

Werner Gnatzy  
Jürgen Tautz

# Insekten – Erfolgsmodelle der Evolution

Faszinierend und bedroht

SACHBUCH



Springer

---

# Insekten – Erfolgsmodelle der Evolution

---

Werner Gnatzy · Jürgen Tautz

# Insekten – Erfolgsmodelle der Evolution

Faszinierend und bedroht

 Springer

Werner Gnatzy  
Glauburg, Hessen, Deutschland

Jürgen Tautz  
Waldbrunn, Bayern, Deutschland

ISBN 978-3-662-66137-6                      ISBN 978-3-662-66138-3 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-66138-3>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2023

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Alle Abbildungen, wenn nicht anders angegeben: © Werner Gnatzy  
Bildbearbeitung, Bildretusche, Reinzeichnungen: Christina Gnatzy  
Sachillustrationen/Grafiken: umgesetzt von Christina Gnatzy  
Einbandabbildung: © Werner Gnatzy; Einbanddesign: Christina Gnatzy; Einbanderstellung: deblik Berlin

Planung/Lektorat: Renate Scheddin

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

---

## Geleitwort

Insekten. Der Begriff wurde im 18. Jahrhundert für die artenreichste aller Tiergruppen eingeführt. Abgeleitet vom lateinischen *insectum* (eingeschnitten) trug man einem besonderen Kennzeichen im Körperbau dieser Tiere Rechnung. Käfer, Schmetterling, Wanze und Co. besitzen eine dreiteilige Körpergliederung, auf die der alte deutsche, aber längst ungebräuchliche Begriff „Kerbtiere“ abzielte. Der andere alte Name „Ungeziefer“ sollte ganz bewusst einen Negativstempel aufdrücken, da „Geziefer“ all die Tiere waren, die man als wertvoll erachtete.

Mit der Sammelbezeichnung „Insekten“ war den frühen Biologen keine überzeugende Wortschöpfung gelungen, denn auch andere Kleintiere, die insektenartig aussehen, sind gekerbt, eingeschnitten und nicht wohlgeklüftet. Somit wird bis in die Gegenwart die große Welt der Insekten sortiert nach besser bekannten, gleichwohl nicht immer klar verstandenen Gruppen wie den Schmetterlingen und Käfern als den geläufigsten Gruppen und Libellen, Heuschrecken und anderen, darunter auch Wanzen. In Bezug auf Artenvielfalt, Schönheit und besondere Lebensstile haben sie die wenigsten Freunde, auch unter den Insektenspezialisten. Im Englischen steht ihre Sammelbezeichnung *bugs* sogar für das Ungeziefer schlechthin und oft für die Insekten zusammen.

Mit der Benennung ist viel verbunden. Mücken muss man nicht mögen, speziell die Stechmücken, auch wenn man sie aus wissenschaftlicher Sicht für hochinteressant und aus medizinischer Sicht für eminent wichtig zu halten hat. Prachtkäfer genießen Bewunderung, sogar bei Menschen, die wenig Interesse an Käfern oder an der Insektenwelt haben, einfach, weil viele von ihnen wunderschön sind. Bei den Libellen scheiden sich die Geister, weil sie ihrer schimmernden und glänzenden Schönheit zum Trotz auch Teufelsnadeln genannt werden. Dass das Volksbegehren „Rettet die Bienen!“, das vor einigen Jahren in Bayern durchgeführt wurde, so großen Erfolg hatte, dass sich die Politik zum Handeln gezwungen sah, lag wohl nicht allein an der Imkerei und dem Honig, sondern (auch) an der „Biene Maja“. Vielleicht auch, weil sich trotz zunehmender Verdrängung der Biologie aus dem Biologieunterricht herumgesprochen hat, dass Bienen (und andere Insekten) wichtig sind für die Bestäubung von Blüten und damit für die Fruchtbildung. Die Bienen zogen beim Volksbegehren die große Masse der übrigen Insekten nahezu unbemerkt mit. Wer unterzeichnete wusste womöglich nicht, dass auch die Wanzen zu den Insekten gehören. Und was für tolle Wanzen es bei uns gibt. So

droht denn auch der große Schub an medialem Interesse ziemlich wirkungslos abzuebben, der einsetzte, als die langjährige Untersuchung Krefelder Insektenforscher den seit Jahren und Jahrzehnten bekannten und vielfach bestens belegten Schwund der Insekten publik machte. Das Resultat – Rückgänge um rund drei Viertel der früheren Häufigkeit Anfang der 1990er-Jahre – war von den Medien aufgegriffen und global verbreitet worden. Aus guten Gründen, wie zu betonen ist, denn der Schwund fand in geschützten Gebieten statt, nicht auf der offenen, landwirtschaftlich intensiv genutzten, mit Insektiziden behandelten und mit Gülle überschwemmten Flur, wo ohnehin niemand einen Schwalbenschwanz und rare Wildbienen erwarten würde. Dass viele Amateurentomologen in „guten“ Gebieten ähnliche oder noch stärkere Verluste an Insekten längst festgestellt hatten, rundet das Bild ab. Was sich auf den Fluren abspielt, erforschten Ökologen wie Wolfgang Tischler und Bernd Heydemann bereits in den 1950er- und 1960er-Jahren, ohne Wirkung erzeugt zu haben. Sie waren, wie auch andere Forscher, die die Fluren in den Fokus gestellt hatten, erfolglos, weil die Milliardensummen, die in die Agrarförderung gesteckt wurden, politisch alles überrollten, sogar wenn es um die Gesundheit der Menschen ging. Selbst Rachel Carsons Buch *Der stumme Frühling*, das global aufrüttelte, verschwand nahezu wirkungslos, weil auf die Verbote der Anwendung von DDT und anderen Giften noch giftigere Substanzen folgten. Diese wurden zwar wiederum verboten, aber bis es so weit war, trugen sie den Herstellern und der Agrarindustrie hohe Gewinne ein. Gegenwärtig läuft der Akt „Glyphosat“ und zieht sich besonders lange hin. Es mangelt am Druck aus hinreichend großen Teilen der Bevölkerung. Sie wird mit Preisen für Agrarprodukte, die weit unter dem wahren Kostenniveau liegen, das auch Folgeschäden und Belastungen der Umwelt mit einschließen müsste, ruhiggestellt. Doch nun macht die Energiekrise deutlich, wie sehr die Billigproduktion von externer Energie wie auch von großen Mengen an Düngern und Agrochemikalien abhängt. Noch mehr soll nun produziert werden, nach einem halben Jahrhundert anhaltender Überproduktion, die auf den Weltmarkt strömte, Entwicklungsländern die Preise verdarb und Agrarreformen zunichtemachte. Letzte (noch) nicht genutzte Flächen mit ihrer Restnatur fordert nunmehr die Landwirtschaftslobby ein, um an den Folgen des Ukraine-Kriegs mitzuverdienen.

Es steht also nicht gut für die Insekten. Die Lage verschlechtert sich derzeit massiv. Würden sich bei der Vernichtung wichtiger Lebensräume und Brutstätten für Vögel noch größere Widerstände seitens der Bevölkerung formieren, so bliebe den Insektenschützern kaum mehr als die Hoffnung, dass Privatgärten und städtische Anlagen als Rettunginseln für Schmetterlinge, Käfer und Co. erhalten bleiben, denn Insekten erwecken noch immer nicht jene Begeisterung, die die Grundlage für ihren effektiven Schutz wäre. Schwierigkeiten seitens der Artenschutzbestimmungen verschlimmern die missliche Lage. Sie behindern oder verhindern die spontane Beschäftigung mit Insekten, weil viele Arten oder ganze Gruppen wie die Wildbienen unter Schutz stehen. Die nähere, das bloße Betrachten aus der Distanz überwindende Beobachtung, insbesondere aber die genaue Bestimmung, die einen Fang nötig macht, bedarf der naturschutzrechtlichen Ausnahme genehmigung. Die Massenvernichtung mit Gift hat eine solche nicht nötig.

Offenbar sind auch die in Supermärkten sommers billig zu erwerbenden Insektenvernichter von den Schutzbestimmungen ausgenommen. Seltsame Verhältnisse, um es gelinde auszudrücken, und miserable Rahmenbedingungen für die Verbesserung der Kenntnisse über unsere Insekten und um Begeisterung für sie zu erwecken.

