

■ Vom Schneckenschleim zum Klebstoff für Chirurgen

Wissenschaftler der Harvard Universität, Cambridge, USA, haben einen Klebstoff entwickelt, der an feuchten, flexiblen Oberflächen hält und sehr dehnfähig ist. Bisher bekannte Klebstoffe wirken als Zellgift (d. h. sie sind cytotoxisch), haften nur sehr schwach auf biologischem Gewebe und können unter nassen Bedingungen nicht angewendet werden. Bei der Entwicklung des neuen Klebstoffs, der aus zwei Schichten besteht, haben sich Li et al. (2017) nach eigenen Worten inspirieren lassen von dem Schleim, den die Hellbraune Wegschnecke (*Arion subfuscus*, Abb. 1) zu ihrer Fortbewegung und Abwehr absondert. Dessen Aufbau und Belastbarkeit hatten WILKS et al. (2015) dokumentiert. Dabei konnten sie zeigen, dass die hohe Belastbarkeit auf einer doppelten Netzwerkstruktur beruht: Zwei verschiedene molekulare Netzwerke durchdringen sich gegenseitig und dieses System ist um ein Vielfaches mehr belastbar als es jedes der beiden Netzwerke für sich wäre. Die beiden Schleimkomponenten im Schleim von *A. subfuscus* enthalten zum einen negativ geladene Glycoproteine, die in der Gelelektrophorese unterschiedliche Größe zeigen, zum anderen Heparin-ähnliche Polysaccharide. Bereits länger ist bekannt,

dass Schnecken (und auch noch weitere Weichtiere wie z. B. Muscheln) durch Abgabe bestimmter Proteine in ihren Schleim diesem eine auffällig große Haftkraft verleihen können (PAWLICKI et al. 2004).

Der von Li et al. (2017) nach diesem Vorbild entwickelte Klebstoff weist eine Schicht auf, die aufgrund von elektrostatischen Wechselwirkungen, kovalenten Bindungen und physikalischer Durchdringung auf dem Untergrund haftet, und zwar auch unter nassen Bedingungen. Die zweite Schicht sorgt durch die Verteilung der Energie im Netzwerk für eine hohe Belastbarkeit und verhindert das Reißen des Klebstoffmaterials. Die Autoren konnten den Klebstoff an einem schlagenden Schweineherzen, an dem Blut austrat, anwenden und die Blutung durch Kleben bei aufrechterhaltenem Blutdruck stillen. Auch an Rattenleber konnten sie tiefe, blutende Wunden kleben und so die Wirksamkeit des neuen Klebstoffs an weiteren Gewebetypen demonstrieren.

So könnte durch weitere Entwicklungen aus einem zunächst wenig auffälligen Naturstoff von Tieren, die bei Gartenbesitzern in keinem guten Ruf stehen, ein sehr wirksames Hilfsmittel für die Humanmedizin entstehen. Vielleicht steht damit Chirurgen schon in absehbarer Zeit ein Klebstoff zum Verschluss von Wunden an inneren Organen zur Verfügung, der unter nassen Bedin-

gungen und hochbelastbar Gewebe verbinden kann.

[LI J, CELIZ AD et al. (2017) Tough adhesives for diverse wet surfaces. *Science* 357, 378-381 • PAWLICKI JM, PEASE LB et al. (2004) The effect of molluscan glue proteins on gel mechanics. *J. Exp. Biol.* 207, 1127-1135 • WILKS AM, RABICE SR et al. (2015) Double-network gels and the toughness of terrestrial slug glue. *J. Exp. Biol.* 218, 3128-3137] H. Binder

■ Ultraschnelle Bewegung beim Clown-Fangschreckenkrebs

Clown-Fangschreckenkrebs (*Odonotactylus scyllarus*, Abb. 1) sind farbenprächtige Krebstiere (Crustacea). Sie nutzen zwei ihrer Extremitäten als keulenförmige Fangbeine, um die Gehäuse von Schnecken mit einem blitzartigen und kraftvollen Schlag zu zertrümmern, um an die Tiere als Nahrung zu gelangen. Dieser Schlag dauert nur etwa ein Fünfzigstel der Dauer eines Lidschlages. Die Beschleunigung der Fangbeine ist mit rund 100 000 Metern pro Quadratsekunde mit der Beschleunigung eines Projektils im Gewehrlauf zu vergleichen. Die Geschwindigkeit beträgt dabei bis zu 31 Meter pro Sekunde (ca. 110 Kilometer pro Stunde). Dabei sind die beiden Keulen kleiner als der kleine Finger eines Kindes – trotzdem brechen sie damit Schneckengehäuse auf, für die der Mensch einen kräftigen Hammerschlag benötigt. Immerhin gehören Schneckengehäuse zu den bruchstärksten Materialien, die bei Lebewesen bekannt sind. Diese Fähigkeit wird durch ein ausgeklügeltes und perfekt aufeinander abgestimmtes System ermöglicht.

