

„Eisenplattenkäfer“ – hart wie ein Panzer

Ein im Westen der USA lebender Käfer hat innerhalb kürzester Zeit Berühmtheit erlangt, weil er mechanischen Beanspruchungen gegenüber außerordentlich robust ist. So können Vögel als potenzielle Fressfeinde den Käfer mit ihrem Schnabel nicht knacken und ihn höchstens am Stück verschlucken. Ein Forscherteam hat die mikroskopischen Grundlagen dieser auffälligen Eigenschaften untersucht und dabei auch Impulse für die Verbesserung technischer Konstruktionen gefunden.

Harald Binder

Abb. 1 „Teuflischer Eisenplattenkäfer“ (*Nomoderma diabolicus*) auf Entdeckungstour. Schon seine äußere Erscheinung – die Außenschicht enthält keine Mineralien – spiegelt etwas von seiner außerordentlichen Robustheit wider. (© Kisa-Ilus Biomimetics and Nanostructured Materials Lab, University of California at Irvine)

Ein erstaunlich robuster Käfer, der bis vor Kurzem selbst unter europäischen Käferkennern nur wenigen bekannt gewesen sein dürfte, hat in wenigen Tagen aufgrund spektakulärer Berichte in den Medien große Aufmerksamkeit gefunden und entsprechende Bekanntheit erlangt. Der Käfer mit dem Namen *Nomoderma diabolicus*¹ lebt in trockenen, wüstenartigen Lebensräumen im Westen der USA und wird dort „diabolical ironclad beetle“ genannt, was man mit „teuflischer Eisenplattenkäfer“ wiedergeben könnte. Die Autoren der hier zitierten Forschungsarbeit verwendeten in Interviews auch Begriffe wie „kleiner Panzer“ („little tank“). Seine Härte, die

Der Eisenplattenkäfer überlebt es, wenn er von einem Auto überrollt wird.

ihn auch erstaunlich hohe mechanische Kräfte unbeschadet überleben lässt und potenzielle Fressfeinde wie Eidechsen und Vögel vor entsprechende Herausforderungen stellt, hat zu dieser Bezeichnung inspiriert. Um einen solchen Käfer für eine Sammlung zu präparieren, muss er durchbohrt werden, um ihn „nadeln“ zu können, denn beim Versuch, die Stahlnadel

wie üblich durch die Deckflügel zu stechen, verbiegen sich diese. Beim Laufen erhebt der ca. 2 cm lange, flach gebaute Käfer seinen Körper nur wenig über den Boden. Wenn er von einem Auto überrollt wird, stellt er sich zwar tot, überlebt aber diese ungeheure Belastung.

Mikroskopische Strukturen als Ursachen für die Robustheit

Nun hat ein internationales Forschungsteam den Käfer einer genaueren Analyse unterzogen, um dem Geheimnis seiner erstaunlichen Belastbarkeit auf die Spur zu kommen (RIVERA et al. 2020). Käfer sind mit über 350.000 beschriebenen Arten die größte Ordnung in der Klasse der Insekten. Man findet bei diesen Tieren viele spezielle Besonderheiten für ein Leben in verschiedensten Lebensräumen, sei es an Land, im Wasser oder in der Luft. Ein auffälliges und wesentliches Unterscheidungsmerkmal zwischen Käfern und anderen Insekten liegt im Aufbau der Flügel. Das erste Flügelpaar (Deckflügel; Elytron (gr.): Hülle, Futteral, Behälter) ist bei Käfern typischerweise sklerotisiert (skleros (gr.): trocken, hart, rau). Bei flugfähigen Käfern bede-

cken sie das zweite Flügelpaar, das teilweise kunstvoll gefaltet darunter verborgen liegt. *N. diabolicus* ist flugunfähig, bei ihm sind die Elytren miteinander verwachsen und weisen im Vergleich zu flugfähigen Käfern eine deutlich höhere Dichte auf: 0,97 g/cm³ (zum Vergleich: *Trypoxylus dichotomus*, eine flugfähige asiatische Nashornkäferart: 0,51 g/cm³). Eine chemische Analyse der Elytren ergab 32,6 Gew.% Chitin, 52,2 Gew.% Protein und 15,1 Gew.% Lipide; für die Elytren von *T. dichotomus* fanden die Autoren dagegen 42,0 Gew.% Chitin, 43,4 Gew.% Protein und 15,0 Gew.% Lipide (RIVERA et al. 2020, Suppl. Inf.). Die Autoren vermuten, dass der relativ hohe Proteinanteil in den Elytren von *N. diabolicus* u. a. am Aufbau der Matrix zwischen den Chitinfasern und damit wesentlich am Aufbau der Mikrostruktur beteiligt ist und somit einen bedeutenden Faktor bei der Energieabsorption darstellt. Die Proteine der Deckflügel vom Teuflichen Eisenplattenkäfer sind auch in einem höheren Maße quervernetzt im Vergleich zu denen des asiatischen Nashornkäfers.²

