

nau an die Pflanzen erinnern, die sie beschädigt haben, und Wochen später zu ihnen zurückkehren, um die Früchte ihrer Bemühungen zu ernten. Dies sei vielleicht nicht ganz unplausibel, da Hummeln auch andere beeindruckend innovative Lösungen für den Zugang zu Belohnungen entwickelt hätten und ihr räumliches

Plastizität benötigt Anpassungsprogramme für besondere Situationen. Diese liegen unabhängig vom Bedarf vor.

Gedächtnis ein Leben lang halten kann. Doch dieses Argument wäre ein reiner Zirkelschluss, da auch der Ursprung anderer Verhaltensweisen gesondert erklärt werden müsste. Zudem würde die Antwort auf eine bestimmte Frage nicht automatisch einschließen, dass es auch eine Antwort auf eine andere Frage gibt. CHITTKA selber hält es ohnehin für unwahrscheinlich, dass Hummeln lernen können, dass ein Zusammenhang zwischen einer Handlung und einer Belohnung besteht, die erst einen Monat später stattfindet. Außerdem leben die Hummeln in der freien Natur selten länger als einen Monat.

Unklar ist der Ursprung des Verhaltens der Hummeln auch aus der „Sicht“ der Pflanzen. Eine Möglichkeit sei, so CHITTKA, dass Biss-

Schäden von den Pflanzen als ein anhaltender Pflanzenfresser-Angriff interpretiert werden, was eine frühere Blütezeit erzwingen könnte, bevor die Pflanze aufgrund des Schadens vorzeitig abstirbt. Doch er gibt zu bedenken, dass Pflanzen das Blühen als Reaktion auf verschiedene Stressoren zwar bekanntermaßen beschleunigen können, es aber keine bekannten Beispiele für eine solche Reaktion auf Pflanzenfresser gebe.

Plastizität ist eine auf Eventualitäten eingestellte Fähigkeit; sie liegt vor, ob sie genutzt wird oder nicht. Es handelt sich um ein Anpassungsprogramm für alle Fälle. Als teleologisches – auf Zukunft gerichtetes – Konzept ist Plastizität ein typisches Design-Indiz (vgl. JUNKER 2014).

Literatur

- CHITTKA L (2020) The secret lives of bees as horticulturists? *Science* 368, 824–825.
- JUNKER R (2014) Plastizität der Lebewesen: Baustein der Makroevolution? <https://www.wort-und-wissen.org/wp-content/uploads/b-14-2-plastizitaet.pdf>
- PASHALIDOU FG, LAMBERT H, PEYBERNES T, MESCHER MC & DE MORAES CM (2020) Bumble bees damage plant leaves and accelerate flower production when pollen is scarce. *Science* 368, 881–884.
- WHITMAN DW & AGRAWAL AA (2009) What is Phenotypic Plasticity and Why is it important? In: WHITMAN DW & ANANTHAKRISHNAN TN (eds) Phenotypic Plasticity of Insects: Mechanisms and Consequences. Science Publishers.

Bernsteininkluden – Einblicke in frühe Pflanzen-Bestäuber-Beziehungen

Bernsteineinschlüsse (Inkluden) erlauben faszinierende Einsichten in Momente aus der Erdgeschichte. In Bernstein aus Myanmar wurden Inkluden beschrieben, die einen einzigartigen Einblick in Pflanzen-Bestäuber-Beziehungen zur Zeit der Kreide gewähren. Manche Aspekte erscheinen dabei heute eher fremdartig, aber insgesamt zeigen sich Hinweise auf ein differenziertes und komplexes Ökosystem.

