



EINBLICK
IN DIE
ENTOMOLOGISCHE FORSCHUNG

Neues vom Insektenflug

Daß die meisten Insekten fliegen können, nehmen wir fast als selbstverständlich. Und doch kostet es unendliche Mühe und enormen apparativen Aufwand, um hier der Natur etwas hinter die Kulissen zu schauen. Ohne präzise Untersuchungen werden subjektive Eindrücke zu "Fakten", bei denen beispielsweise eine Fliege mit "mindestens" 1000 km/h an einem vorbeisaust. Exakte Prüfungen reduzierten die Geschwindigkeit auf reale 28 km/h. Ähnlich ist es auch mit der Gestalt eines Insektenflügels, der nach menschlichem Aerodynamik-Verständnis eigentlich gar nicht flugtauglich sein dürfte (McMasters 1989). Etwa ein Dutzend Forscher beschäftigen sich weltweit mit den Feinheiten des Insektenfluges, dessen Geheimnissen man in den letzten Jahren zunehmend auf die Spur kommt.

Das Vorhandensein von Flügeln ist für Insekten bereits aus dem Karbon belegt, in dessen Ablagerungen Riesenlibellen gefunden wurden. Seit kurzem weiß man genau, daß es auch Fliegen bereits seit dem Erdaltertum gab. Willmann (1989) konnte im Londoner Naturhistorischen Museum das seit 1929 vermißte Fossil (es handelt sich um einen etwa 5 mm langen Flügelabdruck!) wiederfinden und neu beschreiben. Wichtig ist der Fund für die Evolution der Fliegen, deren Verwandtschaft mit den aus gleich alten Schichten bekannten *Mecoptera* (Schnabelfliegen, z.B. unsere Skorpionsfliege) damit an Wahrscheinlichkeit gewinnt.

Jeder beobachtende Entomologe kennt die typische 'Aufwärmphase' vieler Fluginsekten, bevor sie sich in die Luft erheben. Besonders auffällig ist sie bei Nachtfaltern und Käfern. Kingsolver (1988) konnte nun bei Weißlingen (*Pieris*, *Colias*) nachweisen, daß Tagfalter erst bei einer Körpertemperatur von 28°C fliegen können und damit meist wärmer sind als ihre Umgebung bei Nachtfaltern hat man bis zu 40° gemessen (Nachtigall 1981/82)! Um dies an einem kühlen Morgen schneller zu erreichen, setzen sie sich so zur einstrahlenden Sonne, daß ihre hellen, das Licht reflektierenden Flügelflächen die wärmenden Strahlen auf den dunkler gefärbten Körper lenken. Während sich *Colias*-Arten von der Seite bescheiden lassen, öffnen *Pieris*-Arten parallel zu den Strahlen sitzend ihre hochgeschlagenen Flügel gerade so weit, daß das von den Flügeloberseiten auf den Körper gelenkte Licht zum Erreichen der Flugtemperatur ausreicht. Durch Veränderung des Winkels kann der Falter den Prozeß beschleunigen, verlangsamen oder stoppen.

Bleiben wir noch kurz bei den Schmetterlingen. Eine größere Zahl von ihnen sind Wanderfalter, wofür Distelfalter und Admiral bekannte Beispiele sind. Während Tagfalter relativ dicht über dem Boden fliegen wie es ja von den Beobachtungen im Bereich der Schwäbischen Alb bekannt ist wandern Nachtfalter in erheblich größerer Höhe.

Beide Gruppen orientieren sich bei ihren Fernflügen an punktartigen Lichtquellen, d.h. an Mond oder Sonne, aber nur bis diese den höchsten Himmelsstand erreicht haben. Geländemarken spielen bei Tagfaltern während des gesamten Fluges eine große Rolle, worauf wohl auch ihre niedrige Flughöhe hinweist. Nachtfalter finden die bei Dämmerung als Silhouetten gegen den noch hellen Abendhimmel erkennbaren Sammelplätze, von denen sie mit anderen derselben Art zur Wanderung aufbrechen (Cooter 1982). Die große Flughöhe verhindert Kollisionen mit Hindernissen auf der Erdoberfläche.