Vor diesem nur grob umrissenen Hintergrund ist dieses Buch (auch) zu sehen. Es ist ein besonderes, ein großartiges Werk, wie ich aus Überzeugung betone, denn es führt ein in das ungesehene, auch in der biologischen Forschung allenfalls schlaglichtartig zur Kenntnis genommene Universum der Insekten. Was die Bilder bieten und die Texte dazu erläutern, könnte geradezu aus einer anderen Welt stammen – so wundervoll sind die Einblicke, so großartig die Klein- und Kleinststrukturen und so schier unglaublich die Leistungen der Insekten. Bilder und Texte machen in aller Deutlichkeit klar, dass es beim Schutz der Insekten nicht allein um die ökologischen Rollen einiger Arten und Gruppen geht, wie der Bestäubung von Blüten. Zwar wird Nützlichkeit solcher Art gern und bei der extremen Ausrichtung unserer Zeit auf Ertrag und Gewinn verständlicherweise als Hauptbegründung für die Notwendigkeit, Insekten zu schützen und zu erhalten, vorgebracht, doch vertieft man sich in dieses Buch, dann wird deutlich, dass im Hintergrund viel mehr vorhanden ist; dass es letztlich um das Lebendige in seiner Großartigkeit und Vielfalt geht. In diesem Sinne umschließt es all die Zahlen und Statistiken zum Rückgang der Insekten und bettet sie ein in den viel größeren Zusammenhang. Das ist Wissenschaft vom Feinsten, geeignet für alle!

München  
Juni 2022

Josef H. Reichholf

---

## Vorwort

Das Buch entstand aus der Begeisterung für die faszinierende Welt der Insekten. Deren Formenvielfalt, die im Rahmen eines Buchs nur exemplarisch dargestellt werden kann, und ihre raffinierten Konstruktionslösungen, die sie im Lauf der Evolution gefunden haben, sind das Geheimnis ihres Erfolgs. Insekten konnten in beinahe jeden Lebensraum auf unserem Planeten vordringen und spielen heute eine zentrale Rolle in der Umwelt. Das Buch entstand aber auch aus Sorge über das zunehmende Verschwinden der Insekten aufgrund der menschengemachten Umweltzerstörungen.

Das Ziel, trotz des umfangreichen Spezialwissens ein allgemein verständliches Buch zu schreiben, war eine besondere Herausforderung. Die einzelnen Kapitel sollten kurz, verständlich, unterhaltsam sein und nicht zu sehr ins Detail gehen. Das Buch wendet sich also vornehmlich nicht an die Spezialisten, sondern möchte vielmehr auch naturinteressierte und umweltbewusste Leser ansprechen.

Die Autoren bedanken sich bei den vielen Kolleginnen und Kollegen, die unter anderem durch ihre Unterstützung und den fachlichen Austausch sowie mit Material und/oder der Möglichkeit, ihre optischen Geräte zu nutzen, wesentlich zum Gelingen dieses Projekts beigetragen haben: Dieter Schulten (Aquazoo Löbbecke Museum Düsseldorf), Thomas Eltz (Ruhr-Universität Bochum), Damir Kovac und Wolfgang Nässig (Senckenberg Forschungsinstitut und Naturmuseum Frankfurt a. Main), Michael Boppré und Anita Kiesel (Forstzoologisches Institut, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.), Konrad Fiedler (Universität Wien), Helmut Schmitz (Institut für Zoologie, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn), Flavio Roces (Biozentrum der Universität Würzburg), Reinhold Hustert (Georg-August-Universität Göttingen), Günter Gerlach (Botanischer Garten München), Stefan Schulz (TU Braunschweig), Ulrich Maschwitz (†) (Goethe-Universität Frankfurt a. Main), der W. Gnatzky zu diesem Projekt ermutigte, Klaus Schurian und Alfred Westenberger (Frankfurt a. Main), Stanislav Gorb und Esther Appel (Christian-Albrechts-Universität Kiel), Christian Trömel (Goethe-Universität Frankfurt a. Main) und nicht zuletzt Juliane und Erich Diller (Zoologische Staatssammlung München). Rudolf Alexander Steinbrecht (Max-Planck-Institut für Ornithologie, Seewiesen) hat sich die Mühe gemacht, eine Erstfassung des Manuskripts zu lesen, vielen Dank dafür.

Die rasterelektronenoptischen Aufnahmen entstanden in intensiver Zusammenarbeit mit Manfred Ruppel (Zentrales REM-Labor der Goethe-Universität Frankfurt a. Main). Durch seine geduldige und sachkundige Art hat er einen wesentlichen Anteil daran, dass die Aufnahmen mit dem Rasterelektronenmikroskop (Hitachi S-4500) auch bei diffizilen Objekten gelungen sind.

Besonderer Dank gebührt auch Martin Jatho (ehemaliger Mitarbeiter von W. Gnatzy, Goethe-Universität Frankfurt a. Main), der für einige Zeit in das Projekt involviert war. Seinen kompetenten Rat und seine konstruktiven Vorschläge wurden sehr geschätzt. In Zusammenarbeit mit ihm ließen sich mithilfe seiner hervorragenden Fotoausrüstung einige ungewöhnliche Bilder verwirklichen.

Frankfurt  
Würzburg  
Mai 2022

Werner Gnatzy  
Jürgen Tautz

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	1
<b>2</b>	<b>Vom Ei zum fertigen Insekt</b> .....	11
2.1	Kein Ei gleicht dem anderen: Die Formenvielfalt der Insekteneier .....	11
2.2	Das Exoskelett: Die phantastischen Eigenschaften der Cuticula .....	16
2.3	Warum sich manche Insekten nicht nur häuten: Zwei Wege zum Erfolg .....	25
2.4	Die Eroberung der Luft durch Insekten .....	32
<b>3</b>	<b>Färbung und Farbmuster</b> .....	41
3.1	Die Goldpuppe von <i>Euploea core</i> .....	41
3.2	Der Blaumetallic-Look der Schillerschuppen von <i>Morpho</i> -Faltern .....	45
3.3	Schimmernd wie Opale: Die Schuppen des Rüsselkäfers <i>Eupholus</i> .....	51
3.4	Die strahlend weißen Schuppen der (Kohl-)Weißlinge .....	56
<b>4</b>	<b>Trichome, Lotuseffekt und Haftstrukturen</b> .....	63
4.1	Grazile Skater .....	63
4.2	Anhängliche Freier: Die Saugfüße der Gelbrandkäfermännchen .....	67
4.3	Der Sicherheitsschild der Wanzen gegen ihr eigenes Gift .....	71
4.4	Sehen bei Dämmerlicht: Facettenaugen mit Antireflexbelag .....	76
4.5	Plastron und Rosettentracheen der Grundwanze <i>Aphelocheirus</i> .....	80
<b>5</b>	<b>Körperpflege</b> .....	87
5.1	Die antibakteriellen und pilztötenden Putzmittel der Gelbrandkäfer .....	87
<b>6</b>	<b>Die Supersinne der Insekten</b> .....	91
6.1	CO <sub>2</sub> -Alarm bei den Blattschneiderameisen: Sensilla ampullacea im Einsatz .....	91

