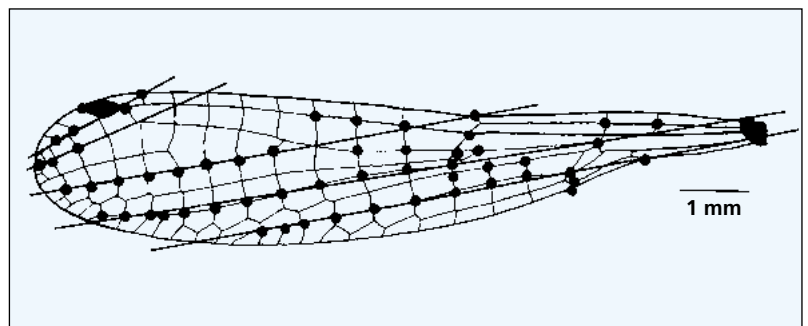


Libellen – urtümliche, perfekte Flugkünstler

Aufgrund des Fossilbefundes wird der Anfang des Insektenflugs im Oberen Silur diskutiert (WOOTTON & KUKALOVA-PECK 2000). Insektenkundler bezeichnen Libellen (Odonata) u.a. aufgrund ihrer Flügelform als urtümlich. In einem gewissen Spannungsverhältnis dazu steht deren ausgezeichnetes Flugvermögen. So sind Libellen geschickte Jäger, und viele Arten zeichnen sich durch einen ausgesprochen wendigen Flug aus (GORB et al. 2000). Auffällig ist auch ihre Fähigkeit, im Schwebflug zu verharren und rückwärts zu fliegen. Mit solch wendigen Flugmanövern werden andere Insekten z.B. mit den korbartig zusammengelegten, bedornen Beinen im Flug gefangen oder von Pflanzen geschnappt. Die vier Flügel können nicht wie bei den Vögeln aktiv durch Muskelkraft in ihrer Form verändert und der aktuellen Flugsituation angepaßt werden. Denn die Flugmuskeln reichen bei Insekten nur bis zur Flügelbasis; das Profil der Flügel können sie nicht aktiv variieren (WOOTTON 1991).

Die Insektenflügel bestehen wie die Cuticula („Häutchen“, das Außenskelett von Insekten und Krebsen) aus Chitin und Proteinen. Aus diesem sehr vielseitigen Material bestehen sowohl die glasig-durchsichtigen Doppelmembranen der Flügelzellen als auch das die Flügel durchziehende Netz von Längs- und Queradern. Dieses Grundgerüst der Flügel dient gleichzeitig als Atemröhren. GORB (1999a) hat nun in Studien an der Becher-Azurjungfer (*Enallagma cyathigerum*, Zygoptera) nachweisen können, daß die Verbindungen der Adern in zwei Varianten vorkommen. Dieses Fachwerk

angreifen, wieder frei, so daß der Flügel wieder seine ursprüngliche Form annimmt. Dadurch werden z. B. in Abhängigkeit von Windrichtung und -stärke stets ein günstiger Anstellwinkel und ein optimales Profil gewährleistet. Zu den optimalen aerodynamischen Eigenschaften des Libellenflügels tragen außerdem das spezielle Faltungsmuster des Adernetzwerks bei sowie die Ultrafeinstruktur der Flügelmembran. Diese wird von GORB und Mitarbeitern z.Z. mit speziellen faseroptischen Meßsystemen eingehender untersucht. GORB et al. (2000) schließen ihren Beitrag angesichts solcher



Befunde denn auch staunend mit der Bemerkung ab: „Im Licht der neuen Befunde erscheinen Libellenflügel jedenfalls als frühe Meisterstücke der Evolution: als in Gestalt und Material perfekt konstruierte Flugwerkzeuge, die auch nach Hunderten von Jahrmillionen noch keineswegs veraltet sind.“ (WOOTTON & KUKALOVA-PECK [2000] haben einen Überblicksartikel über Fluganpassungen von fossilen Insekten publiziert, in welchem auch fossile Libellen weiten Raum einnehmen.) In einer Arbeit über Fossilien von Libellenartigen staunen WOOTTON et al. (1998) darüber, daß diese „neben vielen ähnlich gestalteten (plesiomorphen) Anlagen Spezialisierungen zeigen, die denjenigen entsprechen, die gerade in modernen Libellen beschrieben sind und damit gute Hinweise für eine frühe Entwicklung vielseitiger Flugtechniken liefern.“ Sie sehen darin „spektakuläre Beispiele für Mikrotechnologie (microengineering)“.