Das besondere Kennzeichen der Käfer ist ihr zu harten Deckflügeln (Elytren) umgewandelte erste Flügelpaar. Es wird z.B. beim Maikäfer (Schneider 1982, 1990) vom eigentlichen Flugmotor die Muskeln dafür befinden sich allein im letzten Brustsegment (Metathorax) passiv mitbewegt, wodurch die Deckflügel am Gesamtauftrieb etwa einen Anteil von 18% haben. Einen Vortrieb leisten sie nicht. Trotzdem man Käfer immer als plumpe Flieger betrachtet, zeigten Messungen, daß sich die Maikäfer (*Melolontha sp.*) bei ei-

ner Flügelschlagfrequenz zwischen 45 und 60 Hz mit einer Horizontalgeschwindigkeit von 2,5 m/s (= 9 km/h) bewegen und damit eine Schmeißfliege übertreffen. Darüber hinaus beherrschten Maikäfer den Vorwärts-, Rückwärts-, Steig- und Rüttelflug kaum weniger gut als die als exzellente Flieger bekannten Hautflügler und Fliegen.

Wie wahrscheinlich bei allen Fluginsekten existieren offenbar auch beim Maikäfer Regelkreise, die z.B. Verletzungen der Flügel (registriert durch mechanische Sinnesorgane (Mechanorezeptoren) auf den Flügeln) durch eine Erhöhung der Schlagfrequenz kompensieren. Jeder Flügel wird von vier indirekten Flugmuskeln bewegt, die ihre Nervenimpulse unabhängig voneinander erhalten. Dehnungsrezeptoren im Thorax bewirken die Synchronisierung dieser Muskeln und damit einen effektiven Flugmotor. Die Unabhängigkeit der einzelnen beteiligten Muskeln voneinander garantiert eine fein regulierbare Manövrierfähigkeit.

Die ebenfalls vorhandenen direkten Flugmuskeln können jeden Flügel separat in seinem Schlagablauf beeinflussen, ohne daß der allgemeine Motor dafür verändert wird. So können Seitenwinde kompensiert und Richtungsänderungen vorgenommen werden, indem die Flügel mit unterschiedlicher Amplitude schlagen.

Eine Vielzahl von Untersuchungen beschäftigte sich mit dem Flug von Heuschrecken (vgl. Nachtigall 1982), die man an einem mehr oder weniger festen Draht befestigt im Windkanal testete. Dabei ging (und geht) es weniger um die Flügelbewegung, sondern mehr um die Erforschung der Steuerungsmechanismen über das Nervensystem. Möhl (1990) gibt eine Zusammenfassung der neuesten Ergebnisse.

Eine Wanderheuschrecke (*Locusta migratoria*) verfügt nach heutigem Wissen über eine Art 'Autopilot', der die 10 Hauptmuskeln jedes Flügels vollautomatisch und rhythmisch synchron zentral steuert. (Ein solcher zentraler Muskelgenerator hat sich bei jeder darauf hin untersuchten rhythmischen Bewegung eines Tieres, vom Regenwurm bis zur Katze, herausgestellt!) Korrekturen von Störungen und eine Steuerung der Flugrichtung werden über Rezeptoren von den sog. Windhaaren am Kopf, von den Punktaugen und den Fühlern über Interneuronen an das Unterschlundganglion ("Insektengehirn") geleitet, das als 'Sitz des Autopiloten' die entsprechenden Veränderungen vornimmt.

Zusätzliche an den Flügelgelenken sitzende Sinneszellen (Proprio-

rezeptoren) informieren die fliegende Heuschrecke über ihre Lage im Raum. Ist diese mit der momentanen Einstellung von Autopilot und Steuerungsmechanismen zufriedenstellend, läuft alles weiterhin automatisch ab. Wenn nicht, kann der Autopilot neu reguliert werden. Möhl nennt diese Art der Flugsteuerung "Kurzzeit-Lernen", wodurch jeder einzelnen Heuschrecke mit ihrer vorgegebenen Anatomie eine individuelle Beeinflussung (z.B. auf einen eingerissenen Flügel) ermöglicht wird. Innerhalb weniger Sekunden nach dem Start hat eine Heuschrecke sozusagen ihren Flug "im Griff". Nicht beabsichtigte Kursabweichungen werden offenbar durch einzelnes Ausprobieren der 40 Flugmuskeln nach dem Prinzip von Versuch und Irrtum korrigiert. Dabei "lernt" die Heuschrecke sozusagen die Funktionen der einzelnen Muskeln und kann durch immer raschere Reaktionen ihren Flug optimieren.