6.2	Die Rauchgasmelder auf den Antennen der Kiefernprachtkäfer .....	94
6.3	Isaac Newton, die Schwerkraft und die Keulenhaare der Grillen .....	99
6.4	Schwingkölbchen statt Hinterflügel: Der Kreiselkompass der Fliegen .....	103
6.5	Heiß auf Waldbrände: Kiefernprachtkäfer, die fliegenden Feuermelder .....	107
6.6	Das Augenglühen von Nachtschwärmern im Dämmerlicht .....	111
6.7	Schmeißfliegen: Stumme Zeugen .....	116
6.8	Der Notrufsender verschütteter Blattschneiderameisen .....	120
<b>7</b>	<b>Feindabwehr und Befreiungsstrategien</b> .....	<b>125</b>
7.1	Wanzen: Chemische Keulen auf sechs Beinen .....	125
7.2	Die K.-o.-Tropfen der Gelbrandkäfer: Wirbeltierhormone als Waffe bei Fischattacken .....	129
7.3	Die stinkende Nackengabel der Schwalbenschwanzraupen .....	133
7.4	Piepslaute: Fliegender Instrumentenwechsel im Kopf des Totenkopfschwärmers .....	137
7.5	Die explosive Verteidigung der Bombardierkäfer .....	141
<b>8</b>	<b>Insekten auf Partnersuche</b> .....	<b>149</b>
8.1	Wer ist der <i>sexiest man</i> ? Damenwahl bei den Stielaugenfliegen .....	149
8.2	Liebesduette im Wiesengrund: Wenn die Männchen der Nachtigall-Grashüpfer mit den Beinen fielen .....	153
8.3	Geheimnisvolles Licht in lauer Nacht: Leuchtkäfer unterwegs ....	160
8.4	Wiesenkonzert mit zwei Flügeln: Wenn Grillenmännchen aufspielen .....	168
8.5	Dufte Duftschuppen: Wie sich manche Schmetterlingsmännchen attraktiv machen .....	173
8.6	Stechmückenmännchen auf Brautschau: Nur ein Ohr für Weibchen .....	179
8.7	Die Hinterbeine der Prachtbienenmännchen als Parfümflakons .....	183
<b>9</b>	<b>Nahrungserwerb und Beutefang</b> .....	<b>189</b>
9.1	<i>Good vibrations</i> : Die Säge der Blattschneiderameisen .....	189
9.2	Der tödliche Fangschlag der Gottesanbeterinnen .....	193
9.3	Wie Stechmückenweibchen ihre Opfer finden und dann anzapfen .....	199
9.4	Lust auf Süßes: Geschmacksknospen im Schlund des Totenkopfschwärmers .....	204
9.5	Weltrekord verloren: Die Schnappkiefer der <i>Odontomachus</i> -Ameisen .....	208
9.6	Wie Bläulingsraupen Ameisen bezirzen .....	212

---

9.7 Mit Stachel und Gift auf Schabenjagd: Jagdszenen aus dem Alltag eines Juwelwespenweibchens .....	219
<b>Nachwort, fast schon ein Nachruf .....</b>	<b>225</b>
<b>Vertiefende und weiterführende Literatur .....</b>	<b>237</b>

---

## Über die Autoren



**Werner Gnatzy** studierte Biologie, Chemie und Sport für das Höhere Lehramt an Gymnasien an der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz. 1. Staats-examen 1966. Promotion zum Dr. rer. nat. 1970. Habilitation 1975, ebenfalls in Mainz. Von 1975 bis 2006 war er Professor am Zoologischen Institut der Goethe-Universität Frankfurt am Main. Seit 2006 hält er Vorlesungen an der Goethe-Universität im Rahmen der Universität des 3. Lebensalters (U3L).



**Jürgen Tautz** ist einer der führenden Bienenforscher Deutschlands, Professor i. R. am Biozentrum der Julius-Maximilians-Universität Würzburg und Autor zahlreicher Sachbücher, unter anderem des Bestsellers *Phänomen Honigbiene*, sowie vielfach ausgezeichnet für die vorbildliche Vermittlung von Wissen in eine breite Öffentlichkeit.



Wer sich mit der Welt der Insekten näher befasst, erkennt, welcher ungeahnte Reichtum an Erfindungen die Natur in dieser Gruppe hervorgebracht hat. Wir können über die grenzenlosen Entfaltungsmöglichkeiten der Natur nur staunen. Dieses Buch soll dafür ein Türöffner sein.

Insekten bilden ein Universum, das uns Menschen so fremd ist, wie es fremder kaum sein könnte. Wenn man nicht gerade ein Insektenforscher ist, gibt es im Grunde nur zwei große Bereiche, in denen sich die Welt der Insekten und die der Menschen spürbar berühren, und das leider unter wenig angenehmen Gesichtspunkten: Entweder nehmen wir sie als Überträger von Krankheiten wahr (beispielsweise Stechmücken, Flöhe und tropische Raubwanzen) oder als Schädlinge, die zu Ernteverlusten führen (z. B. Wanderheuschrecken, Blattläuse, Kartoffelkäfer etc.). So verwundert es nicht, dass den meisten Menschen Insekten abstoßend erscheinen oder sogar furchteinflößend. Aber es gibt auch einen Bereich, in dem Insekten uns Menschen unverzichtbare Helfer sind: ihre Rolle als Bestäuber der Blütenpflanzen.

Die Welt der Insekten ist uns fremd. Zwar haben sie die gleichen Aufgaben zu erfüllen und Probleme zu lösen, wie alle anderen Tiere auch, uns Menschen eingeschlossen, aber die Lösungen, die sie im Lauf ihrer Evolution gefunden haben, sind von den Lösungen der Wirbeltiere so grundverschieden, dass wir uns gar nicht oder nur mit erheblicher Phantasie in ihre Welt versetzen können. Die Evolution baut auf Strukturen auf, die, wenn sie einmal erfunden worden sind, erprobt und weiterentwickelt werden. Bei den Insekten ist dies die mehr als 400 Mio. Jahre alte Erfindung eines Skeletts, das den Körper als Außenskelett vollständig umhüllt und nicht wie bei uns im Inneren des Körpers liegt. Das Außenskelett schützt alle inneren Organe. Es ist aber keine gleichförmige Umhüllung, sondern bildet die Basis zur Herausbildung von Strukturen, die an die jeweilige Lebensweise der Insekten angepasst sind: Beine und Flügel erlauben die Fortbewegung, Sinnesorgane vermitteln Information über die Umwelt, besondere Strukturen erlauben optische oder

akustische Kommunikation. Andere Strukturen dienen dem Nahrungserwerb, der Fortpflanzung oder der Feindvermeidung.

Die Gruppe der Insekten scheint über nahezu unbegrenzte Entfaltungsmöglichkeiten zu verfügen. Unsere Phantasie reicht nicht aus, sich auszudenken, was es bei den Insekten tatsächlich zu entdecken gibt. Im Gegenteil. Die Insekten bieten uns die Vorlagen für ungezählte Figuren und Geschichten auf dem Feld der Science-Fiction.

Das Grundmodell besitzt sechs Beine, die ideale Anzahl, um sich über jede beliebige Oberfläche sicher fortbewegen zu können. Die meisten Insekten besitzen zwei Paar Flügel. So wurde der Luftraum von ihnen schon nahezu 100 Mio. Jahre vor anderen flugfähigen Tieren erobert. Riesenlibellen des Karbons, der Steinkohlezeit, erreichten Flügelspannweiten von 70 cm. Dem stehen mit den Zwergwespen heute Winzlinge mit einer Größe von nur 0,15 mm gegenüber. Die Miniaturisierung ist ganz generell ein Thema bei Insekten, wenn es um deren Sinnesorgane geht, mit denen jede nur denkbare Umweltgröße erfasst, kategorisiert und vermessen wird. Physikalische Phänomene werden von Insekten auf höchst raffinierte Weise eingesetzt, wenn es im Kommunikationsverhalten darum geht, auffällig oder, umgekehrt, für andere Lebewesen unkenntlich zu werden.

Natürliche und sexuelle Selektion sind die beiden Motoren, die im Lauf der Evolution Organismen mit ihren Eigenschaften und Fähigkeiten entstehen lassen und verändern können. Die Resultate der natürlichen Selektion sichern das Leben und Überleben. Strukturen, Eigenschaften und Fähigkeiten, die so entstanden sind, machen bei näherer Betrachtung in jedem Fall sehr viel Sinn, was ihre Funktionen und ihren Einsatz betrifft. Anders die sexuelle Selektion. Hier entstehen nicht selten Strukturen, die nicht nur skurril erscheinen, sondern für deren Besitzer in dessen Alltag sogar eher hinderlich sein können. Durch die Auswahl der Männchen, die sie zur Paarung zulassen, treiben die Weibchen die Herausbildung solcher Merkmale voran.

Es gibt Kriterien, unter denen die Insekten die eindeutig erfolgreichste Organismengruppe im Verlauf der bisherigen und sicherlich auch der zukünftigen Entwicklung des Lebens auf unserer Erde sind.

Insekten sind unsere ständigen Begleiter. Sie haben Lebensräume erschlossen wie keine andere Tiergruppe, sie sind wahre Kosmopoliten. Man begegnet ihnen beinahe überall: in den schwül-warmen Regenwäldern der Tropen, in den trockensten Wüsten, in den siedend heißen Quellen des Yellowstone-Nationalparks, in Petroleumpfützen auf Erdölfeldern, in sauren Pferdemägen und auch in sorgfältig verschlossenen Gläsern mit Haferflocken im Küchenschrank. Dank eigens produzierter Frostschutzmittel überleben sie extreme Kälte oder haben sich erfolgreich in den Gletscherspalten der Antarktis und im ewigen Eis des Himalajas eingerichtet. Den im Wasser lebenden Larven einer afrikanischen Mücke schadet selbst jahrelange Dürre nicht – sobald es regnet, erwachen sie aus ihrem Trockenschlaf. Nur einen Lebensraum haben die Insekten so gut wie nicht erobert, die Ozeane. Warum ist das so?

