



Abb. 1 Eine männliche Spinne aus der Familie der Baldachin- und Zwergspinnen (*Linyphiidae*). Ein Vertreter der Räuber im Ökosystem des Bernsteinwaldes in Äthiopien. (Mit freundlicher Genehmigung von PNAS und Erin SAUPE.)

Bernsteinfunde in Afrika und Indien: Einschlüsse geben Einblick in vergangene Lebensräume

Bernstein und darin eingeschlossene fossile Überreste von Lebewesen eröffnen Einblicke in verschiedene Ökosysteme der Erdgeschichte. Spektakuläre Funde in Indien und Äthiopien zeigen, dass manche Organismen früher auftreten und weiter verteilt sind als bisher gedacht. Von den Untersuchungen des indischen Bernsteins erhofft man sich auch Hinweise zur erdgeschichtlichen Reise des Indischen Subkontinents, bevor dieser mit der Asiatischen Landmasse kollidierte.

Harald Binder

In fossilem Harz sind einzigartige Fossilien erhalten, die Einblicke in Lebensräume aus der Vergangenheit ermöglichen. Bernsteinfunde sind von verschiedensten geographischen Lokalisationen und aus verschiedensten geologischen Systemen beschrieben. Physikalisch-chemische Analysemethoden ermöglichen sehr detaillierte molekulare Untersuchungen, aus denen Hinweise auf die botanische Herkunft der Harze gewonnen werden können (LANGENHEIM 2003, BINDER 2010).

Aus dem klassischen Fundgebiet des Bernsteins, dem Baltikum, sind im Laufe der Forschungsgeschichte viele im fossilen Harz eingeschlossene Überreste von Pflanzen und Tieren beschrieben worden (WEITSCHAT & WICHARD 1989). Die Zusammenschau dieser Einschlüsse liefert aufschlussreiche Einblicke in den Lebensraum des vermuteten Bernsteinwaldes. Damit können Ökosysteme aus der Erdgeschichte rekonstruiert werden, die in Verbindung mit wei-

teren, z.B. geologischen Erkenntnissen vergangene biogeographische Situationen erkennbar werden lassen.

Jüngst wurden zwei Studien veröffentlicht, in denen umfangreiches Material an Inkluden (Einschlüsse in fossilem Harz) aus Indien (Eozän; RUST et al. 2010) und aus Äthiopien (Kreide; SCHMIDT et al. 2010) vorgestellt wird, das unsere Vorstellungen über Vorgänge in der Vergangenheit erweitert.

Bernstein aus Indien

Indien, so lehren die Geowissenschaften auf der Basis der Plattentektonik, hat sich nach sedimentologischen und stratigraphischen Erkenntnissen in der Epoche des Mittleren Jura (vor ca. 160 Millionen Jahren) gemeinsam mit Madagaskar von Afrika abgespalten, in der Mittleren Kreide (vor ca. 90 Millionen Jahren) trennten sich dann die beiden Platten voneinander und im frühen Känozoikum (vor ca. 50 Millionen Jahren) kollidierte Indien dann mit der Asiatischen Platte, wobei der Himalaya herausgehoben wurde.

Die gegenwärtige Lebenswelt von Indien spiegelt diesen Ablauf wieder. Dort vorkommende Wirbeltiere und Pflanzen trifft man ebenfalls in Afrika, auf Madagaskar und den Seychellen an (letztere stellt man sich als kreidezeitliche Bruchstücke von der damaligen Landmasse aus Indien und Madagaskar vor). Weitere Organismen haben dann in jüngerer Erdgeschichte Indien von Südostasien aus besiedelt bzw. umgekehrt Südostasien vom indischen Subkontinent her. Für beide Fälle liefert die Fachliteratur Beispiele (s. Zitate in der Originalarbeit).

RUST et al. wollten nun untersuchen, ob sich mit Hilfe der Bernsteineinschlüsse Hinweise für die lange Isolation von Indien finden lassen (nach den oben angeführten Vorstellungen von ca. 100 Millionen Jahren, z.T. gemeinsam mit Madagaskar und den Seychellen). Sie versuchten die Frage zu beantworten, ob es endemische Arten gibt, also solche, die typisch für Indien sind bzw. waren und die nur dort anzutreffen sind. Ein bekanntes Beispiel für Endemismus sind die Beuteltiere aus Australien, die nur dort vorkommen, also endemisch sind; Australien ist seit dem Oligozän (seit ca. 30 Millionen Jahren) geographisch als Insel isoliert.