Harald Binder

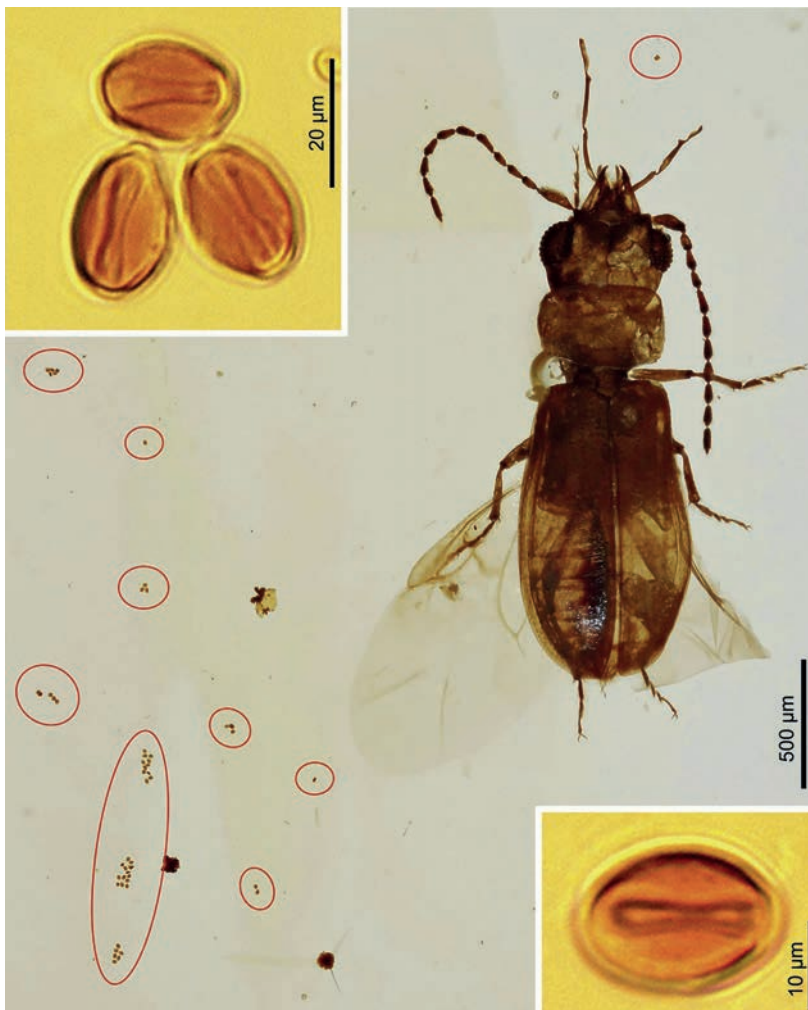
Vorkommen fossiler Harze zusammen mit den gelegentlich enthaltenen Einschlüssen (Inkluden) sind weltweit bekannt. Dennoch wurden in der Vergangenheit zu bestimmten Phasen vor allem einzelne geographische Lagerstätten intensiv bearbeitet. Auf weit zurückreichende Untersuchungen über den klassischen Baltischen Bernstein folgte eine auffällige Häufung von Arbeiten über fossile Harze aus der

Karibik (Dominikanischer Bernstein). Seit einigen Jahren erscheinen nun auffällig viele Veröffentlichungen über Bernstein aus Südostasien, konkret aus Myanmar (auch unter dem Namen Birma oder Burma bekannt). Die dortigen Vorkommen werden der mittleren Kreide zugeordnet, die meisten Autoren geben dafür ein Alter von 100 Millionen radiometrischen Jahren (MrJ) an.

Käfer als Bestäuber von Nacktsamern (Gymnospermen)

Ein internationales Team von Fachleuten beschreibt Inkluden – also Einschlüsse in einem Stück fossilen Harzes – aus dem Norden Myanmars, dessen Vorkommen in die mittlere Kreide gestellt wird. Das Stück wurde für die mikroskopische Untersuchung entsprechend zugeschnitten und die Oberfläche poliert. Zunächst dokumentieren und beschreiben CAI et al. (2018) einen Käfer, der ohne Fühler eine Körperlänge von etwas mehr als 2 mm hat. Aufgrund seiner Merkmale ordnen ihn die Autoren als neubeschriebene Art der Familie Boganiidae zu (ein deutscher Name dafür ist nicht gebräuchlich). Vertreter der Boganiidae zeichnen sich vor allem durch besondere Merkmale im Kopfbereich und speziell der Mandibeln (Kauladen) aus, die auf der Oberseite spezifische, mit Härchen (Setae) besetzte Vertiefungen aufweisen. Aufgrund weiterer spezieller Merkmale an den Mundwerkzeugen und Beinen kann die fossil beschriebene Art einer der beiden heute lebenden Unterfamilien der Boganiidae, nämlich den Paracucujinae zugeordnet werden. Heutige Vertreter von Paracucujinae fressen Pollen und transportieren diese auch in den mit Härchen