Für Überraschungsmomente sorgten aber mikroskopische Strukturen an der Naht zwischen den beiden Elytren und den Verbindungsstellen zwischen Elytrum und der bauchseitigen Kutikula. Im Verlauf von Brust und Hinterleib verändert sich die Struktur der Verbindung zwischen verwachsenen Deckflügeln und dem von der Bauchseite her kommenden Teil des Außenskeletts. Im Brustbereich, in dem die Organe eng an der Außenhaut anliegen und der nur wenig mit Hämolymphe gefüllte innere Zwischenräume aufweist, greifen Deckflügel und Kutikula fingerartig ineinander und verteilen den Druck sehr gleichmäßig. Im weiteren Verlauf verändert sich die Verbindung zu einer stufenartigen Struktur, die die Autoren als arretiert („launching“) bezeichnen. Diese Struktur erlaubt bei hoher Belastung eine Überschiebung. In Bereichen, die eine gewisse Flexibilität erlauben, sind die Verbindungsstellen also so ausgelegt, dass Elytrum und Kutikula bei Belastung übereinander gleiten können. So wird insgesamt über den Kontakt zwischen Deckflügel und bauchseitigem Exoskelett die Belastung optimal abgeleitet und verteilt.

Die Naht zwischen den beiden Elytren auf dem Rücken des Käfers zeigt bei computertomographischen (CT) Aufnahmen im Querschnitt eine Struktur, die mit Verbindungen von Puzzleteilen zu vergleichen ist; dort passt eine pilzartige Ausstülpung exakt in eine entsprechende Aussparung des benachbarten Teils. Bei flugfähigen Käfern greifen die Elytren an der Naht fingerartig ineinander und können vor dem Start voneinander gelöst werden. Im Vergleich zu anderen robusten und flugunfähigen Käfern erweist sich die Naht bei *N. diabolicus*

hinsichtlich der Robustheit als optimiert. RIVERA et al. haben die Nahtstruktur auch in Modellrechnungen³ geprüft und darin gezeigt, dass die Festigkeit der Naht zwar mit der Anzahl der pilzartigen Verknüpfungen steigt, aber dabei die Kraftverteilung und die Flexibilität schlechter werden. Die Verbindung nach Art von Puzzleteilen entlang der Naht der Elytren ist nach diesen Modellrechnungen für *N. diabolicus* optimal.

Über den Kontakt zwischen Deckflügel und bauchseitigem Exoskelett wird die Belastung optimal abgeleitet und verteilt.

Darüber hinaus ist das Gewebe im Bereich der Naht laminar, also geschichtet aufgebaut. Dieser Aufbau bewirkt, dass die Verbindung bei extremer Belastung zerstörungsfrei eine Trennung der Elytren ermöglicht, ohne dass die Struktur beschädigt wird. Dabei lösen sich die einzelnen Gewebeschichten voneinander und ermöglichen so ein zerstörungsfreies Ausklicken.

RIVERA et al. beschließen ihre Publikation mit einer bionischen Anwendung beim Turbinenbau. Sie haben in einem Modell die Turbinenschaufeln an der Achse mit einer Verbindung befestigt, die der Naht der Elytren von *N. diabolicus* nachempfunden ist.

Bei der Lektüre der populären Beiträge zu diesem Käfer in den Medien fällt auf: Mit einer gedankenlosen Penetranz wird in diesem wie auch in vergleichbaren Fällen behauptet, dass die Natur 4,6 Milliarden Jahre Zeit hatte, die erstaunlichsten Kreaturen hervorzubringen (MENNE 2020). Das entspricht zwar der gängigen Meinung vieler Fachleute, hat aber erstens mit dem eigentlichen Thema und dem Phänomen nichts zu tun und ist zweitens keine naturwissenschaftlich nachweisbare Tatsache, kein Faktum! Zeit an sich stellt keinen Mechanismus zu Optimierungsprozessen oder gar für Neukonstruktionen dar. Solange aber Fachkollegen in unreflektierter Gewohnheit die Einleitungen ihrer Veröffentlichungen mit Sätzen wie „Seit Millionen von Jahren haben Selektionsdruck der Umwelt und Jäger-Beutebeziehungen dazu geführt, ...“⁴ beginnen, kann man von Journalisten wohl keine sachlich angemesseneren Formulierungen erwarten. Schade eigentlich!

Anmerkungen

¹ In der Fachliteratur – auch in dem zitierten *Nature*-Artikel – wird er *Phloeodes diabolicus* genannt; dieser Artname ist aufgrund von Revisionen inzwischen jedoch überholt.

² Die Proteine sind für die Analyse schwieriger zu extrahieren.

