

GEO kompakt

Nr. 11

Die Grundlagen des Wissens

Insekten

Die verblüffende
Erfolgsgeschichte der
Panzerwesen

CHITIN:

Ein Wunderstoff,
aus dem sich
alles formen lässt

HEUSCHRECKEN:

Angriff
der fliegenden
Festungen

SINNE:

Hören mit dem
Knie, schmecken
mit dem Fuß

WETTRÜSTEN:

Der ewige Kampf
zwischen Falter
und Fledermaus

ISBN 978-3-570-19743-1



€ 8,00 [D]

9 783570 197431



LIEBESSIGNAL:

Die riskante Licht-Show der
LEUCHTKÄFER

AMEISENSTAAT:

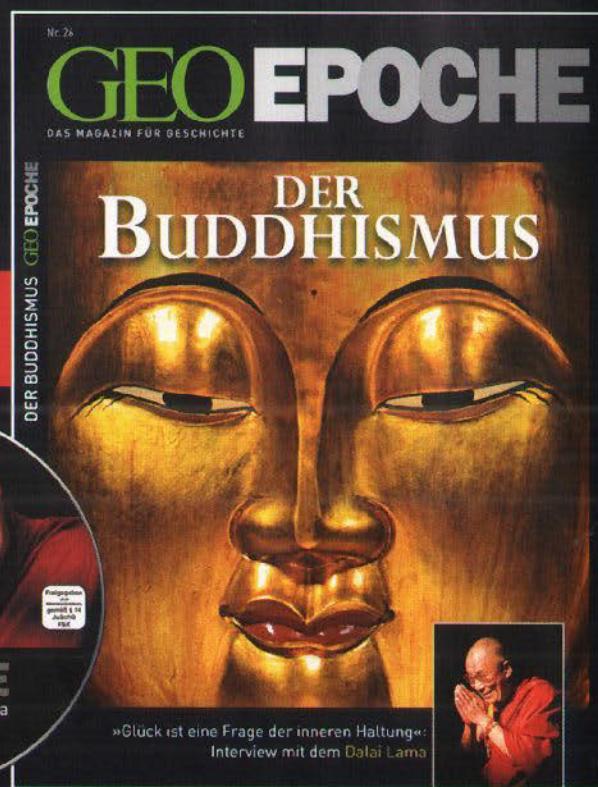
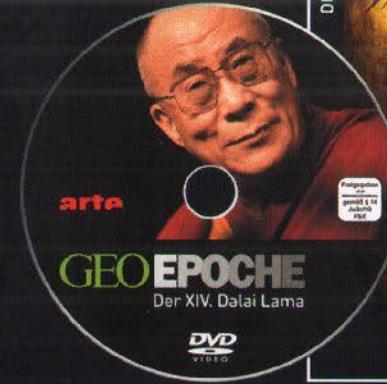
Wie ein
SUPERORGANISMUS
funktioniert



Als Mensch geboren und als Heiliger gestorben: Buddha und seine Lehre

Kolle Rebbe

Auch als Sonder-Edition:
Heft + DVD für 14,95*





Liebe Leserin, lieber Leser,

vor etwa 400 Millionen Jahren entwickelte sich aus einem Krebs oder aus einem Tausendfüßer ein neues Tier. Es hatte einen gepanzerten Körper, trug ein Fühlerpaar am Kopf und bewegte sich auf sechs Beinen. Sein Bauprinzip war ebenso schlicht wie genial: Sämtliche Organe und Extremitäten wurden von einem stützenden, ungemein vielseitigen Außenskelett umhüllt, das sich in drei große Einheiten gliederte – in Kopf, Rumpf und Hinterleib. Weil jede Einheit durch eine Einschnürung von der nächsten getrennt war, entschieden sich die Biologen, diese neue Klasse von Organismen „Kerbtiere“ zu nennen oder „Insekten“ (von lat. *in sectio* = Einschnitt).

Die Sechsbeiner setzten in den folgenden Jahrtausenden zu einem Eroberungszug ohne Beispiel an und drangen in beinahe jede Nische auf unserem Planeten vor. Heute siedeln sie in den fast 100 Grad Celsius heißen Quellen Nordamerikas ebenso wie in den Gletscherfugen der Antarktis, in Petroleumlachen auf Erdölfeldern wie in Wüstenmilieus.

Sie können jahrelang in Trockenstarre überdauern, regelrecht einfrieren und doch wieder auferstehen. Sie haben hocheffiziente Gelenke, Schwingen und Stoffwechselsysteme hervorgebracht, und auch ihre Flugapparatur ist erstaunlich leistungsfähig: Eine Mücke bringt es auf über 1000 Flügelschläge – pro Sekunde.

Biologen sprechen von einer „Großmacht auf sechs Beinen“: Denn mit knapp einer Million bis heute beschriebener Arten stellen die Insekten die bei weitem stattlichste Gruppe im Tierreich; vielleicht sind es aber auch 15 oder 30 Millionen Spezies, die noch der Entdeckung harren. Bei der bloßen Masse gibt es ebenfalls nichts Vergleichbares: Alle Sechsbeiner zusammen wiegen rund 2,7 Milliarden Tonnen –

das entspräche dem Gewicht von 39 Milliarden Menschen.

Heute gibt es Insekten von 0,2 Millimeter bis zu 30 Zentimeter Länge. Und trotz ihrer verhältnismäßig winzigen Körper sind es



Hat das Konzept zu diesem Heft erarbeitet und die Produktion geleitet:
GEOkompakt-Redakteur
Jörn Auf dem Kampe

höchst komplexe Lebewesen, die erstaunliche Fähigkeiten für alle möglichen Herausforderungen hervorgebracht haben. Fast alle vermögen zu fliegen, viele können schwimmen, einige laufen über Teiche oder an Glasscheiben empor. Sie zerkaufen mit strapazierfähigen Kiefern steinharte Nahrung oder saugen über feinste Rüssel Säfte, bohren sich in Holz oder graben sich durch die Erde, bauen papierdünne Behausungen oder betonharte Burgen.

Um sich im Überlebenskampf zu behaupten, haben die Kerbtiere einige der ungewöhnlichsten Sinnesorgane im Tierreich hervorgebracht: Männliche Schmetterlinge können Duftstoffe von Weibchen wahrnehmen, die sich kilometerweit entfernt aufhalten; Heuschrecken, Bienen und Käfer etwa erfassen mit ihren Facettenaugen polarisiertes Licht und finden so Blüten oder Wasserlöcher. Wüstenameisen messen Entfernung, prägen sich Geländemarken ein – und nehmen stets den kürzesten Rückweg in ihren Bau.

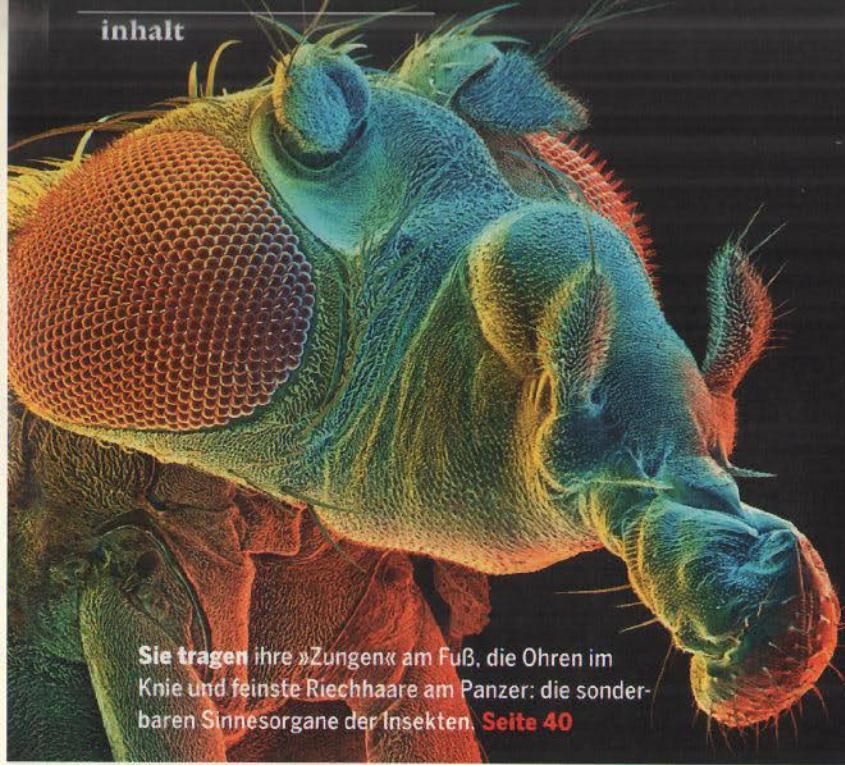
Es gibt Larven, die eine Wasserwaage am Bauch tragen, Honigbienen mit einem Tempomesser am Auge, Stubenfliegen mit einem Geschmacksführer am Fuß. Und die Feuersensoren einer besonderen Käferspezies melden noch Brände, die zehn Kilometer entfernt lodern.

Vor gut 290 Millionen Jahren entwickelten die Insekten darüber hinaus eine besonders bizarre Form der „Pubertät“: die holometabole Metamorphose. Bei dieser „vollkommenen Verwandlung“ löst sich das Körperinnere eines jugendlichen Sechsbeiners nach und nach fast vollständig auf, und aus bestimmten Zellen wächst ein komplett neuer Leib heran. Der Vorteil dieser Strategie: Heranwachsende Tiere können ganz andere Lebensräume besiedeln (und Futterquellen erschließen) als ihre ausgereiften Artgenossen.

Das Reich der Insekten – es kann einen ins Staunen versetzen. Ich lade Sie herzlich ein, uns in dieses Reich zu folgen.

Ihr

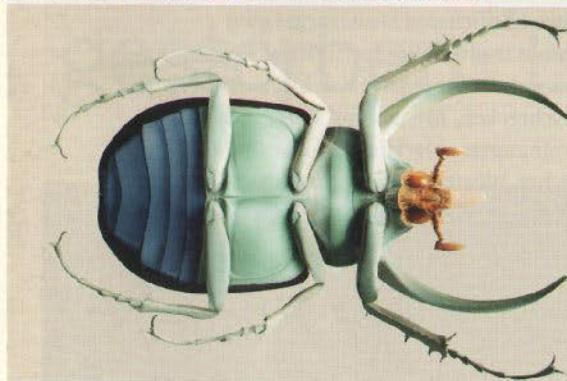
Michael Seifert



Sie tragen ihre »Zungen« am Fuß, die Ohren im Knie und feinste Rechthaare am Panzer: die sonderbaren Sinnesorgane der Insekten. Seite 40



Vielfalt: Keine Tiergruppe auf Erden stellt mehr Arten. Was ermöglichte den Siegeszug der Sechsbeiner? Seite 6



Das Bauprinzip der Insekten ist simpel. Ihr Panzer umhüllt die Weichteile und gliedert sich in Hinterleib, Brust und Kopf: ein Körperdesign mit ungeheuren Vorzügen. Seite 32



Der Niederländer Jan Swammerdam sezierte im 17. Jh. erstmals systematisch Kerbtiere und begründete die Entomologie. Seite 50



Ameisenvölker sind wie Superorganismen: Jedes Individuum ist für sich allein schwach, doch in der Gemeinschaft zu Großtaten fähig. Eine komplexe Sprache erleichtert die Koordination. Seite 102

Anatomie

Wundersame Gestalten Der bizarre Formenreichtum und die Erfolgsgeschichte der Kerbtiere

6

Das Material, aus dem die Panzer sind Insektenhüllen bestehen aus einem der ältesten Verbundwerkstoffe der Erde – sie sind robust und äußerst wandelbar

28

Fliegende Festung Der genial einfache Körperbau der Insekten am Beispiel des Nashornkäfers

32

Mit Echolot und mehr als tausend Augen Auf welch eigentümliche Weise Insekten ihre Welt wahrnehmen und wie sie dafür im Verlauf der Zeit ihre Panzer umgestaltet haben

40

Jan Swammerdam Vorstoß ins Innere der Kerbtiere

50

Akrobaten der Lüfte Eine einzigartige Technik macht die geflügelten Insekten zu raffinierten Flugmaschinen

52

Die Fressmaschine und der Falter Wie massige Raupen ihren Körper umformen und zu Schmetterlingen werden

82

Verhalten

Eine Burg für Millionen Kriegertermiten errichten aus Speichel und Erde Hochhäuser in der Savanne und lassen sich dabei von Düften leiten

60

Bau-Ingenieure Meterhohe Metropolen mit Klimaanlage, zarte Wohnungen aus Papier, gewaltige Höhlen im Erdreich: Die Sechsbeiner sind geniale Konstrukteure

66

Karl von Frisch Wie sich Bienen bei der Futtersuche mithilfe von Tanzfiguren verständigen

74

Duell in der Nacht Ein evolutionäres Wettrüsten zwischen Motten und Fledermäusen brachte immer neue Angriffs- und Verteidigungstechniken hervor

76

Käfer-Kindergarten Insekten verfolgen bei der Hege ihrer Brut völlig unterschiedliche, oft verblüffende Strategien

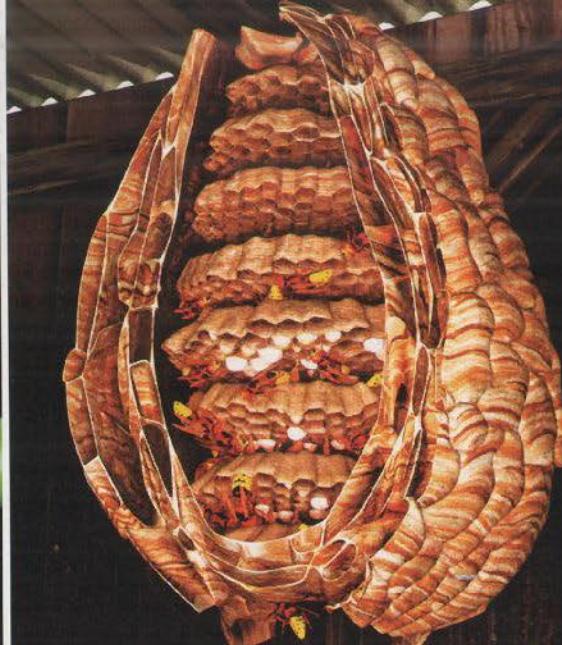
94

Die Kraft des Kollektivs Mit welcher Effizienz sich Ameisenvölker organisieren – und wie Forscher versuchen, ihre geheimnisvolle Sprache zu entschlüsseln

102



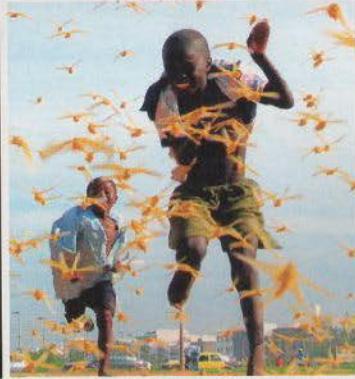
Metamorphose: Aus Raupen werden filigrane Falter – diese einzigartige Verwandlung ist ein Schlüssel zum Erfolg der Kerbtiere. **Seite 82**



Die Nester der staatenbildenden Insekten – etwa der Hornissen – zählen zu den raffinertesten Konstruktionen im Tierreich. **Seite 66**



Akrobaten: Als erste Tiere erhoben sich die Insekten in die Luft – und wurden zu den besten Fliegern in der Natur. **Seite 52**



Wie aus dem Nichts erscheint die Wüstenheuschrecke und kann in gewaltigen Schwärmen zu einer Bedrohung werden. **Seite 138**



Vor gut 50 Millionen Jahren brachten Fledermäuse Sinnesorgane hervor, mit denen sie Falter im Dunkeln orten konnten. Doch die entwickelten ausgefeilte Tricks, um zu entkommen. Ein Wettrüsten begann, das bis heute anhält. **Seite 76**

Tarnen und Täuschen Um ihre Opfer in die Irre zu führen oder sich vor Räubern zu schützen, haben viele Kerbtiere die perfekte Camouflage entwickelt

Henry Walter Bates Wie ein Amateurzoologe entdeckte, weshalb sich manch harmlose Insekten als gefährliche Tiere ausgeben

Drei Jahre und ein Tag Eintagsfliegen steigen zu Hunderttausenden zeitgleich aus dem Wasser, um sich zu paaren. Wie kommt es zu dieser erstaunlichen Synchronisation?

Die Sprache der Leuchtkäfer Was die Lichtsignale bei der Käfer-Brautschau verraten – und weshalb sie tödlich sein können

Zähne des Windes Die Metamorphose der Wüstenheuschrecke zum gefräßigen Schwarmwesen

Bienen-Tod Wissenschaftler rätseln, weshalb die Blütenbestäuber zu Abermillionen eingehen

112

120

122

132

138

152

Rubriken

Martensteins Welt (1) Über Sexmonster und die feministische Sicht auf das Insekt

92

Martensteins Welt (2) Über Ameisen als Knallerbsen und das Rollenmodell „Termite“

128

Kompakt erklärt Glossar, Register und Stammbaum

148

Vorschau Die Wüsten der Erde

154

Impressum

147

Bildnachweis

153

Redaktionsschluss dieser Ausgabe: 18. Mai 2007

FACHBEGRIFFE – SCHNELL ERKLÄRT

In den Texten dieses Heftes sind **wichtige Begriffe** stets durch eine **blaue Schriftfarbe** hervorgehoben. Diese Begriffe werden im **Glossar** ab Seite 148 kurz und verständlich definiert.



Fotos: Gilles Mermet

Die Wundersamen

Sie sind die artenreichste Gruppe aller Tiere, bewohnen die extremsten Ökosysteme und haben die bizarrsten Formen hervorgebracht. Sie sind Meister im Fliegen, hervorragende Jäger, Spezialisten der Tarnung und nehmen feinste Erschütterungen, UV- oder polarisiertes Licht wahr. Obwohl ihre Gehirne hundertfach kleiner sind als die von Wirbeltieren, bilden sie komplexe Sozialstrukturen, errichten kunstvolle Bauwerke und betreiben sogar Landwirtschaft. Was hat diese sechsbeinigen, zumeist geflügelten Krabbeltiere derart vielseitig und erfolgreich gemacht?



Pflanzensauger

Zikaden – hier die auf Madagaskar vorkommende Art *Pycna strix* – gehören wie auch Wanzen, Blatt- und Schildläuse zur Ordnung der Schnabelkerfe. Es gibt rund 35 000 Zikadenarten, deren Männchen rhythmische Gesänge produzieren. Zikaden ernähren sich von Pflanzensaften, die sie mit ihrem stilettartigen Saugrüssel aufnehmen. Die Mundwerkzeuge der Insekten sind von Art zu Art sehr wandlungsfähig – einer der evolutiven Vorteile dieser Tiergruppe.



Antennen für den Duft

Die fächerartige Struktur der enormen Fühler bei diesem Bockkäfer aus Südamerika dient dazu, auf ihrer Oberfläche möglichst viele Geruchsrezeptoren unterzubringen und so die Empfindlichkeit für Düfte zu erhöhen. Ein außergewöhnlich gut ausgebildeter Geruchssinn hilft vielen Insekten, Geschlechtspartner zu finden. Schad-insekten werden daher oft mit künstlichen Duftstoffen in Fallen gelockt, zur Bekämpfung.



Goldene Vielfalt

»Jewel Scarabs« wird die Familie genannt, zu der diese wie Schmuckstücke glänzenden Blatthornkäfer aus Mittel- und Südamerika gehören. Der metallische Schimmer ist Folge einer Lichtbrechung auf dem Panzer. Die abgebildeten Tiere zählen zur Gattung *Chrysina*. Sie umfasst etwa 100 Arten, die Familie der Blatthornkäfer fast 28 000. Insgesamt sind bereits rund 370 000 Käferarten von Forschern beschrieben worden.



Fliegende Blätter

Manche Heuschrecken, so *Cycloptera speculata* aus der Familie der Laubheuschrecken, tarnen sich mit Vorderflügeln, die wie Blätter aussehen. Zum Fliegen nutzen die Tiere vor allem das hintere Flügelpaar. *Phymateus morbillosus* (rechts) gehört zu den Schaumschrecken, die sich mit schaumigen Sekreten verteidigen. Alle Heuschrecken ähneln bereits im Larvenstadium – anders als viele andere Arten – den ausgewachsenen Tieren.