Der Grund dafür könnte das Tracheensystem sein, das ihnen keine Möglichkeit lässt, im Meer Räubern zu entkommen. Die Verwandten der Insekten im Meer,

kleine Krebse etwa, atmen mit Kiemen und können sich gefräßigen Fischen durch Abtauchen ins Dunkel entziehen. Bei Insekten würde in ein paar Dutzend Metern Tiefe der hohe Wasserdruck das Gas in den Tracheolen zusammendrücken und das System kollabieren lassen. Wenn sich die Insekten aber durch transparente Körper an der Wasseroberfläche unsichtbar machen könnten, wie es manche Kleinkrebse tun, dann würde die Luft im Inneren des Tracheensystems Licht reflektieren und sie für Fische weithin sichtbar machen. In keiner Wassertiefe würden sie überleben.

Ein paar Insektenarten haben dennoch das Meer besiedelt. So gleiten die flügellosen Meerwasserläufer (Gattung *Halobates*) in den tropischen Regionen von Atlantik, Indischem Ozean oder Pazifik über die Meeresoberfläche. Läuse der Gattung *Echinophthirius* gelangen als blinde Passagiere von Seehunden und Robben bis in Tiefen von mehreren Hundert Metern. Dabei nutzen sie den Luftraum im Fell der Wirtstiere zur Atmung und entgehen so dem direkten Wasserdruck.

Die Artenzahl der Insekten ist riesig und wir können sie nur erahnen. Etwa 1 Mio. Insektenarten, das entspricht circa drei Viertel aller bekannten Tierspezies, sind bis heute beschrieben. Das Spektrum reicht von winzigen Wespen und Minikäfern, die gerade 0,21 mm lang und damit kleiner als das einzellige Pantoffeltierchen sind, bis zu den größten, den Stabheuschrecken mit über 30 cm Länge; von *Morpho*-Faltern, Marienkäfern und Bienen bis zu Gottesanbeterinnen und Fliegen. Die meisten Arten sind vermutlich noch gar nicht entdeckt und beschrieben; manche Forscher schätzen ihre Zahl auf 15 oder gar 30 Mio.

In schier unbegreiflicher Individuenzahl bevölkern sie den Planeten. Etwa eine Trillion – eine Zahl mit 18 Nullen hinter der Eins – leben nach Berechnungen des kanadischen Entomologen Brian Hocking auf der Erde. Sie wiegen zusammen etwa 2,7 Mrd. Tonnen – fünfmal so viel wie alle heute lebenden Menschen. Auf jeden einzelnen heute lebenden *Homo sapiens* kommen 166 Mio. Insekten. Eine beeindruckende Erfolgsgeschichte.

Die Erfolgsgeschichte der Insekten begann vor über 400 Mio. Jahren im heutigen Schottland. Schon damals, im Devon, hüpfte ein etwa 1,5 mm großes, unscheinbares Tier, *Rhyniella praecursor*, durch die Schachtelhalmwälder. Es ist das älteste fossil erhaltene Insekt. *Rhyniella* war bereits durch ein Außenskelett geschützt und, zusammen mit verschiedenen Spinnentieren, wohl eines der ersten Geschöpfe, die völlig zum Landleben übergegangen waren. Dieses Ur-Insekt sah ähnlich aus wie die heutigen Springschwänze, die in riesigen Mengen Waldböden bevölkern oder in Blumentöpfen leben.

Ob sich Insekten, wie man lange Zeit glaubte, zusammen mit den Tausendfüßern aus einem gemeinsamen Arthropodenvorfahren entwickelt haben, bevor sich ihre Wege an Land trennten, erscheint heute ungewiss, denn aufgrund jüngster Genanalysen mehren sich die Anzeichen, dass die Insekten den Krebsen näherstehen könnten. Mit den Krebsen verbindet sie nicht zuletzt auch die Architektur des Gehirns; manche Wissenschaftler bezeichnen die Insekten sogar als „an das Landleben angepasste Krebse“. Mit den Tausendfüßern dagegen haben die Insekten die Struktur des Atmungs- und Ausscheidungssystems gemeinsam. Wie auch immer: Das flügellose Ur-Insekt *Rhyniella* besaß schon die typischen Merkmale der Insekten – die Dreiteilung des Körpers und sechs Beine.

Was die Insekten bald zur vorherrschenden Tiergruppe auf Erden machte, war die Entwicklung von Flügeln. Als erste Tiere überhaupt eroberten sie den Luftraum. Das älteste fossil bekannte Fluginsekt, *Delitzchala bitterfeldensis*, bereits ein perfekter Flieger, ist etwa 320 Mio. Jahre alt. Nach einer der vielen Theorien entwickelten sich die Schwingen aus paddelartigen Auswüchsen am Thorax, mit denen urtümliche Wasserinsekten herumgerudert sein könnten. Bislang lässt sich diese Vermutung jedoch nicht beweisen, denn in dieser wichtigen Epoche der Insektenevolution klafft bei den fossilen Belegen eine Lücke von etwa 40 Mio. Jahren.

Anfangs waren die Flügel wohl eher einfache Cuticulavorsprünge, die wie Tragflächen das Segeln ermöglichten. Später, nach der Bildung von Gelenken, konnten sich die Insekten aus eigener Kraft in die Luft erheben und so besser vor Feinden fliehen, Beute erjagen und rasch neue Lebensräume besiedeln. Schon im Karbon beherrschte eine Vielzahl eintagsfliegenähnlicher Insekten und Ur-Libellen die Lüfte. Bald darauf entwickelten die Kerbtiere, wie die Insekten auch genannt werden, weitere Flügelgelenke, mit denen die Flügel beweglicher wurden und sich nach hinten an den Körper klappen ließen. Zu diesen Neoptera (Neuflügler) genannten Formen zählen etwa 97 % aller heute bekannten Insektenarten.

Die Riesenlibelle *Meganeura* flatterte wohl noch mehr als sie flog. Bei einer Flügelspannweite bis zu 75 cm war sie das größte Insekt, das jemals auf der Erde gelebt hat – ein Geschöpf, bei dem der Bauplan der Insekten wohl an die Grenzen des Wachstums gestoßen war.

### **Die Grenze zieht das Atemsystem der Insekten**

Insekten atmen nicht, wie beispielsweise Fische oder Säugetiere, mithilfe von Kiemen oder Lungen, von denen aus der lebensnotwendige Sauerstoff, an Blutfarbstoffe gebunden, in einem wässrigen Medium überall dorthin transportiert wird, wo der Körper ihn braucht. Bei den Insekten liefert vielmehr ein feinmaschiges Röhrengeflecht, das Tracheensystem, das Gas direkt bis zu den einzelnen Zellen. Durch kleine Öffnungen, die Stigmen, die seitlich am Thorax und dem Abdomen sitzen, pumpen Insekten mit rhythmischen Bewegungen Sauerstoff in sich hinein und stoßen Kohlendioxid nach außen ab.

Der Vorteil der Tracheenatmung: Der Sauerstoff gelangt schneller an seinen Bestimmungsort als bei Wirbeltieren, schließlich kostet das Fliegen viel Energie. Zum Verbrennen ihres „Treibstoffs“ benötigen die Insekten daher große Mengen an Sauerstoff. Ab einer bestimmten Körpergröße ist das Tracheennetz allerdings nicht mehr leistungsfähig genug, reichen die pumpenden Bewegungen für einen raschen Gasaustausch nicht mehr aus. Die Grenze war wohl mit der Riesenlibelle erreicht, die vor etwa 250 Mio. Jahren ausstarb.