Für ihre Untersuchungen haben RUST und Mitarbeiter in Braunkohleminen bei Vastan und Tadkeshwar in Westindien ca. 150 kg Bernstein gesammelt und untersucht. Die Braunkohlelagerstätten liegen im so genannten Cambay Schiefer (Cambay Shale). Die entsprechenden Schichten wurden anhand von Haifischzähnen, Foraminiferen¹ und Dinoflagellaten² dem Ypresium (einer Stufe des Eozäns) zugeordnet (vor 50–52 Millionen Jahren). Das fossile Harz wurde in

küstennah abgelagerten Sedimenten konzentriert. Die Größe der Stücke reicht von Sandkorngröße bis zu einigen Zentimetern, vereinzelt bis zu 20 cm.

Die Harze wurden bereits in früheren Arbeiten chemisch charakterisiert: Klasse II bzw. vom



Abb. 2 Ameise in indischem Bernstein. (Mit freundlicher Genehmigung von Jes Rust.)

Dammar-Typ, d.h. als typische Molekülstruktur findet man Cadinen; chemische Verbindungen mit dieser Struktur werden typischerweise in Harzen von Dipterocarpaceae (Flügelfruchtgewächse), einer Familie aus der Ordnung der Malvenartigen (*Malvales*) gebildet.³ Funde von fossilem Holz in der Mine bei Vatan unterstützen diese Zuordnung der Harz liefernden Pflanzen.

700 Gliederfüßer aus 14 Ordnungen und 55 Familien wurden identifiziert.

Das fossile Harz von Cambay ist chemisch nur wenig vernetzt, d.h. die Oberfläche ist oft weich und klebrig. Es ist in Toluol und Chloroform löslich. Einige eingeschlossene Fossilien (Inkluden) wurden durch Auflösung des umgebenden Harzes freigelegt und elektronenmikroskopisch untersucht.

RUST et al. schreiben, dass sie bisher mehr als 700 Arthropoden (Gliederfüßer) aus 14 Ordnungen und 55 Familien identifiziert haben. Darüber hinaus fanden sie auch Teile von Pflanzen und Pilzen.

Überraschende Beziehungen

Einige der Insektengruppen weisen (stammesgeschichtliche) Ähnlichkeiten mit solchen aus dem Eozän Nordeuropas (Baltischer Bernstein)



Abb. 3 Ein Vertreter der Fransenflügler (*Thysanoptera, Merothripidae*): Diese kleinen Insekten ernähren sich von Pilzfäden (Myzel) am Waldboden oder unter der Borke abgestorbener Bäume. (Mit freundlicher Genehmigung von PNAS und Matthias SVOJTKA.)



Abb. 4 „Sternhaar“ in Bernstein aus Äthiopien. Im Baltischen Bernstein findet man häufig Sternhaare von Eichen. Das hier abgebildete Exemplar ähnelt denen von Baumfarnen der Familie *Cyatheaceae*. (Mit freundlicher Genehmigung von PNAS und Alexander SCHMIDT.)

auf. Diesem fossilen Harz wird ein ca. 8 bis 10 Millionen Jahre jüngeres Alter zugeordnet. Daneben weisen manche indischen Inkluden Ähnlichkeiten mit solchen aus dem heutigen Asien und Australasien auf. Weitere unerwartete biogeographische Verbindungen weisen zwei seltene Gruppen auf, die gegenwärtig in tropischen Bereichen in Mexiko und der Dominikanischen Republik vorkommen.

Bei der Fauna aus dem fossilen Harz von Cambay fallen also Ähnlichkeiten von Organismen ins Auge, die geographisch weit verteilt sind, teilweise sogar global. Überraschenderweise zeigen sich aber bisher keine Verbindungen zu Afrika oder Madagaskar. Die Autoren werten diesen Befund als Hinweis darauf, dass es vor dem Kontakt zwischen Indien und Asien Verbindungen zumindest über Inseln gegeben haben oder dass sich der kontinentale Zusammenstoß früher ereignet haben muss.

