

1. Ein schmaler, markanter Apex (vorderes Ende),
2. ein dickwandiger Apex (im Gegensatz zum dünnwandigen vorderen Blinddarm) und
3. Konzentration von lymphoidem Gewebe.

Werden diese Kriterien zugrundegelegt, erscheinen die Wurmfortsätze der höheren Primaten abgeleiteter („höherentwickelter“) als die niederen Primaten. Mithin könnte der Appendix nicht als rudimentäres Organ interpretiert werden. Allerdings sind die Verhältnisse bei vielen Primaten noch ungenügend bekannt. Vor einer stabileren Beurteilung sind daher weitere Untersuchungen erforderlich. Bisher wurde nach Auffassung von FISHER (2000, 235) die Einschätzung von Strukturen des Blinddarms als Appendix von vorgefaßten Meinungen über die Primatenphylogenie bestimmt.

Schlußfolgerungen. Dem Unvollkommenheits-Argument ist beim Appendix aufgrund der geschilderten Tatsachen der Boden entzogen. Die Vorstellung, beim Appendix handle es sich um ein rückgebildetes, oder gar nutzloses Organ, ist nicht haltbar. Damit entfällt auch das ohnehin fragwürdige Argument, das Vorkommen des Appendix spreche gegen Schöpfung. Die Rudimentations-Argumentation beruhte auf isolierten Vergleichen ohne genauere Berücksichtigung der taxonomi-

schen Verteilung des Vorkommens von Wurmfortsätzen bei Säugetieren sowie auf mangelnder Kenntnis über die tatsächlich vorhandenen Funktionen. Das Beispiel des Appendix sollte auch in anderen Fällen vermeintlicher Unvollkommenheiten oder Fehler bei den Lebewesen zur Vorsicht mahnen.

Reinhard Junker

Literatur

- DARWIN C (1967 [1859]) Die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl. Stuttgart. Orig.: DARWIN C (1859) The origin of species by means of natural selection or the preservation of favoured races in the struggle for life. London.
- FISHER RE (2000) The primate appendix: a reassessment. *Anat. Rec. (New Anat.)* 261, 228-236.
- JUDGE T & LICHTENSTEIN GR (2001) Is the appendix a vestigial organ? Its role in ulcerative colitis. *Gastroenterology* 121, 730-732.
- JUNKER R (2002) Ähnlichkeiten, Rudimente, Atavismen. Design-Fehler oder Design-Signale? *Studium Integrale*. Holzgerlingen.
- MÖRIKE KD, BETZ E & MERGENTHALER W (1981) Biologie des Menschen. Heidelberg.
- MURRIS HR (1991) Vestigial organs. A creationist re-investigation. *Origins* 5, 10-17.
- ROBERTS N: Does the appendix serve a purpose in any animal? *Scientific American: Ask the experts*, 24. 8. 01; www.sciam.com/askexdpert/biology/biology54/

Drei Schritte vor – zwei zurück: Flügel bei Stabschrecken

Anfang dieses Jahres erschien in der Fachzeitschrift *Nature* ein bemerkenswerter Artikel über den Verlust und die Wiedererlangung von Flügeln bei Stabschrecken im Laufe eines evolutiven Prozesses. Stabschrecken bilden eine eigene Ordnung (Phasmatodea) im Reich der Insekten. Sie besitzen häufig einen langgestreckten zylindrischen Körper und ihr Aussehen imitiert kleine Zweige. Andere Arten sind breiter und besitzen Anhänge an den Beinen, die sie wie Blatt- oder Holzstücke aussehen lassen. Ihre Färbung ist auf ihre jeweilige Tarnung perfekt abgestimmt. Es ist nicht bekannt, welche andere Insektengruppe – unter Voraussetzung von Evolution – mit ihnen am nächsten verwandt ist. Vorgeschlagene Kandidaten umfassen je nach Bearbeiter Heuschrecken, Grashüpfer, Ohrwürmer, Grillenschaben, Dictyoptera (Schaben, Gottesanbeterinnen, Termiten) oder Tarsenspinner.