### **Der Verbundwerkstoff Cuticula, Grundlage für die Formenvielfalt der Insekten**

Die Cuticula ist die Grundlage einer aberwitzigen Fülle an Formen und Funktionen. Sie ist ein besonderer Werkstoff, leicht und dennoch fest, strapazierfähig und äußerst

formbar. Schon die Vorfahren der Insekten hatten diese Substanz entwickelt und aus Chitin, zusammen mit Proteinen, daraus ein äußeres Skelett, das Exoskelett, geformt. Dieses bildet eine stabile Hülle und schützt Insektenkörper nach außen, ebenso die Organe im Inneren. Außerdem bietet es Muskeln Ansatzpunkte. Erstmals im Tierreich ermöglichte das Exoskelett die Bildung von gegliederten Beinen mit Gelenken. Die Gliedertiere oder Arthropoda – zu denen neben den Insekten auch Krebse, Spinnen und Tausendfüßer zählen – gleiten und kriechen daher nicht wie Schnecken und Würmer, sondern können sich äußerst zielgerichtet bewegen, sogar rennen und springen.

Die Cuticula ist fast allgegenwärtig. Sie ist nicht nur Hauptbestandteil des Exoskeletts, sie kleidet auch Teile des Darmtrakts aus und ist Bestandteil der weit ins Körperinnere eindringenden, röhrenförmigen Tracheen.

Für jede Ernährungsweise haben Insekten eine passende Form der Mundwerkzeuge entwickelt. Aus dem Grundtyp „beißend-kauend“ haben sie scharfe Messer und feine Stilette ausgebildet. Das Instrumentarium der Mundwerkzeuge ist formenreich: Mit harten Kiefern halten Libellen die Beute fest, verteidigen sich Ameisen gegen Angreifer, zerbeißen Heuschrecken Pflanzenblätter und bohren Käfer Löcher ins Holz, um dort Eier abzulegen. Mit nadelförmigen Stechrüsseln dringen Wanzen, Flöhe und Stechmücken in Pflanzenteile oder Lebewesen ein, um wie mit einem Trinkhalm Pflanzensäfte, Blut oder andere Körperflüssigkeiten einzusaugen. Schmetterlinge schlürfen Nektar mit röhrenförmigen Rüsseln und wenn dieser „Tankrüssel“ nicht im Einsatz ist, wird er einfach unter dem Kopf zusammengerollt. Derlei effiziente Werkzeuge sind aus Strukturen entstanden, die bei den Vorfahren der Insekten noch Beine waren.

Biegsame und faltbare Flügel erlauben weiträumige Ortswechsel. Die buschigen oder federähnlichen Antennen, mit denen Nachtfalter Sexuallockstoffe aus der Luft filtern, oder die feinen Härchen auf den Cerci, mit denen Grillen jagende Grabwespenweibchen „hören“, bestehen ebenfalls aus Cuticula.

Die vielfältigen Farbvarianten, die Insektenkörper auszeichnen, lassen sich auf Eigenschaften der Cuticula zurückführen: Eingelagerte Pigmente, ebenso wie mikroskopisch kleine geometrische Strukturen auf oder in der Cuticula beugen, streuen oder brechen die einfallenden Lichtstrahlen.

Sechs Beine sind das Merkmal, an dem sich Insekten am sichersten erkennen lassen und weshalb sie Sechsbäuer, Hexapoda, genannt werden. Unter ihnen gibt es Hochgeschwindigkeitsläufer wie die 2 cm große australische Sandlaufkäferart *Rivacindela hudsoni*. Sie bringt es auf eine Spitzengeschwindigkeit von 2,5 m/s (9 km/h) und könnte damit mühelos den bisherigen Rekordhalter, die Amerikanische Schabe, überholen, die 1,5 m/s (5,5 km/h) schafft. Der Wüstenameise *Cataglyphis bicolor*, die in der Sahara vorkommt, verschaffen ihre langen Beine einen Überlebensvorteil in einer lebensfeindlichen Umgebung. Sie taucht aus ihrem Bau auf, wenn die Oberflächentemperatur 56 °C erreicht. Kein Nahrungskonkurrent oder Räuber ist da aktiv. Selbst bei einer Oberflächentemperatur von 60 °C steigt die Körpertemperatur der Ameise nicht auf diese gefährliche Höhe. Mithilfe ihrer langen Beine kann sie ihren Körper um 4 mm vom Boden abheben. Dadurch bewegt sie sich in einer Luftschicht, die um sechs bis sieben Grad kühler ist als die der Sandoberfläche. Die Ameise

rennt mit einer Geschwindigkeit von 1 m/s umher; zusätzlich trägt der „Fahrtwind“ zur Kühlung bei. Dennoch muss sie wegen der mörderischen Hitze nach ein paar Minuten wieder in ihrem Bau verschwinden. Das reicht der Ameise um Nahrung, tote Insekten, zu finden.

Muskelbepackte Oberschenkel machen Heupferde, Grashüpfer und manche Zikaden zu Sprungkünstlern, die schnell und überraschend vor Feinden fliehen können. Doch sind die weiten Sätze nicht direkt auf Muskelkraft zurückzuführen: Heuschrecken etwa verdrehen ihre Hinterbeinschienen und speichern so kinetische Energie, welche die Tiere, im rechten Augenblick freigesetzt, explosionsartig in die Luft katapultiert. Eine raffinierte Technik setzen die nur 6 mm großen Wiesenschaumzikaden (*Philaenus spumarius*) ein, um rekordverdächtig kraftvoll und weit in einem Winkel von rund 45° wegzuspringen. Wie Forscher herausfanden, bohren die Zikaden vor dem Absprung winzige, dornenartige Fortsätze (Spikes) ihrer Sprungextremitäten in die Unterlage, auf der sie gerade sitzen. Auf diese Weise verschaffen sie sich ausreichend Halt und Reibung, um die Kraft aus den Sprungmuskeln in kinetische Energie verwandeln zu können. Die Spikes sind durch Zinkeinlagerungen extrahart und offenbar zu diesem Zweck besonders verstärkt.

Wasserzikaden und Schwimmkäfer haben ihre Beine zu Rudern umgebaut. Die kräftig gebauten Maulwurfsgrillen graben sich mit ihren abgeflachten, zu Grabschaukeln umgestalteten Vorderbeinen vorzugsweise durch trockene Böden, um in den Tunneln nach fressbaren Wurzeln zu suchen.

Insektenbeine dienen jedoch nicht allein der Fortbewegung. Die Vorderextremitäten der Gottesanbeterin etwa sind zu einem höchst effektiven Fangapparat umgebaut, der blitzschnell auf Beutetiere herabschießt. Mit einem speziellen Borstensaum an den Beinen sammeln Bienen Pollen und transportieren ihn als „Höschen“ in den heimischen Stock, einige Wasserkäfermännchen heften sich bei der Paarung mit Saugnäpfen an den Vorderextremitäten an die Partnerin. Manche Grillen und Laubheuschrecken hören sogar mit ihren Vorderbeinen; sie haben dort „Ohren“ entwickelt. Eine trommelfellartige Membran, das Tympanum, nimmt die Vibrationen auf, Nervenzellen übermitteln die Schwingungen an den Hörnerv, der wiederum Impulse an das Gehirn weiterleitet. Viele Schmetterlings- und Fliegenweibchen wählen den Eiablageplatz auf Pflanzen bzw. Tierkadavern nach dem Geschmack aus, den sie mit Kontaktchemosensoren an den Füßen „erschmecken“. Und der einheimische samtschwarzweiß-rote Admiral besitzt an den Füßen hochsensible Geschmackssensillen, die auf Zucker etwa 200-mal empfindlicher reagieren als die menschliche Zunge. Die Tarsenspinner wiederum, kaum 2 cm große Insekten, weben mit Drüsen an den Vorderfüßen Netzgespinste, unter denen sie leben.

Mehr als ein Drittel aller Insektenspezies, etwa ein Viertel aller bekannten Tierarten, gehört zu den Käfern; und von denen sind bislang etwa 370.000 beschrieben. Zur Lebenstüchtigkeit hat wohl die besondere Konstruktion ihrer Flügel entscheidend beigetragen: Zum Fliegen benutzen sie nur die beiden hinteren, membranösen Flügel. Nach dem Flug werden diese zusammengefaltet und unter die harten Vorderflügel, die Elytren, geklappt. So können Käfer ein Leben auf dem Boden führen, sich unter dichtem Gestrüpp oder durchs Falllaub fortbewegen und selbst in enge Rindenspalten krabbeln, ohne die empfindlichen Hautflügel zu verletzen.