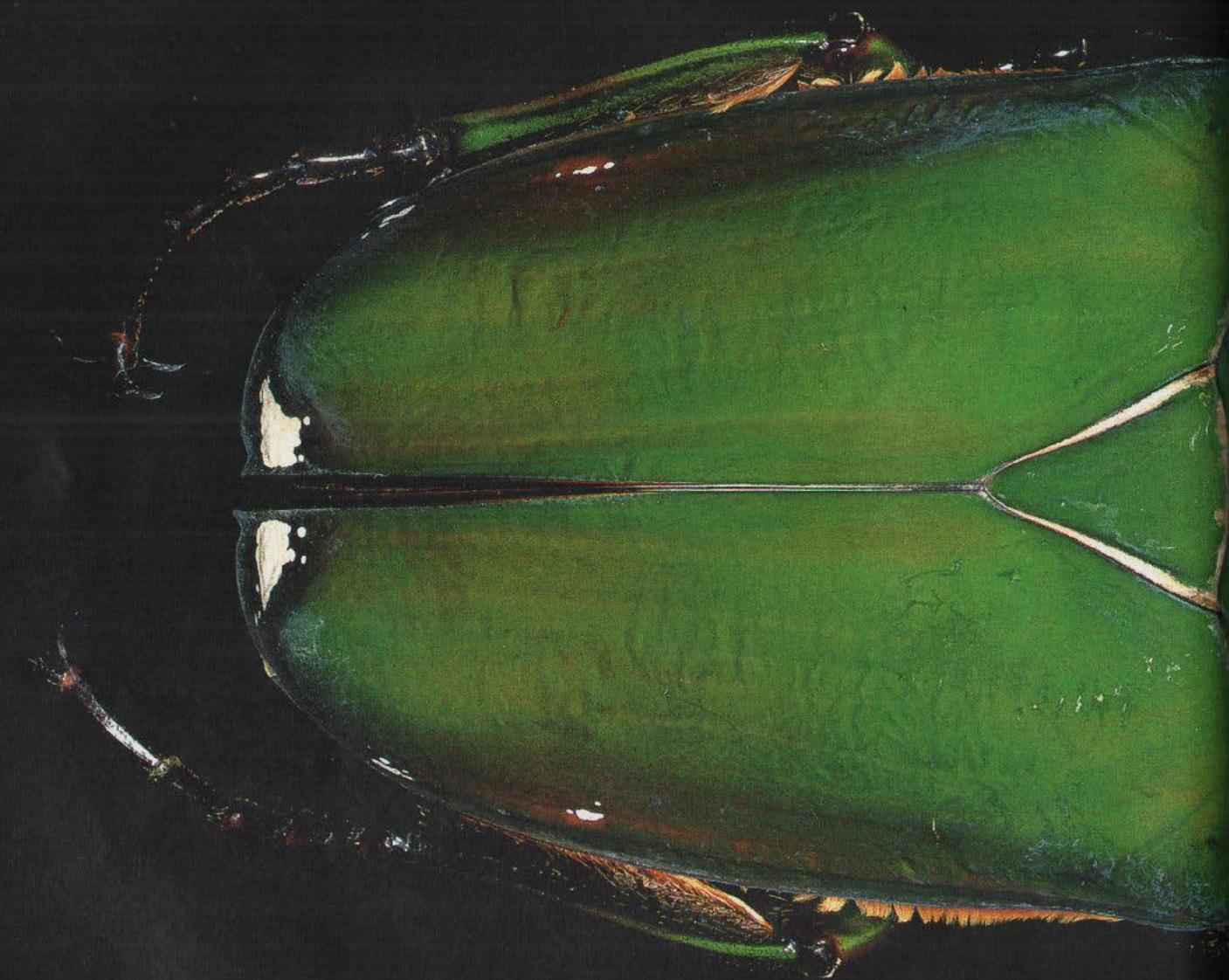
Verbogene Jägerin

Dank ihrer bizarren Gestalt sind die im tropischen Regenwald heimischen Gottesanbeterinnen der Art *Deroplatys lobata* zwischen welkem Laub kaum zu erkennen. Ruhig warten sie, bis sich ihnen ein Beutetier nähert, und schnappen es dann blitzschnell mit ihren Fangbeinen. Die kräftigen Weibchen sind auch für Artgenossen nicht ungefährlich: Männchen werden nach dem bis zu elfstündigen Begattungsakt gelegentlich verspeist.



Tödliches Instrument

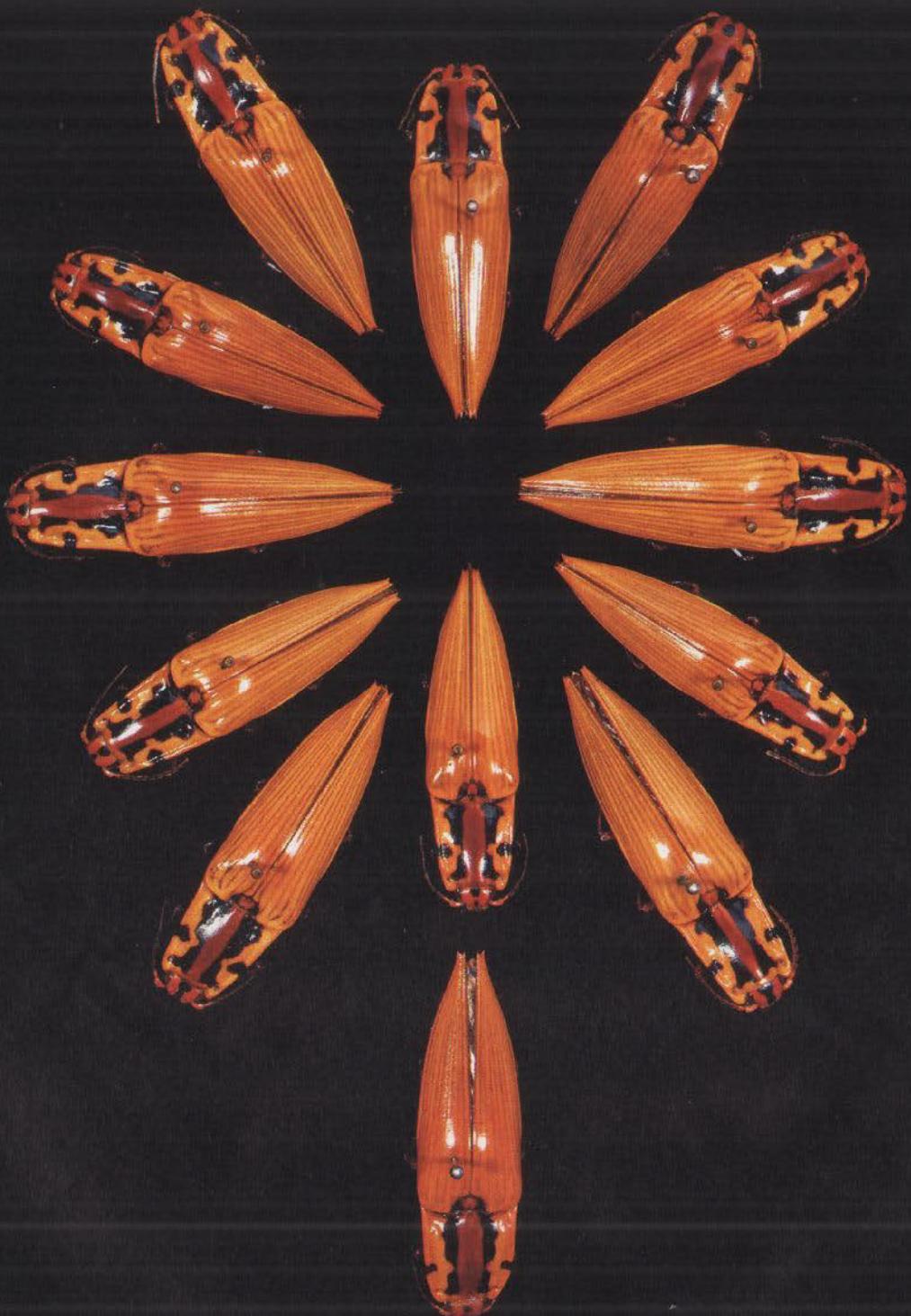
Wegen ihres an ein Musikinstrument erinnernden Körpers werden Gottesanbeterinnen der Art *Gongylus gongylodes* »Wandelnde Geigen« genannt. Oft hängen die in Indien, auf Sri Lanka und Java vorkommenden Tiere kopfüber im Geäst und lauern. Mit ihren räumlich sehenden Augen peilen sie vorbeifliegende Insekten an, schaukeln wie welche Blätter im Geäst und packen dann plötzlich zu. Insgesamt gibt es rund 2300 Arten von Gottesanbeterinnen.





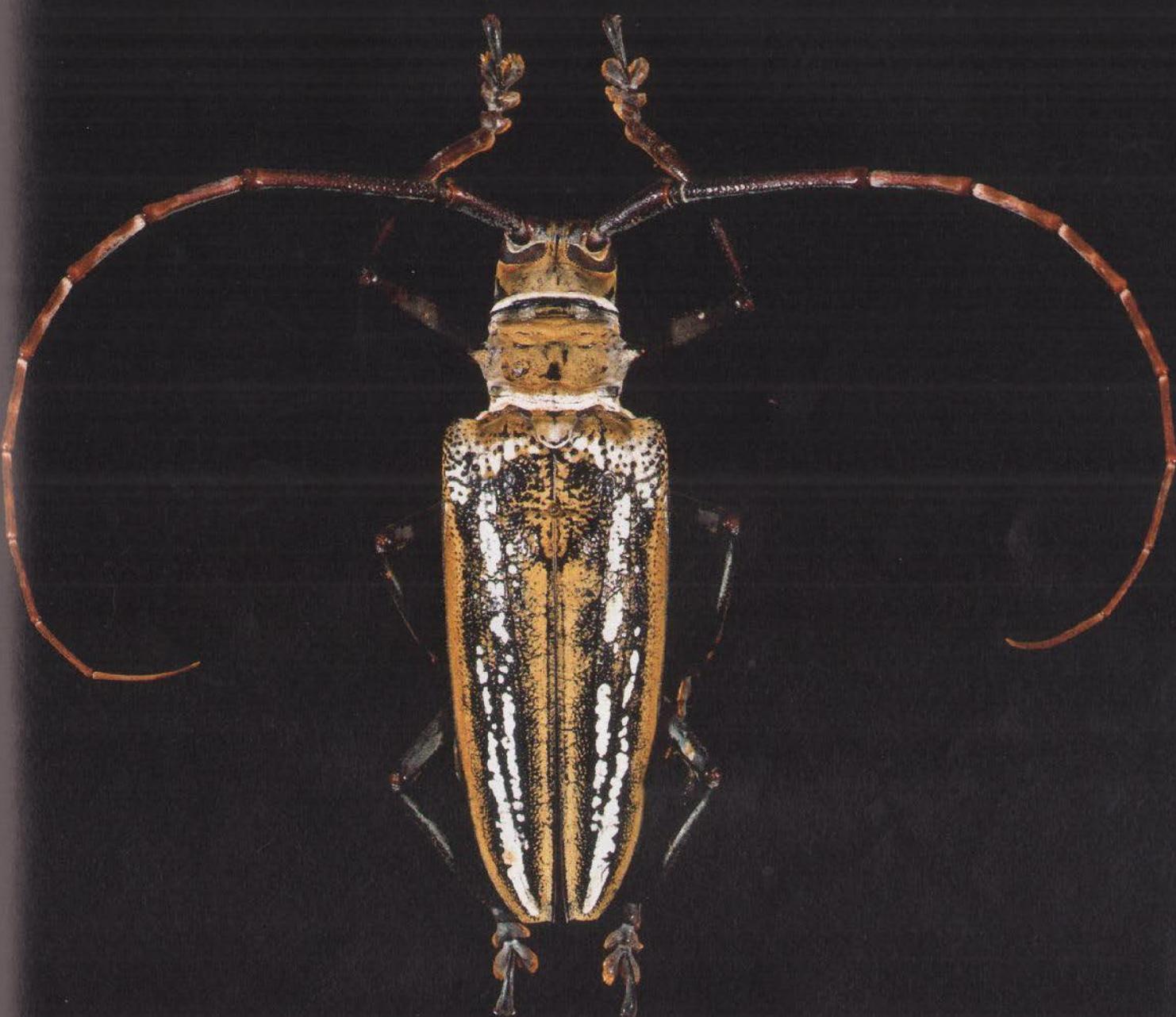
Flugpanzer

Merkmal aller Käfer sind Flügeldecken, Elytren, die aus dem vorderen Flügelpaar entstanden sind. Sie schützen das zum Fliegen dienende hintere Paar. Rosenkäfer, wie die Art *Mecynorrhina torquata* (oben), besitzen Einbuchtungen in den Elytren, sodass sie die Flügel entfalten können, ohne die Decken abzuspreizen. Männchen der Bockkäfer-Art *Macrodonia cervicornis* (kleines Bild) tragen am Kopf Kieferfortsätze, die sie im Wettstreit um Weibchen einsetzen.



Fluchtkatapult

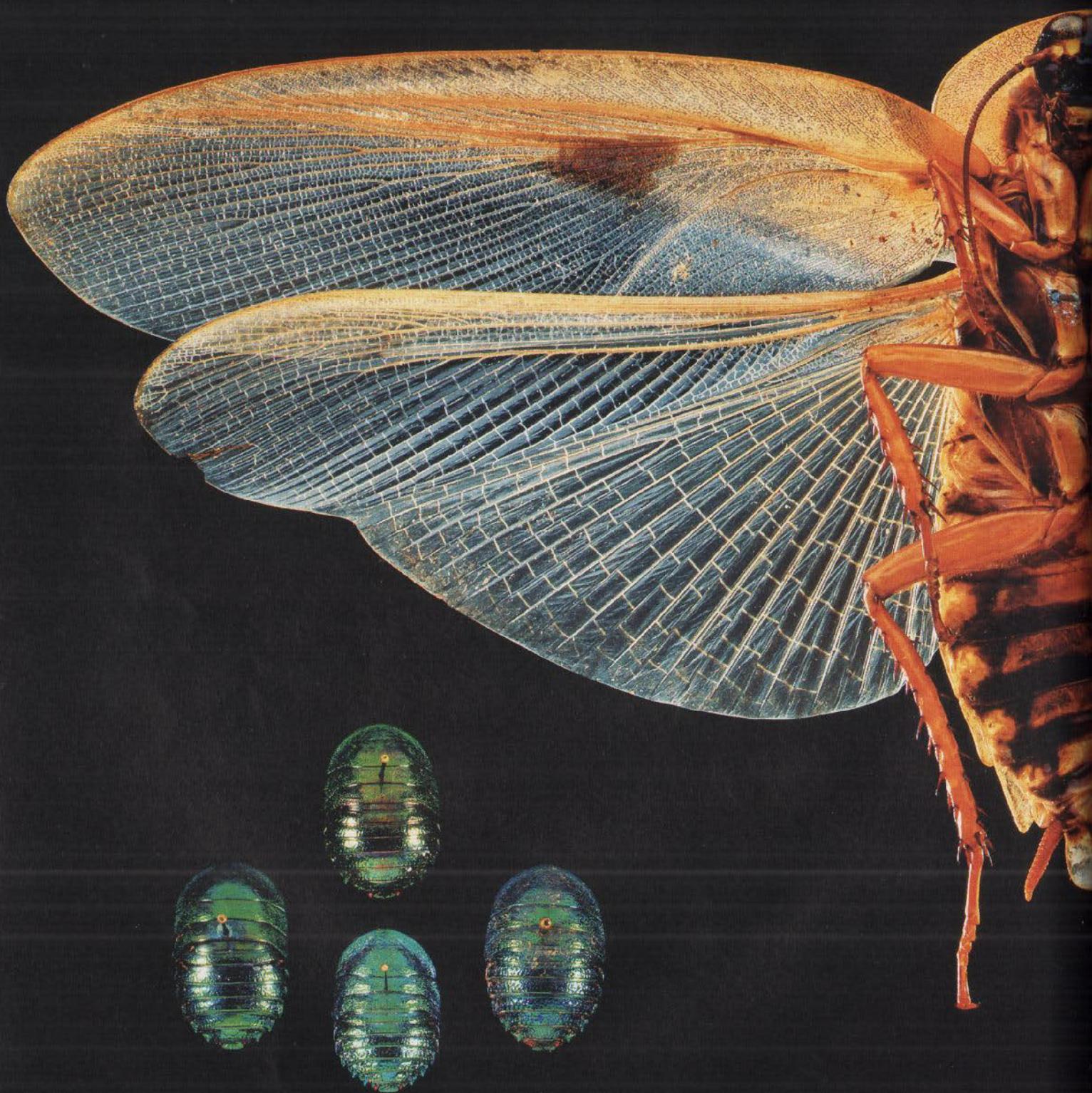
Diese im Amazonasgebiet lebenden Käfer der Art *Semiotus imperialis* mit ihren lang gezogenen Hinterleibern und den zugespitzten Flügeldecken gehören zu den Schnellkäfern. Liegen Tiere dieser Familie auf dem Rücken, können sie sich durch einen speziellen Schnappmechanismus in die Luft katapultieren, um Feinden zu entkommen. Ihre Eier legen die Käfer ins Erdreich oder in Pflanzenreste, wo sich daraus zylindrische Larven entwickeln, die Drahtwürmer.



Fühlender Kopfschmuck

Der etwa acht Zentimeter große Bockkäfer *Batocera wallacei* ist in Südostasien und Australien verbreitet und zählt zu den größten Vertretern dieser Tiergruppe. Die langen Fühler haben bis zu 40 Zentimeter Spannweite, ihre an Steinbock-Hörner erinnernde Form hat der Gruppe den Namen »Bockkäfer« eingebracht. Die Zeichnung auf dem Rücken ähnelt einer Borke mit Flechtenbewuchs und dient der Tarnung auf einem Baumstamm.

schaben





Scheue Überlebenskünstler

Rund zehn Zentimeter lang wird die Riesenschabe *Blaberus giganteus* (oben). Der nachtaktive Allesfresser lebt häufig mit Fledermäusen zusammen und vertilgt deren Kot sowie verendete Kleintiere. Die Weibchen sind wie die der Art *Trichoblatta magnifica* (links) flügellos. Schaben bewohnen überwiegend tropische Gebiete; mithilfe hochempfindlicher Sinnesorgane registrieren sie Vibrationen und Luftbewegungen, die nahende Feinde verraten.



Stummelflügler

Weibchen der malaysischen Riesengespenstheuschrecke (*Heteropteryx dilatata*) werden etwa 15 Zentimeter lang, Männchen erreichen dagegen nur neun Zentimeter. Die Stab- oder Gespenstheuschrecken häufig stark reduzierte Flügel und sind behäbige, nachtaktive Pflanzenfresser, die tagsüber in eine Bewegungsstarre fallen. Um ihre Brut kümmern sie sich wenig: Meist lassen sie ihre Eier einfach auf den Boden fallen oder schleudern sie weg.