Abb. 1 Pollenkörner von Palmfarnpflanzen in unmittelbarer Nähe des Käfers *Cretoparacucujus cycadophilus*, der Merkmale zur Pollenverbreitung aufweist. (Aus CAI et al. 2018, mit freundlicher Genehmigung)



besetzten Vertiefungen an ihren Mandibeln, um damit Pflanzen zu bestäuben. Einige Vertreter aus Südafrika und Südwestaustralien leben an den männlichen und weiblichen Zapfen von Palmfarnen (Cycadales). Der hier beschriebene Befund deutet darauf hin, dass die Beziehung zwischen Käfern der Paracucujinae und Palmfarnen bereits im Mesozoikum bestand und bis heute unverändert andauert. Diese Aussage wird dadurch unterstrichen, dass CAI et al. nicht nur die typischen Merkmale an dem fossilen Käfer dokumentieren, sondern auch Pollen von Palmfarn in unmittelbarer Nähe des in Bernstein eingeschlossenen Käfers beschreiben. Dieser mit dem Käfer *Cretoparacucujus cycadophilus* assoziierte Pollen liegt als Aggregat (3–14 Pollenkörner) vor, d. h. er tritt nicht in Form einzelner Pollenkörner auf, die mit dem Wind zur Bestäubung verfrachtet werden könnten. Auch diese Beobachtung unterstützt die mutmaßliche Bestäubung der Palmfarne durch *C. cycadophilus*.

Käfer und Bienen sammelten bereits in der Kreide Pollen von Gymno- und Angiospermen.

Mit dieser Arbeit liefern CAI et al. auch den ersten indirekten Hinweis auf die Anwesenheit von Palmfarnen in Myanmar während der Mittleren Kreide. Aufgrund der eng begrenzten globalen Verteilung von Boganiidae und Palmfarnen vermuten die Autoren eine sehr viel frühere Etablierung dieser Bestäubungsbeziehung als bisher angenommen und spekulieren, ob diese nicht bereits auf Gondwana vorhanden war, dem Großkontinent, der sich zur Zeit des Jura aus dem Superkontinent Pangaea gebildet haben soll. Abschließend weisen CAI et al. auf den erstaunlichen Befund hin, dass über die lange Zeit, seit der Kreide, während gravierender klimatischer Veränderungen (Kontinentalverschiebung) sich bei diesen Käfern und den Palmfarnen erstaunlich wenig verändert hat.

Fossile Käfer an Blütenpflanzen

Sowohl Insekten als auch bedecktsamige Blütenpflanzen (Angiospermen) sind in der mittleren Kreide fossil gut belegt. Für die Bestäubung von Bedecktsamern durch Insekten fehlte bisher ein direkter fossiler Nachweis. Ein Beleg für die Bestäubung von Nacktsamern (Gymnospermen) durch Käfer wurde oben vorgestellt. BOA et al. (2019) beschreiben einen Bernstein-Einschluss aus Myanmar, in dem ein spezialisierter Käfer überliefert ist, der Bedecktsamer besucht und bestäubt. Die Autoren beschreiben folgende Körpermerkmale des als *Angimordella burmitina*