Käfer existieren seit etwa 250 Mio. Jahren, doch explodierte ihre Artenzahl, als sich vor etwa 140 Mio. Jahren die ersten bedecktsamigen Blütenpflanzen entwickelten, zu denen heute Obstbäume und Blumen zählen. Es war geradezu ein klassisches Szenario der Evolution, mit einer neuen, ungenutzten Nahrungsquelle, den Blütenpflanzen, und einer Tiergruppe, den Käfern, die in der Lage war, ihre Ernährung auf das Grünzeug und seine Früchte umzustellen. So spornten sich Pflanzen und Käfer in einem evolutionären Wettrüsten unablässig zur Bildung immer neuer Formen an; ein besonders schönes Beispiel von gemeinsamer Entwicklung, der Coevolution.

Um beispielsweise gefräßige Insektenraupen abzuwehren, mussten die Pflanzen sich verteidigen. Sie bildeten dicke Fruchthüllen oder Schalen um ihre Samen herum, versteckten ihre Pollen, überzogen ihre Blätter mit klebrigen Haaren oder bildeten giftige Inhaltsstoffe, biologische Insektizide. Die Käfer wiederum entwarfen trickreiche Gegenstrategien. Sie erwarben bohrende Mundwerkzeuge, wie der Haselnussbohrer, der damit auch durch harte Nussschalen dringt, um seine Eier abzulegen. Raupen der Monarchfalter schalten im letzten Larvenstadium die chemischen Waffen ihrer Fraßpflanzen aus. Dazu nagen sie in die Blattstiele von Seidenpflanzen (*Asclepias tuberosa*) eine kleine Kerbe und krabbeln anschließend an die Blattspitze, um das Blatt abzuknicken. Dadurch unterbrechen sie die Zufuhr von giftigen Herzglykosiden (Pyrrolizidine) und Milchsaft in das Blatt und können die Blätter so gefahrlos fressen. Käfer waren wohl auch die ersten Tiere, die regelmäßig die Blüten dieser neuen Pflanzengruppe, der Bedecktsamer, bestäubten. Bis dahin hatten die meisten Gewächse den Pollen der männlichen Geschlechtsorgane mit dem Wind verstreuen und daher riesige Mengen produzieren müssen, um eine Befruchtung zu garantieren, ein Lotteriespiel, das viele Kräfte verschleuderte. Einige Insekten spezialisierten sich darauf, den energiereichen Pollen als Nahrung zu nutzen. Sie zogen von Pflanze zu Pflanze und verbreiteten den Blütenstaub weitaus zuverlässiger als der Wind.

Pollenproduzierende Gewächse, die für Insekten attraktiver waren als andere, hatten daher bald einen Vorteil bei der Vermehrung. Zunehmend wurden andere Kerbtiere, vor allem Bienen, Wespen und Schmetterlinge, in das Geschlechtsleben der Blütenpflanzen einbezogen. Die Pflanzen steigerten ihre Attraktivität für die Blütenbesucher und lockten sie mit bunten Farben und süßen Düften gezielt an. Als Belohnung für den Pollentransport bezahlten sie mit energiereicher Währung, dem Nektar.

Bei den Liaisons von Pflanzen und Insekten entstanden vielfältige Spezialisierungen und Abhängigkeiten, bei denen so manches Gewächs nicht mehr ohne den arteigenen Bestäuber auskam und umgekehrt (s. Orchideen und Prachtbienen). So ist eine madagassische Orchidee auf die Bestäubung durch den Schmetterling *Xanthopan morgani praedicta* angewiesen: Nur der bis zu 28 cm lange Rüssel des Falters erreicht die Nektarquelle am Grund des fast ebenso viele Zentimeter tiefen Blütenkelchs.

Zu den wichtigsten Pollenüberträgern überhaupt wurden die Bienen, von denen es weltweit wahrscheinlich bis 40.000 Spezies gibt; die meisten leben solitär, nur wenige Arten in Völkern. Als bislang letzte große Errungenschaft in der Evolution der Insekten, neben Exoskelett, Flügeln und der vollständigen Metamorphose, sind mehrfach unabhängig voneinander Staatengemeinschaften entstanden, in denen das

Ganze alles, das Individuum nichts zählt. Der Aufstieg der Termiten und Ameisen begann vor etwa 130 Mio. Jahren, Wespen und Bienen folgten 40 Mio. Jahre später.

Strikte Arbeitsteilung und die Ausbildung morphologisch deutlich unterscheidbarer Kasten – Königin, Arbeiterinnen und Soldaten – kennzeichnen diese Staaten. Die allermeisten Mitglieder haben keine eigenen Nachkommen und sind bereit, ihr Leben dem Ganzen, dem Superorganismus, zu opfern. So entstehen riesige Völker, zum Beispiel bei den afrikanischen Treiberameisen (*Anoma wilverthi*), mit mehr als 22 Mio. Individuen. Die sozialen Insekten dominieren heute viele Lebensräume der Erde. Die Gesamtbiomasse an Termiten in der afrikanischen Savanne übersteigt bei Weitem das Gewicht der riesigen Herden von Gnus, Zebras und all den anderen Grasfressern. Und Arbeiterinnen eines einzigen Bienenvolks können am Tag bis zu 6 Mio. Blüten anfliegen und bestäuben.

Insekten sind also nicht nur ihrer schieren Masse und enormen Vielfalt wegen die „wesentlichen Tiere dieser Erde“. Ohne sie wäre die Welt eine andere, weniger bunt, weniger duftvoll, denn etwa 80 % aller bunten Blütenpflanzen sind völlig oder teilweise davon abhängig, von Insekten bestäubt zu werden. Die Konsequenz: Die meisten Pflanzen würden ohne ihre Pollenüberträger extrem selten werden oder sogar aussterben. Es gäbe keine Äpfel, Birnen, Melonen, Feigen, Pflirsiche, Kirschen, Heidelbeeren, Kiwis, Zitrusfrüchte und Pflaumen. Die Landschaften wären von grünen, windbestäubten Pflanzen dominiert, von Gräsern, Kiefern oder Fichten.

Zudem würde die Welt im Müll versinken, in Pflanzenstreu und Tierkadavern. Auf einem Quadratmeter eines nordamerikanischen Laubwalds hat man mehr als 35.000 Insekten gezählt, die sich vor allem von toter organischer Materie ernähren. Neben Bakterien und Pilzen tragen Insekten maßgeblich zur Zersetzung der grünen Pflanzenmasse bei. Und als Fleisch- und Aasfresser vertilgen allein die Ameisen mehr tierische Kost als alle fleischfressenden Säugetiere zusammen.

Insekten sind die heimlichen Herrscher der Welt und die meisten unter ihnen sind Superspezialisten, die winzige Nischen besetzen. Der asiatische Eulenfalter *Lobocraspis griseifusca* etwa trinkt keinen Blütennektar, sondern schlürft die Tränenflüssigkeit von Büffeln und Rindern. Häufig versammelt sich ein Kranz von Schmetterlingen um ein Rinderauge und alle tunken ihre Rüssel in (die salzhaltige) nahrhafte Flüssigkeit an den Augenlidern. Ein anderer orientalischer Falter hat sogar seine saugenden Mundwerkzeuge umgebaut. Damit durchsticht er die Haut von Säugetieren, um deren Blut zu trinken; der Schmetterling ist damit, ökologisch gesehen, zur Stechmücke geworden.

Auf Inseln, auf denen viele Insektenformen häufig fehlen, besetzen andere Arten auf manchmal überraschende Weise freie Nischen. Die Raupe des Nachtfalters *Eipithecia oricloris* auf Hawaii etwa ist eine Meisterin des Überraschungsangriffs: Als grüner Zweig getarnt, lauert die Raupe reglos, bis Beute, meist ein kleines Insekt, über sie hinweg läuft. Dann packt sie, ruck, zuck, mit ihren Vorderbeinen zu und verspeist das Opfer. Einen höchst bizarren Lebensstil haben die Biologen Andreas Weißflog und Ulrich Maschwitz von der Universität Frankfurt am Main auch bei einer etwa 2 mm langen, malaiischen Fliege entdeckt. Ganz ohne Flügel und Beine lebt das Insekt praktisch bewegungsunfähig in Kolonien von Treiberameisen, von denen es gefüttert und auch transportiert wird, wohl weil es Ameisenlarven gleicht.

Die Insekten haben während der Erdgeschichte schon mehrere große Artensterben überstanden, auch den großen Faunenschnitt am Ende des Perms vor etwa 245 Mio. Jahren und das Aussterben der Dinosaurier vor 65 Mio. Jahren.