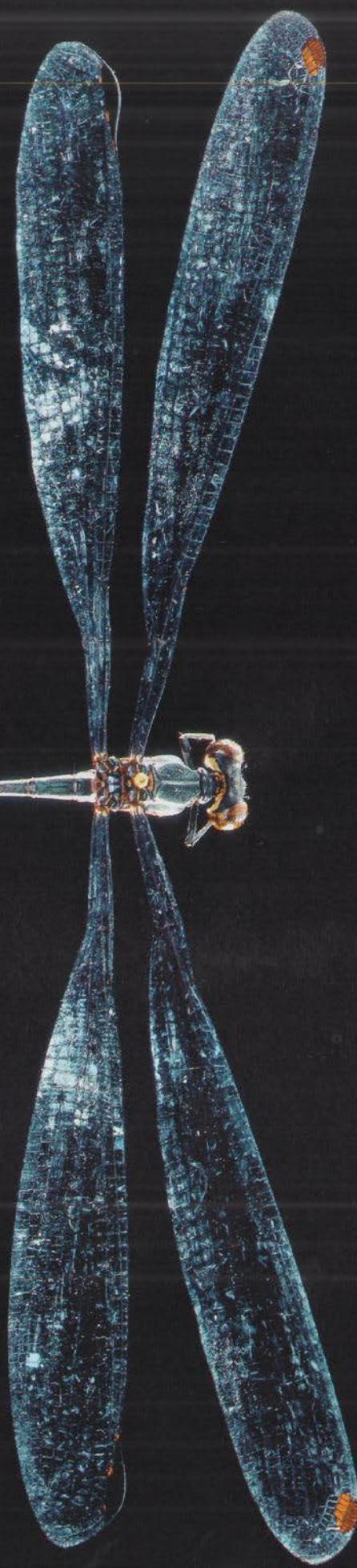
Graziler Dschungelbewohner

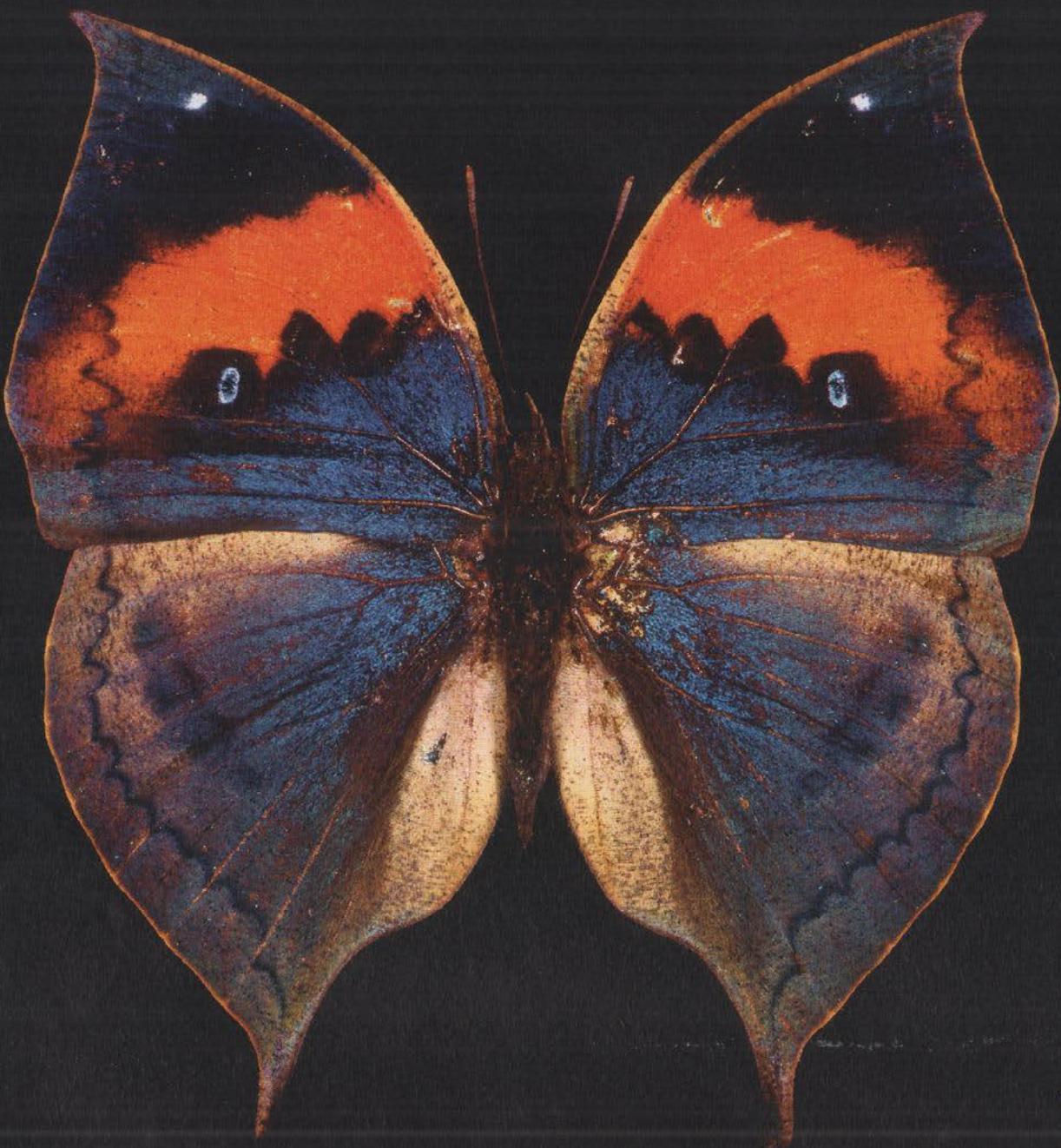
Auffällig gefärbt sind die großen Hinterflügel der Art *Tagesoidea nigrofasciata*. Solche Muster können dazu dienen, Geschlechtspartner anzulocken, Feinde abzuschrecken oder sich im Regenwald zu verbergen. Tarnung ist der häufigste Trick der Gespenstheuschrecken, um Räubern zu entgehen. Manche wehren sich auch durch Geräusche und übelriechende Sekrete. Oder sie werfen in größter Not ein Bein ab – das aber bei der nächsten Häutung nachwächst.



Die ersten Flugkünstler

Libellen gehören zu den ältesten geflügelten Insekten. Sie sind exzellente Flieger – denn als einzige Sechsbeiner können sie ihre vier Flügel alle unabhängig voneinander bewegen. Allerdings besitzen sie keinen speziellen Muskel, um sie nach hinten zu klappen, und können sich daher nicht durch dichten Bewuchs bewegen. Die hier gezeigte Art *Mecistogaster lucretia* gehört zur Familie der Hubschrauber-Libellen, die in Mittel- und Südamerika verbreitet ist.





Fliegendes Schuppentier

Die prachtvolle Färbung auf der Oberseite seiner Flügel offenbart *Kallima inachus* aus der Familie der Flecken- oder Edelfalter nur im Flug – ruhend ist die tarnfarbene Unterseite der zusammengeklappten Flügel zu sehen. Die Flügel wie auch der gesamte Körper der Schmetterlinge sind mit Schuppen bedeckt, die Mundwerkzeuge bei den meisten zum Rüssel umgewandelt. Bei den Schuppen handelt es sich um extrem flache, abgestorbene Haare.



Der französische Fotograf **Gilles Mermet**, Jahrgang 1952, hat die hier gezeigten Porträts im Pariser Naturkundemuseum aufgenommen.

Flüchtiges Wesen

Die kurze Existenz des Kometenfalters aus Madagaskar dient allein der Fortpflanzung. Die Mundwerkzeuge der Tiere sind funktionslos – sie nehmen als Erwachsene keine Nahrung auf. Als Raupen aber haben sie umso reichhaltiger gefuttert und sich dann im Puppenstadium zum Schmetterling umgeformt. Diese Verwandlung ermöglicht es den Larven und erwachsenen Tieren vieler Insektenarten, ganz unterschiedliche Lebensräume zu besiedeln. □

„Reisen im Licht der Sterne“
Alex Capus

„Letzte Reise“
Anna Enquist

„Schwarzes Lamm und grauer Falke“
Rebecca West

„Vortoppmann Billy Budd“
Herman Melville

„Wassermusik“
T.C. Boyle

„Rausch“
John Griesemer

EDITION KAUFEN UND 30,- €
GEGENÜBER DEM EINZELKAUF SPAREN.

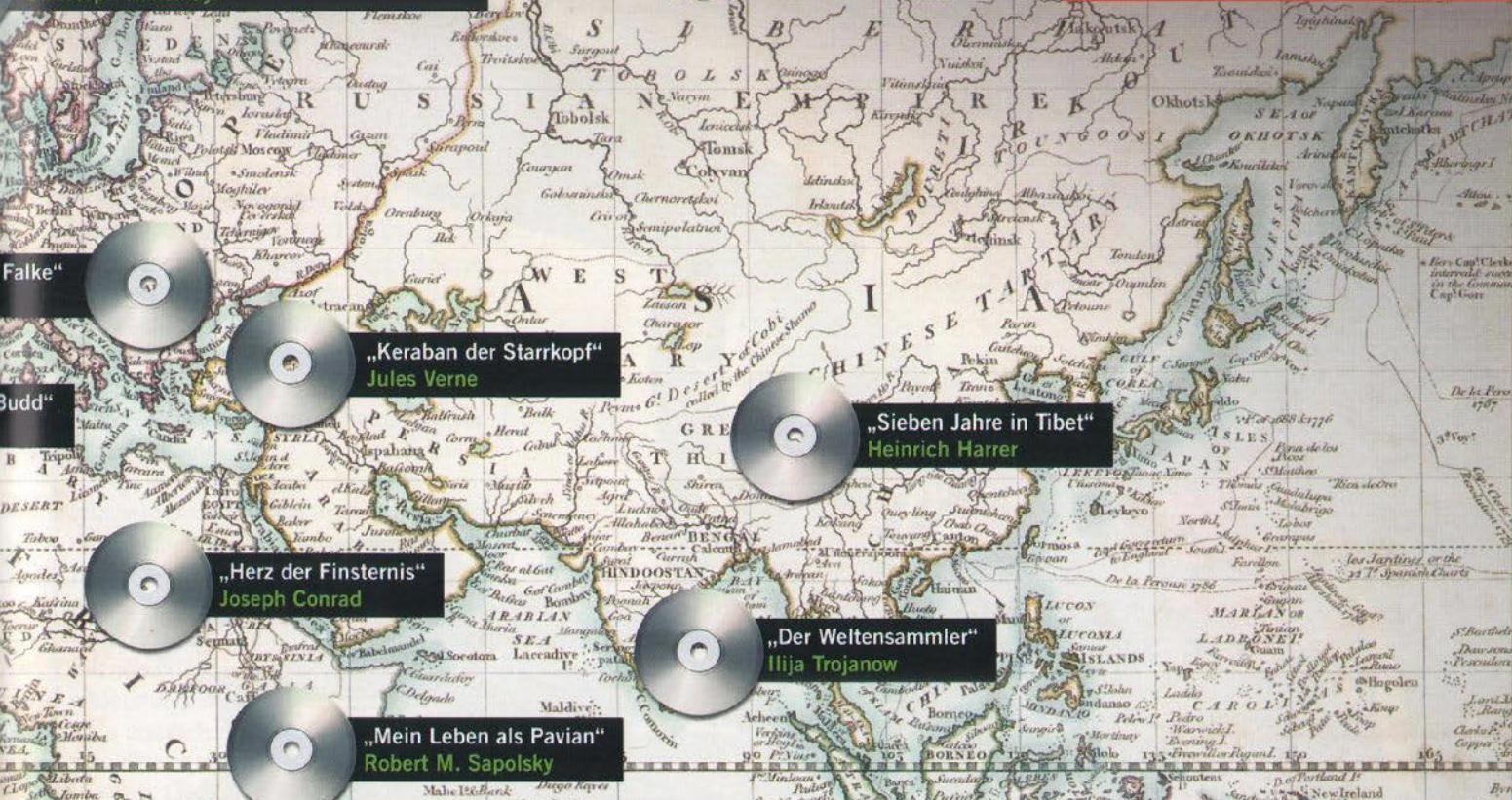
12 Klassiker der Abenteuer-Lite

01. „Herz der Finsternis“ – Joseph Conrad – Christian Brückner
02. „Wassermusik“ – T.C. Boyle – Christian Berkel
03. „Letzte Reise“ – Anna Enquist – Barbara Rudnik
04. „Reisen im Licht der Sterne“ – Alex Capus – Dieter Moor
05. „Keraban der Starrkopf“ – Jules Verne – Peter Matić
06. „Schwarzes Lamm und grauer Falke“ – Rebecca West – Nina Petri
07. „Die Schrecken des Eises und der Finsternis“ – Christoph Ransmayr
08. „Sieben Jahre in Tibet“ – Heinrich Harrer – Martin M. Schwarz
09. „Der Weltensammler“ – Ilya Trojanow – Frank Arnold
10. „Mein Leben als Pavian“ – Robert M. Sapolsky – Christoph Waltz
11. „Vortoppmann Billy Budd“ – Herman Melville – Hans Paetsch
12. „Rausch“ – John Griesemer – Charles Brauer

„Die Schrecken des Eises und der Finsternis“

Christoph Ransmayr

JETZT IM HANDEL



Weit draußen

erz der Finsternis | CD 1

DIREKT BESTELLEN
UNTER TEL. 01805-8618005*

GEO
HÖRWELTEN

ratur: jetzt als GEO Hörwelten.

Erleben Sie mit den GEO Hörwelten „Weit draußen“ Abenteuer in einer neuen Qualität. Gesprochen von den besten deutschen Erzählstimmen, entführen die Romane Sie gleich zwölf Mal in fremde Welten und sagenumwobene Kulturen. Jedes Hörbuch erhalten Sie im Handel für nur 14,95 €. Oder Sie sichern sich die komplette Edition im exklusiven, hochwertigen Schuber zum Vorteilspreis von nur 149,- €. Weitere Informationen und Bestellmöglichkeiten unter: www.geo.de/hoerwelten.

Bitte Bestellnummer angeben: BAZ 537401

*14 Cent/Min. aus dem Festnetz der Deutschen Telekom



Gewaltige Fühler, die der Wahrnehmung von Düften dienen, trägt dieser 3,5 Zentimeter große Blatthornkäfer aus Thailand. Sie bestehen aus chitinhaltigem Material – so wie die gesamte Körperoberfläche, die Augen und die Mundwerkzeuge

Sein vielen Jahren erforscht der Zoologe Stanislav Gorb glänzend-wächserne Oberflächen, winzige Borsten, sichelförmige Klauen und abenteuerlich geformte Anhängsel. Es handelt sich um die Körper von Insekten, und über deren Funktionen hat der Forscher Erstaunliches herausgefunden. So sitzen in einem Libellenflügel Gelenke aus einem gummiartigen Eiweiß, die den Schwingen ihre Elastizität und damit ideale aerodynamische Eigenschaften verleihen.

Seit kurzem versucht Gorb zu ermitteln, wie es Insekten gelingt, auf glatten Oberflächen zu laufen, ohne abzurutschen. Dazu hat er seine Versuchstiere verblüffenden Härtetest ausgesetzt: Ein Käfer etwa rotierte auf einer Vorrichtung mit 3000 Umdrehungen pro Minute und widerstand dabei einer Fliehkraft, die dem zehnfachen seines eigenen Körpergewichts entsprach.

Gorb, Leiter der „Evolutionary Biomaterials Group“ am Max-Planck-Institut für Metallforschung in Stuttgart, will wissen, welche Materialien und Strukturen den Insekten ihre bemerkenswerten Eigenschaften und Fähigkeiten verleihen – und diese Erkenntnisse nutzen, um neue Materialien zu entwickeln.

Das Geheimnis der Haftung bei vielen Insektenarten, so fand er heraus, liegt in winzigen Härchen, die auf der Oberfläche der Füße sitzen. Sie bestehen aus dem gleichen Material wie die gesamte Außenhülle der Tiere: einem Verbund aus **Chitin** (einem Riesenmolekül aus Tausenden von miteinander verketteten, stickstoffhaltigen Zuckerbausteinen) und verschiedenen **Eiweißen** (Proteinen).

Dieser Verbundstoff ist ein wahres Wundermaterial: Lagen aus langen Chitinfäden sind in eine verbindende Matrix aus Eiweißmolekülen eingebettet. Je nachdem, welche Eiweiße als „Klebstoff“ dienen und wie die Chitinfäden ausgerichtet sind, kann das Material die unterschiedlichsten Eigenschaften annehmen und so den Insekten zum Aufbau der verschiedensten Strukturen dienen.

Der gesamte Außenpanzer der Gliederfüßer besteht aus diesem Material – auch Flügel, Beine, Fühler und andere

Eine stabile, chitinhaltige Hülle, die die Organe schützt. Eine Gliederung des Körpers in Kopf, Brust und Hinterleib. Dazu sechs Beine, oft Flügel und variable Mundwerkzeuge: Das sind die Kennzeichen des Erfolgsmodells Insekt

Text: Henning Engeln; Fotos: Poul Beckmann

CHITIN: Der Stoff, aus dem die Panzer sind

Sinnesorgane sowie alle Anhängsel. Bestimmte darauf spezialisierte Körperteile jedes Insekts können zahlreiche Chitin-Protein-Varianten herstellen und zudem die Proteine unterschiedlich vernetzen: Indem sie das Material schichtweise und über Wölbungen nach außen hin abscheiden, bringen sie eine immense Vielfalt von Strukturen hervor – selbst im Größenbereich von einem Zehntausendstelmillimeter.

Die Körperoberfläche aus der chitin-haltigen Substanz, welche die Stuttgarter Wissenschaftler an den Krabbelieren untersuchen, hat eine erstaunlich lange Geschichte hinter sich.

Und möglicherweise war dieses Material sogar der Grund dafür, dass die

hund immer gleicher Bausteine ließ sich auf simple Weise ein längerer Körper konstruieren.

Diesem Urahn verhalf die Evolution schließlich zu einer weiteren wichtigen Neuerung auf dem Weg zum Gliederfüßer: Die Zellen der weichen Außenhaut erlangten aufgrund eines langwierigen Prozesses von Mutation und Auslese die Fähigkeit, aus Zucker sowie Stickstoff langketige Chitinmoleküle herzustellen und sie zusammen mit 50 bis 100 unterschiedlichen Eiweißmolekülen zu einer festen, schützenden Schicht abzuscheiden, der **Kutikula**.

Diese stabile Chitin-Eiweiß-Hülle verschaffte dem Tier einen beträchtlichen Vorteil im Kampf ums Überleben. Sie



Die Stacheln am Körper dieser mehr als zehn Zentimeter langen Riesengespenstheuschrecke sind Auswüchse des Chitinpanzers. Solche Gebilde dienen der Tarnung und der Abschreckung von Feinden

Da ihre **Fresswerkzeuge** dank des Chitins ungemein wandlungsfähig sind, konnten sich die Insekten an unterschiedlichste **Nahrungsquellen** anpassen

Insekten zur artenreichsten Tiergruppe aller Zeiten werden konnten.

ERFUNDEN HAT DIE NATUR diesen wohl ältesten Verbundwerkstoff im Tierreich bereits vor mehr als 500 Millionen Jahren. Damals muss sich ein Ahn der Insekten durch die Meere geschlängelt haben, vermutlich ein Tier mit lang gestrecktem Körper und weicher Haut, ähnlich dem heutigen Regenwurm.

Dieses Wesen hatte bereits einen wichtigen Evolutionsschritt gemacht: Sein Körper war aus vielen hintereinander angeordneten **Segmenten** aufgebaut.

Mit wenigen Ausnahmen enthielten diese Abschnitte stets die gleichen inneren Organsysteme: zum Beispiel Exkretions- und Geschlechtsorgane sowie Nerven- und Kreislaufsystem. Ein genial einfaches Prinzip: Durch Aneinanderrei-

schützte nicht nur vor Räubern, sondern schirmte auch die inneren Organe gegen Einflüsse von außen ab und gab dem Körper eine feste Gestalt – was für den Landgang besonders wichtig war, um das Gewicht tragen zu können.

Daneben bot das starre Material Ansatzzpunkte für die Muskeln und erlaubte es, Ausstülpungen auf den einzelnen Körpersegmenten zu formen, die wiederum gegliedert und durch Gelenke zu bewegen waren. So konnte einer der Vorfahren der Insekten erstmals Beine ausbilden.

Nun war das Wesen nicht mehr darauf angewiesen, sich wormartig durch den Schlamm der Urmeere zu winden. Der Ur-Gliederfüßer war geboren: ein lang gestrecktes Tier aus vielen Segmenten, von denen vermutlich fast jedes ein paar Beine trug – vielleicht einem heutigen Tausendfüßer ähnlich. All das geschah

im **Kambrium** vor rund 500 Millionen Jahren.

Dieses Bauprinzip erwies sich als äußerst erfolgreich, denn von jenem Wesen stammen alle heutigen Gliederfüßer ab: Krebse und Spinnentiere, Tausendfüßer und Insekten.

Welche Gestalt das Wesen besaß, aus dem sich schließlich die Insekten entwickelten, ist noch unklar. Neuere genetische Untersuchungen sprechen für eine sehr enge Verwandtschaft zwischen Krebsen und Insekten. Die Insekten sind für viele Forscher daher quasi an das Landleben angepasste Krustentiere.

Manche anatomischen Details jedoch zeigen auch deutliche Ähnlichkeiten zu Tausendfüßern – nach Ansicht anderer Biologen war daher eine Kreatur aus dieser Gruppe der Ahn der Insekten.

Bislang haben die Wissenschaftler kein Fossil gefunden, das eine der beiden Theorien belegen könnte. Doch der unbekannte Vorfahr muss in jener Periode eine entscheidende Weiterentwicklung durchgemacht haben, die ihn zum Urinsekt werden ließ: Die gleichförmigen Körpersegmente wurden abgewandelt und zu größeren Einheiten zusammengefasst. Die elf letzten dieser Segmente verloren beispielsweise ihre Beine und umschlossen nun im Hinterleib (**Abdomen**) den größten Teil des Darmtraktes und die Geschlechtsorgane.

Die drei davor befindlichen Segmente formten die Brustregion (**Thorax**), die fortan der Fortbewegung diente: Alle Insekten haben daher drei Beinpaare.

Die vorderen Segmente verschmolzen komplett (ihre genaue Zahl ist deshalb bis heute unbekannt) zur starren Kapsel des Kopfes (**Caput**). Die Gliedmaßen in diesem Abschnitt schrumpften, und die Tiere nutzten sie wohl zunächst, um sich Futterbrocken in die Mundöffnung zu schieben. Schließlich wandelten sich drei Beinpaare zu hocheffizienten, mehrgliedrigen Fresswerkzeugen.

Diese Vereinigung jeweils mehrerer Segmente war ein entscheidender evolutionärer Sprung. Denn die Organe in den drei Abschnitten Caput, Thorax und Abdomen konnten sich nun auf bestimmte Aufgaben spezialisieren und sie so effizienter bewältigen: Der Kopf diente fortan der Nahrungsaufnahme, der

Orientierung und zentralen Steuerung; die Brustregion war vor allem für die Fortbewegung zuständig; und das Hinterteil stand im Dienst von Verdauung und Fortpflanzung. Weil die drei Körperabschnitte auch heute noch meist nur durch schmale Übergänge verbunden sind, die wie Einschnitte wirken, werden Insekten auch „Kerbtiere“ genannt.

Mit dieser Dreiteilung entstand das Grundbaumuster der Sechsbeiner.