GORB hatte (1999b) bereits bei früheren Untersuchungen an Libellen weitere erstaunliche Beobachtungen gemacht. Er untersuchte 227 Arten aus 26 Libellenfamilien und wies verschiedene Ausführungen eines Arretiersystems für den Kopf der Libellen nach. Dieses Arretiersystem funktioniert nach dem Prinzip des Klettverschlusses (dieses wird z.B. als leicht zu bedienender Verschuß an Kleidungsstücken angewendet) und erlaubt es der Libelle, unter hoher Belastung (z.B. nach Beuteaufnahme) den sehr beweglichen, aber mechanisch verhältnismäßig labil aufgehängten Kopf zu

*Abb. 1: Flügeladerung einer Becher-Azurjungfer (*Enallagma cyathigerum*). Die Resilin-Mikrogelenke sind markiert. Die eingezeichneten Linien deuten die Achsen an, auf welchen diese etwa angeordnet sind. Beim Flügelschlag kann sich der Flügel entlang dieser Achsen elastisch verformen. (Nach GORB et al. 2000)*

Liebelln liefern spektakuläre Beispiele für Mikrotechnologie.

weist starre, unbewegliche Verbindungen auf und solche, die flexibel sind. Mittels fluoreszenzmikroskopischer Techniken konnte er zeigen, daß die Flexibilität im Zusammenhang mit Resilin, einem Protein, steht. Dieses Protein ist aus vielen anderen Insekten bekannt und erlaubt durch seine elastische Materialeigenschaft, daß sich die entsprechenden Verbindungen wie Mikrogelenke verhalten. Im Adernetz des Libellenflügels sind diese Mikrogelenke in verschiedenen Achsen angeordnet (Abb. 1). Beim Flügelschlag wirken nun auf diese Mikrogelenke Torsionskräfte, welche über die Gelenkachsen das Profil der Flügel verändern. Das Resilin nimmt beim Verwindungsvorgang die Energie auf und setzt sie am Ende des Flügelschlags, wenn keine aerodynamischen Kräfte mehr

arretieren, indem sie ihn gegen den Thorax zieht und ihn dort mittels des Klettverschluß-Systems fixiert. Dabei büßt der Kopf an Beweglichkeit ein; die Manövrierfähigkeit der Libelle bleibt aber weitgehend erhalten. Die Libelle kann dieses Arretiersystem jederzeit wieder aktiv lösen. Solche erstaunlichen Erscheinungen, die für Ingenieure noch viele Herausforderungen und lohnende Studienobjekte darstellen, finden sich ausgerechnet bei Insekten, die von Zoologen anhand entsprechender Kriterien als einfach oder gar primitiv charakterisiert werden.

Harald Binder

Literatur

- GORB SN (1999a) Serial elastic elements in the damselfly wing: mobile vein joints contain resilin. *Naturwissenschaften* 86, 552-555.
- GORB SN (1999b) Evolution of the dragonfly head-arresting system. *Proc. R. Soc. Lond. B* 266, 525-535.
- GORB S, SCHWARZ U & FRESE W (2000) Was Libellen zu Flugkünstlern macht. *Spektr. Wiss.* 7/2000, 12-13.
- WOOTTON RJ (1991) Das Design von Insektenflügeln. *Spektr. Wiss.* 1/1991, 58-65.
- WOOTTON RJ, KUKALOVA-PECK J, NEWMAN DJS & MUZON J (1998) Smart engineering in the Mid-Carboniferous: How well could Paleozoic dragonflies fly? *Science* 282, 749-751.
- WOOTTON RJ & KUKALOVA-PECK J (2000) Flight adaption in Palaeozoic Palaeoptera (Insecta). *Biol. Rev.* 75, 129-167.