Diese Entdeckungen bei der Heuschrecke lassen den Schluß zu, daß Insekten nicht sture, d.h. unveränderbare Lebewesen mit vollständig angeborenem, also immer gleich reagierendem Verhaltensinventar sind, sondern daß sie über eine gewisse Plastizität verfügen, die eigentlich bisher nur von Wirbeltieren bekannt war!

Wohl am gründlichsten wurde bisher die Schmeißfliege *Calliphora erythrocephala* untersucht (Nachtigall 1981/82). Besonders bekannt geworden sind ihr Katapultstart, bei dem die Hinterbeine auf die Unterlage schlagen und die Fliege in die Luft bringen, wo dann der Flugmotor angeworfen wird, und der Klickmechanismus der Flügel. Darunter versteht man die Hebelübersetzung der minimalen Flugmuskel-Spannungen auf die maximale Schlagauslenkung der Flügel. Die gewölbten und gegeneinander verschiebbaren Teile des Thorax wirken wie eine Blechdose mit einstellbarem Deckel.

Die speziell konstruierten Gelenke erlauben eine fast unglaubliche Verwindung und Steilstellung der Flügel, unabhängig vom Flugmotor der indirekten Muskeln, reguliert von den direkten Flugmuskeln. Dadurch erreicht die Fliege, daß ihre Flügel praktisch nur Auf- und Vortrieb erbringen, was ihr den für einen Beobachter so plötzlichen rasanten Steigflug ermöglicht. Kurvenflüge werden nicht durch eine Phasenverschiebung der Flügelschläge erreicht, sondern über die direkten Steuermuskeln in Verbindung mit den Gelenken durch ein sehr fein differenziertes Vor- bzw. Zurückziehen der Flügel. Und zwar wird der eine nach hinten und der andere gleichzeitig nach vorne verschoben. Dadurch verändern sich die

Luftströmungen an beiden Flügeln so, daß der eine mehr und der andere weniger Schubkraft erzeugt. Ohne den Flugmotor verändern zu müssen, fliegt das Insekt eine Kurve.

Eine spezielle Art, besonders beim Flug auf der Stelle oder beim Start möglichst viel Auftrieb zu erzeugen, besitzt die Taufliege *Drosophila melanogaster*. Die Entdecker sprechen von einem "clap-and-pling"-Mechanismus. Auf der Höhe des Flügel-Aufschlags treffen die Flügelspitzen kraftvoll aufeinander und drehen sich dann sehr schnell um ihre Längsachse. Die entstehenden Luftwirbel werden beim folgenden Abschlag nach oben gedrängt und erzeugen so die Hubkräfte, die die 1 mg schwere Taufliege in der Luft halten. Am Ende des Abschlages biegen sich die elastischen Flügelspitzen nach unten, schnellen zurück und bewirken wiederum Auftrieb erzeugende Luftwirbel. Die Rotation ist offenbar so wirksam, daß es sich Schwebfliegen (*Syrphidae*) erlauben können, ihre oben und unten jeweils gedrehten Flügel beim Rüttelflug nur über einen Winkelbereich von 50° schlagen zu lassen im Gegensatz zu üblichen 120° bei den meisten anderen Arten (Ennos 1990).

Ständige Rückmeldungen über feinst abgestimmte Sensoren erlauben dem (nach menschlichem Verständnis der Aerodynamik) instabilen, also flexiblen, aber strömungstechnisch optimalen Flugapparat seine enorme Leistungsfähigkeit: Komplexaugen mit einer 10 mal besseren Zeitauflösung als unsere Augen, Antennen und Haare für die Strömungswahrnehmung, die Auslenkung des Kopfes gegenüber dem Thorax, Belastungsmesser auf den Flügeln und die Schwingkölbchen für eine Registrierung der Lage im Raum (Nachtigall 1981/82).