In der Gruppe der Stabschrecken gibt es ungeflügelte, teilweise geflügelte und voll geflügelte

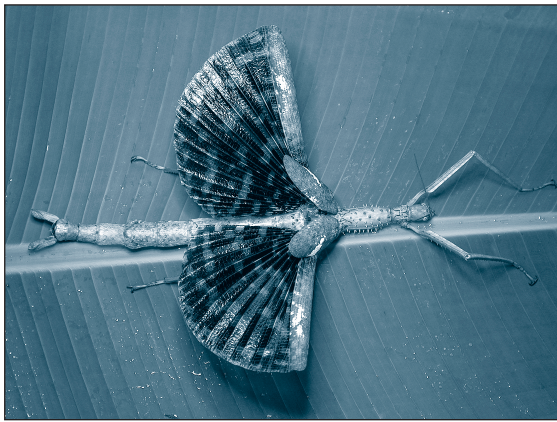
Arten (Abb. 1), wobei die Ausprägung der Flügelung bei den Männchen niemals geringer ist als bei Weibchen. Sind die Männchen flügellos, dann sind es auch die Weibchen. Sind die Männchen teilweise geflügelt, so sind die Weibchen teilweise geflügelt oder ungeflügelt. Sind die Männchen voll geflügelt, so sind die Weibchen voll, teilweise oder gar nicht geflügelt. Voll geflügelte Arten haben einen kleineren Vorderflügel, der sich im Ruhen über die größeren Hinterflügel legt. Diese Arten sind zu einem ausdauernden Flug fähig. In teilweise geflügelten Arten sind die Hinterflügel reduziert; diese Tiere können nur kurze Strecken fliegend überbrücken. Bei ungeflügelten Arten sind keinerlei Flügelteile sichtbar.

Zickzack-Evolution bei den Flügeln? Anhand von drei verschiedenen Gensequenzen, die nichts mit dem Flügelbau zu tun haben, haben nun WHITING und Mitarbeiter (2003) einen Stammbaum der

Abb. 1: Oben: Weibchen der geflügelten Stabschrecke *Phasmagigas*, ca. 30 cm lang.

Unten: Weibchen der ca. 25 cm langen flügellosen *Leprocaulinus spec.*. Beide Arten leben auf Papua Neu Guinea.

(Fotos: Alison WHITING/BYU, Abdruck mit freundlicher Genehmigung.)



Stabschrecken erstellt, der die Abstammung der einzelnen Arten widerspiegeln soll. Zu ihrer Überraschung ergab sich ein unerwarteter Verlauf in der vermuteten Evolution, was die Flügel anging. Nach üblichen Vorstellungen hatten die Insektenvorfahren bereits Flügel erworben. Der Ahn der Stabschrecken hatte die Flügel aber wieder verloren. Vier verschiedene Gruppen von Stabschrecken erfanden Flügel jedoch erneut, um sie in einer Gruppe wiederum zu verlieren. Dies ist erstaunlich, weil die Forscher vermuteten, daß der Erwerb von Flügeln als komplexe Strukturen im Laufe der Evolution nur höchst selten vorkam. Der Verlust von Flügeln ist hingegen nicht selten, zum Teil reicht die Mutation (= zufällige Genveränderung) eines einzigen Schaltergens, um flügellose Insekten zu erhalten. In vielen Insektengruppen gibt es flügellose Arten, z.B. sind bei Schmetterlingen manche Weibchen flugunfähig. Auf kleineren Inseln kommen ebenfalls nicht selten flügellose Fliegen vor, die auf den windumtosten Eilanden den Vorteil genießen, nicht ins Meer geblasen zu werden wie ihre flugfähigen Artgenossen.

Könnte es als sein, so fragen sich WHITING und Mitarbeiter (2003), daß das genetische Programm „Flügel“ im Erbgut der Tiere erhalten blieb, als diese ihre Flügel verloren, und später wurde es einfach nur reaktiviert? Für die Evolutionsbiologen ergibt sich aber in Verbindung mit den üblichen langen Zeiträumen ein ernsthaftes Problem. Wenn die Flügel durch eine Mutation abgeschaltet werden, dann können sich in den Genen, die für den

Flügelbau verantwortlich sind, weitere Mutationen ansammeln, ohne daß die Selektion diese schädlichen Mutationen beseitigt. Findet aber keine Selektion statt, ist das genetische Programm „Flügel“ irgendwann durch Mutationen derart beschädigt, daß es nicht wieder instandgesetzt werden kann. Würde dagegen die Ausbildung von Flügeln nicht abgeschaltet werden, dann würde Selektion die Verkümmern der Flügel verhindern. (Beispielsweise könnten Vögel Stabschrecken mit verkrüppelten Flügeln leichter fressen; damit wären die beschädigten Gene beseitigt, sprich selektiert worden.) Jedenfalls müßten spätere Nachfahren dann Flügel neu „erfinden“, womöglich auf einer ganz anderen genetischen Basis. Diese Möglichkeit ist aber wahrscheinlich nicht verwirklicht worden, denn die Struktur und Äderung der Flügel bei den Stabschrecken ist immer gleich, welches auf ein gleichartiges dahinterliegendes Programm schließen läßt. Wie also blieb das genetische Flügelprogramm im Laufe der Zeit bzw. Evolution erhalten, so daß einzelne Gruppen von Stabschrecken Flügel erneut „reevolvierten“ konnten?