Eine neue Erklärung für die Entstehung der Homochiralität?

Für Leben sind viele Voraussetzungen nötig. Eine davon betrifft die genaue räumliche Gestalt lebensnotwendiger Moleküle. Aminosäuren, Zucker und sehr viele andere Lebens-Bausteine kommen nur in einer von zwei spiegelbildlichen Formen vor bzw. nur die eine Form ist in einem bestimmten Organismus oder für eine bestimmte Funktion

brauchbar. Diese molekulare Asymmetrie der Natur nennt man Homochiralität. Den Begriff „Chiralität“ prägte Lord Kelvin in einer Fußnote seiner „Baltimore Lectures“ (KELVIN 1904). Chiralität ist die Erscheinung, daß ein Molekül oder sonstiger Gegenstand in zwei zueinander spiegelbildlichen Formen existieren kann (Abb. 1). Chiralität heißt übersetzt Händigkeit, denn die

beide Alternativen gleich wahrscheinlich und eine natürliche Ursache dieses Naturphänomens schwer vorstellbar, wird aber gesucht (BONNER 2000, FERINGA & VAN DELDEN 1999, CLINE 1996, IMMING 1996).

Bisherige Erklärungsversuche. Alle Erklärungshypothesen lassen sich einer von zwei Gruppen zuordnen: (1) Ein (statistisch nahezu unmögliches, im Detail unbekanntes) Ereignis hat das Gleichgewicht irgendwann zugunsten des einen Enantiomeren verschoben. (2) Ein physikalischer Einfluß hat die Entstehung oder Zersetzung des einen Enantiomeren begünstigt. Diese Hypothesen konnten bisher jedoch nicht erfolgreich getestet werden. Vor kurzem erschien eine Publikation mit einer neuen Hypothese der zweiten Kategorie. Diese Arbeit (RIKKEN & RAUPACH 2000) soll hier diskutiert werden.

Prinzipiell lautet die Frage, ob man eine chemische Reaktion mit achiralen oder racemischen Ausgangsstoffen (Edukten), aber chiralen Produkten so beeinflussen kann, daß kein Racemat entsteht, sondern bevorzugt eines der Enantiomere. Als mögliche Einflußgröße wird seit langem immer wieder ein Magnetfeld versucht oder diskutiert. Das geht auf ein leider oft falsch verstandenes Experiment Faradays aus dem Jahr 1846 zurück. Er ließ ein Magnetfeld auf linear polarisiertes Licht einwirken. Die Ebene des Lichtes wurde dadurch gedreht. Da eine Lösung eines reinen Enantiomeren ebenfalls die Ebene des linear polarisierten Lichtes dreht, wurde von manchen Wissenschaftlern der physikalisch nicht haltbare Schluß gezo-

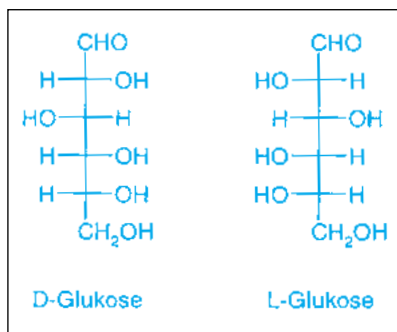


Abb. 1: Die Enantiomere von Glucose (Traubenzucker). Nur das D-Isomer kommt in der Natur vor.

Hände sind ein Beispiel für chirale Objekte. Zwei zueinander spiegelbildliche Moleküle heißen „Enantiomere“, ein 1:1-Gemisch zweier Enantiomere „Racemat“.

„Homochiralität“ bedeutet, daß von den beiden Enantiomeren nur das eine vorgefunden wird. Genau das ist eines der großen Naturrätsel. Beispielsweise kommt in der Natur nur D-Glucose (Traubenzucker) vor, jedoch nicht sein Spiegelbild L-Glucose (Abb. 1). Am Anfang, also vor der Entstehung von Lebewesen, muß irgendwann die Entscheidung zugunsten der einen Sorte Enantiomer gefallen sein. Enantiomere haben – bis auf einen sehr kleinen Unterschied – den gleichen Energieinhalt. Daher sind in einer abiotischen Umgebung