DAS ÄLTESTE BEKANNTES INSEKT lebte vor rund 380 Millionen Jahren: *Rhyniella praecursor*. Seine fossilen Überbleibsel entdeckten Paläontologen in der Nähe des schottischen Dorfes Rhynie. Dieses Urinsekt glich den noch heute vorkommenden Springschwänzen – lichtscheuen, etwa zwei Millimeter langen Tierchen, die gelegentlich auf der Erde von Zimmerpflanzen zu finden sind.

Neben der typischen Dreiteilung fanden sich bei *Rhyniella praecursor* weitere anatomische Eigenheiten, die in ihrer Gesamtheit die Insekten noch heute von allen anderen Tiergruppen unterscheiden:

- der **Chitinpanzer**. Alle Insekten besitzen ein Außenskelett aus dem Chitin-Eiweiß-Verbundwerkstoff. Damit sich die Tiere trotz der Panzerung bewegen können, ist sie aus starren wie auch aus flexiblen Elementen zusammengesetzt. Der Hinterleib besteht aus sich meist überlappenden, steifen Platten, die mittels weicher Membranen verbunden sind und das Körperteil auf diese Weise biegsam oder dehnbar machen (wenn etwa eine Mücke bei einer Blutmahlzeit riesig anschwillt). Die röhrenförmigen Glieder der Beine sind über Scharniergelenke verbunden und werden an den Übergangsstellen mit weichen Häuten verschlossen.



ANATOMIE:

Die fliegende Festung

Das Bauprinzip aller Insekten ist das Außenskelett: Ein starker Panzer mit flexiblen Gliedern gibt dem Organismus Halt und Gestalt; so kann er auf stabilisierende Knochen verzichten. Die Hülle besteht aus Chitin und Eiweißen – einem vielseitigen Verbundstoff, aus dem auch Mundwerkzeuge, Flügel und Sinnesorgane aufgebaut sind. Männliche Nashornkäfer der Art *Chalcosoma atlas* haben zudem mächtige Hörner ausgebildet: für den Kampf um Reviere und Weibchen

Illustration: Tim Wehrmann

Text: Henning Engeln

Den Auftrieb in der Luft erzeugen bei den Käfern vor allem die Hinterflügel. Die hier abgebildete Spezies *Chalcosoma atlas* ist in Südostasien heimisch, wird rund elf Zentimeter lang und zählt zur Gruppe der Dynastinae (Riesen- oder Nashornkäfer)



Die gewaltigen seitlichen Auswüchse bei männlichen Nashornkäfern entspringen dem ersten Brustsegment des Panzers. Das mittlere, nach oben gebogene Horn dagegen ist ein Fortsatz des Kopfpanzers. Die harten Deckflügel (Elytren) gehen vom zweiten Brustsegment aus und bedecken die zarten Hinterflügel sowie den kompletten, dehnbaren Hinterleib



Für Insekten typisch ist ihre Gangart:

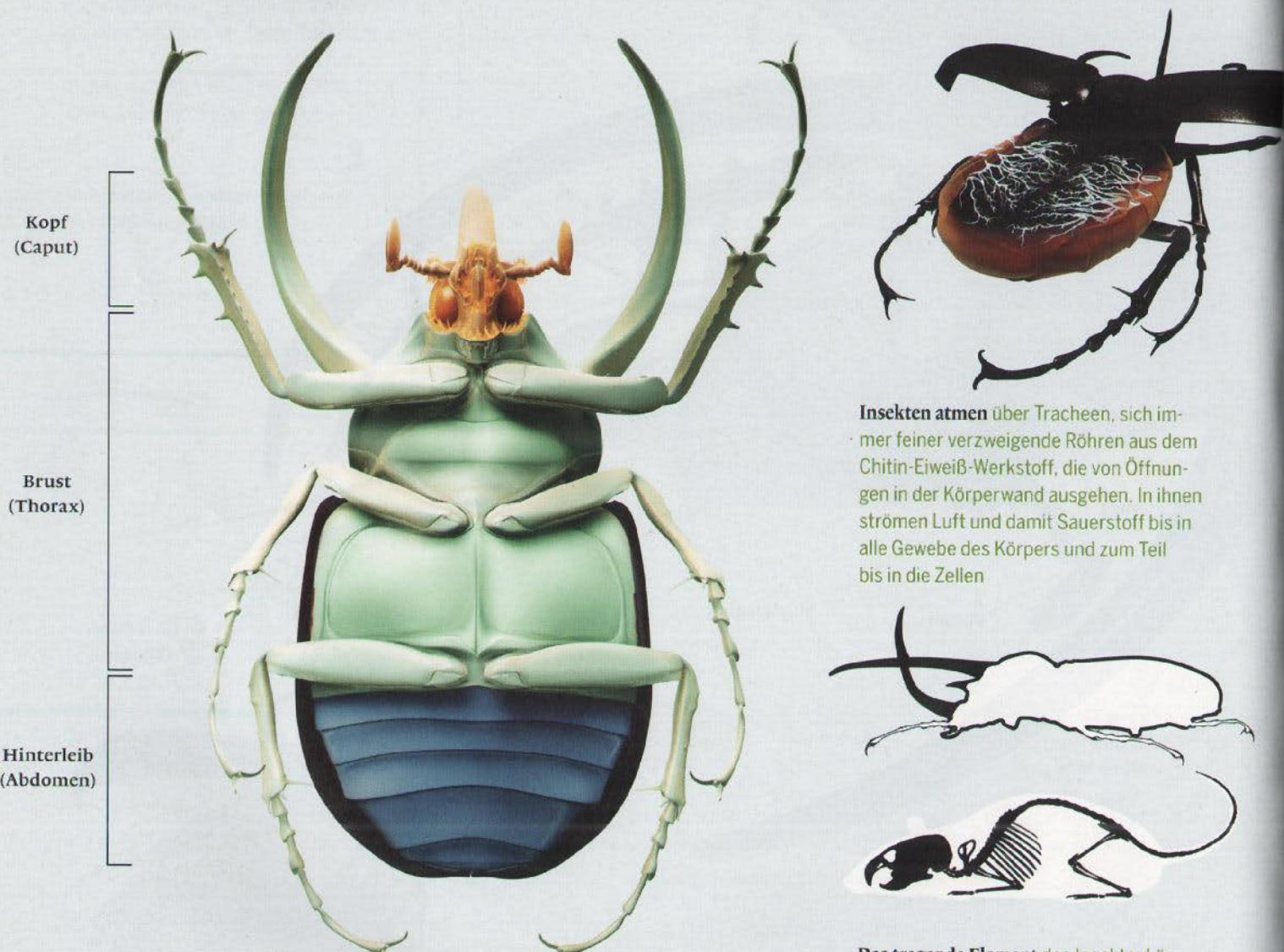
Sie heben das vordere und hintere Bein der einen sowie das mittlere der anderen Seite, ziehen sie nach vorn und machen einen Schritt. Anschließend bewegen sie die anderen drei Beine



Mehrach gefaltet dank spezieller Gelenke, ruhen die Flügel auf dem Rücken des Käfers. Nur so passen sie unter die schützenden Elytren. Die Decken müssen vor jedem Start abgeklappt werden



Das Herz der Insekten (rosa) ist ein Schlauch, der die Körperflüssigkeit (Hämolymphe) etwa in den Kopf pumpt. Der Verdauungstrakt (hellbraun) zieht sich von der Mundöffnung bis zum Hinterende; statt Nieren besitzen die Tiere dünne Schläuche, die Harn bilden und in den Darm leiten. Das Nervensystem (blau) besteht aus Gehirn und paarigen Nervenknoten. Im Hinterleib: die Geschlechtsorgane (rötlich)



Insekten atmen über Tracheen, sich immer feiner verzweigende Röhren aus dem Chitin-Eiweiß-Werkstoff, die von Öffnungen in der Körperwand ausgehen. In ihnen strömen Luft und damit Sauerstoff bis in alle Gewebe des Körpers und zum Teil bis in die Zellen

Der typische dreigeteilte Körperbau der Insekten: Jeder Abschnitt bildet eine Funktions-einheit: Der Kopf (Caput; rotbraun) nimmt Nahrung auf und trägt die meisten Sinnesorgane; die aus drei Gliedern bestehende Brust (Thorax; hellgrün) dient der Fortbewegung; der Hinterleib (Abdomen; blau) enthält die Fortpflanzungsorgane und bereitet die Nahrung auf. Die Vorfahren der Insekten dagegen waren überwiegend aus einer Reihe gleicher Glieder mit jeweils einem Beinpaar und ohne Flügel aufgebaut – etwa wie heutige Tausendfüßer

Das tragende Element des Insektenkörpers (ganz oben) ist der äußere Panzer, der die Weichteile umhüllt. Den Körper der Wirbeltiere dagegen, etwa einer Maus (darunter), stabilisieren innere Knochen, an denen die Muskeln ansetzen



Die sehr kompliziert gebauten Mundwerkzeuge der Insekten sitzen außen am Kopf: Die Nahrung wird zwischen Ober- (1) und Unterlippe (2) gehalten, von den Maxillen (3) unter Einsatz kleiner Fortsätze (4) in die Mundöffnung geschoben und von den Mandibeln (5) zerkaut. Beißend-kauende Mundwerkzeuge wie bei *Chalcosoma atlas* sind der ursprüngliche Zustand, aus dem sich nach und nach andere, stärker spezialisierte Formen (unten) entwickelt haben

DIE VIELFALT DER FRESSINSTRUMENTE:



Tupfer

Der Rüssel der Stubenfliege hat sich vor allem aus der Unterlippe entwickelt. Mit der geriffelten Unterseite lecken und tupfen die Tiere Nahrung auf



Fangmaske

Eine tödbringende Jagdwaffe ist das Mundwerkzeug der Libellenlarve. Es kann blitzschnell vorstoßen und mit der Zange sogar kleine Fische packen



Stachel

Der stechende Fressapparat der Mücke enthält zwei Röhren: Die eine transportiert Speichel mit Gerinnungshemmer in die Wunde, die andere saugt Blut auf



Saugrüssel

Mit dem langen Rüssel schlürfen Schmetterlinge Nektar aus Blütenkelchen. Winzige Muskeln ermöglichen es, den Rüssel einzurollten oder zu strecken

• **Tracheen-Atmung.** Da die Chitin-hülle luftundurchlässig ist, nehmen Insekten den Sauerstoff über **Tracheen** auf. Das sind sich stark verzweigende Röhren, die von Löchern im Panzer ausgehen und in die Tiefe des Körpers, bis an jedes Gewebe, zum Teil bis in die Zellen hineinführen. Den Lufteinlass können die Tiere über Ventile an den Atemöffnungen in der Körperoberfläche regulieren.

• **Offener Blutkreislauf.** Weil die Tracheen den Körper direkt mit Sauerstoff versorgen, benötigt das „Blut“ der Insekten keine **roten Blutkörperchen** und ist daher meist farblos, hellgelblich oder grünlich. Die **Hämolymphe** genannte Flüssigkeit muss also lediglich Nährstoffe und andere Substanzen zwischen Zellen hin und her schaffen, sie aber nicht mit Sauerstoff beliefern. So konnten es sich die Insekten leisten, ein einfacheres Kreislaufsystem auszubilden. Es ist offen, das heißt, ein sehr langes, schlauchförmiges Herz pumpt die Körperflüssigkeiten

menpressen und entspannen, sodass Luft ausgetauscht und der Körper besser mit Sauerstoff versorgt wird. Die schlauchförmige Gestalt des Pumporgans ist wahrscheinlich ein Erbe der wurmförmigen Vorfahren.

• **Strickleiternervensystem.** Auch am Nervensystem offenbart sich die Wurm-Vergangenheit der Insekten: Ursprünglich befanden sich in jedem Körpersegment zwei Nervenknoten (**Ganglien**), die untereinander sowie von Segment zu Segment verbunden waren – einer Strickleiter vergleichbar. Anders als die zentrale Steuerung durch das Gehirn bei Säugetieren arbeiten die Ganglien eines jeden Segments zum Teil autonom und steuern selbstständig Körperteile, die diesem Segment angehören. Einige Ganglien sind bei den Insekten vergrößert oder aber verschmolzen: So haben sich im Kopf mehrere große Nervenknoten zu einem Gehirn vereint.

DER BAUPLAN der Kerbtiere hat auch Nachteile. Die Tracheenatmung etwa – so glauben zumindest viele Zoologen – begrenzt die Größe des Insektenkörpers, weil die Röhren blind enden (also keinen Kreislauf wie das Blut der Wirbeltiere nehmen) und ihre Belüftung mit zunehmender Größe immer schwieriger wird.

Auch das gepanzerte Außenskelett hat einen Schwachpunkt: Die Hülle kann nicht mit ihrem Bewohner wachsen. Um größer werden zu können, muss ein Insekt seine Rüstung abwerfen und in eine neue schlüpfen – ein äußerst komplizierter und riskanter Vorgang.

Schon Tage zuvor beginnen spezielle Eiweißstoffe, die harte Panzerschicht von der darunterliegenden Zellschicht abzulösen. Diese Zellen scheiden nun eine neue Chitin-Eiweiß-Schicht ab, die allerdings noch sehr weich und von der alten durch einen mit Flüssigkeit gefüllten Spalt getrennt ist.

Spürt das Insekt, dass der Zeitpunkt gekommen ist, sucht es sich einen geschützten Platz für die Häutung. Eine Gottesanbeterin etwa klammert sich dazu mit ihren Laufbeinen an einem Ast fest und lässt sich nach unten hängen. Durch Muskelkontraktionen presst sie Hämolymphe in den Brustraum und erhöht den Druck, bis auf ihrem Rücken

eine vorgegebene Naht bis hin zum Kopfbereich aufplatzt.

Nun kann sie Kopf und Brust sowie kleinste Härchen und die filigranen Fühler langsam aus der alten Hülle ziehen.

Auch das vordere Beinpaar – bei der Gottesanbeterin umgewandelt zu Fangarmen – pellt das Tier aus der Rüstung: so wie ein Mensch einen steifen Handschuh abstreift.

Zum Schluss zerrt das Insekt die langen Hinterbeine aus der Hülle, bis es nur noch mit einem Rest des Leibs darin steckt. Selbst die alten Tracheen lösen sich, werden aus dem Körper gezogen und bleiben an der abgestoßenen Haut hängen.

Jetzt naht ein gefährlicher Moment: Da die neue Rüstung noch weich ist und die Beine nicht sehr stabil, kann das Tier von seinem Platz zu Boden stürzen – ein Todesurteil, denn dabei wür-



Der mächtige Oberschenkel verleiht der Ägyptischen Wanderheuschrecke ihre Sprungkraft. Im Inneren des Beinpanzers führen kräftige Muskeln zu jenem Gelenk, an dem der dünne Unterschenkel ansetzt

den die Laufbeine, Fangarme und Flügel verbiegen und unbrauchbar werden. Manche Tiere verlieren beim Häuten sogar Beinglieder oder bleiben ganz in der Hülle stecken.

Haben sie es endlich geschafft, sind sie noch eine Weile besonders verletzlich, denn die neue Haut ist weich. Das muss

Mit Atemluft versorgen sich die Sechsbeiner über ein System von Röhren – die Tracheen

sigkeit meist vom Hinterleib bis in den Kopf und entlässt sie in der Nähe des Gehirns in die Körperhöhle – was für einen Menschen eine Gehirnblutung und den sofortigen Tod bedeuten würde. Doch beim Insekt fließt die Hämolymphe vom Kopf durch Lücken im Gewebe zurück in den Hinterleib, um dort erneut vom Herzschlauch eingesaugt zu werden. Das Herz kann seine Schlagrichtung bei vielen Arten sogar umkehren – um etwa Hämolymphe kurzfristig im Abdomen zu konzentrieren und Druck auf die Tracheen auszuüben. Bei Bedarf können die Tiere ihre Tracheen rhythmisch zusam-

sie zunächst auch sein, um das Tier wachsen zu lassen. Es erhöht den Innendruck, indem es Luft oder Wasser aufnimmt und sich so ein Stück weit aufbläht. Erst allmählich härtet der neue Panzer aus und nimmt Farbe an.

AUCH WENN DER AUSSEN PANZER eine entscheidende Voraussetzung für den Erfolg der Insekten bot: Er allein kann die Vorherrschaft der Sechsbeiner nicht erklären – sind doch Krebse, Spinnen und Tausendfüßer ähnlich gebaut. Es mussten weitere Erfindungen und Anpassungen hinzukommen.

Die wohl wichtigste brachten sie vor mindestens 320 Millionen Jahren im **Karbon** hervor. Damals entwickelten die Insekten an den Brustabschnitten bewegliche Anhängsel, mit denen sie schließlich vom Boden abheben konnten: ihre Flügel (siehe Seite 52).

Erstmals erhoben sich Kreaturen in die Lüfte und vermochten vollkommen neue Lebensräume zu erobern. Tatsächlich konnten die Paläontologen an den Fossilien jener Epoche erkennen, dass die Artenvielfalt enorm zunahm.

Die ersten fliegenden Insekten hatten vier große Flügel, die seitlich vom Körper abstanden – so wie es noch heute bei den Libellen der Fall ist. Weitere Neuerungen eröffneten den Kerbtieren zusätzliche Möglichkeiten: Ein Vertreter der Insekten entwickelte beispielsweise einen speziellen Flügelmuskel, der es gestattete, die Schwingen in der Ruhestellung nach hinten auf den Rücken zu klappen. So konnte es sich besser durch die engen Zwischenräume von Blättern und Stängeln zwängen oder in schmalen Ritzten verbergen.

Dieses Konzept war so erfolgreich, dass alle heutigen geflügelten Insekten – ausgenommen Libellen und Eintagsfliegen – von diesem Typ abstammen und einen solchen Muskel besitzen.

Einige von ihnen, so zum Beispiel manche Schmetterlinge, verloren diese Eigenschaft im Verlauf der Evolution wieder. Andere wandelten ihr vorderes Flügelpaar in harte, schützende Deckel um und wurden zu Käfern, die sogar in der Erde oder unter Baumrinde leben können, ohne ihre Flügel zu beschädigen – sicher einer der Gründe, weshalb



Die leuchtende Farbe dieses Käfers aus Guatemala wird wohl durch den Schichtaufbau des Panzers hervorgerufen. Lichtstrahlen werden an den Grenzen der Schichten reflektiert und verstärken sich – je nach Wellenlänge und Einfallsinkel – oder löschen sich aus. Dadurch schillern die Farben

sie heute mit rund 370 000 Arten die umfangreichste Tiergruppe bilden.

EINE WEITERE BESONDERHEIT der Sechsbeiner war die enorme Variationsmöglichkeit ihrer Mundwerkzeuge. Offenbar, so haben Evolutionsbiologen herausgefunden, lassen sich die aus Beinen entstandenen Kiefer und Fresswerkzeuge der Insekten durch Mutationen erheblich schneller und leichter umkonstruieren als etwa der Kiefer eines Wirbeltieres.

Dabei spielt zum einen die enorme Flexibilität des Verbundmaterials aus Chitin und Proteinen eine Rolle. So ist es relativ leicht, Insektenmundwerkzeuge zu einem Stechrüssel umzuformen, was

bei einem Wirbeltierkiefer kaum möglich erscheint. Zum anderen setzen die Muskeln der Insekten an großen, glatten Kutikulaflächen etwa eines Kieferteils an, und diese Ansatzpunkte können durch Erbänderungen leicht variiert werden.

Die Insekten konnten daher vielfältige Werkzeuge zum Beißen, Kauen und Lecken, Stechen und Saugen hervorbringen. Dank dieser Auswahl an Fressgeräten waren sie in der Lage, sich rasch an neue Nahrungsquellen anzupassen.

Einen zusätzlichen Entwicklungsschub brachte vor mindestens 290 Millionen Jahren die **Verpuppung**. Aus dem Insekten-Ei schlüpft zunächst eine zu meist simpel gebaute Larve, die so lange

frisst und sich mehrfach häutet, bis sie groß genug ist, um sich zu verpuppen. In diesem Ruhestadium baut das Tier seinen Körper komplett um, und aus der **Puppe** schlüpft schließlich ein Individuum, das äußerlich mit der Larve nichts mehr gemein hat: Eine Raupe verwandelt sich in einen Schmetterling, eine Made in eine filigran gebaute Fliege mit perfekten Flugkünsten (siehe Seite 90).

Diese komplette Verwandlung (**holometabol Metamorphose**) erleichterte es Insekten, im Larvenstadium einen völlig anderen Lebensraum zu bewohnen und andere Nahrungsquellen zu nutzen als das erwachsene Insekt.