Dass die Evolution die Insekten selbst in einer so umweltschädlichen Umgebung wie einer modernen Megacity nicht stoppt, zeigt das Beispiel *Culex pipiens molestus*, gemeinhin als Hausstechmücke bekannt, eindrucksvoll. Als die Londoner vor über 100 Jahren ihre U-Bahn bauten, gerieten einige Exemplare der Art in die Tube. Während die Plagegeister oberirdisch vor allem Vögeln das Blut abzapfen, mussten sie nun, um zu überleben, in der U-Bahn auf das Blut von Ratten und Mäusen umsteigen, gelegentlich auch auf das von Bahnarbeitern und Fahrgästen. Innerhalb der kurzen Zeitspanne bis heute entstand eine neue Art, die U-Bahn-Mücke. Sie lebt ständig unter Tage und kreuzt sich auch nicht mehr mit den oberirdisch lebenden Mücken der ursprünglichen Art. Selbst die Mücken verschiedener U-Bahn-Linien weisen bereits beträchtliche genetische Unterschiede auf. Die Evolution der Insekten, die Entwicklung neuer Vielfalt, geht also weiter, neuerdings sogar in der U-Bahn.

Wir sind weit davon entfernt, die Komplexität in der Vernetzung der Welt der Insekten mit der von uns Menschen auch nur im Ansatz zu durchschauen. So lassen sich auch nur ganz grobe Konsequenzen benennen, die mit dem Verschwinden der Insekten, ganz gleich um welche Arten es sich handelt, verbunden sind. Das Nachwort hält dazu Gedanken bereit.

Ob die Facettenaugen eines Nachtfalters, die Flügelschuppen eines Schmetterlings, die Saugfüße eines Gelbrandkäfers etc., vielfach zeigt sich erst unter dem Rasterelektronenmikroskop ihre abstrakte Schönheit. Dieses Buch führt den Leser in eine unbekannt Welt ein und zeigt dabei nicht nur funktionelle, sondern auch ästhetische Aspekte von ungeheurer Schönheit der Natur auf. Dabei sind die Makroaufnahmen und das Lichtmikroskop nur große Lupen. Durch das Rasterelektronenmikroskop (REM) erschließen sich uns weitere, völlig neue Sichtweisen. Mit einem herkömmlichen Lichtmikroskop lässt sich das REM nur hinsichtlich der Aufgabe, eine Objekt Oberfläche abzubilden, vergleichen. Der Bildaufbau wird jedoch nicht durch eine optische Abbildung, sondern durch eine punktweise Objektabtastung mit einem fein fokussierten Elektronenstrahl und der dadurch lokal ausgelösten Wechselwirkungsprozesse realisiert, wobei das Bild das Ergebnis des abtastensynchronen Registrierens dieses Wechselwirkungssignals ist. Wie die Abbildungen im Buch zeigen, zeichnet sich das REM durch seine hohe Auflösung (Nanometerbereich) und Schärfentiefe (Faktor 100) aus.

Wenn wir mit diesem Buch erreichen, dass nach dessen Lektüre durch das Erstaunen über eine geniale Parallelwelt Ehrfurcht und Verständnis geweckt werden, wäre das ein Erfolg.



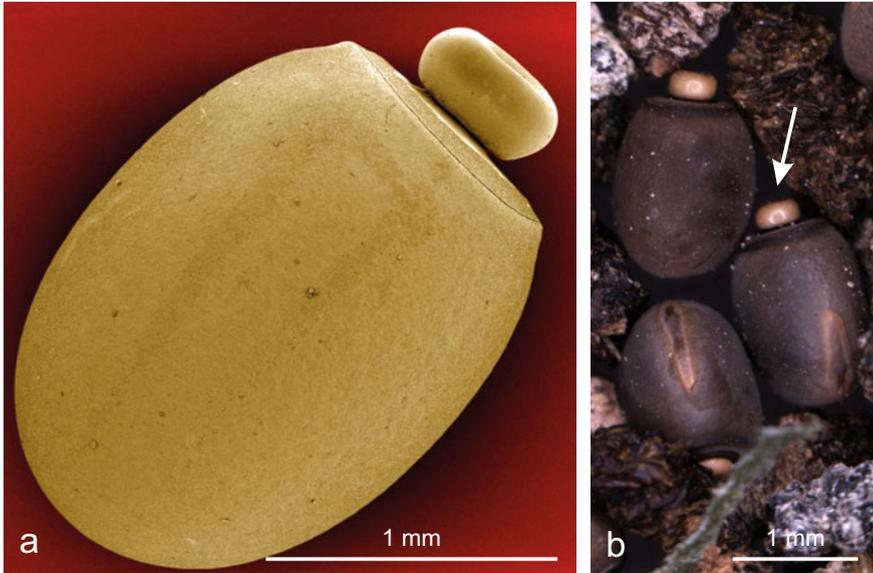
## 2.1 Kein Ei gleicht dem anderen: Die Formenvielfalt der Insekteneier

Maria Sibylla Merian brach 1699 zu einer zweijährigen Forschungsreise ins süd-amerikanische Surinam auf. Sie wollte dort u. a. die Lebenszyklen exotischer Insekten in den Tropenwäldern erforschen. Trotz unsäglicher Strapazen, teilweise bedingt durch das feuchtheiße Klima, betrieb Maria Sibylla Merian mit der ihr eigenen Ausdauer und Zähigkeit ihre naturwissenschaftlichen Studien. In naturgetreuen Bildtafeln und Aquarellen hielt sie ihre Beobachtungen fest. In dem 1705 veröffentlichten Buch *Metamorphosis insectorum Surinamensium* finden sich vereinzelt auch Darstellungen von Insekteneiern, für die damalige Zeit ein Novum.

Doch man muss gar nicht in die Tropen reisen. Auch in unserer unmittelbaren Nähe sind Insekteneier zu finden, wenn man genau genug hinschaut. Je nach Insektenart legen die Weibchen ihre Eier, einzeln oder in Form von Paketen, in den Boden, ins Innere von Holz, auf Ober- und Unterseiten von Blättern, an und in Stängel von Land- und Unterwasserpflanzen etc. und manche injizieren ihre Eier mithilfe ihres Legeapparats auch in andere Tiere. Die Weibchen setzen ihre Eier demnach in allen möglichen ökologischen Nischen ab und das mit den unterschiedlichsten Strategien. Das hat wesentlich zum zahlenmäßigen Erfolg der Insekten beigetragen. Im Folgenden sind einige Beispiele aufgeführt, die zeigen sollen, mit welchen Tricks und Täuschungen hier gearbeitet wird.

### Die Wegwerfeier der Indischen Stabheuschrecke

Der natürliche Lebensraum der Indischen Stabheuschrecke (*Carausius morosus*) sind tropische Wälder in Vorder- und Südindien, China, Japan, sowie der Bereich der großen Sundainseln. Die Weibchen werfen, meist nachts, ihre hartschaligen Eier (Länge: ca. 2,6 mm; Breite: etwa 1,6 mm; Höhe: ca. 1,9 mm) einzeln auf den Boden ab (Abb. 2.1a, b). Die Eier erinnern in Form und Farbe an Pflanzensamen



**Abb. 2.1** a Die Weibchen der Indischen Stabheuschrecke (*Carausius morosus*) werfen ihre hartschaligen Eier einzeln auf den Boden ab; kolorierte rastererelektronenoptische Aufnahme. b Die Eier von *C. morosus* gleichen in Form und Farbe Pflanzensamen. Jedes Ei trägt ein nährstoffreiches Fraßkörperchen (Elaiosom, *Pfeil*). Haben Ameisen solche vermeintlichen Pflanzensamen in ihren Bau geschleppt, trennen sie dort die Elaiosomen ab. Da sie an den Eiern nicht interessiert sind, entfernen sie diese wieder aus den Nestern

oder Kotbällchen. Auffallend ist, dass sie knöpfchenförmige Anhängsel (Capitula) haben (Abb. 2.1b). Dabei handelt es sich um Fraßkörperchen (Elaiosomen), die nährstoffreiche Proteine und Fette enthalten. Ameisen tragen die vermeintlichen Pflanzensamen deshalb mit Vorliebe in ihre Bauten ein. Dort trennen sie die Fraßkörperchen ab und ernähren sich davon. Da sie an den Eiern nicht interessiert sind, schleppen sie diese aus dem Bau und tragen so zu der Verbreitung der Indischen Stabheuschrecke bei, denn diese ist flugunfähig und zeitlebens mehr oder weniger an ihren Standort gebunden. Stabheuschreckenarten, die ihre Eier vergraben oder an Blätter kleben, fehlt solch ein Fraßkörperchen.