Es ist schon länger bekannt, daß Bienen ihre Flugrichtung trotz veränderndem Sonnenstand präzise einhalten. Wehner et al. (1990) gingen einer neueren Behauptung auf den Grund, wonach sich diese Insekten ihre Umgebung wie eine Karte einprägen, um dann die kürzesten Flugstrecken mit Hilfe typischer Landmarken zu finden. Träfe das zu, zeigten nicht nur Wirbeltiere die höhere Lernleistung zur Abstraktion und Generalisation!

Mit ausgeklügelten Versuchen konnten die Forscher die trigonometrischen Fähigkeiten beim Heimfindevermögen von Bienen, Hummeln und Grabwespen relativieren: Sie merken sich ihre Flugrichtung (Vektor-Orientierung) und ergänzen sie bei öfterem Abfliegen mit Landmarken (Routen-Orientierung). Sie sind aber unfähig verschiedene Wege zu kombinieren, um mögliche Abkürzungen zu nutzen. Ihnen fehlt also die geistige Landkarte.

Biochemiker untersuchen den von den Insekten benutzten Treibstoff (Nachtigall 1981/82). Fett (1 Gramm liefert 40 kJ) und Kohlenhydrat (1 Gramm Glucose liefert 17 kJ) sind allgemein verbreitet. Blutsauger wie die Tse-tse-Fliege können auch Eiweiß zur Energieerzeugung spalten. Alle Langstreckenflieger (Wanderheuschrecke, Nachtfalter) benutzen die energiereicheren und leichter zu stapelnden Fette, Kurzstreckenflieger dagegen (Biene, Tagfalter, Fliege) bevorzugen Glucose, die in Wasser gelöst als Nektar aufgenommen schnell verfügbar ist. Der notwendige Wasserballast und die geringere Energieausbeute ist hier kein Hindernis, denn es kann ja öfter aufgetankt werden.

Der Zuckerüberschuß wird als Glykogen im Fettkörper gespeichert und bei Bedarf in das für Insekten typische Disaccharid Trehalose gespalten. Über Enzyme wird daraus Glucose, die wie bei fast allen Lebewesen über Glykolyse und Zitratzyklus in den Mitochondrien zum Aufbau von ATP dient. Damit werden dann Muskeln und Nerven versorgt.

Literatur:

Ennos, R. (1990): Unconventional aerodynamics. *Nature* 344, 491
Kingsolver, J. (1988): *American Zoologist* 28, 899. Zit. von M. Thum: Schmetterlinge brauchen Sonnenwärme zum Fliegen. *Naturwiss. Rdschau* 43/3 1990
McMasters, J.H. (1989): The Flight of the Bumblebee and Related Myths of Entomological Engineering. *American Scientist* 77, 164-169
Möhl, B. (1990): Die Flugsteuerung der Wanderheuschrecken. *Spektrum d.Wiss.* 7/1990, 66-75
Nachtigall, W. (1981/82): Flugmaschine Fliege. *Mannheimer Forum* 83-145, Mannheim
Nachtigall, W. (Hrsg.) (1982): *Insect Flight I, II. Biona report 1 und 2.* 135 bzw. 137 S., Stuttgart
Schneider, P. (1982): Untersuchungen zur Steuerung des Flugmotors beim Maikäfer. In: W. Nachtigall: *Insect Flight I*, Biona report 1, 121-134, Stuttgart
Schneider, P. (1990): Der Flug der Käfer. *Verh. Westd. Entom. Tag* 1989, 3-4, Düsseldorf
Wehner, R., Bleiler, S., Nievergelt, C., Shah, D. (1990): Bees Navigate by Using Vectors and Routes Rather than Maps. *Naturwissenschaften* 77, 479-482
Willmann, R. (1989): Rediscovered: *Permotipula patricia* the oldest known fly. *Naturwissenschaften* 76, 375-377

Zusammenstellung: Dr. Klaus von der Dunk

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Galathea, Berichte des Kreises Nürnberger Entomologen e.V.](#)

Jahr/Year: 1990

Band/Volume: [6](#)

Autor(en)/Author(s): Dunk Klaus von der

Artikel/Article: [Neues vom Insektenflug 149-154](#)