VOR ETWA 210 MILLIONEN JAHREN waren die wesentlichen Entwicklungen abgeschlossen, und es existierten folgende Insektengruppen:

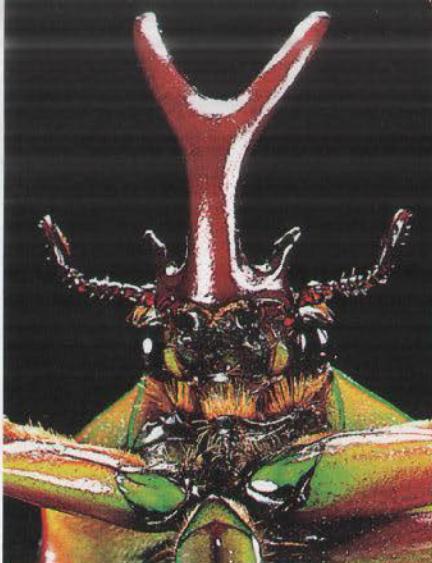
- die flügellosen Springschwänze, Fellspringer und Fischchen;

Die Mikrostruktur des Insektenpanzers

inspiriert Forscher zu neuen Materialien

- Kerbtiere wie die Libellen und Eintagsfliegen, die ihre Flügel nicht an den Körper klappen können;
- die Gruppe der Ohrwürmer, Schaben- und Heuschreckenartigen;
- die Verwandtschaft der Läuse, Wanzen und Zikaden;
- die große Gruppe der Sechsbeiner mit kompletter Verwandlung, zu der unter anderem Käfer, Wespen und Fliegen gehören (siehe Stammbaum Seite 150).

Als vor rund 120 Millionen Jahren die Blütenpflanzen entstanden, nahm die Zahl der Insektenarten nochmals zu. Dank ihrer hohen Evolutionsgeschwindigkeit und der Vielseitigkeit ihrer



Den geweihartigen Fortsatz an ihrem Kopf nutzen Käfer der Art *Eudicella grallischultzeorum* im Kampf um die Fortpflanzung. Sie attackieren damit ihre Rivalen oder halten sie von Weibchen fern

Mundwerkzeuge stellten sie sich schnell auf die vielfältigen Formen dieser Pflanzen ein. Und die Möglichkeit, sich von Pollen und Nektar der Blüten zu ernähren, dabei unwissentlich den Gewächsen bei der Vermehrung zu dienen, bot unendlich viele Wege einer wechselseitigen Anpassung zwischen Insekten und Pflanzen – einer **Ko-Evolution**.

Relativ spät erst – bei den Termiten vor 130 Millionen Jahren, bei den Ameisen vor etwa 100 Millionen Jahren – kam es zum vorerst letzten Geniestreich in der Insekten-Evolution. Tiere einer Art begannen zu kooperieren, sich zu spezialisieren und schließlich Staaten zu bilden – eine Strategie, die unter den Gliederfüßern nur bei den Insekten zu beobachten ist (siehe Seite 102).

Auch dieses Konzept erwies sich als durchschlagender Erfolg: In den Regenwäldern Brasiliens etwa machen staaten- oder kolonienbildende Ameisen, Termiten, Bienen und Wespen heute 80 Prozent der Biomasse aller Insekten aus.

DIE GRUNDLAGE FÜR diesen Erfolg war der Bauplan des Insekts mit seinem Außenskelett aus dem chitinhaltigen Verbundwerkstoff. Nur dieses Material konnte die enormen Variationen an Körperformen und Arten hervorbringen.

Den Forschern um Stanislav Gorb ist es in den vergangenen Jahren gelungen, bei Insekten weitere technische Raffinessen zu entdecken. So stießen sie auf

spezielle „Klettverschlüsse“, die aus winzigen, ineinander verschränkten, spatenförmigen Stäbchen bestehen. Diese Haftverschlüsse stabilisieren bei Libellen den Kopf am Rumpf, wenn die Räuber mit Kraft in ein Opfer beißen, oder halten bei Käfern die Flügeldecken eng am Körper, um sie gegen Austrocknung zu schützen.

Gorb und sein Team haben die Strukturen solcher Klettverschlüsse mit anderen Materialien nachgeformt und so neuartige Verschlüsse entwickeln können. Im Gegensatz zu den bisherigen Modellen, die nach den Vorbildern von pflanzlichen Kletten entworfen wurden, verfilzen die neuen Verschlüsse nicht und versprechen längere Haltbarkeit.

Auch die Mikrostruktur der Käfersohlen hat die Forscher inspiriert: Nach dem Vorbild von deren winzigen, pilzförmigen Härchen erfanden sie ein Material namens „Gecko-Tape“, das ohne Klebstoff an glatten Wänden etwa aus Glas oder poliertem Holz haftet. Es klebt, ohne Rückstände zu hinterlassen, und ist mehrfach verwend- und abwaschbar.

Die ungeheure Vielfalt an Formen und Strukturen, die das chitinhaltige Außenskelett der Insekten hervorgebracht hat, ist ein Potenzial, aus dem die For-

MEMO | KÖRPERBAU

»»» **DIE URINSEKTN** stammen von einem wurmähnlichen Vorfahren ab, der ein Außenskelett entwickelte.

»»» **DER STARRE PANZER** der Kerbtiere besteht aus dünnen Lagen von Chitin und verschiedensten Eiweißen – einer der ältesten Verbundwerkstoffe der Erde.

»»» **DANK WANDELBARER** Fresswerkzeuge konnten die Insekten verschiedenste Nahrungsquellen nutzen.

scher immer neue Anregungen für weitere Materialien gewinnen können – ein schier unerschöpfliches Reservoir an natürlicher Kreativität angesichts von wohl Millionen Insektenarten, von denen eine jede ein wenig anders gestaltet ist. □

Dr. Henning Engeln, 53, ist GEOkompass-Redakteur. Die Käfer-Fotos entstammen dem Buch „Living Jewels 2“ von **Poul Beckmann**, Prestel-Verlag. Wissenschaftliche Beratung: **Dr. Thomas Hörschemeyer**, Johann-Friedrich-Blumenbach-Institut für Zoologie und Anthropologie der Universität Göttingen.

Jetzt im Handel



Auf die Plätze, fertig, gesund: die Heilkraft der Bewegung.

Volle Reise

GEO WISSEN
DIE WELT VERSTEHEN

www.geo.de

Sonder-Edition
Heft + DVD für 12,50*



GEO WISSEN

DVD
Das Erste



Von null auf 42
Der lange Weg zum New York Marathon

**Die Heilkraft der Bewegung
UND GESUNDHEIT**



YOGA In der Lehre bei
Indiens Meistern **MARATHON** In drei Monaten
von null auf 42 **TRAINING** Steigen mit der
Kraft der Psyche

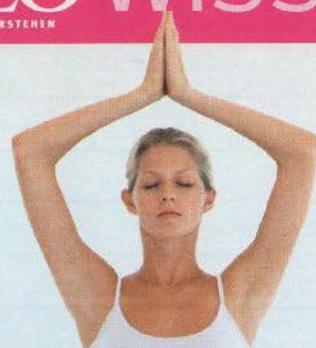


GROSSES EXTRA:
DIE RICHTIGE
SPORTART FÜR
IHR KIND Seite 48

GEO WISSEN
DIE WELT VERSTEHEN

www.geo.de

GEO WISSEN Nr. 39 Sport und Gesundheit



GROSSES EXTRA:
DIE RICHTIGE
SPORTART FÜR
IHR KIND Seite 48

**Die Heilkraft der Bewegung
SPORT UND GESUNDHEIT**



ÜBERSICHT: Wie Ausdauer Sport den Organismus stärkt
BAKTERIEN: Die beliebtesten Sportarten
MEDIZIN: Dem Krebs davonlaufen **YOGA:** In der Lehre bei
Indiens Meistern **MARATHON:** In drei Monaten von null auf 42 **TRAINING:** Siegen mit der
Kraft der Psyche

A high-magnification, close-up photograph of an insect's compound eye. The image shows numerous small, hexagonal facets arranged in a grid pattern. Each facet is surrounded by a dense cluster of long, thin, dark bristles. The overall color palette is dark, with the facets appearing in shades of orange and yellow, and the bristles in black and dark green. The perspective is from above, looking down into the eye structure.

Aus Tausenden
sechseckigen
Elementen sind die
Facettenaugen der
meisten Insekten,
etwa der Honigbiene,
zusammengesetzt.
Jedes dieser von
langen Borsten ge-
schützten Einzel-
augen ist anders
ausgerichtet, so-
dass die Biene ein
Panorama von
mehr als 250 Grad
erfassen kann

A close-up photograph of a hedgehog's spines, which are sharp, light-colored, and radiate outwards from a dark, textured body. The lighting is dramatic, with strong highlights and shadows.

Sie tragen ihre Ohren am Knie oder in der Brust, sie testen mit den Füßen den Geschmack einer Speise und zeichnen ihre Umwelt wie mit einer Weitwinkelkamera auf: Die Sechsbeiner haben ungewöhnliche Sinnesorgane hervorgebracht – und dafür ihre Panzer raffiniert umgebaut

Text: Rainer Harf

Mit Echolot und mehr als tausend Augen

Es sind lediglich feinste Schwingungen, die das Wasser in Unruhe versetzen. Doch die Mücke, die in den Teich gefallen ist, wird nicht ertrinken – sondern gefressen. Denn ausgerechnet ihre letzten

Zuckungen an der Wasseroberfläche locken Räuber an: Teichläufer, langbeinige Insekten mit dolchartigem Rüssel.

Diese Jäger verfügen über einzigartige Wellenfühler in den Beinen. Schon bei den ersten Vibrationen schwenken nahe der Absturzstelle patrouillierende Teichläufer sofort um in Richtung des Opfers und hasten mit kräftigen Ruderschlägen ihrer Beine darauf zu. Dann stößt der schnellste unter ihnen seine Mundwerkzeuge in den Mückenleib, um ihn rasch auszusaugen.

Das Gespür der Teichläufer für Wasserbewegungen ist so sensibel, dass sie selbst Höhenveränderungen von einem Mikrometer wahrnehmen. Das entspricht ungefähr dem Siebzigstel der durchschnittlichen menschlichen Haarsbreite.

Der ungewöhnliche Sinn der Wasserläufer für Wellenbewegungen ist jedoch bei weitem nicht der absonderlichste im Riesenreich der Insekten.

Fruchtfiegen können ihre rüsselförmige Mundpartie ausstrecken und mit haarförmigen Sensoren an deren Ende den Geschmack etwa von überreifem Obst registrieren

Um überleben zu können und Beute zu jagen, um vor Feinden zu flüchten, Sexpartner zu orten und geeignete Brutplätze aufzuspüren, haben die meisten der krabbelnden und fliegenden Sechseiner feine Sinnesorgane entwickelt, mit denen sie Licht, Schall, Gerüche oder Erschütterungen auch in allerkleinsten Dosierungen wahrzunehmen vermögen.

Haare erfassen den Atem einer nahenden Kröte

Die Insekten standen dabei jedoch vor einer großen Herausforderung: Anders als Wirbeltiere, die ein stützendes Knochengerüst im Körperinneren tragen und von einer elastischen, empfindsamen Haut überzogen sind, werden die Kerbtiere von einem starren Panzer umhüllt, einem **Außenskelett**.

Die feste Hülle schottet die Sechseiner wie ein Schutzmantel vor der Welt ab. Wie also können sie in ihrer harten Schale fühlen, riechen oder hören? „Für

dieses Problem ist es im Verlauf der Evolution zu einer genialen Lösung gekommen“, sagt der **Entomologe** Klaus Honomichl von der Universität Mainz: „Die Insekten haben nämlich ebendiese Festigkeit des Außenskeletts unter anderem für die Ausbildung ihrer Sinnesorgane genutzt.“

Die Techniken, die dabei entstanden sind, verblüffen selbst Wissenschaftler: Manche Insekten hören mit der Brust, andere schmecken mit den Füßen oder nehmen Licht wahr, das für Menschen unsichtbar ist.

Und sie haben ihre Sinne oft derart geschärft, dass sie denen vieler anderer Tiere überlegen sind: Manche Käfer erfassen die Wärme eines Waldbrands aus mehr als zehn Kilometer Entfernung; Libellenaugen registrieren 250 Bilder pro Sekunde; Ameisen können Dutzende von Duftstoffen unterscheiden und wie von einem Satellitennavigationsgerät geleitet ihren Weg finden.

Fühlen: der Trick mit den Härcchen

Während in der weichen Haut der Fingerkuppe eines Menschen bis zu 200 Tastsinneszellen pro Quadratzentimeter jede Berührung registrieren, haben Insekten ihre starre Hülle mit einer raffinierten Mechanik aufgerüstet: Sie ist am ganzen

Das Stechwerkzeug der Moskitos ist mit feinen Borsten versehen (blau), die unter anderem auf mechanische Reize reagieren. So spüren die Blutsauger, ob ihr Rüssel die Haut eines Opfers berührt





Mit ihrem Rüssel,
den sie ein- und aus-
rollen können, saugen
Schmetterlinge Nek-
tar aus Blütenkelchen.
Die Güte der Nah-
rung prüfen sie mit-
hilfe von Haaren an
der Rüsselspitze



Die Fühler des Nachtpfauenauges sind wie Netze gebaut: Schwenkt der Falter diese Gliedmaßen, siebt er damit die Luft – und nimmt über die (hier nicht sichtbaren) Poren in den feinen Härchen Duftstoffe auf

Körper mal mehr, mal weniger dicht mit mehreren Arten feiner **Sinneshaare** besetzt. Wie kleine Hebel sind diese Haare gelenkig mit der Außenhaut verbunden.

Am Fuß jeder einzelnen dieser winzigen Borsten endet der Ausläufer einer Nervenzelle; bewegt sich ein **Fadenhaar** durch einen Windstoß, registriert dessen Nervenfortsatz Richtung und Stärke und leitet den Reiz ans Gehirn weiter. Andere Sinneshaare erfassen nur die Stärke des Windstoßes.

Von diesen Härchen übersät sind auch die beiden beweglichen Antennen, die Insekten am Kopf tragen. Mit ihnen tasten sie ihre Umgebung ab – manche können so Gefahren bereits aus sicherer Distanz erkennen.

Die in Höhlen lebenden Buckelschrecken etwa setzen in völliger Dunkelheit ihre mehr als fünf Körperlängen messenden Fühler ein und katapultieren sich mit einem Sprung in Sicherheit, wenn sich ein Räuber nähert.

Auch Haare auf Beinen, Rücken oder der Brust sind für die Feindaufklärung justiert. Manche Borsten weisen eine derart feine Lagerung auf, dass sie noch die geringsten Bewegungen erfassen. So bemerken Schaben den Anmarsch einer Kröte bereits an deren Atem – und ergreifen binnen Millisekunden die Flucht.

Honigbienen messen gar ihre Geschwindigkeit mithilfe der Haare auf ih-

ren Augen: Je schneller sie fliegen, desto stärker werden die Härchen vom Fahrtwind gekrümmmt.

Spezialisierte Borsten sorgen auch dafür, dass Insekten das Gleichgewicht halten. Beim Menschen wacht ein komplex gebautes, flüssigkeitsgefülltes Organ im Innenohr über die Balance – Kerbtiere registrieren dagegen, wie stark die Schwerkraft an ihren Körperteilen zieht.

die weniger genauen Borsten an ihren Hüften verlassen – und liegen die Wand prompt in Schlangenlinien hinauf.

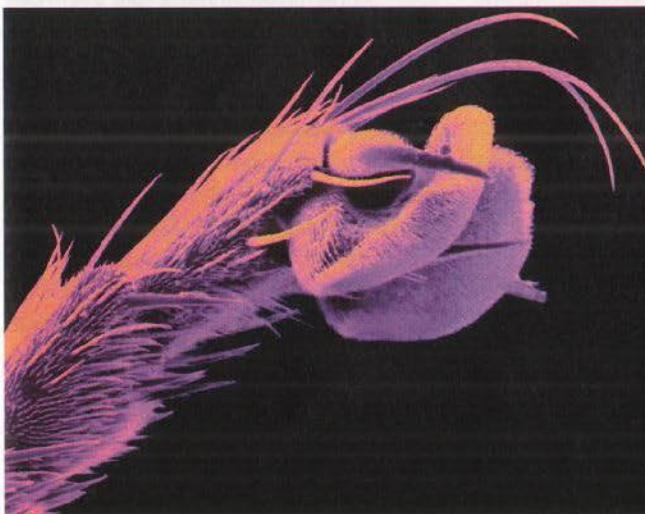
Innerhalb der Insektenkörper überprüfen Tausende Messeinheiten, ob der Panzer gedehnt wird oder sich die Gelenke beugen. Und in den gegliederten Antennen vieler Sechsbeiner bilden Hunderte dieser Sensoren hochempfindliche Organe.

Die in Seen lebenden Taumelkäfer vermögen dank dieser Organe zu navigieren: Während die Käfer wie kleine Schnellboote mit bis zu 50 Zentimetern pro Sekunde über den Teich schießen, erzeugen sie Wellen, die sich in hohem Tempo ausbreiten. Sobald die gegen ein Hindernis prallen, werden die Schwingungen zurückgeworfen und erreichen die sensiblen Fühler der Taumelkäfer. Wie mit einem Echolot können sie daher selbst bei Finsternis rechtzeitig Gegenstände im See ausmachen und in Höchstgeschwindigkeit umschiffen.

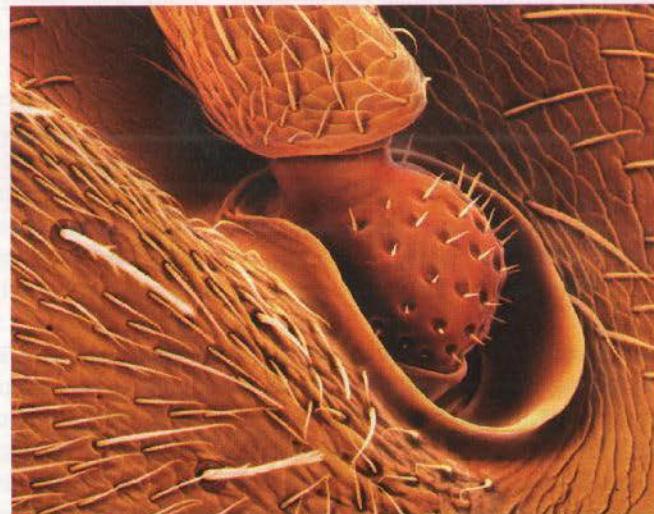
Hören: das Trommelfell im Bein

Eine in der Natur weit verbreitete Technik hilft auch den Insekten, Geräusche wahrzunehmen: Sie sind, ähnlich wie der Mensch und die allermeisten anderen Säugetiere, mit Trommelfellen ausge-

Der aus mehreren Gliedern bestehende Fuß der Schwebfliege ist mit Härchen versehen, die etwa Geschmacksreize aufnehmen und so die Qualität einer Speise an sechs Stellen zugleich testen



Bewegt die Ameise einen ihrer Fühler, stoßen Haare an dem Gelenk gegen den Panzer und leiten den Reiz an das Gehirn weiter, das so ständig über die Position der Glieder informiert wird



stattet, die im Rhythmus von Schallwellen vibrieren. Doch kaum ein Sechsbeiner trägt diese Ohren am Kopf.

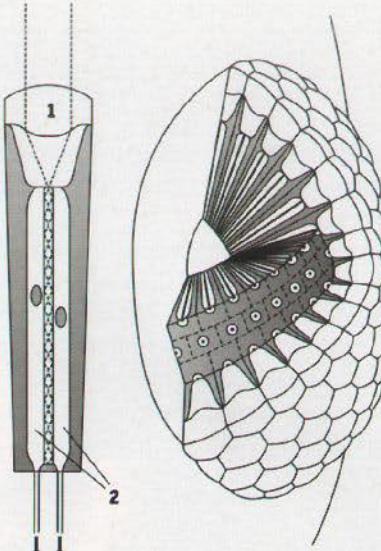
So hören Laubheuschrecken mit den Vorderbeinen, Zikaden mit dem Hinterleib, Florfliegen mit den Adern der Flügel und Gottesanbeterinnen mit der Brust. Diese Vielseitigkeit ermöglicht der feste Panzer: An den Hörorganen verjüngt sich die dicke Außenhaut einfach zu einer dünnen Membran, einem straff aufgespannten Trommelfell – dadurch lässt sich das Gehör bis in die Extremitäten verlagern. Unter der Membran liegt eine luftgefüllte Blase; winzige Messfühler registrieren jede Bewegung des Trommelfells und leiten Nervenimpulse an das Insektenhirn weiter.

Trotz dieser recht einfachen Bauweise ist das Gehör bei vielen Sechsbeinern äußerst sensibel: Viele Nachtfalter erfassen die für Menschen nicht wahrnehmbaren Ultraschallrufe von Fledermäusen (siehe Seite 76). Andere Insekten verständigen sich über akustische Signale und können ihre Sexualpartner selbst über große Entfernung orten. Männliche Klopfkäfer etwa schlagen ihren Kopf wohl auch deshalb rhythmisch gegen Holz, um Weibchen anzulocken.