Die Funde liefern auch bedeutsame frühe Hinweise für soziale Insekten: Bienen und Termiten. Das fossile Harz von Cambay zeigt die erste facettenreiche Ameisenfauna (erster fossiler Nachweis für Ameisen: frühe Kreide; vgl. Abb. 2).

Bernstein in Äthiopien

SCHMIDT et al. (2010) berichten über Bernsteinfunde in Äthiopien. Das fossile Harz wurde im so genannten Debre Libanos Sandstein in der

nordwestlichen Hochebene von Äthiopien, ca. 150 km nördlich der Hauptstadt Addis Abeba entdeckt. Wegen fehlender Leitfossilien in diesem geologischen System nutzten die Autoren für die Datierung physikalisch-chemische Eigenschaften des fossilen Harzes, darin eingeschlossene Fossilien und in der Fundsicht gefundene Pollen (Palynologie). Das für sie wahrscheinlichste Alter geben SCHMIDT und Mitarbeiter mit spätem Cenoman an (älteste Stufe der Oberkreide: vor ca. 93–95 Millionen Jahren). Aus der Lagerstätte konnten in den vergangenen acht Jahren mehrere Kilogramm fossiles Harz gesammelt werden, wovon ca. 1,5 kg für die Untersuchung zur Verfügung standen (62 Stücke einer Länge von ca. 1–5 cm). Die Einschlüsse liefern Einblicke in ein afrikanisches Wald-Ökosystem zur Zeit der Mittleren Kreide und in die Nahrungsketten darin.

Die chemische Analyse des fossilen Harzes ergab Hinweise für Bernstein der Klasse Ic, d.h. charakteristische Bestandteile sind bicyclische Ringsysteme der so genannten enantio-Labdanoïd Serie. Dies stellt das erste Beispiel für fossiles Harz der Klasse Ic aus der Kreide dar. Die bisher vorliegenden Daten erlauben den Autoren noch keine begründbaren Aussagen über die botanische Herkunft des Harzes.

In neun der untersuchten Harzstücke fanden sich 30 Gliederfüßer (*Arthropoda*) darunter Spinnen (*Araneae*) und Milben (*Acar*), sowie min-

destens 13 Familien der Hexapoda (Sechsheiner): Springschwänze (*Collembola*), Staubläuse (*Psocoptera*), Schnabelkerfen (*Hemiptera*), Fransenflügler (*Thysanoptera*; Abb. 3), Bodenläuse (*Zoraptera*), Schmetterlinge (*Lepidoptera*), Käfer (*Coleoptera*), Zweiflügler (*Diptera*) und Hautflügler (*Hymenoptera*).

Angesichts der umfangreichen Lücken im Fossilbefund für auf dem Land lebende Arthropoden aus dem Mesozoikum des Afrikanischen Kontinents stellen die meisten von SCHMIDT et al. beschriebenen Einschlüsse einzigartige fossile Nachweise Afrikas dar, manche sind die weltweit ältesten. Eine vollständige und gut erhaltene Ameise fällt auf, deren Merkmale eine Zugehörigkeit zur ausgestorbenen Unterfamilie *Sphecomyrminae* ausschließen (einzige bekannte Unterfamilie für Ameisen in Bernstein aus Birma und Frankreich aus der mittleren Kreide). Es ist jedenfalls der früheste Nachweis von Ameisen in Gondwana.⁴ Bisher vermutete man, dass Ameisen in Laurasia während der frühen Kreide entstanden. Der neue Fund dokumentiert, dass Ameisen zu dieser Zeit auch in Gondwana weit verbreitet waren. Weiter ist der fossile Nachweis einer männlichen Webspinne (*Linyphiidae*: Baldachin- und Zwergspinnen) bedeutsam (Abb. 1). Es ist die zweitälteste Zwergspinne, die bisher entdeckt wurde und die dritte fossile Spinne überhaupt aus Afrika (der bisher älteste Nachweis findet sich in Libanesischem Bernstein aus dem Aptium, Untere Kreide). Bodenläuse (*Zoraptera*) sind im Fossilbefund äußerst selten, die ältesten Belege stammen aus Bernstein von Birma und Jordanien. Diese Insekten weisen im Verlauf der Erdgeschichte außerordentlich geringe Veränderungen in ihrer Gestalt auf; die meisten Vertreter aus der Kreide werden der heutigen Gattung *Zorotypus* zugeordnet. Auch Schuppen von Schmetterlingsflügeln beschreiben SCHMIDT und Mitarbeiter, wobei diese keine nähere Bestimmung zulassen.