³ Finite-Elemente-Methoden

⁴ „For millions of years, environmental pressures and predator-prey relationships have driven arthropods to develop structures that are both mechanically robust and multifunctional“ (erster Satz im Text von RIVERA et al. [2020]).

Literatur

MENNE K (2020) Der Unkaputtbare. DIE ZEIT 44, 22. 10. 2020; hier nur als ein Beispiel von vielen.

RIVERA J, HOSSEINI MS, RESTREPO D, MUTARA S, VASILE D, PARKINSON DY, BARNARD HS, ARAKAKI A, ZAVATTIERI P & KISAILUS D (2020) Toughening mechanisms of the elytra of the diabolical ironclad beetle. *Nature* 586, 543–548.

RIVERA J, HOSSEINI MS, RESTREPO D, MUTARA S, VASILE D, PARKINSON DY, BARNARD HS, ARAKAKI A, ZAVATTIERI P & KISAILUS D (2020) Toughening mechanisms of the elytra of the diabolical ironclad beetle. Supplementary Information and Extended Data, <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2813-8>

Drumherum oder mitten durch? Entscheidungsfindung im Ameisen-Straßenbau

Soll die Autobahn in grader Linie mitten durch den Wald gebaut werden, oder ist der Umweg ohne Baumfällarbeiten weniger aufwändig? Bei uns Menschen spielen heutzutage bei solchen Fragen Umweltschutzgründe und zu erwartende Proteste eine große Rolle bei der Entscheidungsfindung, während man bei sozialen Insekten wie den Ameisen doch eher schnöde Parameter wie Energieaufwand und Kosten/Nutzen als bestimmende Faktoren vermutet.

Hans-Bertram Braun

Ameisenstraßen hat wohl jeder schon gesehen. Wir verstehen darunter oft die schwarzen Linien auf dem Küchenboden, die aus vielen kleinen wuseligen Tierchen auf der Suche nach Zucker gebildet werden, die alle der Pheromonspur folgen, die vorher von fündig gewordenen Scouts gelegt worden ist. Ameisen machen aber auch Wege in der Wildnis frei, um schneller und ungehindert entweder zwischen verschiedenen Kolonien einer Art verkehren zu können, oder Nahrung von einer ergiebigen Quelle heim zum Nest zu transportieren. Dabei räumen die kleinen Insekten die Wege gezielt frei. Andere tierische „Straßen“ dagegen, wie sie von weit größeren Arten gebildet werden, wie etwa bei Wildwechsel von Rehen oder Urwaldpfade von Elefanten, werden einfach nur passiv durch das häufige Benutzen durchgetrampelt. Räuberisch lebende Ameisen bilden sogar lebende Brücken, um Hindernisse für Artgenossen zu überwinden, die dann bei Bedarf dynamisch an wechselnde Ansprüche angepasst werden (REID et al. 2015). Auch lebende Flöße sind von Ameisen bekannt. Ameisen sind einfach faszinierend!

Der Hindernisparcours

Deutsche Forscher haben in Zusammenarbeit mit australischen Kollegen untersucht, wie

Ameisen Down Under beim Straßenbau vorgehen (OBERHAUSER et al. 2019). Sie untersuchten, wie die in Australien weit verbreitete Art der Fleisch-Ameise (*Iridomyrmex purpureus*, Abb. 1) reagiert, wenn sie die Wahl zwischen zwei Wegen zur Futterquelle hat: einem direkten, der allerdings durch Hindernisse verstellt ist, und einem Umweg, der keine weiteren Hindernisse bereithält, aber verschieden umständlich gestaltet ist. Sie führten ihre Untersuchungen in der freien Wildbahn durch, indem sie 17 verschiedene Ameisenkolonien zeitversetzt vor zwei verschiedene Aufgaben stellten. Ein Versuchsaufbau, der immer aus vier verbundenen Teilen bestand, wurde vor einem Ausgang der Ameisenkolonie platziert: Ein Zuckerwasserbehälter als Nahrungsquelle, der hinter einer standardisierten Hindernis-Fläche lag, die mit 300 in Reih und Glied aufgestellten „Grashalmen“ aus Papier gespickt war (15 Reihen à 20 Halmen), die links und rechts von je einem Block von 10 cm Höhe (um Überklettern zu verhindern) eingerahmt waren (Abb. 2). Die beiden Umwege-Blöcke waren entweder nur 10 cm breit (kleiner Umweg) oder 80 cm breit (großer Umweg). Etwa die Hälfte der Kolonien wurde zuerst mit dem großen und dann in mindestens 5 Tagen Abstand mit dem kleinen Umweg-Aufbau konfrontiert. Bei der anderen Hälfte verfuhr die Wissenschaftler umgekehrt, zuerst mit dem kleinen Umweg-Aufbau, dann dem