Einige Tiere nutzen zudem ihre Fühler, um allerfeinste Schallschwingungen zu erfassen: So nehmen männliche Stechmücken mit ihren Antennen jene charakteristischen Schallwellen auf, die ein Weibchen im Flug verursacht. Ihre Fühler sind mit rund 30 000 Sinneszellen fast so aufwendig ausgerüstet wie das Innenohr des Menschen – und damit registrieren die Tiere noch Schwingungen, bei denen sich die Antennen der Männchen nur um wenige Millionstel Millimeter bewegen.

Riechen und Schmecken: Fußzungen und Fühlernasen

Landet eine Fliege in einem Topf Marmelade, muss sie nicht erst ihre Mundwerkzeuge zur Qualitätsprüfung ausfahren – an ihren Füßen sind Borsten angebracht, die in Millisekunden den Zuckergehalt der Speise erfassen. Mit einem solchen



Dicht an dicht sitzen bis zu 30 000 Sehlemente im Insektenauge nebeneinander (o. r.). Jedes Element trägt an der Spitze eine Linse (1). Sie bündelt das Licht und lenkt es auf Nervenzellen im Inneren (2), die Signale an das Gehirn abgeben. Daraus errechnet die Steuerzentrale ein einheitliches Bild

Werkzeug sind viele Insekten gerüstet, die auf diese Weise ununterbrochen und an mehreren Stellen zugleich die Güte einer Nahrungsquelle überprüfen können.

Weit wichtiger als der Geschmacksinn ist für Insekten aber ihr Riechorgan.

Libellen erfassen 250 Bilder pro Sekunde

Denn Düfte beherrschen ihre Welt: Als chemische Botenstoffe überbrücken sie Hindernisse und große Entfernungen, markieren Territorien, können auch im Dunkeln eines Insektenbaus oder unterirdischer Gänge wahrgenommen werden und sogar verschlüsselte Botschaften transportieren.

Ameisen und Bienen beispielsweise riechen, ob ein anderes Tier mit ihnen verwandt ist, teilen über Düfte mit, ob ihr Bau verteidigt werden muss, und legen Geruchsspuren zu reichhaltigen Futterquellen (siehe Seite 102). Wissen-

schaftler haben bei den staatenbildenden Insekten mehr als 60 unterschiedliche Drüsen entdeckt, deren Sekrete komplexe Signale übermitteln.

Bei fast allen Insekten sind die Fühler auch als Geruchsorgane ausgebildet; auf diesen Multifunktionsinstrumenten sitzen neben all den anderen Sensoren röhrenförmige Borsten, deren Wände perforiert sind. Durch die feinen Löcher treten Duftstoffe ins Innere des Haars, wo sie auf den Ausläufer einer Nervenzelle treffen und einen Reiz auslösen können. Während der Mensch beim Ein- und Ausatmen stets Luft an den Riechschleimhäuten vorbeistreichen lässt, müssen Insekten ihre gepanzerten Fühler hin und her bewegen, um möglichst viele Duftmoleküle aufzunehmen.

Mit diesem Werkzeug registrieren Fleischfliegen oder Aaskäfer vor der Eiablage sehr genau, ob ein Stück Gammelfleisch den richtigen Verwesungsgrad aufweist – nur dann ist es für ihre Larven ein Festschmaus. Mistkäfer erfassen über mehrere hundert Meter den Zustand eines Kothaufens und nähern sich der potenziellen Kinderstube für ihre Brut zielstrebig über die ausströmende Duftfahne.

Stechmücken werden bereits bei der geringsten Konzentration von Kohlendioxid unruhig – denn das Gas verspricht die Anwesenheit eines atmenden Blutspenders. Auch die Ausdünstung weiblicher Hormone zieht die Flieger an – deshalb werden Frauen häufiger gestochen als Männer.

Manche der männlichen Kerbtiere sind höchst empfindsam für die Sexualduftstoffe (**Pheromone**) ihrer Partnerinnen. Das Männchen des Seidenspinners etwa vermag ein Weibchen noch aus einer Distanz von mehreren Kilometern zu riechen. Die beiden fächerförmigen Antennen des Falters fangen kleinste Mengen des Pheromons Bombykol ein: Auf jedem Fühler befinden sich 17 000 auf diesen Lockstoff geeichte Riechhaare, die ein Weibchen schon bei weniger als einem Billiardstel Gramm Bombykol je Kubikzentimeter Luft wahrnehmen können. Diese Verdünnung entspricht ungefähr einem Eßlöffel des Lockstoffes, aufgelöst im Bodensee.



Neben den beiden großen Facettenaugen verfügen viele Insekten noch über kleinere Stirnäugen (im Bild oben Mitte), die wie bei dieser Fruchtfliege häufig auf dem Schädeldecken sitzen. Sie dienen der Wahrnehmung von Helligkeitsunterschieden

In der Riechdisziplin haben es auch Erzwespen zur Perfektion gebracht. Eine Art injiziert mit einem Stachel Eier in Kornkäferlarven, die im Inneren von Getreidekörnern heranwachsen. Dort schlüpft der Wespennachwuchs und ernährt sich von den Organen der Käferbrut. Obwohl sich befallene und gesunde Getreidekörner äußerlich gleichen, kann die Erzwespe die Käferlarven über deren spezifischen Geruch aufspüren.

Wie fein das Riechorgan der Wespen arbeitet, haben Wissenschaftler in einem mit Weizen gefüllten Silo getestet: Sie versenkten 200 von Larven befallene Weizenkörner in vier Meter Tiefe und ließen dann Erzwespen ausschwärmen.

Binnen kurzer Zeit hatten die Räuber alle geeigneten Orte zur Eiablage gefunden – und sich dabei durch 600 Millionen Körner gewühlt.

Sehen:

Bilder wie in Zeitlupe

Vögel, Fische und Säugetiere betrachten (wenn sie nicht blind sind) die Welt durch gerade einmal zwei Linsen – Insekten hingegen haben bis zu 30 000 winzige Scheinheiten, die sich am Kopf zu kugeligen Organen ballen: den **Facettenaugen**. Darin stehen die einzelnen **Sehelemente** dicht nebeneinander, jedes in einem etwas anderen Winkel

ausgerichtet. Viele Insekten können daher gleichzeitig nach vorn und hinten blicken, ohne den Kopf zu drehen.

Allerdings liegen die Insektenaugen nicht frei: Die Hülle des Körperpanzers überzieht auch die Augen, ist dort aber im Verlauf der Evolution zu einer transparenten Hornhaut geworden, die zu meist das einfallende Licht bündelt und ins Innere jeder einzelnen Secheinheit weiterleitet. Das Insektenhirn verarbeitet dann das Mosaik der Lichtreize zu einem einheitlichen Bild.

Anders als der Mensch können viele Insekten kein Rot sehen. Dafür reicht das von ihnen wahrgenommene Farbspektrum bis in den ultravioletten Bereich.

Darauf haben sich nahezu alle Pflanzen in unseren Breiten eingestellt und locken Insekten mit kontrastreichen Mustern aus **UV-Licht**. Die für Menschenaugen einheitlich weiß gefärbten Blütenblätter von Buschwindröschen etwa werben mit attraktiven Zeichnungen, die Nektar und Pollen verheißen.

Doch so bunt ihnen eine Blumenwiese auch erscheint: Insekten sehen sie bei weitem nicht so scharf wie Menschen. Denn die Linse im menschlichen Auge wirft das Abbild der Umgebung auf eine Netzhaut, auf der mehr als 125 Millionen **Lichtsinneszellen** liegen. Facettenaugen nehmen mit ihren höchstens 30 000 Seheinheiten entsprechend weniger Details wahr.

Erstaunlicherweise sind Raubflegen oder Libellen dennoch hervorragende Jäger, die andere Insekten in der Luft verfolgen und in rasantem Flug ergreifen können.

Das verdanken sie vor allem einem hohen zeitlichen Auflösungsvermögen: Sie erkennen bis zu 250 Bilder in der Sekunde getrennt voneinander. Das menschliche Auge ist dagegen gerade einmal in der Lage, rund 20 Bilder pro Sekunde zu unterscheiden.

Deshalb sehen Fliegen selbst die schnelle Bewegung einer zuschlagenden Hand wie in Zeitlupe – und können rechtzeitig entwischen.

Insekten-Sinne: Vorbild für die Wissenschaft

Längst versuchen Forscher die genialen Konstruktionen der Insekten nachzubauen. US-Ingenieure etwa haben künstliche Insektenaugen aus Tausenden mikroskopisch kleinen Linsen entwickelt, die mit einem Durchmesser von 2,5 Millimetern in winzigen Überwachungskameras Anwendung finden könnten.

Biomechaniker aus Zürich tüfteln an Flugrobotern, die wie die Motten einer Duftspur über große Entferungen bis an ihren Ausgangspunkt zu folgen vermögen. Die fliegenden Nasen sollen eines Tages in unbekanntem Terrain nach Schadstoffen und Landminen fahnden.

Ein feuerempfindlicher Sensor am Bauch einiger Käfer wiederum dient Forschern aus Bonn als Vorlage. Spezielle

Strukturen im Panzer der Insekten dehnen sich durch Wärmestrahlung, wie sie zum Beispiel bei Waldbränden entsteht. Über mehr als zehn Kilometer hinweg werden die Insekten von der Hitze angezogen, denn ihr Nachwuchs ernährt sich ausschließlich von verbranntem Holz. Nach diesem Vorbild haben die Bonner Wissenschaftler einen neuartigen Feuermelder konstruiert – die wärmeempfind-

entspräche das einem Tempo von mehr als 800 km/h.

Zur Überraschung der Forscher finden sie dabei stets den kürzesten Weg zurück zu ihrem Bau – obwohl sie sich auf ihren Expeditionen zum Teil mehr als 100 Meter vom Eingang ihres unterirdischen Nestes entfernen. Dafür müssen die Ameisen permanent Daten über die Richtung und die Länge der zurückgelegten Strecke sammeln und daraus den kürzesten Heimweg errechnen.

Als Kompass benutzen die blitzschnellen Krabbler eine für den Menschen unsichtbare Erscheinung am Himmel, das **polarisierte Licht**. Desse[n] charakteristisches Muster verändert sich mit dem Lauf der Sonne, so dass die Ameisen zu jedem Zeitpunkt die Himmelsrichtungen erkennen können.

Sobald sie ihren Bau verlassen haben, speichern die Tiere darüber hinaus Bilder ihrer Umgebung: Wie mit einer Weitwinkelkamera fotografieren sie unterwegs die Landschaft. Und weil sie zudem noch ihre Schritte zählen, ermitteln die Winzlinge auch noch die zurückgelegte Entfernung.

Aus diesen Informationen berechnen die Wüstenameisen schließlich die kürzeste Strecke zurück zum Bau – und das mit einem Gehirn, das nur ein 15 Millionenstel des menschlichen wiegt.

Wie sie diese Leistung vollbringen, versuchen Biologen derzeit anhand von Computersimulationen nachzustellen. Dabei wollen die Wissenschaftler das Navigationssystem der kleinen Wüstenbewohner möglicherweise bald in den Dienst der Menschheit stellen. In Zusammenarbeit mit Ingenieuren entwickeln die Ameisenforscher der Universität Zürich einen Roboter, der sich nach dem Vorbild der kleinen Insekten in unerforschtem Gelände zurechtfinden soll – und das ohne GPS. Eine Weitwinkelkamera, ein Kompass und ein Entfernungsmesser werden ihm genügen, um immer wieder zu seinem Ausgangspunkt zurückzufinden. □

»Feuerkäfer« tragen einen Brandmelder im Panzer

lichen Plastikplättchen darin verformen sich ähnlich wie das Sinnesorgan in der Chitinhülle der Feuerkäfer.

Zur Erforschung einer der spektakulärsten Sinnesleistungen im ganzen Insektenreich reisen Biologen seit mehreren Jahren immer wieder in die Sahara. Dort leben Wüstenameisen, die ein ausgeklügeltes Navigationssystem entwickelt haben, das sogar mit satel-

MEMO | SINNESORGANE

»**SINNESHAARE** auf dem Panzer dienen Insekten, um Geschmack, Geruch und mechanische Reize zu erfassen.

»**SO EMPFINDSAM** sind ihre Sinnesorgane, dass sie denen vieler anderer Lebewesen weit überlegen sind.

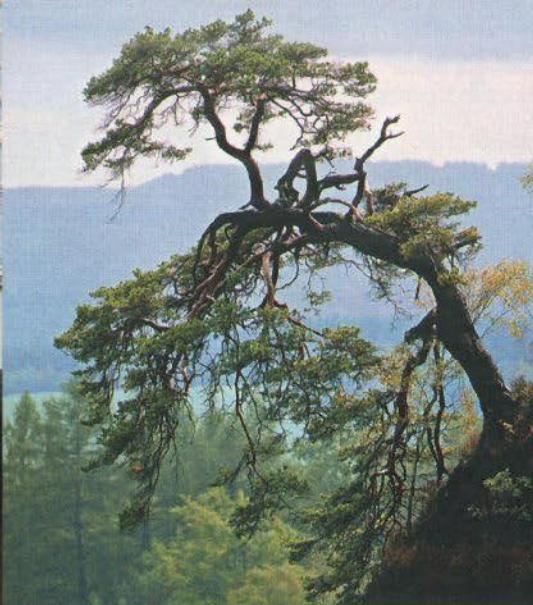
»**SEIDENSPINNER** riechen ein Weibchen aus mehreren Kilometern Entfernung.

»**AMEISEN** navigieren per Kompass.

»**NACHTFALTER** nehmen den für das menschliche Ohr unhörbaren Ultraschall wahr.

litengestützten GPS-Geräten mithalten kann. Auf ihren Beutezügen in den tunesischen Sanddünen unternehmen die Ameisen weite Ausflüge – und hasten dabei mit rund einem Meter in der Sekunde über den glühend heißen Wüsten-sand. Auf menschliche Maße übertragen,

Der Biologe und Journalist **Rainer Harf**, 30, ist einer der beiden Fachberater für diese Ausgabe und lebt in Hamburg. Wissenschaftliche Unterstützung: Privatdozent **Dr. Klaus Honomichl**, Institut für Zoologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.



Jetzt im Handel

Für Dichter, Denker, dich und mich: Dresden, Leipzig, Weimar.

Konf. Robbie

In dieser Ausgabe

Kultur

Die Kreativen von damals – und von morgen.

Natur

Durchatmen in atemraubender Landschaft.

Konjunktur

Ein Boom zum Miterleben.

www.geospecial.de

GEO Special
DIE WELT ENTDECKEN

DRESDEN
LEIPZIG
WEIMAR



Deutschlands
Wer war das bloß,
dieser Goethe?



WEIMAR



Sachsen maritim

Hinunter in eine schöne

neue Wasserswelt!

Sachsen alpin

Hochgefühl im

Eisenacher Gebirge

GEO Special DRESDEN LEIPZIG WEIMAR

Den Osten entdecken!

Drei Städte, zwei Landschaften in ganz neuem Licht

Das beste Wissen für Ihre Reise

Dresden, Leipzig, Weimar entdecken mit GEO

Vorstoß ins Innere der Kerbtiere

Lange Zeit gelten Insekten als niedere Tiere, deren Körper mit einer Substanz »zwischen Fleisch und Nerven« gefüllt sei, so ein antiker Denker. Um 1670 aber entwickelt der Mediziner Jan Swammerdam neue mikroskopische Techniken, zeichnet das Innere einer Fliegenlarve mit bis heute unübertroffener Präzision – und begründet so die Insektenkunde

Text: Susanne Utzt

Endlich ist es geschafft. Monatelang hat Jan Swammerdam vor seinem einfachen Mikroskop gesessen, hat die sonderbaren Kreaturen aufgeschnitten, in deren Innerstes geblickt und jedes Detail mit dem Zeichenstift festgehalten. Nun, im Jahre 1671, sind die ersten Illustrationen von der Anatomie der Eintagsfliegenlarve vollendet.

Nie zuvor hat ein Mensch ein derart winziges Insekt seziert. In einzigartiger Präzision enthalten die Zeichnungen des Niederländers die Innereien dieses kaum zwei Zentimeter langen Kerbtiers. Sie zeigen die feinen

Kanäle der Atemorgane; die hintereinanderliegenden und mit zwei Strängen verbundenen Knoten des Nervensystems; die Speiseröhre; die Muskeln rund um den dreiteiligen Darm, der den gesamten Körper durchzieht; das röhrenförmige Herz und die Eierstöcke.

Doch dem ehrgeizigen Doktor der Medizin genügt es nicht, nur diese eine Spezies zu untersuchen. Er hat sich vorgenommen, das Körperinnere der Insekten sowie deren Entwicklung und Lebensweise systematisch zu erforschen. Und „je kleiner das Objekt“, notiert er, „desto bedeutender und herrlicher seine unsichtbaren Teile“.

Swammerdam hält nur drei Millimeter große Läuse vor die Linse seines Mikroskops, skizziert als Erster das Innenleben einer Ameise, einer Fliege und einiger Schmetterlinge. Und etabliert so nach und nach eine neue Disziplin der Biologie: die Entomologie – die Wissenschaft von den Insekten.

Schon als Junge wandert der 1637 in Amsterdam geborene Swammerdam durch Wiesen, um Käfer und Schmetterlinge zu fangen. Sein Vater führt eine Apotheke – und sammelt Kuriositäten: Fossilien ausgestorbener Tiere, exotische Muscheln, getrocknete Pflanzen, auf Nadeln gespießte Insekten.

Der Sohn ist für das Katalogisieren der Sammlung verantwortlich. Dabei entdeckt Jan nicht nur seinen Hang zur Naturkunde, sondern auch den Sinn für Systematik.

Nach einem Medizinstudium widmet er sich gänzlich den Insekten – gegen den Willen des Vaters, der will, dass Jan als Arzt arbeitet. Der aber untersucht lieber die Entwicklung der Insekten vom Ei bis zum erwachsenen Tier und teilt sie in Gruppen ein – unterschieden nach der Art ihrer **Metamorphose**. Diese neue Klassifikation führt er 1669 in einem Buch ein, das von der Fortbewegungsart des Wasserfloh bis zu den Mundwerkzeugen einer Laus zahllose Neuentdeckungen aus dem bisher kaum erforschten Kosmos der Kerbtiere beschreibt.

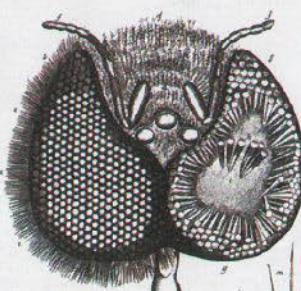
Noch aber seziert Swammerdam die Insekten nicht, sondern betrachtet nur deren äußere Form.

Zu jener Zeit gelten Insekten als niedere Tiere. Der griechische Philosoph Aristoteles und der römische Geschichtsschreiber Plinius – die Autoritäten ihrer Epochen – vermuten zwar, dass Kerbtiere über so etwas wie ein Herz verfügen, über eine Art Verdauungskanal und einen Sack, der als Magen dient. Sonst aber, so die allgemeine Ansicht, weisen die Insekten keinerlei Eingeweide, weder Fett noch Knochen auf und sind, berichtet Aristoteles, mit einer Substanz „zwischen Fleisch und Nerven“ gefüllt.

Swammerdam ahnt bereits, dass der Bauplan dieser Tiere nicht derart simpel sein kann. Nur hält er es für unmöglich, die unter einem Panzer verborgene Anatomie der Insekten zu erforschen, die oft „kleiner als eine Messerspitze sind“, wie er in seinem Buch schreibt.

Doch da täuscht er sich. Sein Werk ist gerade im Druck, als ihn eine Abhandlung „Über die Seidenraupe“ des Italiener Marcello Malpighi erreicht. Swammerdam sieht erstmals Zeichnungen vom Inneren einer Raupe – und beschließt, noch weitaus kleinere Organismen zu öffnen.

Aber wie lassen sich diese winzigen Tiere zerschneiden, wie ihre nur Bruchteile von Millimetern großen Organe überhaupt als solche ausmachen? Bei Malpighi findet sich kein Hinweis zur Technik der Sektion. Swammerdam hat zwar während seines Studiums Frösche und Insekten anatomisch untersucht. Doch jetzt gilt es, vollkommen neue Methoden zu entwickeln.



Auch der Kopf einer männlichen Biene gehört zu Swammerdams Studienobjekten. Das Präparat zeigt Fühler, Härchen und die riesigen Facettenaugen, die aus Einzelaugen aufgebaut sind



Jan Swammerdam (1637–1680)
beschreibt die innere Anatomie von Fliegen, Läusen und Bienen so detailliert wie niemand zuvor. Doch er gerät in eine Glaubenskrise und stoppt vorübergehend seine Studien. Berühmtheit erlangt er erst nach seinem Tod

feln: Hat er seine Studien eher zu seinem eigenen Vergnügen betrieben, als durch sie Gott zu verehren?