Bodenläuse weisen im Verlauf der Erdgeschichte außerordentlich geringe Veränderungen in ihrer Gestalt auf.

Mikroskopische Einschlüsse von Bakterien, Pilzen, sowie einigen Fadenwürmern (*Nemato-da*) fanden die Autoren in fast jedem der untersuchten Stücke. Bestandteile von Pilzen in fossilen Kotballen von Insekten belegen die Ernährung derselben von Pilzen. Auch Rußtaupilze, die auf Pflanzen (epiphytisch) Kolonien bilden, sind im fossilen Harz erhalten. SCHMIDT et al. halten fest, dass der Nachweis von epiphytischen Rußtaupilzen aus der Mittleren Kreide deren nahezu unveränderte Gestalt über einige 100 Millionen Jahre dokumentiert; nachdem sie

sich in einem bestimmten Mikroökosystem angepasst haben, zeigen sie über sehr lange Zeit praktisch keine morphologischen Veränderungen.

Hinweise auf Pflanzen liegen in Form von Pollen von Farnen und Bärlappgewächsen (*Lycopodiaceae*) vor. Reste von Blattoberflächen belegen die Anwesenheit von Steineibengewächsen (*Podocarpaceae*). Sternhaare, wie sie im Baltischen Bernstein häufig von Eichen zu finden sind, finden sich gelegentlich (Abb. 4). Vergleiche mit Sternhaaren von modernen Pflanzen legen Baumfarne und Hautfarne als botanischen Ursprung nahe.

Das fossile Harz und die darin enthaltenen Einschlüsse geben Einblicke in ein Waldökosystem aus der Mittleren Kreide, in dem neben Nadelbäumen (Gymnospermen) auch Angiospermen (Bedecktsamer) vorkommen. Sporen belegen auch die Anwesenheit von Pilzen, Moosen, Bärlappgewächsen und Farnen. Auch epiphytisch lebende Farne und Pilze haben ihre Spuren hinterlassen. Pilze treten nicht nur als Zersetzer auf, sondern spielen auch als Parasiten eine Rolle und dienen Insekten als Nahrung. Für die Angiospermen wurde bisher noch kein Bestäuberorganismus gefunden; die identifizierten Hexapoden besiedeln andere Lebensräume. Obwohl auch Angiospermen (Bedecktsamer) im äthiopischen Bernsteinwald wuchsen, sind im fossilen Harz bisher keine bestäubenden Insekten gefunden worden. Dennoch sind zahlreiche Wechselbeziehungen im Harz dokumentiert: winzige parasitoide Hautflügler, pilzfressende Insekten und Zersetzer wie Springschwänze und Staubläuse sind nur einige Beispiele. Als Jäger sind bisher lediglich Ameise und Spinne dokumentiert.

Die Autoren der beiden hier vorgestellten Arbeiten betonen die Bedeutung der Bernsteinfunde und deren Einschlüsse für die Kenntnis über Lebensräume vergangener Zeiten. Sie erhoffen sich von weiteren Funden besseres und differenzierteres Verständnis der Entwicklung der Lebewesen. Gespannt sein darf man auf zukünftige Berichte, weil durch neue Funde etablierte Modelle immer wieder herausgefordert werden und sich die Befunde in der Zusammenschau immer wieder aufs Neue gegen einheitliche und einfache Erklärungsmodelle sperren.

Anmerkungen

- ¹ Einzeller, die sich meist mit einem mineralischen Gehäuse umgeben, welches sehr unterschiedlich aufgebaut ist. Diese Gehäuse können fossil erhalten werden, wobei sie ganze Gesteinsschichten ausbilden können. Foraminiferen dienen aufgrund ihrer spezifischen Gehäuse als Leitfossilien zur Einordnung geologischer Sedimentsysteme (Biostratigraphie).
- ² Einzeller mit zwei Geißeln (Flagellen). Aufgrund der sehr widerstandsfähigen Zellwand können Dinoflagellaten fossil erhalten werden. Aufgrund ihrer

spezifischen mosaikartig aufgebauten Zellwand werden sie wie Foraminiferen in der Biostratigraphie eingesetzt.