benannten Käfers: gekrümmter, buckeliger Körperbau, der Kopf typischerweise nach unten abgebogen, kräftige Hinterbeine und das Körperende zu einer Spitze ausgeformt, die nicht von den Deckflügeln bedeckt wird. BOA et al. ordnen den fossilen Käfer entsprechend als Stachelkäfer (Mordellidae) ein. Die mittels Mikro-Computertomographie rekonstruierten (im Fossil nicht direkt einsehbaren) Mundwerkzeuge belegen eine Ernährung durch Pollen und dessen Transport. *A. burmitina* ist an Brust und Hinterleib mit Pollen bedeckt. Diesen ordnen BOA et al. aufgrund ihrer äußeren Strukturmerkmale eindeutig als von Eudikotyledonen stammend ein, also von zweikeimblättrigen Pflanzen, welche den Großteil der Blütenpflanzen bilden. Solche Pollenkörner können bei mikroskopischen Untersuchungen von Bernsteininklusen leicht übersehen werden, vor allem, wenn sie zwischen den Härchen (Setae) hängen. BOA et al. konnten diesen Befund mittels konfokaler Laser-Mikroskopie durch die Fluoreszenz der Pollenkörner erheben. Die ältesten Fossilien, die Merkmale von Mordellidae aufweisen, sind bereits im Mittel- bis Oberjura (ca. 150–170 MrJ) in China und Kasachstan belegt. Der bisher älteste fossile Nachweis von pollensammelnden Bienen stammt aus dem mittleren Eozän (ca. 45 MrJ).

Pollensammelnde Bienen – Fossilien aus der Kreide

Bienen gehören zu den bekanntesten pflanzenbestäubenden Insekten. POINAR & DANFORTH (2006) geben eine kurze Charakterisierung einer männlichen Biene, die in Bernstein aus Myanmar eingeschlossen ist. Der Fund wird ins Albium (Kreide) gestellt, dem ein radiometrisches Alter von ca. 100 MrJ zugeordnet wird. Die kleine Biene (2,95 mm Körperlänge) weist am Körper verzweigte Härchen auf, die Mandibeln sind verlängert und dreifach gezähnt. Die Antennen sind aus 11 Gliedern aufgebaut. Die Autoren nennen diese fossile Biene *Melittosphex burmesis*. Später präsentierten die Autoren eine ausführlichere Charakterisierung dieser fossilen Biene (DANFORTH & POINAR 2011) und interpretierten sie als wichtige Übergangsform zwischen Bienen und Grabwespen. Die Autoren stellen allerdings klar, dass bestimmte Merkmale, vor allem die verzweigten Körperhaare

Die Körperstrukturen der Insekten zur Befruchtung von Pflanzen sind den heute verwendeten sehr gut vergleichbar.



Abb. 2 Stachelkäfer *Angimordella burmitina*, an dessen Körper Pollen haftet. (Aus BAO et al. 2019)

an Kopf und Beinen, das fossile Insekt als möglichen Pollensammler ausweisen. Daher muss es näher zu den Bienen als zu Grabwespen gestellt werden. In der Paläontologie, also der Lehre von alten Lebewesen bzw. Lebewesen der vergangenen Erdzeitalter, gilt das Auftreten der Bienen als Schlüsselereignis, das wesentlich zur raschen Ausbreitung und Diversifizierung der Bedecktsamer beigetragen haben soll. Die von DANFORTH & POINAR beschriebene Biene unterscheidet sich von allen bekannten Bienen, aber die Adern der Vorderflügel (Hinterflügel sind bei der Inkluse nicht erkennbar) stellt eine große Ähnlichkeit zu heutigen Bienen dar. Dieses fossile Bienenmännchen belegt jedoch nicht direkt die Funktion als Blütenbestäuber, dazu müsste eine entsprechende weibliche Biene gefunden werden, idealerweise direkt in Kontakt mit Pollen. Jüngst hat nun POINAR (2020) eine weitere in Bernstein eingeschlossene Biene aus der Kreide von Myanmar beschrieben. Die weibliche Biene,