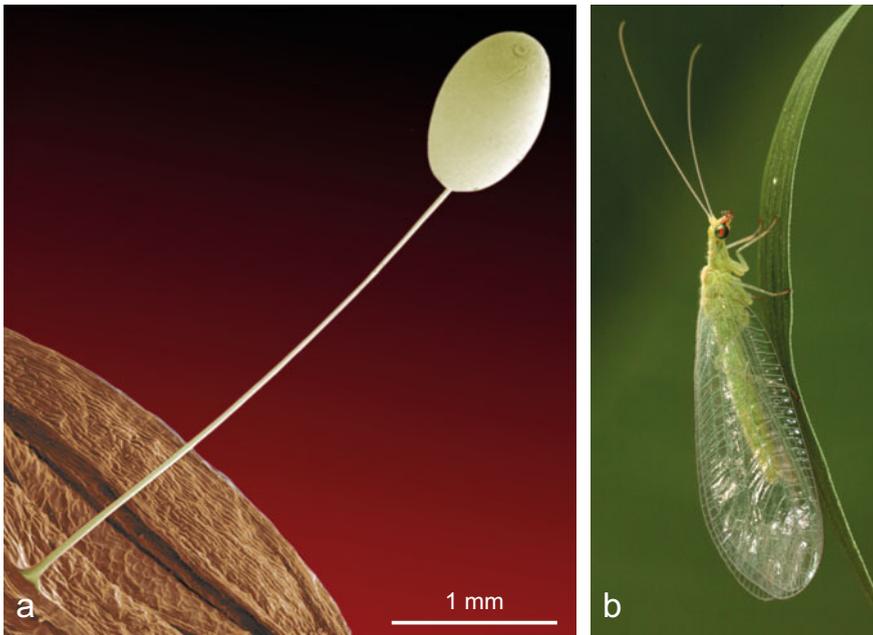
Die Weibchen der Indischen Stabheuschrecke legen täglich bis zu drei Eier, in ihrem gesamten Leben etwa 1200 Stück. Davon überleben in der Natur meist nur 100 Tiere. Je nach Temperatur schlüpfen nach zweieinhalb bis vier Monaten (!) die kleinen Stabschreckenlarven aus den Eiern.

## Ei am Stiel: Das Gelege der Gemeinen Florfliege

Florfliegen gehören zur Ordnung der Netzflügler (Neuroptera). In Mitteleuropa gibt es ca. 35 Florfliegenarten, unter ihnen ist die einheimische Gemeine Florfliege

(*Chrysoperla carnea*) die häufigste. Wegen ihrer auffallend schönen Augen wird sie auch Goldauge genannt (Abb. 2.2b). Die Weibchen, die sich als Blütenbesucher von Nektar und Pollen ernähren, legen im Laufe ihres Lebens 100–900 Eier ab. Die ovalen, weißlich gefärbten Eier werden nachts einzeln oder in Gruppen an Pflanzen meist in der Nähe von Blattlauskolonien abgesetzt. Bei der Eiablage tupft das Florfliegenweibchen die Geschlechtsöffnung auf die jeweilige Unterlage und zieht durch Heben des Hinterleibs einen Sekretfaden aus, der schnell erhärtet. Erst dann tritt das Ei aus, das dann auf diesem bis zu 10 mm langen Faden wie auf einem langen Stiel sitzt (Abb. 2.2a). Die Eistiele sind mit Substanzen imprägniert, die Ameisen abwehren. Warum gestielte Eier? Ein Grund könnte sein, dass die Florfliegen Eier auf diese Weise für die allgegenwärtigen Ameisen, die oft Besucher von Blattlauskolonien sind, unerschwingbar sind.

Beim Schlüpfen befreien sich die Larven mit einem Eizahn aus dem oberen Ende der Eihülle. Die frisch geschlüpften Larven verweilen noch einige Zeit auf den Eiern, bis sie schließlich auf der Suche nach ihrem ersten Beutetier, meist sind es Blattläuse, am Stiel herunterklettern.



**Abb. 2.2** **a** Die weißlichen Eier der einheimischen Gemeinen Florfliege (*Chrysopa carnea*) sitzen am Ende eines langen, hauchdünnen Stiels; kolorierte rasterelektronenoptische Aufnahme. **b** Aufgrund ihrer auffallend schönen Augen wird diese Florfliege auch Goldauge genannt

## Die ziselierten Eier des Hauhechel-Bläulings

Der Hauhechel- oder Gemeine Bläuling (*Polyommatus icarus*) ist ein Tagfalter aus der Familie der Bläulinge (Lycaenidae). Die Art ist noch häufig und verbreitet. Die Weibchen heften ihre kreisrunden, weißen Eier mit deren flacher Unterseite einzeln auf den Blattoberseiten der Futterpflanzen, bevorzugt Kleearten oder Hauhechel (*Ononis* sp.).

Unter dem Rasterelektronenmikroskop wird die reliefplastische Form der Eier sichtbar. Ein Netz von leistenförmigen Erhebungen überzieht nahezu die gesamte Eioberfläche. Die Erhebungen weisen zusätzlich an ihren Schnittpunkten kurze, röhrenförmige Fortsätze, Aerophyten, auf, durch die die Embryonen mit Luft versorgt werden (Abb. 2.3a). Auf der Eioberseite befindet sich ungefähr in der Mitte die rosettenförmige Mikropylarplatte. Vier winzige Löcher markieren hier die Eintrittsstellen für die Spermien (Abb. 2.3b).

## Das unsinkbare Eischiffchen der Gemeinen Stechmücke

Unscheinbar und schutzlos Regen und Sonne ausgeliefert treibt ein kleines Eischiffchen auf der Wasseroberfläche eines Regenwasserfasses. Die 150–300 Eier, aus denen das Schiffchen besteht, stammen von einem im Herbst begatteten Weibchen einer Hausstechmücke (*Culex pipiens*). Das Tier hat an einer geschützten Stelle, zum Beispiel in einem Keller, einer Scheune oder einer Baumhöhle, überwintert. Nun, an den ersten warmen Frühlingstagen, hat es mit der Eiablage begonnen. Das *Culex*-Weibchen setzt sich dazu auf die Wasseroberfläche und legt nacheinander die Eier ab, indem es die Eier so zwischen den Hinterbeinen stapelt, dass sie aufrecht stehend zu einem oben konkaven Schiffchen geformt werden (Abb. 2.4a, Inset). Besonders bemerkenswert ist, dass das Eischiffchen nicht untergeht. Erreicht wird das, weil jedes Ei einen lufthaltigen, trichterförmigen Kragen an seinem nach unten gerichteten Pol aufweist (Abb. 2.4b). An diesen, dem Wasser zugekehrten Eipolen schlüpfen Tage später die Larven und gelangen so sofort ins Wasser.

Fazit: Insekteneier sind nährstoffreich, klein und widerstandsfähig. Es gibt Mini-Eier, nicht größer als ein Zuckerkristall, und erbsengroße Riesen-Eier. Von Letzteren ließen sich knapp 200 Stück in einem normalen Hühnerei (Gewichtsklasse M: 53–63 g) unterbringen. Insekteneier überraschen durch eine ungeheure Vielfalt der Formen (Abb. 2.5a–d). Unabhängig von Größe oder Form besteht jedes Insektenei aus nur einer einzigen, lebenden Zelle, der weiblichen Geschlechtszelle. Die faszinierende Schönheit und die oft vielfältigen Strukturen der Insekteneier offenbaren sich dem Betrachter erst unter dem Rasterelektronenmikroskop. Die Eioberflächen können glatt oder runzlig, fein ziseliert oder auffällig skulpturiert sein (Abb. 2.6a) oder sie weisen feine Haken, Haare oder Stacheln auf. Manche Insekteneier sehen aus wie Schmutz, andere ähneln Pflanzenteilen. Vielfach weisen die Eischalen Strukturen auf, die für bestimmte physiologische Vorgänge unerlässlich sind, wie die winzigen Öffnungen (Mikropylen) in der Eischale, über