



**Abb. 1** Über ein geniales Navigationsvermögen verfügen Bienen. (Foto: W. BORLINGHAUS)

Geschwindigkeit und Zielentfernung permanent erfasst und in Beziehung zueinander gesetzt. Der Rechenaufwand ließe sich nach der genial einfachen Methode der Bienen (möglicherweise auch der anderer Insekten) minimieren, wenn man deren Vorgehensweise technisch präzise und sicher genug umsetzen könnte. Die Bienen-Methode hat nämlich den Vorteil, dass weder die exakte Geschwindigkeit noch die Entfernung bekannt sein muss, um einen korrekten Anflug inklusive Landung durchführen zu können. Das Beispiel zeigt, dass klug eingesetzte Vereinfachungen zur besseren Funktionalität eines hochkomplexen Organismus beitragen können. In diesem Fall wird eine extrem schnelle Datenverarbeitung im Bienenhirn ermöglicht. Eine solche „Vereinfachung“ kann sicher nicht als primitiv oder gar als Rückschritt gedeutet werden, wenn sie Bestandteil eines stimmigen Gesamtkonzepts ist.

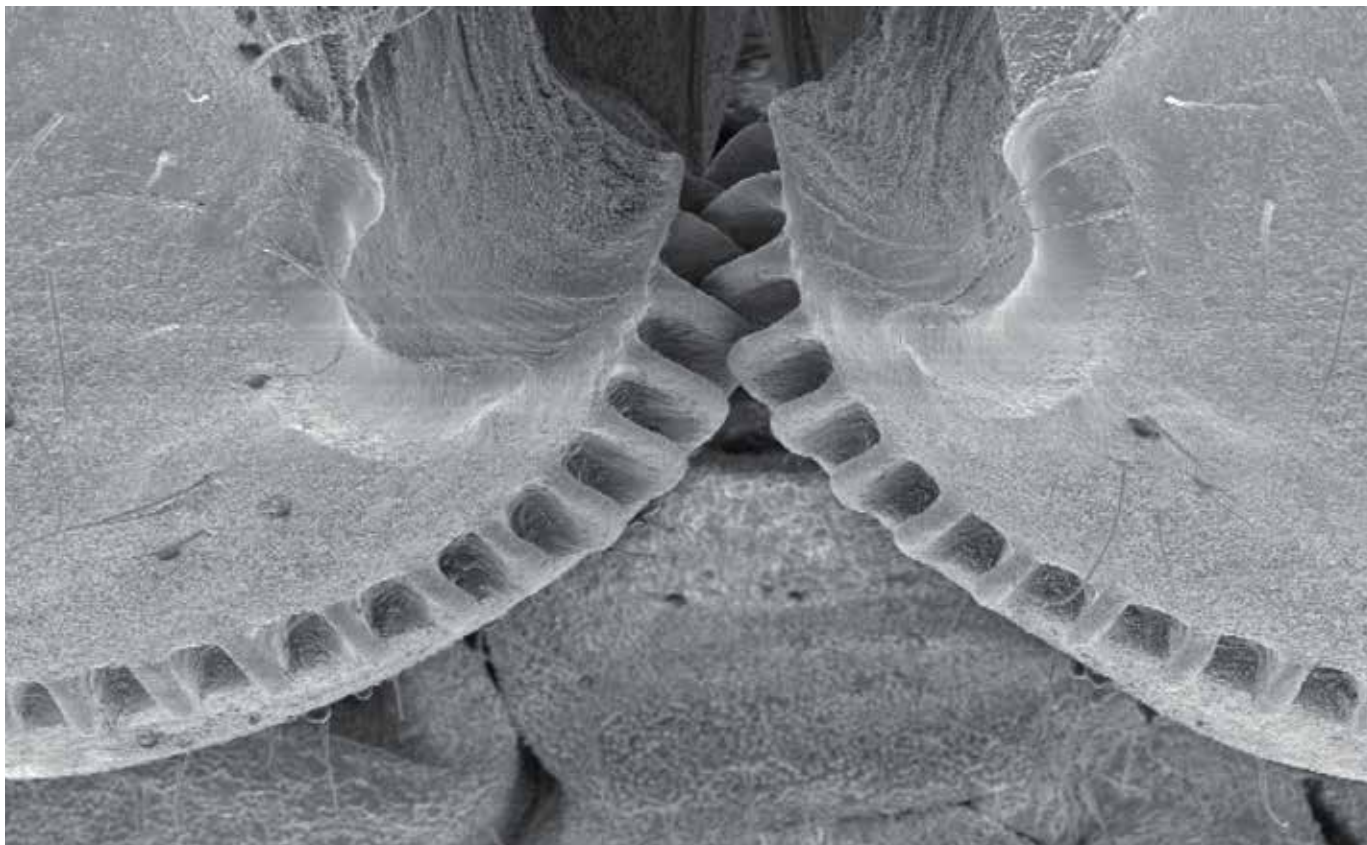
[BAIRD E, BOEDDEKER N, IBBOTSON MR & SRINIVASAN MV (2013) A universal strategy for visually guided landing. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110, 18686-18691.] W. Borlinghaus