Ultraschnelle Bewegungen wie der Schmetterschlag eines Fangschreckenkrebses funktionieren mit Hilfe eines Feder-Klinken-Prinzips, ähnlich dem Schießen mit Pfeil und Bogen. Ein federähnlicher Mechanismus speichert potenzielle Energie, die durch eine Entriegelung explosionsartig freigesetzt wird. Bei den Fangschreckenkrebsen funktioniert dieser Mechanismus folgendermaßen: Die Krebstiere besitzen wie Menschen Muskeln, die Gelenke strecken, sogenannte Extensoren, und Muskeln, die Gelenke beugen,



Abb. 1 Der Schleim der Hellbraunen Wegschnecke (*Arion subfuscus*) hat es in sich. (Foto: H. KRISP, Creative Commons Attribution 3.0 Unported licence)



Abb.1 Der Fangschreckenkrebs *Odontodactylus scyllarus*: ein „Schmetterer“. Die Endgelenke der Fangbeine sind zu Keulen verdickt. (Silke BARON, CC BY 2.0)

sogenannte Flexoren. Die Extensoren im Fangbein bewegen dessen keulenförmigen Teil nach außen, während die Flexoren ihn wieder an den Körper heranziehen. Beim Ausführen des Schlages werden Flexoren und Extensoren gleichzeitig kontrahiert (d.h. die Muskeln werden zusammengezogen). Dabei drückt der große Extensor eine biegsame und elastische sattelähnliche Struktur des Exoskeletts zusammen (Abb. 2). Der kleinere Flexor zieht währenddessen eine Verdickung seiner Sehne über einen kleineren Höcker innerhalb des Fangbeines, sodass die Sehne hinter diesem einhaken kann. Da der Flexor damit eingerastet ist, kann er die großen, entgegengerichteten Extensorenkräfte kompensieren, um bei einer Entspannung des Flexors die gespeicherte elastische Energie schlagartig freizulassen – dabei wird das keulenförmige Ende des Fangschreckenkrebses sehr kraftvoll nach vorn geschleudert.

Die Zertrümmerung des Gehäuses beruht aber noch auf einem anderen Effekt: Bei der Zertrümmerung bildet sich kurzzeitig eine

große Blase zwischen der keulenähnlichen Verdickung des Fangbeines des Fangschreckenkrebses und dem Ziel (Schneckengehäuse). Dieses Phänomen nennt man „Kavitation“: Sehr schnelle Bewegungen im Wasser können einen Unterdruck erzeugen, der Dampfblasen hervorbringt, die wiederum sofort kollabieren und dabei viel Energie freisetzen – in Form von Wärme, Licht und Schall. Dies ist auch bei rotierenden Schiffsschrauben und Turbinen zu beobachten. Die Kavitation führt dazu, dass Fangschreckenkrebs mit einem Hieb quasi zweimal zuschla-

gen: das erste Mal, wenn das Fangbein auf das Gehäuse prallt, und das zweite Mal, wenn die Druckwelle der implodierenden Kavitationsblase eintrifft.

Um sich bei dem gewaltigen Aufprall nicht selbst Schaden zuzufügen, ist die Keule der Fangschreckenkrebs, mit dem sie diesen Schlag ausführen, aus perfekt abgestimmten Materialien aufgebaut: Die äußere Schicht der Keule vorwiegend aus Phosphorverbindungen wie Kalziumphosphat und Kalziumkarbonat macht sie sehr hart und sie ist stark mineralisiert. Im Inneren der