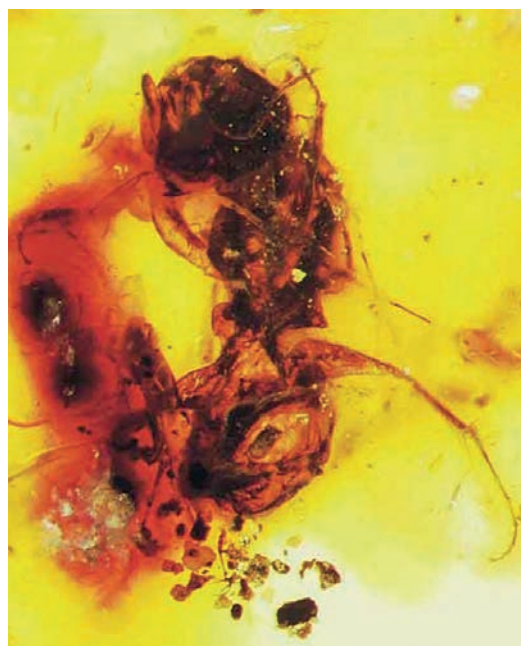


Abb. 3 Biene *Melittosphex burmesis* aus der Kreide in Myanmar; die Körperlänge beträgt ca. 4 mm und das Tier weist Merkmale auf, die auch für Wespen charakteristisch sind. (Aus POINAR & DANFORTH 2006)

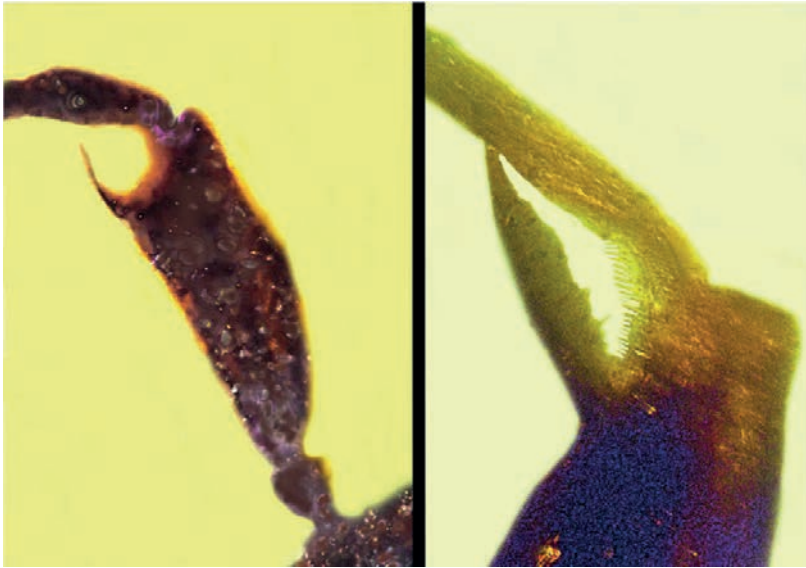


Abb. 2 Links: Der gegabelte Schaft an der Antenne einer zweiten Biene, *Discoscapa apicula* (Kreide, Myanmar) ist ein einzigartiges und besonderes Merkmal. Rechts: Putzscharte am Vorderbein von *D. apicula*. (Aus POINAR 2020)

die der Autor mit dem Namen *Discoscapa apicula* versehen hat, zeigt wie das oben vorgestellte Exemplar sowohl Merkmale von Bienen als auch von Grabwespen. Nimmt man allerdings eine taxonomische Einordnung anhand der Gesamterscheinung und verschiedener Merkmale wie Behaarung, die Härchen und Sporne zum Pollensammeln und -transportieren usw. vor, so fällt die fossile Biene in die Gruppe, die alle heute lebenden Bienen umfasst, nämlich Bienen, die zur Aufzucht ihrer Brut Pollen verwenden. Dabei finden sich dennoch einzelne Merkmale, die eher typisch für Grabwespen sind. Einige Merkmale sind auch einzigartig und weder in Bienen noch in Grabwespen vorhanden, wie z.B. das gegabelte Grundglied der Antenne. Pollenkörner an der Behaarung an Femur (Oberschenkel) und Tibia (Schienbein), Tarsus (Fußglied) und Klauen der beiden hinteren Beinpaare belegen, dass die fossile Biene eine Blüte besucht hat, kurz bevor sie vom Harz umschlossen worden ist. Die Biene hat eine Körperlänge von 3,0 mm, ein Merkmal, das auch bei der Benennung (Artnamen) eine Rolle gespielt hat (*apicula* = kleine Biene).

