerkzeugen; sogenannte „Minierspuren“ entstehen durch Arthropoden (Gliederfüßer) oder deren Larven, die sich durch das Innere von Blättern, Zweigen oder Früchten hindurchfressen und charakteristische Gänge hinterlassen.

Neben den Fressspuren machen Wohnbauten eine zweite große Gruppe tierischer Spuren in Pflanzenfossilien aus. In tertiären Kieselhölzern findet man z.B. gelegentlich die Bauten von Borkenkäfern. Seltene Spuren tierischen Lebens auf Pflanzenfossilien sind Gallen (Wucherungen pflanzlicher Gewebe), die sich entweder als Reaktion der Pflanze auf den Angriff eines Fressfeindes bilden oder deren Bildung von Tieren gezielt ausgelöst wird, um eine geschützte Brutstätte für die im Zentrum der Galle abgelegten Eier zu schaffen.

Es liefern aber nicht nur die Pflanzenfossilien Hinweise auf ihre Wechselbeziehungen mit Tieren, sondern auch die Tiere selbst hinterlassen solche Hinweise. Ab dem obersten Silur sind Koprolithen (versteinerte Kotballen) pflanzenfressender Tiere bekannt, die nahezu vollständig aus Sporen bestehen.

Koprolithen

Nicht alles, was Tiere an Nahrung zu sich nehmen, wird auch vom Körper verwertet. Es fallen unverdauliche Reste wie Haare, Knochen oder Chitinstücke von Insekten an, die meist als Kot, bei Vögeln auch als Gewölle ausgeschieden werden. Derartige „Hinter“-lassenschaften finden normalerweise ihre Zweitverwerter (z.B. Bakterien) und sind nur unter besonderen Umständen fossil überlieferungsfähig. Erstmals erkannte W. BUCKLAND an zunächst als Tannenzapfen interpretierten Fossilstrukturen aus dem Lias von England deren wahre Natur

und prägte hierfür 1829 den Begriff „coprolite“ (griech.: kopros=Kot, lithos=Stein).

Koprolithen - seit dem Ordovizium nachgewiesen - sind vielgestaltig, von kugelig-rund bis wurstförmig oder konisch, gelegentlich spiralig verdreht. Bei heutigen Tieren kann Form und Größe durchaus Rückschlüsse auf die Produzenten der Exkremente zulassen. Der Kot von Raubtieren ist häufig zylinder- oder wurstförmig und an einem Ende zu einer Spitze ausgezogen, jener von Pflanzenfressern eher klein und rund. Allerdings variieren Morphologie und Größe je nach saisonalem Speiseplan und erschweren die Zuordnung fossiler Kotformen.

Hinweise auf den Erzeuger geben Inhaltsstoffe: So enthalten die in den Solnhofener Plattenkalken häufigen Lumbricaria-Koprolithen Skelettelemente der Schwebcrinoide Saccocoma und machen Tintenfisch-Verwandte (z.B. Ammoniten) als Verursacher wahrscheinlich. Fischreste in Koprolithen lassen hingegen auf größere Raubfische oder Reptilien schließen.

Generell ist das Überlieferungspotential von Raubtierexkrementen wegen des Phos-

phatanteils in den Knochen der Beutetiere wesentlich höher als bei Pflanzenfressern. Phosphate erleichtern bei der Sedimentverfestigung die Mineralisierung und Versteinigung. 90 % der Koprolithen bestehen überwiegend aus Calciumphosphaten und nur zu geringen Anteilen aus Karbonat, Eisenoxiden, Kieselsäure oder Glaukonit. Neben ihrer Bedeutung für die ökologischen Zusammenhänge sind Koprolithen bestimmter Krebse hilfreich bei der zeitlichen Einstufung von Meeressedimenten. Krebs-Koprolithen weisen durch den speziellen, mit Kanälen versehenen Internaufbau des Krebsdarmes ein spezifisches Muster auf, das sich im Laufe der Erdgeschichte änderte.

Unten. Hai-Koprolith, Lias, England (Länge ca. 10 cm), aus BUCKLAND (1841). Unten rechts. Lumbricaria intestinum aus den Solnhofener Plattenkalken, Weißjura (150 Millionen Jahre), Höhe des Stücks 15 cm, Erstbeschreibung durch MÜNSTER in GOLDFUSS (1831).