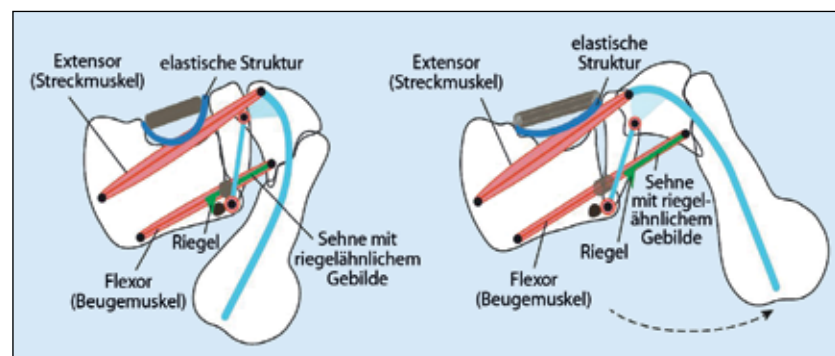


Abb.2 Fangbein des Fangschreckenkrebses. Aus PATEK (2016), mit freundlicher Genehmigung von American Scientist.

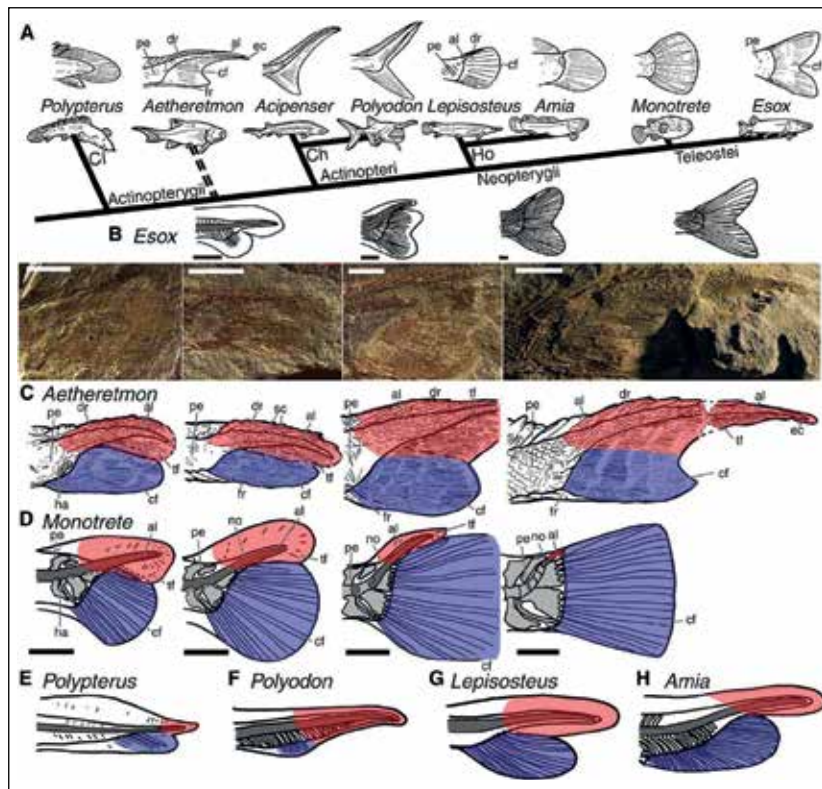


Abb. 1 Phylogenie und kaudale Ontogenese bei den Strahlenflossern. Der Vergleich ontogenetischer Stadien der Schwanzentwicklung bei heute lebenden Strahlenflossern mit fossil erhaltenen Stadien ihrer hypothetischen Vorfahren ist nahezu identisch. Die heute beobachtbare Ontogenese der Schwanzregion kann deshalb keine Rekapitulation der Phylogenese sein. Die embryonalen Anlagen und die endgültigen Schwanzflossen sind blau, während die ontogenetischen Anlagen und die endgültigen Strukturen des Schwanzes fossiler Formen als Verlängerung der Wirbelsäule und die dazugehörigen Flossen-/Dermalstrukturen rot dargestellt sind.
A Hypothetische phylogenetische Abfolge der Strahlenflosser (Actinopterygii) unter Berücksichtigung der Baupläne der Schwanzregionen der jeweiligen ausgewachsenen Gattungen (Details einzelner Formen siehe auch E-H)
B Ontogenetische Stadien der Entwicklung der Schwanzregion beim heute lebenden Hecht (Maßstabsbalken = 1 mm), die man als Rekapitulation interpretieren könnte.
C Fossil erhaltene, embryonale und ausgewachsene Entwicklungsstadien der Schwanzregion von *Aetheretmon*
D Die kaudale Ontogenese des Kugelfisches *Monotrete* (Schwarze Skalenleisten = 0,5 mm). (Aus SALLAN 2016, mit freundlicher Genehmigung)

Keule herrscht eine starke Schichtung vor, was die Eigenschaft und den Vorteil aufweist, dass die Energie des Aufpralls effektiv zerstreut wird und Mikrorisse im Inneren statt an der Oberfläche entstehen.