- ³ Dipterocarpaceae werden auch als Harzproduzenten für fossiles Harz aus der Kreide und dem Tertiär in Nordamerika diskutiert (Langenheim).
- ⁴ Gondwana, die südliche Landmasse, die im Mesozoikum aus dem Superkontinent Pangea entstand; der nördliche Teil trägt die Bezeichnung Laurasia.

Literatur

- BINDER H (2010) Bernstein aus dem Karbon: interessante chemische Struktur und offene Fragen. Stud. Int. J. 17, 32–36.
- LANGENHEIM J (2003) Plant Resins. Chemistry, Evolution,

Ecology, Ethnobotany. Timber Press, Portland, Oregon.

RUST J, SINGH H, RANA RS, MCCANN T, SINGH L, ANDERSON K, SARKAR N, NASCIBENE PC, STEBNER F, THOMAS JC, KRAEMER MS, WILLIAMS CJ, ENGEL MS, SAHNI A & GRIMALDI D (2010) Biogeographic and evolutionary implications of a diverse paleobiota in amber from the early Eocene of India. Proc. Natl. Acad. Sci. 107, 18360–18365.

SCHMIDT AR, PERRICHOT V, SVOJTKA M, ANDERSON KB, BELETE KH, BUSSERT R, DÖRFELT H, JANCKE S, MOHR B, MOHRMANN E, NASCIBENE PC, NEL A, NEL P, RAGAZZI E, ROCHI G, SAUPE EE, SCHMIDT K, SCHNEIDER H, SELDEN PA & VÁVRA N (2010) Cretaceous African life captured in amber. Proc. Natl. Acad. Sci. 107, 7329–7334.

WEITSCHAT W & WICHARD W (1989) Atlas der Pflanzen und Tiere im Baltischen Bernstein. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München.

Dunkle Seiten des Genoms

Waren bis vor wenigen Jahren fast ausschließlich die proteincodierenden Gene des Erbguts im Fokus der Forschung, so weisen Erkenntnisse aus den vergangenen zehn Jahren auf unterbelichtete Bereiche hin. Im Erbgut ist viel mehr als nur die Anleitung für Eiweißsynthese zu finden und man darf gespannt sein, was unter neuem Licht noch alles erkennbar werden wird.

Harald Binder

Das Lehrbuchwissen war zunächst einfach und übersichtlich: Die DNA im Genom (gesamtes Erbgut) enthält die Anweisung zum Aufbau von Proteinen. Die Anleitungen sind in Gene unterteilt und werden durch chemisch verwandte Nukleinsäuren, die RNA, aus dem Zellkern an den Ort der Proteinsynthese, die Ribosomen gebracht. Zwischen den einzelnen Genen liegen im Genom weite Bereiche, denen keine Funktion und Bedeutung zugeordnet werden konnte („junk DNA“, „genetischer Abfall“).

Abb. 1 Die dunklen Seiten des Erbguts werden zunehmend erhellt. (Aus PENNISI 2010, Abdruck mit freundlicher Genehmigung)



Forschung der vergangenen zehn Jahre hat zunehmend Licht auf die umfangreichen, zunächst als nutzlos erscheinenden Bereiche des Genoms geworfen. Die Wissenschaftsjournalistin Elizabeth PENNISI (2010) hat für die Zeitschrift *Science* bedeutende Veröffentlichungen aus diesem Zeitraum kurz zusammengefasst.

Nach derzeitigem Kenntnisstand sind im menschlichen Genom rund 21.000 Gene enthalten, die für Proteine codieren. Sie nehmen ca. 1,5% des Genoms in Anspruch. Schon früher wurde bezweifelt, dass der Rest – immerhin mehr als 98% – nutzloser Abfall sei, da der Ballast in diesem Umfang gerade auch nach evolutionären Vorstellungen im Laufe der Zeit hätte entsorgt werden müssen.

PENNISI führt folgende Befunde an, die das Genom in einem neuen Licht erscheinen lassen:

1. Der Mensch weist nicht nur viele proteincodierende Gene auf, die sich auch im Genom der Maus finden, sondern auch weite Teile der nicht-codierenden DNA sind in beiden Organismen ähnlich. Ohne Funktion dieser Bereiche ist der Befund nur schwer erklärbar, da bei Funktionslosigkeit Mutationen nicht durch Selektion korrigiert werden und sich so anhäufen.