

ermöglicht einen schnelleren Flug. Die Federflügel-Käfer sind aber so klein, dass die Fähigkeit zum aktiven Flug kaum noch zu erwarten wäre. Dennoch können sie mit Geschwindigkeiten und Beschleunigungen fliegen, die dreimal so hoch sind wie die von anderen kleinen Insekten. FARISENKOV et al. 2022 konnten zeigen, dass diese Leistung auf eine geringere Flügelmasse und einen bisher unbekannten Flügelbewegungszyklus zurückzuführen ist. Die fiederigen Flügel erwiesen sich als deutlich leichter im Vergleich zu den gängigen Membranflügeln. Die einzelnen Borsten der Federstrukturen besitzen weitere kurze Auswüchse (Abb. 1c). Im Zusammenspiel ermöglicht dies den Käfern, ihre Flügel vergleichsweise leicht durch die für sie „zähe“ Luft zu bewegen. Der Flügelschlag folgt einer ausgeprägten Achterschleife, die aus senkrechten Auf- und Abwärtsschlägen besteht. Bei Schlagumkehrungen klatschen die Flügel oberhalb und unterhalb des Körpers fast zusammen. Die freien Zwischenräume der „Federflügel“ sind aufgrund der erhöhten Viskosität (Zähigkeit) der Luft im Miniaturmaßstab kein Problem, da kaum Luft beim Flügelschlag durch die fiederigen Flügel dringt.

Aber nicht nur die ungewöhnlich gestalteten Flügel sind für den Flug entscheidend. Auch die Flügeldecken der Käfer spielen eine wichtige Rolle. Sie bewegen sich im Flug auf eine Weise, dass sie das Schlagsystem der Flügel ausgleichen und dadurch den Flug stabilisieren. Erst das Gesamtsystem ermöglicht die besonderen Flugleistungen der winzigen Käfer.

Die Federflügel-Käfer weisen somit ein deutlich anderes Flugsystem als andere Insekten auf. Für dessen Funktionsweise sind mehrere fein aufeinander abgestimmte Komponenten und zugleich ausgefeilte Bewegungsmuster vonnöten. Einmal mehr sieht es danach aus, dass – jedenfalls im Wesentlichen – das „Alles-oder-nichts-Prinzip“ gilt und zahlreiche feine Abstimmungen erforderlich sind. Dennoch wird sogar eine mehrfach unabhängige Entstehung von Federflügeln auch

in anderen Insektengruppen angenommen (FARISENKOV et al. 2022, 1). Und einmal mehr zeigt sich, dass bei den Lebewesen die Grenzen des physikalisch Vorstellbaren phantasievoll konstruiert ausgenutzt werden – alles zusammen klare Indizien für einen Schöpfer. Kein Wunder, dass die Wissenschaftler damit liebäugeln, die gewonnenen Erkenntnisse bei der Entwicklung von kleinen Fluggeräten nutzen zu können.

[FARISENKOV SE, KOLOMENSKIY D et al. (2022) Novel flight style and light wings boost flight performance of tiny beetles. *Nature* 602, 96–100, doi:10.1038/s41586-021-04303-7] R. Junker

■ Mini-Schnecke wirft Fragen auf

Die Grenzen des physikalisch Möglichen restlos ausnutzen – das scheint die Devise bei der Entstehung der „Extrem“-Lebewesen unter den vielzelligen Tieren zu sein. In dieser Ausgabe von *Studium Integrale Journal* wurde das im Beitrag über die Federflügel-Käfer deutlich. Viele Beispiele dieser Art könnten angefügt werden, etwa ultraleichte Kolibris oder die Zwerg-Fledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*), die kaum mehr wiegt als ein halbes Blatt Schreibmaschinenpapier.