## ■ Zahnräder bei Zikadenlarven

Zahnräder sind bereits in einfacher Form seit der Antike bekannt. Damals wurden Holzstücke von außen in Radreifen aus Holz gesteckt. Sogenannte Göpel bildeten einfache Kraftübertragungs-Getriebe. Diese wurden z.B. im Mittelalter bei Mahlwerkzeugen angewandt und besaßen oft einen „Pferdeantrieb“. Leonardo da Vinci experimentierte im 15. Jhd. mit Zahnradern und entwickelte entsprechende Getriebe, die seiner Zeit weit voraus waren. Zahnräder sind eine ideale Form der Kraftübertragung bei sich drehenden Wellen. Unterschiedliche Durchmesser ermöglichen bei komplexeren Getrieben unterschiedliche Drehzahlen. Zahnräder und deren Weiterentwicklungen finden sich in unzähligen Anwendungsbereichen. Besonders hochwertig sind mechanische Uhrwerke als Meisterwerke der Zahnradtechnik. Das Entscheidende beim Zahnrad ist die Kraftübertragung möglichst ohne Spiel. Dazu müssen die einzelnen Zähne eine

spezielle abgerundete Form aufweisen, um den Kraftschluss permanent aufrecht zu erhalten. Die abgerundete Form verhindert außerdem, dass sich die ineinander greifenden Zähne verklemmen. Dadurch werden Abrieb und Materialermüdung minimiert.

Die einfache Form der Zahnrad-Funktion, die Synchronisation von Bewegungen wurde 2013 bei der Käferzikaden-Larve *Issus coleoptratus* in Form zweier Zahnkränze nachgewiesen und damit ist diese Mechanik nachweislich keine Erst-Erfindung des Menschen. Der Deutsche Klaus SANDER hatte zwar bereits in den 1950er Jahren zahnradähnliche Strukturen bei Zikaden-Larven entdeckt, doch wurde erst durch die Beobachtungen und Hochgeschwindigkeits-Zeitlupenaufnahmen von Malcolm BURROWS von der University of Cambridge und Gregory SUTTON von der University of Bristol die genaue Funktion sichtbar gemacht und nachgewiesen. Die „Zahnräder“ sitzen an den Innenschenkeln der Zikaden-Larve und synchronisieren



**Abb. 1** Die Miniatur-Zahnräder der Käferzikaden-Larve *Issus coleoptratus*. Bildbreite ca. 0,5 mm! (© BURROWS & SUTTON, University of Cambridge, UK, Abdruck mit freundlicher Genehmigung.)

beim Absprung die Bewegung der Beine. Erstaunlicherweise handelt es sich um nahezu perfekt abgerundete „moderne“ Zahnräder. Sowohl die Zahnenden als auch deren Basis weisen statisch optimierte Abrundungen auf. Unklar bleibt, wie sich ein solcher Mechanismus inklusive der für den Funktionserhalt notwendigen Optimierungen im Laufe einer Evolutionsgeschichte ergeben haben sollen. Unklar bleibt auch, warum nur Jungtiere diesen Mechanismus aufweisen. Es wird vermutet, dass bei adulten Exemplaren das Risiko für einen Totalausfall des Systems zu hoch wäre, wenn ein Zahn bricht. Sie koordinieren die Sprungbewegung über Nerven-Impulse. „Zahn“-Brüche könnten bei juvenilen Zikaden durch weitere Häutungen repariert werden, vermuten die Forscher. Nicht nur die Zahnräder sind ausgeklügelt konstruiert, sondern – wie es scheint – auch der Zeitraum ihrer Nutzung im Laufe der individuellen Entwicklung.

[BURROWS M & SUTTON G (2013) Interacting gears synchronize propulsive leg movements in a jumping insect. *Science* 341, 1254-1256.] W. Borlinghaus.

## ■ Eichelwürmer – vom Kambrium bis heute unverändert

Eichelwürmer aus dem Mittelkambrium ähneln heutigen Formen in erstaunlichem Maße. Nachdem kürzlich in der Antarktis erstmals Eichelwürmer entdeckt wurden, die Röhren bilden, ist die Ähnlichkeit mit den ebenfalls röhrenbildenden fossilen Formen perfekt. Die zwischenzeitlich diskutierte Vorstellung, die fossilen Eichelwürmer könnten Bindeglieder zu den Flügelkiemern (Pterobranchia) sein, ist damit nach Ansicht der Entdecker nicht haltbar.

Anfang des Jahres wurden schon länger fossil bekannte wurmartige Organismen aus dem mittelkambrischen Burgess-Schiefer eindeutig als Eichelwürmer identifiziert (CARON et al. 2013; GEE et al. 2013). Die betreffende Art wurde als *Spartobranchius tenuis* klassifiziert und gleicht heutigen Formen aus der Gruppe der Harrimaniiden bis in Details (vgl. Stud. Integr. J. 20, 118-119). Sie sind damit auch ein Beispiel für

*Stasis* – das nahezu unveränderte „Stehenbleiben“ eines Bauplans über geologische Zeiträume hinweg. Der Nachweis von Eichelwürmern im Kambrium vergrößert die ohnehin immense Vielfalt der während der kambrischen Explosion auftretenden Formen noch weiter.

Die Eichelwürmer (Enteropneusta) werden zusammen mit den Flügelkiemern (Pterobranchia) zu den Hemichordaten gestellt. Die Arten dieser auch als Kiemenslochtiere benannten Gruppe besitzen einen weichen, wurmförmigen Körper und sind äußerlich in Kopfschild, Kragen und Rumpf dreigeteilt. Die bis zu 10 cm langen Eichelwürmer leben am Meeresboden und graben Gänge. Sie bewegen sich im Meeresboden durch wellenförmige Muskelkontraktionen vorwärts und leben von im Schlamm enthaltenen organischen Partikeln mit Hilfe eines Nahrungstrichters am Vorderende. Da auch die Pterobranchia aus dem Kambrium bekannt sind, ist klar, dass der Ursprung der Hemichordaten entsprechend ins Unterkambrium