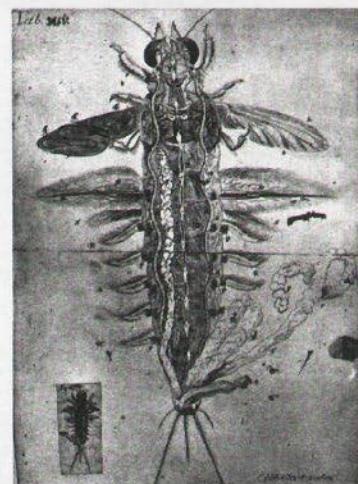
Von Selbstvorwürfen gequält, schließt er sich der Mystikerin Antoinette Bourignon an. Von ihr verspricht er sich Heilung und Trost. Die Französin hält sich für das Sprachrohr Gottes, glaubt Stimmen zu hören und verlangt von ihrer kleinen Anhängerschaft, alle weltlichen Güter aufzugeben. Das Werk „Über das Leben der Eintagsfliege“, seine ersten Zeichnungen vom Innenleben des Insekts, darf Swammerdam 1675 mit ihrem Einverständnis noch veröffentlichen. Dann bricht er mit der Wissenschaft.

Swammerdam versucht, seine 3000 Insekten umfassende Sammlung zu verkaufen, vernichtet Manuskripte, schickt die Bienenstudie und andere wertvolle Schriften einem Bekannten – und folgt Antoinette Bourignon nach Schleswig, wohin sie mit ihren Gefährten gezogen ist. Doch seine religiöse Pein lässt sich auch dort nicht kurieren. Er kehrt zurück nach Amsterdam, beginnt wieder zu sezieren, fertigt Zeichnungen an, beschreibt neue Arten.

Die beiden Bände seines Opus Magnum „Biblia Naturae“ erscheinen 1737/38. Darin weist der Gelehrte auf 53 anatomischen Tafeln und anhand von mehr als 60 Spezies nach, dass die Insekten keineswegs einfach gebaute Organismen sind. Viele der brillanten Zeichnungen geben noch heute bis auf wenige Details den modernen Wissensstand wieder.

Die Würdigung seiner Bibel der Natur aber erlebt der Niederländer nicht mehr: Bereits 1680 ist Swammerdam mit 43 Jahren an der Malaria gestorben – jener schwierige, von seelischer Pein geplagte Meisteranatom, der als erster Entomologe in die Geschichte eingeht. Als Begründer der Insektenkunde. □

Susanne Utzt, 32, ist Journalistin in Berlin.



Diese Studie Swammerdams zur Anatomie einer Eintagsfliegenlarve erscheint 1675. Zwei unvollkommene Flügel, paarige Kiemen, innere Organe, Nervenknoten und Muskeln sind exakt dargestellt

Der 32-Jährige lässt sich einen Beobachtungstisch aus Messing mit zwei Armen bauen – einen zum Halten des Präparats, den anderen zum Einspannen verschiedener Lupen, die die Objekte zum Teil 150fach vergrößern. Seine Messer und Pinzetten sind so fein, dass er sie nur unter der Lupe schleifen kann. Mit filigran ausgezogenen Gläsern bläst er Insektenorgane auf, damit sie nach dem Trocknen in Form bleiben, andere füllt er mit verschiedenenfarbigen Flüssigkeiten, um sie überhaupt voneinander unterscheiden zu können.

In Hunderten Sektionen von Fliegen, Läusen und Ameisen weist er systematisch nach, dass die Insekten ebenso komplex gebaut sind wie andere Lebewesen. Jahrlang beschäftigt er sich vor allem mit Bienen. Es kostet ihn Monate, allein die Luftröhren der Drohnen zu präparieren, die kompliziert mit den Hoden verwickelt sind.

Und was immer der tiefgläubige Christ dabei entdeckt, alles ist ihm ein Beweis für die Allmacht Gottes. „So überaus wunderbar waltet der Herr in diesen winzigen Geschöpfen“, schreibt Swammerdam und preist den „fabelhaften Architekten“ der Insekten.

Die Bienenstudie wird Swammerdams Meisterwerk. Er entdeckt, dass der „Bienenkönig“ – anders als bis dahin vermutet – eine Königin ist und die Drohnen allesamt männlich sind. Er zeichnet die Entwicklungsstadien der Biene bis ins kleinste Detail, skizziert die löffelförmige Bienenzunge und hält fest, dass die feinsten Verästelungen des Atemsystems sogar bis in die Facettenaugen vordringen.

Und er erkennt auch, wie die einzelnen Organe funktionieren: wie etwa der Rüssel Nektar saugt oder das Gift in den Bienenstachel geleitet wird.

Fünf Jahre harter Arbeit vergehen. Dann weigert sich der Vater, den Sohn weiterhin zu finanzieren. Zudem beginnt Jan an seiner eigenen Glaubensfestigkeit zu zweifeln:

AKROBATEN DER LÜFTE



Fliegen können rasante Haken schlagen, Libellen blitzschnell beschleunigen, Mücken tausendmal pro Sekunde die Flügel bewegen: Insekten sind die raffiniertesten Flieger in der Natur. Wie aber ist es dazu gekommen? Und was befähigt urtümliche Gliedertiere zu solchen Höchstleistungen?

Text: Jürgen Bischoff

Das Dilemma ist, dass bis heute niemand weiß, wie es begonnen hat: auf welche Weise Insekten das Fliegen gelernt haben – und vor allem, wann. Die Ahnenreihe der Fluginsekten begann, so nahm man bis vor einigen Jahren an, mit einem zweieinhalb Zentimeter messenden Gliedertier, das einen langen Saugschnabel, zwei mit feinen Härchen besetzte Schwanzfäden und sechs flügelartige Auswüchse besaß. Und das vor etwa 320 Millionen Jahren gelebt hatte.

Doch 2002 stießen Forscher in Tschechien auf das versteinerte Fragment

eines Insektenflügels. Sie ordneten es einer Heuschreckenart zu und bestimmten sein Alter auf etwa 324 Millionen Jahre.

Kurz darauf die nächste Entdeckung: In einem Stück schottischen Rotsandsteins fanden Wissenschaftler die Reste von Kieferzangen eines nur wenige Millimeter großen Ur-Geziefers. Die Anatomie der Kiefer war nach Angaben der Forscher typisch für geflügelte Insekten.

Das Alter der Probe: etwa 400 Millionen Jahre. Demnach hatte es bereits Insekten mit Flügeln gegeben, als die Pflanzen noch dabei waren, sich auf dem Festland auszubreiten. Genau das aber halten viele Experten für unwahrscheinlich.

Um abzuheben, schlägt die Florfliege alle vier Flügel nach vorn; danach zieht sie zunächst die Vorder-, dann die Hinterflügel hoch. Im Auf- und Abschlag entstehen an den Flügeln Wirbel, die den Auftrieb des Tiers in der Luft vergrößern. Florfliegen zählen zu den wenigen Insekten, die mit ihren Flügelpaaren zeitlich versetzt schlagen können



Der Sauerstoffgehalt der Luft sei zu jener Zeit viel zu gering gewesen für einen hohen Energieeinsatz, wie ihn das Fliegen erfordert. Zudem war der Bewuchs damals noch so niedrig, dass Insekten auch ohne zu fliegen an pflanzliche Nahrung kommen konnten.

Nur in einem Punkt sind sich alle Fachleute einig: Die Insekten waren die ersten Lebewesen, denen Flügel wuchsen und die lernten, sich damit aktiv in die Luft zu erheben.

In den Jahrtausenden seither haben die Kerbtiere diese Errungenschaft auf erstaunliche Weise zu nutzen gelernt. Ob Libellen, Fliegen oder Mücken, Bienen oder Schmetterlinge – sie alle haben eine so große Kunstfertigkeit entwickelt, dass es Zoologen, Entomologen und Aerodynamikern bis heute nicht gelungen ist, die Geheimnisse des Insektenfluges vollständig zu entschlüsseln.

Die Sechsbeiner, sagt der Biologe Michael Dickinson vom California

Der Grund für die bemerkenswerten Flugeigenschaften der Libellen ist ausgerechnet ihre urtümliche Anatomie. „Denn nur sie vermögen alle vier Flügel unabhängig voneinander zu kontrollieren“, so der Ulmer Biologe Fritz-Olaf Lehmann. „Sie können die Vorderflügel aufwärtsschlagen, während sich die Hinterflügel abwärtsbewegen“ – und so in der Luft stillstehen.

Bei den meisten anderen Vierflüglern dagegen, etwa bei Bienen oder Schmetterlingen, sind die vorderen mit den hinteren Flügeln gekoppelt.

Wieder anders ist es bei den Käfern. Zwar haben auch sie vier Flügel, doch die vorderen – im Flug meist abgespreizt gehalten – sind verhärtet und dienen so als Schutzdeckel für die häutigen Hinterflügel. Sie allein sind es, die das Insekt abheben lassen und für den nötigen Antrieb sorgen – und zwar trotz seiner aerodynamisch ungünstigen Form: Ein Maikäfer benötigt pro Sekunde 45 bis

Im Flug vollführt die *Stubenfliege* Loopings, enge Kurven und Pirouetten

Institute of Technology in Pasadena, seien „die raffinertesten Flugapparate, die auf der Erde existieren“.

Libellen zum Beispiel. Schon vor mehr als 300 Millionen Jahren schwirrten die Archaiker unter den fliegenden Gliederfüßern über subtropischen Sümpfen und in lichten Wäldern aus Riesenschachtelhalmen und 40 Meter hohen Schuppenbäumen. Die Vierflügler waren die ersten Lebewesen, die den Beutefang im Fluge praktizierten.

Manche dieser Ur-Libellen hatten Flügelspannweiten von bis zu einem Dreiviertelmeter. Zwar sind ihre modernen Nachkommen deutlich kleiner, dafür aber wendig wie Hubschrauber: Sie sind bis zu 50 km/h schnell, können rückwärts fliegen, in der Luft stehen und übergangslos beschleunigen, um sich auf ein Opfer zu stürzen.

50 Schläge, um auf gerade einmal acht km/h zu kommen, eine Libelle erreicht bei 30 Flügelschlägen die sechsfache Geschwindigkeit.

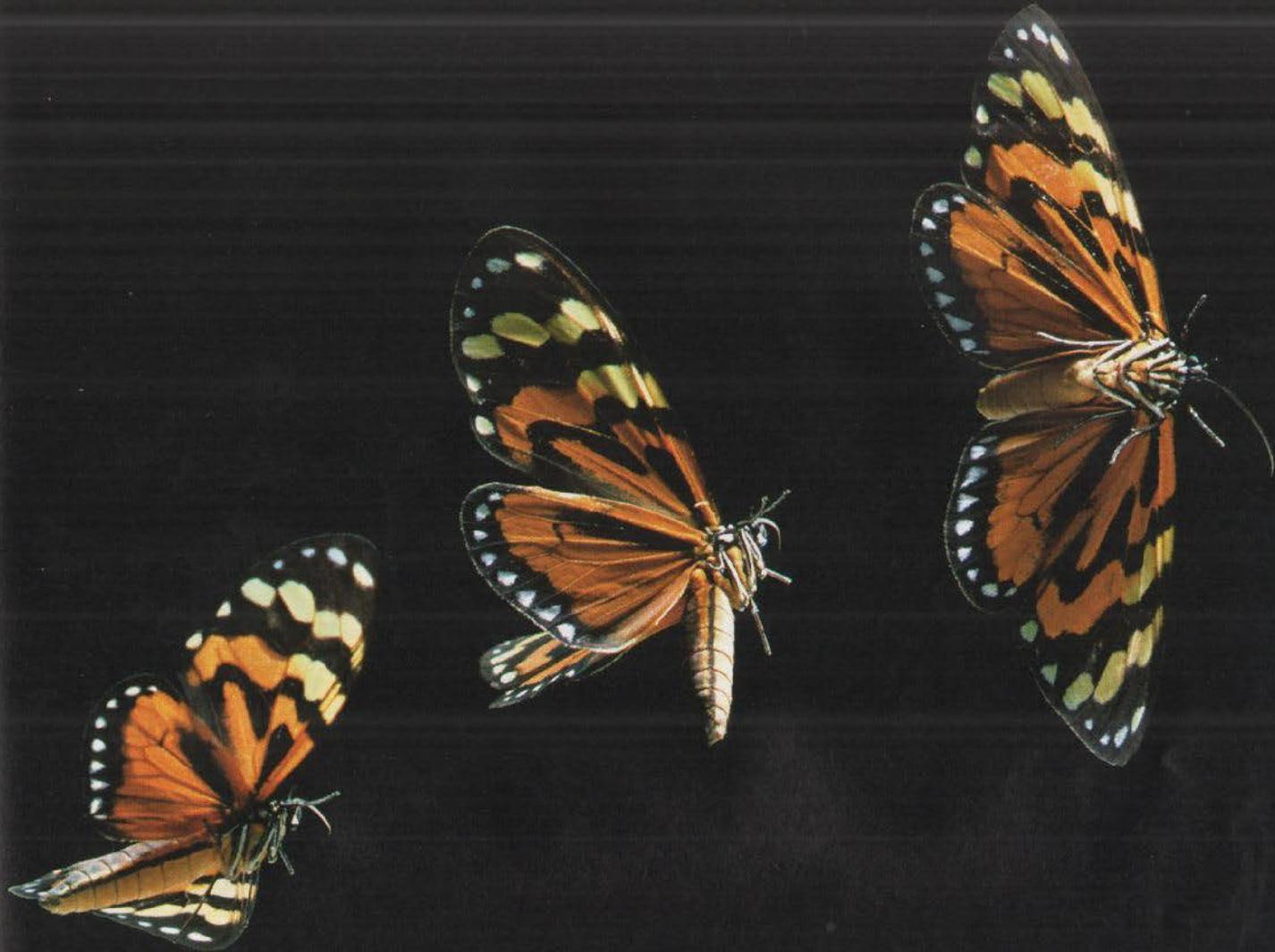
Deutlich schneller und meist auch wendiger als die vierfach geflügelten Insekten sind die Zweiflügler: alle Sechsbeiner, bei denen nur das vordere Paar zu echten Flügeln ausgebildet ist, etwa Mücken und Fliegen. Zu wahrer Meisterschaft bringt es die Stubenfliege. Sie fliegt Loopings und enge Kurven, schlägt Haken und lässt sich senkrecht in die Tiefe fallen. Pro Sekunde schafft sie eine Flugstrecke von 250 Körperlängen – viermal mehr als der schnellste Vogel.

Wie aber ist die Fliege, wie sind Heuschrecken, Libellen oder Käfer zu ihren zusätzlichen Extremitäten gekommen? Wie wurden aus unscheinbaren Gliederfüßern, die



vor mehr als 300 Millionen Jahren aus dem Ozean an Land krabbelten, mitunter perfekte Flugkünstler?

„Bedauerlicherweise ist bis heute nicht ein einziges Fossil gefunden worden, das den Übergang zwischen ungeflü-



Bei den Faltern sind hinteres und vorderes Flügelpaar, wie bei den meisten Insektenarten, miteinander verkoppelt – sie lassen sich also nicht getrennt steuern. Doch auch so sind sie zu komplexen Bewegungsabläufen und komplizierten Flugmanövern in der Lage. Zudem bestehen die Flügel aus elastischem Material, das von der Luft verformt wird und so einen stärkeren Vorschub ermöglicht

gelten und geflügelten Insekten belegt“, so Günter Bechly, Paläoentomologe in Stuttgart. Um diesen Schritt zu rekonstruieren, seien die Forscher deshalb „auf indirekte Hinweise und plausible Spekulationen angewiesen“.

Theorien, wie der Flug einst entstanden sein könnte, gibt es viele, und entsprechend kontrovers wird die Diskussion geführt. Nur in einer Frage herrscht unter den beteiligten Wissenschaftlern weitgehend Konsens: Der Ursprung al-

ler Fliegerei liegt im mehr oder minder gesteuerten Gleitflug.

Im Jahr 1998 saß Steve Yanoviak, ein junger Insektenkundler aus Oklahoma, im Dschungel von Panama auf Beobachtungsposten in einem Urwald-



Eine besondere Flugtechnik haben die Käfer entwickelt: Ihnen dienen nur noch die Hinterflügel als Antriebsorgane. Aus den Vorderflügeln haben sich im Lauf der Evolution harte Schutzdeckel gebildet. Wie dieser Blattkäfer nutzen viele Arten die Schalen jedoch als Tragflächen. Das bremst zwar die Fluggeschwindigkeit, ermöglicht aber auch großen und schweren Tieren das Fliegen über längere Strecken

baum und langweilte sich. Vor ihm krochen flügellose Ameisen. Gedankenverloren schnippte Yanoviak mit den Fingern ein paar davon vom Ast.

Was er dann sah, überraschte ihn – und beschäftigt ihn bis heute: „Sie fielen ein Stück, änderten aber noch im Fall plötzlich die Richtung und glitten zurück zum Baumstamm.“

Wie sich herausstellte, steuern die Tiere im freien Fall ihr Ziel an, indem sie mit den Hinterbeinen rudern – eine Technik, die es ihnen möglicherweise erlaubt, den Strömungswiderstand der Luft zu beeinflussen und so ihren Sinkflug abzubremsen.

Ein Beweis dafür, dass so einst alles angefangen hat, dass irgendwann einmal aus Beinen Flügel wurden, ist das freilich nicht.

Immerhin haben Wissenschaftler inzwischen herausgefunden, dass bei

einigen Insekten Beine und Flügel einen gemeinsamen zellulären Ursprung haben. Die so genannten **Imaginalscheiben** – kleine Zellscheiben, die bei der Verwandlung zum geschlechtsreifen Insekt für die Ausprägung unter anderem von Beinen und Flügeln zuständig sind – entstammen der gleichen Zellgruppe.

Daraus zog ein amerikanisch-deutsches Forscherteam den Schluss, „dass

Auf diese Weise, so vermuten die Biologen, habe beispielsweise die Gespenstheuschrecke im Verlauf ihrer Evolution mindestens viermal die Flügel neu „erfunden“ – je nachdem, wie sich die Umweltbedingungen veränderten.

Denn Flügellosigkeit scheint keine evolutionäre Sackgasse zu sein. Möglicherweise werden Gene stillgelegt und dann zufällig wieder aktiviert.

Manche Insekten haben die **Flügel** im Lauf der Evolution viermal »erfunden«

die grundlegenden genetischen Informationen für die Flügelbildung auch in flügellosen Insekten vorhanden sein können, weil ähnliche Erbanlagen zur Bildung der Beine benötigt werden“.

Dem Insekt verschafft das einen Vorteil: Solange es durch seine Tarnung – etwa als unbeweglicher Zweig – geschützt ist, benötigt es keine Flügel. Das kann sich jedoch ändern, sollte es irgendwann



in unbeweglichen, seitlichen Platten am Brustteil des Außenskeletts.“

Solche Platten finden sich heute noch bei den Silberfischchen, die dank der Skelettauswüchse ihrer abgeflachten Körper zu Boden gleiten, etwa wenn Forscher sie zu Testzwecken fallen lassen.

Diese Skelettauswüchse könnten sich bei den Vorfahren der Fluginsekten zu flügelartigen Auswölbungen weiterentwickelt haben.

Aus diesen wären dann, so die Theorie, im Lauf der Zeit bewegliche Tragflächen geworden, die sich für den Gleitflug horizontal ausbreiten, am Boden jedoch vertikal hochklappen ließen.

Selbst wenn diese These irgendwann hinreichend bewiesen werden sollte – völlig unklar sind für die Wissenschaftler bislang jene Entwicklungsschritte, die nötig waren, um aus einfachen Gleitklappen die hochkomplexen Flügel heutiger Insekten werden zu lassen: Im gesamten Tierreich gibt es kein komplizierteres Gelenk als das Flügelgelenk der Kerbtiere.

Denn Insekten bewegen ihre Flügel nicht einfach auf und ab – sondern auch vor und zurück und beschreiben dabei meist eine Acht. Sie rudern gleichsam durch die Luft (siehe Seite 58).

Menschen empfinden im Normalfall keinen Widerstand aus der umgebenden Luft, wenn sie sich bewegen. Für die sehr viel leichteren Insekten dagegen, vor allem für die kleinsten unter ihnen, ist Luft ein sich ständig veränderndes, fließendes Medium – zäh wie Sirup.

Würden sie darin ihre Flügel nur in waagerechter Position nach oben und unten schlagen, kämen sie nicht von der Stelle: Was sie beim Abschlag an Auftrieb gewinnen, würden sie bei der Gegenbewegung wieder verlieren – wie ein Taucher, der im Wasser seine Arme lediglich auf- und abbewegt.

Forscher haben lange gebraucht, bis sie die Flügelbewegungen der Insekten im Detail nachvollziehen konnten. Sie befestigten Schmetterlinge an beweglichen Pendeln, filmten Stubenfliegen mit Hochgeschwindig-

keitskameras, bauten Flugsimulatoren für Bienen.

Dabei zeigte sich, dass die geschickten Flieger nicht nur mit ihren Flügeln eine waagerechte Acht oder ein Oval beschreiben, sondern ihre Minischwingen dabei zusätzlich um die Längsachse drehen, sodass die Flügelflächen für kurze Zeit sogar senkrecht zum Luftstrom stehen.