Mit dieser Technik ist der Clown-Fangschreckenkrebs fähig, eine der schnellsten Bewegungen auf unserem Planeten auszuführen – diese Fähigkeit ist ohne die verschiedenen perfekt aufeinander abgestimmten anspruchsvollen Komponenten undenkbar. Durch die Erkenntnisse, die an den Fangbeinen gewonnen wurden, profitieren nicht allein Physik, Ingenieurwesen und Ökologie – sie bieten auch einen klaren Hinweis für eine durchdachte Schöpfung.

[PATEK S (2016) Die schnellsten Bewegungen von Lebewesen. Spektr. Wiss. 2/2016, S. 20-27] M. Kurz

■ Fossilien widersprechen dem Biogenetischen Grundgesetz

Die von Ernst HAECKEL 1866 als Naturgesetz beschriebene Behauptung, dass Organismen während ihrer frühen Individualentwicklung (Embryogenese, Fetogenese) einen Formwandel durchlaufen, welcher ihre Stammesgeschichte widerspiegelt, galt bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts als wissenschaftlich widerlegt (ULLRICH 1998). Vor allem vergleichend-anatomische und erste experimentelle Untersuchungen konnten zeigen, dass die deskriptiven und die kausalen Aussagen des Biogenetischen Grundgesetzes falsch sind, d. h. sowohl die bloßen Beschreibungen der embryonalen Prozesse als auch die behaupteten

Ursachen dafür haben sich als nicht haltbar erwiesen. Unbeeindruckt von immer wieder aufflammender Kritik (z.B. RICHARDSON et al. 1997) überlebte der Gedanke, in Embryonen doch das Bild ihrer stammesgeschichtlichen Vorfahren zu sehen, auch das 20. Jahrhundert. Eine interessante Studie von L. SALLAN (2016) an fossil erhaltenen Fischembryonen des Knochenfisches *Aetheretmon*, der zuletzt in 350 Millionen Jahre alt datierten Sedimenten gefunden wurde, zeigt eindrucksvoll, dass deren frühe Entwicklungsstadien speziell in der Schwanzregion bis in den mikroskopischen Bereich hinein keine Unterschiede zu denen moderner Knochenfische aufweisen (Abb. 1). Hätte HAECKEL recht, müssten diese urtümlichen Fische in ihrer frühen Entwicklung primitivere Stadien aufweisen, die ihrer hypothetischen Stammesgeschichte entsprechen, so die Autorin. Doch deren Entwicklung ist genauso modern wie die der heutigen Knochenfische.

Die Berufung auf HAECKELS Biogenetisches Grundgesetz (auch in seiner abgeschwächten Form als Grundregel) dokumentiert ein immer wieder zu beobachtendes Phänomen bei der Interpretation naturhistorischer Fakten: Eingängige Hypothesen überleben auch vielfache Schwächung oder gar ihre Widerlegung. Ob der durch SALLAN erneut erfolgte Nachweis der Falschheit der Behauptungen HAECKELS tatsächlich dazu führen wird, dass diese als Erklärungsansatz aus wissenschaftlichen Artikeln, populären Medien, Schul- und Lehrbüchern verschwinden, ist allerdings fraglich.

[RICHARDSON MK et al. (1997) There is no highly conserved embryonic stage in the vertebrates. *Anat. Embryol.* 196, 91-10 • SALLAN L (2016) Fish 'tails' result from outgrowth and reduction of two separate ancestral tails. *Curr. Biol.* 26, 1224-1225 • ULLRICH H (1998) Die Wiederentdeckung eines Irrtums. Individualität und Variabilität von Wirbeltierembryonen im Konflikt mit phylogenetischen Konzeptionen. *Stud. Integr. J.* 5, 3-6.] H. Ullrich

■ Antibakterielle Marsoberfläche

Der Mars ist noch lebensfeindlicher als bislang gedacht: Denn Perchlorate an der Marsoberfläche verstärken die