Mögliche Kritikpunkte. WHITING und Mitarbeiter (2003) vermuten, daß die Gene für den Flügelbau in anderen Zusammenhängen (beispielsweise bei Beinen) ebenfalls gebraucht werden würden. In einem Kommentar zu dem vorliegenden Artikel weisen die Forscher STONE & FRENCH (2003) diese Möglichkeit aber als unwahrscheinlich zurück: Die Verwendung von Flügelgenen in anderen Zusammenhängen würde zwar *Strukturgene* vor einem Funktionsverlust durch Mutationen schützen, nicht aber die *Regulationsgene*, die benötigt werden, um mit den vorhandenen Strukturen einen Flügel zu bauen.

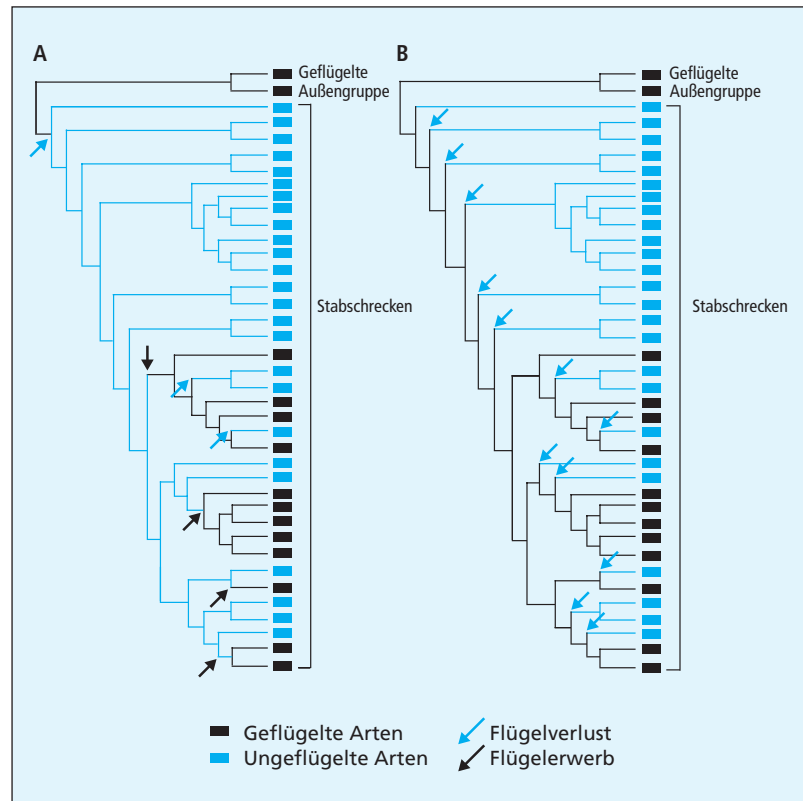
STONE & FRENCH (2003) geben aber noch eine andere Erklärungsmöglichkeit. Der von WHITING und Mitarbeitern (2003) vorgestellte Stammbaum wurde unter bestimmten Annahmen konstruiert. Eine wichtige Voraussetzung bei der Konstruktion von Stammbäumen ist, daß die Anzahl der evolutionen Änderungen insgesamt möglichst klein sein muß (Sparsamkeitsprinzip). Denn evolutive Veränderungen werden als unwahrscheinlich angesehen, und je mehr unwahrscheinliche Ereignisse stattfinden müssen, um einen bestimmten Stammbaum zu erreichen, um so unglaublicher wird der vorgelegte Stammbaum. WHITING und Mitarbeiter (2003) minimieren nun die Anzahl der Änderungen auf sieben: drei Flügelverluste, und viermal die erneute Evolution von Flügeln. Derselbe Stammbaum könnte aber auch so konstruiert werden, daß nur Flügelverluste vorkommen. Allerdings würden dann 13 Ereignisse benötigt (Abb. 2). Sind beide Ereignisse (Flügelverlust wie Evolution eines Flügels) gleich wahrscheinlich, so ist der Stammbaum von WHITING und Mitarbeitern (2003), also 3mal Verlust, 4mal Re-Evolution, am glaub-

würdigsten. Es ist aber unbekannt, wieviel mal wahrscheinlicher ein Funktionsgewinn gegenüber einem Funktionsverlust ist. Es könnte also durchaus sein, daß der Stammbaum von STONE & FRENCH (2003), also mit 13maligem Verlust, der Wahrheit näher kommt, auch wenn er auf den ersten Blick unwahrscheinlicher aussieht.