In die Reihe der Miniatur-Vielzeller reihen sich auch winzige Schnecken ein, die kleiner sind als ein Sandkorn. Erstaunlich, dass sie überhaupt entdeckt wurden. Eine Forschergruppe fand kürzlich im Sediment einer Höhle in Nordviet-

nam zahlreiche winzige Schneckengehäuse, die im Schnitt nur 0,48–0,57 mm hoch und 0,6–0,68 mm lang waren (PÁLL-GERGELY et al. 2022). Die neue Art aus der Schneckenordnung Stylommatophora erhielt den Namen *Angustopila psammion* (Abb. 1). Das Schalenvolumen betrug inklusive der Schale minimal nur 0,036 mm³. Damit unterbot die *A. psammion* den bisherigen Minusrekord von Landschnecken. Noch kleinere Formen sind nur aus dem Meer bekannt. Der bisherige Minusrekordhalter auf dem Land war *Acmella nana*, die zu einer anderen Schneckenordnung gehört, mit einer Schalenhöhe von 0,60–0,79 mm und einer Schalenweite von 0,5–0,6 mm (PÁLL-GERGELY et al. 2022, 72).

Je kleiner ein Organismus, desto höher die Anforderungen an seine Organe und an seinen Energiehaushalt. Warum tun sich Lebewesen diese Miniaturisierung also an, könnte man salopp fragen. Evolutionsbiologen formulieren daraus die Frage, welche Selektionsdrücke die Miniaturisierung begünstigen, obwohl das Überleben zunehmend schwieriger wird, je geringer die Körpergröße ist. Auch PÁLL-GERGELY et al. (2022, 63) werfen angesichts der neu entdeckten Mini-Schnecke diese Frage auf. Die evolutionären Triebkräfte für die extrem kleine Körpergröße bei wirbellosen Tieren seien in der Evolutionsbiologie nach wie vor umstritten, da einerseits die „Möglichkeiten der Anpassung“, andererseits auch physische und physiologische Zwänge aufeinandertreffen. Die Autoren dis-



Abb. 1 *Angustopila psammion*. (Foto: Senckenberg)

kutieren, dass die geringe Körpergröße die Aufnahme von sehr kleinen Nahrungspartikeln ermöglicht, ebenso den Zugang zu feinen Spalten, die für größere Tiere zu klein sind. Außerdem macht extreme Kleinheit die Tiere für Räuber unattraktiv und gibt bessere Chancen, unentdeckt zu bleiben.

Aber erklärt das die Evolution der Mini-Schnecken? Den möglichen Vorteilen, die nur auf Mutmaßungen beruhen, stehen harte physische und physiologische Einschränkungen gegenüber. Es wird vermutet, dass Sinnesrezeptoren und die Verarbeitung von Reizen im Gehirn unterhalb einer bestimmten Größe nicht mehr funktionieren, weil die Anzahl der verfügbaren Zellen unter einen lebensfähigen Schwellenwert fällt. Ein weiteres Problem ist eine erhöhte Gefahr des Austrocknens, da das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen bei den kleinsten Landschnecken extrem hoch ist. Außerdem muss die Schneckenschale ausreichend Platz für mindestens ein Ei bieten. Aus diesen Gründen vermuten die Wissenschaftler, dass die Tiere nicht noch kleiner werden können und die minimale Kleinheit erreicht ist.

In einem einflussreichen Artikel haben GOULD & LEWONTIN (1979) das Erfinden von „Anpassungsgeschichten“ kritisiert, mit denen Konstruktionen von Lebewesen durch Evolution erklärt werden. Solche Geschichten seien spekulativ und nicht testbar. Aus der Perspektive der Schöpfung darf man auch spekulieren. Dass die physikalischen Möglichkeiten bis zur absoluten Grenze ausgereizt sind, kann man als Hinweis auf einen Schöpfer werten, der nicht nur gemäß „08/15“ erschaffen hat, sondern Freude am Ausschöpfen des Möglichen hat und dabei nicht allein auf Funktionalität und Zweckmäßigkeit achten muss.