POINAR (2020) listet auch 15 Blütenpflanzen auf, die als Bernsteininklusen von Myanmar dokumentiert und beschrieben worden sind (die meisten vom selben Autor). Die Blütengröße gibt er mit 0,5 bis 5,0 mm an. Diese kleinen Blüten passen auffällig zu den bisher bekannten beiden kleinen Bienen!

Kommentar

Die hier vorgestellten fossilen Belege von Bestäuber-Pflanzen-Wechselwirkungen aus der Kreide haben unsere Einsichten in die ökolo-

gische Vergangenheit der Erdgeschichte enorm erweitert. Nach den Vorstellungen der genannten Autoren und auch anderer Fachleute, die diese Befunde in einem evolutionären Gesamtrahmen interpretieren, reicht unser Blick in der Erdgeschichte bis nahe an das fossile Auftreten der Bedecktsamer und in den Anfangsbereich des fossilen Nachweises der Bienen. Auch wenn die Autoren die Charakterisierung „primitiv“ bei der Beschreibung der Fossilien schnell gebrauchen, ist das nicht so leicht nachzuvollziehen. Sowohl die Käfer als auch die Bienen und der an ihnen gefundene Pollen zeigt keine Merkmale, die sachgemäß als primitiv zu deklarieren wären – im Gegenteil: Die Insekten zeigen auch heute typische Strukturen zum Sammeln, Verzehr und Transport von Pollen.

Das Vorkommen von Einzelmerkmalen, die wir heute nicht in der hier vorgefundenen Zusammensetzung kennen, spricht nicht automatisch für Primitivität oder Vorläufer- bzw. Stammformen. Vielmehr zeigt sich ein buntes Merkmalsmosaik, das nicht einfach und spannungsfrei evolutionstheoretisch deutbar ist. Interpretationen sind immer auch abhängig vom gewählten Denkraum und die hier angeführten Befunde zeigen frühe differenzierte und komplexe Situationen (was gut zu einem Schöpfungsansatz passt). Die Fossilien zeigen, dass schon zu einem frühen Zeitpunkt in der Erdgeschichte für Pflanzen ausdifferenzierte und spezialisierte Bestäuber zugegen waren, so dass das vorliegende Ökosystem funktionsfähig war. Da Fossilien immer Momentaufnahmen sind und nur isolierte Ausschnitte darstellen, von denen wir gar nicht wissen können, wie repräsentativ sie sind, muss man bei der Konstruktion einer dynamischen Entwicklung sehr zurückhaltend sein, da unser Wissen eben fragmentarisch ist.

Literatur

- BAO T, WANG B, LI J & DILCHER D (2019) Pollination of cretaceous flowers. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 116, 24707–24711.
- CAI C, ESCALONA HE, LI L, YIN Z, HUANG D & ENGEL MS (2018) Beetle pollination of Cycads in the Mesozoic. *Curr. Biol.* 28, 2806–2812.
- DANFORTH BN & POINAR GO (2011) Morphology, classification, and antiquity of *Melittosphex burmesis* (Apoidea: Melittosphecidae) and implications for early bee evolution. *J. Paleontol.* 85, 882–891.
- POINAR GO & DANFORTH BN (2006) A fossil bee from early Cretaceous Burmese amber. *Science* 314, 614.
- POINAR GO (2020) *Discoscapiidae* fam. Nov. (Hymenoptera: Apoidea) a new family of stem lineage bees with associated beetle triungulins in mid-Cretaceous amber. *Paleodiversity* 13, 1–9; doi: 10.18476/pale.v13.a1