Mögliche Schlußfolgerungen und das Grundtypmodell. Trotz dieser möglichen Kritik ist die Arbeit von WHITING und Mitarbeiter (2003) beachtenswert, die Datenlage ist nach meiner Ansicht jedoch viel zu gering, um zu einem abschließenden Urteil kommen zu können. So ist unbekannt, ob die flügellosen Stabschrecken weiterhin das Programm oder Teile davon für „Flügel“ in ihrem Erbgut tragen oder nicht. Könnte das Programm künstlich (= gentechnisch) reaktiviert werden? Sind die verwendeten Programme tatsächlich gleichartig und weisen damit auf ein „Urprogramm“ hin, oder sind deutlich verschiedene Varianten zu finden, die auf die evolutive Neuentstehung von Flügeln hinweisen würden?

Der Vorfahr der Stabschrecken
könnte verschiedene Module
in seinem Erbgut getragen haben,
die je nach Umweltsituation
abgerufen werden können.

Im Rahmen eines Grundtypmodells bieten sich weitere Erklärungsmöglichkeiten an: Der Vorfahr der Stabschrecken trägt verschiedene Module in seinem Erbgut, die je nach Umweltsituation abgerufen werden. Das Modul für „Flügel“ kommt dabei in drei Varianten vor: keine, teilweise und volle Flügelung. Diese Varianten haben nichts mit Evolution zu tun, sondern sind lediglich Ausprägung von vorhandenen Möglichkeiten (= Module). Dies würde den Befund erklären, daß zwischen den einzelnen Ausprägungsformen (keine, teilweise, voll) keine Übergänge gefunden werden und daß unter Umständen verschiedene Varianten in denselben Arten geschlechtsspezifisch abgerufen werden. Es drängt sich meiner Ansicht nach der Vergleich mit Allelen auf, nur daß es sich hierbei nicht um einzelne Gene, sondern um komplexe genetische Programme handelt. Als Allele bezeichnet man normalerweise die verschiedenen Varianten eines Gens. Ein bekanntes Beispiel mag die Augenfarbe beim Menschen sein. Das Gen „Augenfarbe“ kommt in verschiedenen Ausprägungen vor, z.B. „blau“ oder „braun“, die man dann als Allele bezeichnet. Es wäre also höchst interessant, Kreu-



zungen zwischen Arten mit verschiedener Flügelung durchzuführen, um festzustellen, ob tatsächlich ein Konzept der „Programm-Allele“ existiert.

Der (mögliche) Befund von WHITING und Mitarbeitern (2003), daß ausgeschaltete Module später wieder eingeschaltet werden können und nicht durch Mutationen völlig zerstört sind, ist im Langzeitrahmen eines Evolutionsmodells schwierig zu verstehen und verlangt nach zusätzlichen (und bislang unbefriedigenden) Erklärungen, wie die Verwendung derselben Gene in anderen Funktionszusammenhängen. Umgekehrt könnte argumentiert werden, daß die nicht beobachtete Zerstörung der ausgeschalteten Module durch Mutationen auf ein entwicklungsgeschichtliches Kurzzeitmodell hindeuten.

Wie oben erwähnt ist die Datenlage aber zu gering, doch dürfte der Artikel von WHITING und Mitarbeiter (2003) neue Forschungen bei den Stabschrecken anstoßen und wir dürfen gespannt in die Zukunft blicken.

Niko Winkler

Abb. 2: Links: Dendrogramm der Stabschrecken nach WHITING et al. (2003), wonach ein dreifacher Flügelverlust (blaue Pfeile) und eine vierfache Re-Evolution (schwarze Pfeile) der Flügel erfolgte. Dieses Dendrogramm ist das „sparsamste“, d. h. es kommt mit den wenigsten Evolutionsschritten aus (Näherers im Text). Rechts: Nach einer alternativen Hypothese, wonach eine Re-Evolution der Flügel ausgeschlossen wird, müßte ein 13-facher Verlust der Flügel und damit mehr Evolutionsschritte angenommen werden (nach STONE & FRENCH 2003).

Literatur

- WHITING MF, BRADLER S & MAXWELL T (2003) Loss and recovery of wings in stick insects. *Nature* 421, 264-267.
STONE G & FRENCH V (2003) Evolution: Have wings come, gone and come again? *Curr. Biol.* 13, R436-R438.