[GOULD SJ & LEWONTIN RC (1979) The Spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm: A Critique of the Adaptationist Programme. Proc. R. Soc. Lond. B. 205, 581–598 • PALL-GERGELY B, JOCHUM A et al. (2022) The world's tiniest land snails from Laos and Vietnam (Gastropoda, Pulmonata, Hypselostomatidae). Contrib. Zool. 91, 62–78, doi:10.1163/18759866-bja10025] R. Junker



Abb. 1 Markante Oberfläche unterhalb der Mattenberg-Nordwand (Grindelwald, Schweiz). Die Pfeile deuten auf die hufeisenförmigen Strukturen (vgl. Abb. 3) und zeigen gleichzeitig die mutmaßliche Strömungsrichtung an. Ausschnitt aus Abb. 2; Foto: M. KOTULLA, 2021.

■ Gletscher- oder Wassererosion?

Zahlreiche Oberflächenformen in den Alpen werden traditionell als Gletscherschliff aufgefasst. Ein Teil dieser Erosionsformen könnte aber durch subglaziale¹ Wasserströme und nicht durch eine Schleifwirkung des Gletschers entstanden sein. Diese Möglichkeit wird für die markante Oberfläche unterhalb der Mattenberg-Nordwand (Grindelwald, Schweiz) in Betracht gezogen.

Beobachtung. Bei einer geologischen Exkursion im Spätsommer 2021 ist einigen Teilnehmern eine markante Oberfläche unterhalb der Mattenberg-Nordwand (Grindelwald, Schweiz) aufgefallen. Sie kann vom Bachbett der Schwarzen Lutschine aus eingesehen werden (Abb. 2). Dieses Gebiet wurde zuletzt während der kleinen Eiszeit (etwa 1450–1850) vom Oberen Grindelwaldgletscher eingenommen.

Der Kalkstein-Körper hat eine Dimension von wenigen Zehnermetern. Die „Furchen“ der „welligen“ Oberfläche sind nicht eben, sondern steigen etwa in südwestlicher Richtung leicht an. Auffallend sind die liegenden U- oder hufeisenförmigen Strukturen, die links einsetzen und parallel angeordnet sind (Abb. 1, Pfeile).

Interpretation. Die liegenden U- oder hufeisenförmigen Strukturen

ähneln sog. Hufeisenwirbeln (horse-shoe vortices) der skulpturierten Felsen von Cantley (Quebec, Kanada; Abb. 3). In Cantley entstanden diese Erosionsformen durch Fließprozesse, durch subglaziale, schnellströmende Wasser. Aufgrund der Ähnlichkeit der Formen (Cantley – Mattenberg) wird angenommen, dass ihre Entstehung auf gleiche Weise erfolgte. Dabei geben die Pfeile in Abb. 1 auch die Fließrichtung

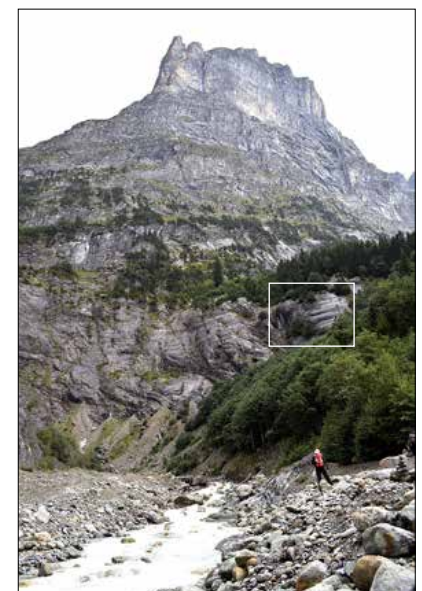


Abb. 2 Nordwand des Mattenbergs bei Grindelwald, Schweiz. Der Bach im Vordergrund, die Schwarze Lutschine, wird hauptsächlich vom Oberen Grindelwaldgletscher gespeist, der Mitte des 19. Jahrhunderts noch über diesen Talabschnitt und weiter floss. Das weiße Rechteck zeigt die Stelle der markanten Oberfläche, die in Abb. 1 vergrößert dargestellt ist. Foto: M. KOTULLA, 2021.