Beim Auf- und Abschlag beträgt der Anstellwinkel der Schwingen zum Luftstrom bei vielen Insekten immerhin noch 45 Grad – Flugzeuge würden bei dieser Flügelstellung abstürzen.

Um zu ermitteln, wie die Insekten mit einer solchen Flugmechanik überhaupt Auftrieb erhalten können, bauten Fritz-Olaf Lehmann und seine Kollegen große Flügel aus Kunststoff nach und befestigten sie an einem Apparat, der die Schlagbewegungen exakt kopierte. Dann senkten sie die Vorrichtung in ein Ölbad.

Das Resultat war erstaunlich: Bei jedem Flügelschlag entsteht an den Vorderkanten der Schwingen jeweils ein großer Luftwirbel. Die Wirbel verstärken den Unterdruck auf den Flügeloberseiten, saugen so die Flügel quasi nach oben und sorgen dadurch für den Auftrieb.

MEMO | FLUGINSEKTEN

»»» **DIE ERSTEN** fliegenden Kerbtiere entstanden vor mindestens 320 Millionen Jahren.

»»» **DIE MEISTEN** Fluginsektenarten haben vier Flügel, manche nur zwei.

»»» **IHR FLÜGELGELENK** ist das komplizierteste Gelenk im Tierreich.

»»» **STUBENFLIEGEN** bewältigen pro Sekunde 250 Körperlängen Strecke.

»»» **FÜR KLEINE INSEKTEN** ist Luft ein fließendes Medium, zäh wie Sirup.

„Auf diese Weise erzeugt jede Vordere und jede Rückbewegung der Flügel eigene Auftriebswirbel“, erklärt Lehmann. „Auftrieb entsteht aber auch an den Wendepunkten, dann also, wenn sich der Flügel dreht.“

Zudem nutzen die Tiere jene Turbulenzen, die sie während des vorherge-

notwendig werden, im Flug fliehen zu können oder bei der Suche nach Futter oder einem Sexualpartner größere Entfernung zu bewältigen.

Doch ob Ameisen oder Gespenstheuschrecken – das Problem für die Forscher liegt darin, dass es sich in beiden Fällen um hoch spezialisierte Tiere handelt, die keinen Hinweis darauf zulassen, wie die Flügelbildung vor Jahrtausenden begonnen hat.

Günter Bechly nennt zwei Hypothesen, die ihm als Erklärung für den Ursprung der Flügel plausibel erscheinen: „Die eine geht davon aus, dass sich die Flügel aus seitlichen Anhängseln der Laufbeine entwickelt haben – möglicherweise anfangs gar nicht als Flügel, sondern als bewegliche Kiemenplatten bei im Wasser lebenden Insektenlarven. Eine zweite These, zurzeit die Lehrbuchmeinung, sieht den Ursprung der Flügel



Schwebfliegen besitzen zum Fliegen nur noch die beiden vorderen Flügel, die hinteren haben sich zu so genannten Haltern umgewandelt – zu Sensoren (hier nicht sichtbar), mit deren Hilfe die Tiere Flügelschlag und Flugrichtung kontrollieren

Die Flugtechnik der Libellen ist seit mehr als 300 Millionen Jahren unverändert. Ihre vier Flügel sind einzeln beweglich: Um aus vollem Flug stehen zu bleiben, schlagen sie mit den Vorderflügeln nach oben und bewegen die hinteren Schwingen nach unten

henden Flügelschlags selbst erzeugt haben, betreiben also eine Art Energie-Recycling.

Ein weiteres Geheimnis vor allem großer Insekten, etwa Heuschrecken und Schmetterlingen, ist die Elastizität ihrer Schwingen: Weil die Tragflächen von der vorbeifließenden Luft verformt werden, erhalten die Flügel ein verändertes Profil und arbeiten so mit einem Anstellwinkel, der dem Insekt einen stärkeren Vorschub bringt.

Dieser Bewegungsablauf sowie effiziente Energienutzung und das Material führen dazu, dass Insekten ein Vielfaches mehr an Auftrieb erhalten, als ihre Schwingen nach den konventionellen Gesetzen der Aerodynamik eigentlich hergeben dürften.

Bewegt wird diese Apparatur bei vielen Insekten durch ein in der Natur einzigartiges System aus Kraft- und Steuermuskeln. Stubenfliegen

etwa verfügen über vier große Kraft- und 36 kleine Steuermuskeln.

Die **Kraftmuskeln** setzen jedoch nicht direkt am Flügel oder dessen Gelenken an, sondern im Inneren des Brustpanzers. Zwei Stränge verlaufen in Längsrichtung, zwei von oben nach unten (siehe Zeichnung Seite 59).

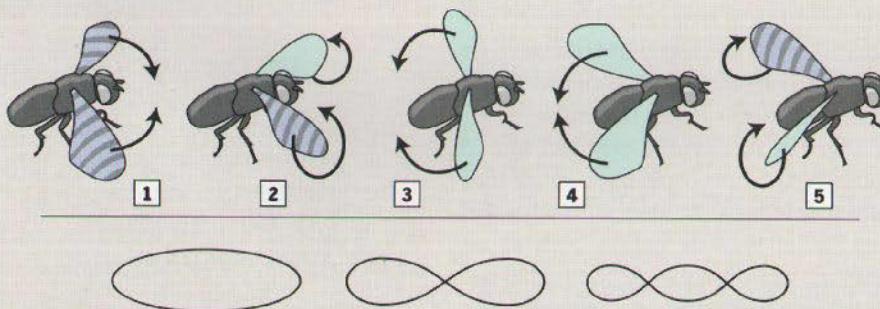
Im Zusammenspiel dieser beiden Muskelpaare wird nun der gesamte Brustkorb der Fliege zusammengezogen und wieder gedehnt – und so das Flügelpaar auf- und abbewegt.

Mit dieser **indirekten Kraftübertragung** erreichen beispielsweise Mücken verblüffende Höchstleistungen: Sie können mit ihren Flügeln mehr als 1000-mal pro Sekunde schlagen.

Das liegt unter anderem daran, dass ihre Muskeln ständig unter Spannung stehen, wie Gummibänder, und jede Kontraktion eines Muskelpaars bei seinen **Antagonisten** in Sekundenbruchteilen eine Gegenreaktion auslöst.

Das Zusammenspiel der beiden Muskelpaare ist so rasant, dass der gesamte Brustkorb förmlich in Vibration versetzt wird – was die hohe Schlagfrequenz der Flügel überhaupt erst ermöglicht.

Die 36 **Steuermuskeln** hingegen setzen direkt an den Gelenken der Schwingen an und kontrollieren deren Stellung



Wie eine Fliege fliegt

Die Flügel werden nach vorn geschlagen (1) und dabei so gedreht (2), dass beim Rückschlag die Unterseite (einfarbig) nach oben zeigt (3). Am hinteren Wendepunkt (4) drehen sich die Flügel nach vorn und erreichen auf dem Weg zum Kopf wieder die Ausgangslage (5). Die Flügel spitzen beschreiben, von der Seite gesehen, eine liegende Acht (untere Reihe Mitte). Bei manchen Insekten zeichnen sie während des Schlagzyklus manchmal ein Oval (unten links), in seltenen Fällen eine liegende Doppel-Acht (unten rechts).

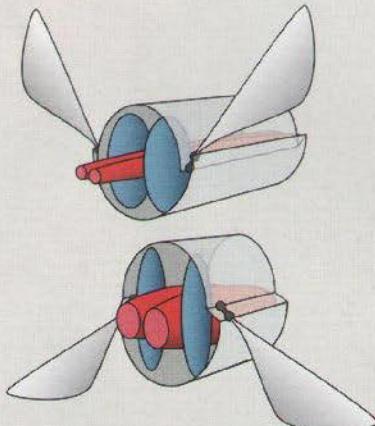
im Luftstrom – wodurch zum Beispiel die Flugrichtung beeinflusst wird.

Durch allein aber wären die spektakulären Manöver vieler Zweiflügler nicht möglich. Erst ein höchst raffiniertes Flugkontroll- und Steuersystem – eine Art Autopilot – macht sie zu den wendigsten Flugmaschinen in der Natur.

Das zentrale Modul dieses Systems sind Steuerungssensoren, die **Halteren**, die sich im Lauf der Evolution aus den Hinterflügeln gebildet haben.

Diese Sensoren registrieren jede Veränderung während des Flugs, etwa Turbulenzen, und geben blitzschnell Steuerbefehle an die Muskulatur, um für eine stabile Lage zu sorgen und den Tieren hohe Geschwindigkeiten zu ermöglichen: So haben Forscher bei Bremsen ein Tempo von 145 km/h gemessen.

Die Halteren sind so effizient, dass die Fliege sie bei waghalsigen Manövern



Zwei Paare Kraftmuskel (rot/blau)

stauchen und strecken den Panzer im ständigen Wechsel. Dabei werden indirekt die Flügel auf- und abbewegt, die über Gelenke mit der Hülle verbunden sind

förmlich überlisten muss. Will sie auf der Flucht vor einem Feind beispielsweise einen Looping fliegen, so würde der bord-eigene Autopilot dies normalerweise verhindern. Deshalb gaukelt das Gehirn

seinem eigenen System in so einem Fall eine Störung vor, die es in Wirklichkeit gar nicht gibt: etwa eine Turbulenz, die eine sofortige Kurskorrektur verlangt. So getäuscht, leiten die Halteren als Ausweichmanöver den Looping ein.

Wie dieses Zusammenspiel zwischen Gehirn, Steuerungssensoren und Flugmuskeln in Sekundenbruchteilen genau funktioniert, haben die Wissenschaftler bisher kaum zu entschlüsseln vermocht. Unbestritten ist jedoch, dass die Zweiflügler zu den besten Fliegern im Tierreich gehören.

„Fliegen haben weniger Rechenleistung als ein Toaster“, bemerkte vor einiger Zeit das renommierte Wissenschaftsmagazin „Nature“: „Trotzdem sind sie agiler als jedes mit digitaler Elektronik ausgestattete Flugzeug.“ □

Jürgen Bischoff. 52, ist GEO kompakt-Redakteur. Fachliche Beratung:
PD Dr. Fritz-Olaf Lehmann, BioFuture Research Group, Universität Ulm.

Faszination Fliegen.

Ein Diagramm zeigt vier Fliegen, die auf gestrichelten Linien fliegen. Eine Linie führt von links unten nach rechts oben, eine andere von oben links nach unten rechts. Eine dritte Linie führt von links oben nach rechts unten. Eine vierte Linie führt von rechts unten nach links oben. In der unteren linken Ecke befindet sich ein Logo des Stiftung Warentests mit der Aufschrift 'GUT', 'Im Test: billige Flugreisen', 'test 2/2005' und 'www.test.de'. In der unteren Mitte steht der Text 'Die ganze Welt schon ab € 29* Schnell, einfach, freundlich.' Rechts daneben steht 'Condor' und 'www.condor.com'. Ein kleiner Text am unteren Rand besagt: '* One-way-Preise zzgl. € 16 bis € 48 Treibstoffzuschlag und € 9 bis € 20 Condor Service Charge bei Buchung über www.condor.com'.

Wir lieben Fliegen.

Buchen Sie jetzt: www.condor.com, 01805-767 757 (0,14 €/Minute)
oder in Ihrem Reisebüro.

Condor
www.condor.com



Eine Burg für Millio

Ohne Bauplan errichten die Termiten in einer Meisterleistung ihre komplex gestalteten, meterhohen Wohnhügel mit Klimaanlage, Gängen und Wohnkammern. Und das vor allem, damit ein lebenswichtiger Mitbewohner gedeiht – ein Pilz



Bis zu vier Meter Höhe erreichen die Hügel der Kompasstermiten im Northern Territory von Australien. Die Längsachse verläuft stets von Nord nach Süd, denn die Insekten richten ihren Bau nach dem Erdmagnetfeld aus. Als Forscher in der Nähe einer Kolonie Magneten aufstellten, stoppten die Tiere den Bau und verendeten – offenbar war ihre Orientierung gestört

nen

Text: Martin Paetsch

Die größten Bauvorhaben der Insektenwelt beginnen stets mit einem Nachtflug: Einmal im Jahr, nach den ersten starken Regenfällen im Frühjahr, schwärmen in der afrikanischen Savanne geflügelte Kriegertermiten aus. Monate lang haben sie unter der Erde gewartet. Nun wagen sich Hunderttausende nach draußen in die Dunkelheit – und manche von ihnen werden schon bald als neue Könige und Königinnen eigene Staaten

gründen. Trotz ihrer großen Zahl aber gehören die Kolonisten zu einer kleinen Minderheit – zu jenen Termiten, die Augen und Flügel besitzen. Und die zum Fliegen verdammt sind: Wer nicht mindestens einen Meter durch die Luft schwirrt, kann sich nicht fortpflanzen.

Denn erst diese Flügelbewegung setzt eine Verhaltenskaskade in Gang, die am Ende zur Paarung führt: Ein Weibchen, das nach dem ersten Flug wieder den Boden erreicht, reckt den Hinterleib hoch und sendet ein Duftsignal aus, bis ein Männchen neben ihm gelandet ist. Schließlich graben sich die beiden in den Boden ein und werfen ihre Flügel ab. Auch die Augen haben ihren Zweck erfüllt und verkümmern.

Bis an ihr Lebensende werden die beiden Termiten nicht mehr an die Oberfläche zurückkehren. Im Erdreich heben sie eine Hochzeitskammer aus, wo nun die Paarung stattfindet.

Damit haben sie das Fundament für ein Bauvorhaben gelegt, an dem später Millionen Individuen beteiligt sein werden. Wenn die beiden nicht schon in der Gründerphase sterben – wie mehr als 99 Prozent der Kolonistenpaare – und auch danach von Unheil verschont bleiben, dann wird über ihnen ein einzigartiges Monument heranwachsen.

Die Termiten sind Meisterarchitekten: Aus nichts als Erde und Speichel errichten die Arbeiter unter ihnen nach und nach weithin sichtbare Bauwerke, die zum Teil mehr als 1000-mal größer sind als sie selbst. Bis zu sechs Meter ragen die kathedralenartigen Konstrukte auf – etwa im Comoé-Nationalpark in der westafrikanischen Côte d'Ivoire (Elfenbeinküste), wo Forscher jahrelang Kriegertermiten der Spezies *Macrotermes bellicosus* studiert haben.

In der dortigen Savanne prägen die Insektenbauten das Landschaftsbild: Auf manchem Quadratkilometer stehen mehrere tausend dieser Hügel. Die meisten davon sind längst verlassen, doch intakt kann so ein Hügel Heimat sein für drei Millionen Insekten. Die Termiten haben ihn als eine Art äußeres Organ gebaut, das zwar aus unbelebter Materie besteht, doch zusammen mit der Kolonie wächst und sich verändert. Wird dieser lebenswichtige Teil zu stark beschädigt, geht auch der Staat zugrunde.

Denn der Hügel hat ähnliche Funktionen wie die Organe eines hoch entwickelten Tieres: Gleich einer gigantischen

meisten von ihnen gehören zur **Kaste** der „kleinen Arbeiter“ und sind nur rund fünf Millimeter lang. Ihre Aufgabe besteht darin, das Königspaar zu füttern, die Brut und den Pilzgarten der Kolonie zu pflegen sowie das Nest auszubauen.

Einige aber, die Kaste der „großen Arbeiter“ mit einer Länge von sieben Millimetern, sind dazu bestimmt, mit ihren Mundwerkzeugen Fressgänge zu graben. Da die **Königin** nun immer schneller neue Eier legt, komplettieren von der zweiten Generation an Soldaten in zwei Größen die Kastenordnung der Kriegertermiten (siehe Seite 66).

Die „kleinen Soldaten“ bilden dabei das Nervensystem der Kolonie: Bei Gefahr senden sie Signale, indem sie mit dem Kopf auf den Untergrund schlagen. Und die „großen Soldaten“ kämpfen mit ihren kräftigen Mundwerkzeugen für die Gemeinschaft. Bei der Nahrungsaufnahme sind sie allerdings hilflos – sie müssen von den Arbeitern gefüttert werden, da ihr Kopf ganz den Verteidigungsaufgaben angepasst ist.

MIT DEM TERMITENVOLK wächst auch das Nest, von dem oberirdisch vorerst jedoch noch nichts zu sehen ist. Um die Kolonie mit Flüssigkeit zu versorgen, graben die Arbeiter bis zu 20 Meter tiefe Stollen zum Grundwasser und müssen von dort jeden Tropfen einzeln hinauftragen. Rund um die Hochzeitskammer treiben sie ein verzweigtes Gangsystem in den Boden, das vor allem der Nahrungsbeschaffung dient.

Manche dieser horizontalen Fressgänge erstrecken sich gut 100 Meter weit ins Umland. Stoßen die Tiere mit einem der Tunnel von unten auf Holzstücke oder Blätter an der Oberfläche, werden diese zunächst mit einer Erdschicht bedeckt und anschließend von unten abgenagt.

Die Termiten verlassen dabei nie das schützende Erdreich: Durch winzige Bodenöffnungen befördern sie nach und nach kleine Erdklumpen auf die Pflanzenreste, bis diese ganz überzogen sind. Auf diese Weise sind die Tiere vor anderen Insekten und vor Austrocknung geschützt.

Im Nest haben Arbeiter zu diesem Zeitpunkt bereits den Verdauungstrakt der Gemeinschaft errichtet: einen Pilzgarten, angelegt auf ihren Ausscheidungen. Bei den meisten Termitenarten bringen die Arbeiter die dazu nötigen Spo-

Ihr Leib schwollt immer mehr an, dann legt die Königin Eier im Sekundentakt, bis zu 40 000 am Tag

Lunge sorgt er für den Gasausstausch der Gemeinschaft. Er hält die Innentemperatur auf einem konstanten Niveau. Und er birgt sogar einen externen Verdauungstrakt, ohne den den die Termiten ihre Nahrung nicht verwerten könnten.

Bis das Bauwerk aber zu einem solchen Riesenorgan herangewachsen ist, vergehen Jahre. Der Beginn ist eher bescheiden: Nachdem sich das Gründerpaar eingegraben hat, legt die Königin zunächst nur etwa 20 Eier. Knapp drei Monate später haben sich daraus blinde, flügellose Arbeiter entwickelt. Die

ren aus dem umliegenden Boden mit in die Kolonie, bei den Kriegertermiten stammen sie dagegen aus dem Darm des Königs, der die Sporen schon in seinem Geburtshügel mit der Nahrung zu sich genommen hat.

Der Pilz hat eine überlebenswichtige Funktion: Denn die Termiten können einen bedeutenden Bestandteil ihrer Pflanzennahrung, das Lignin, nicht selbst verdauen – erst der Pilz macht diese Verbindung für sie nutzbar. Auf der einen Seite des Gartens wird er daher kontinuierlich mit



Nach einigen Jahren erst legt die Königin einer Termiten-Kolonie auch Eier, aus denen sich geflügelte Tiere (hier umgeben von Arbeitern und Soldaten) mit männlichen oder weiblichen Geschlechtsorganen entwickeln. Sie werden den Bau verlassen, um schon bald einen neuen Staat zu gründen

Ausscheidungen gefüttert, deren halbverdautes pflanzliches Material er aufspaltet und verwertet. Im Gegenzug knabbern die Insekten auf der anderen Seite sein Fadengeflecht an und nähren sich von ihm.

Der empfindliche **Symbiont** gedeiht ausschließlich in Termitenbauten und ist für die Tiere Segen und Fluch zugleich. Denn er zwingt den Insektenstaat dazu, wie in einem Gewächshaus ständig für ein feuchtes und wohltemperiertes Nestklima zu sorgen. Andernfalls würde der Pilz eingehen, und damit wäre auch das Schicksal der Kolonie besiegelt. Die Bedürfnisse des umhegten Mitbewohners, für den immer mehr Kammern geschaffen werden, sind vermutlich die treibende Kraft hinter dem Bau der meterhohen Hügel.

HAT DER TERMITENSTAAT eine bestimmte Größe erreicht, beginnen die Arbeiter, den Bau oberirdisch fortzusetzen. Von nun an muss alles schnell gehen – denn in einen jungen Hügel mit dünnen Wänden können Erdferkel leicht große Löcher reißen. Stehen dann noch nicht genügend Arbeiter für die Reparatur zur Verfügung, trocknet das Bauwerk aus, und der feuchtigkeitsliebende Pilz geht ein.

Der Hügel wird stets von innen heraus gebaut: Ein Arbeiter befördert dabei einen wenige Millimeter großen Klumpen, den er zuvor aus Erde und Speichel geformt hat, durch einen Tunnel an die Oberfläche. Wo der Gang auf die Außen-

welt trifft, wird der Brocken aus Naturzement einfach über den Rand geschoben. Von außen ist deshalb von den Arbeiten kaum etwas zu sehen.

Innerhalb eines Jahres kann der Hügel auf diese Weise von fünf Zentimetern auf gut einen Meter Höhe anwachsen. Hat er eine gewisse Größe erreicht, ist er besser gegen Attacken geschützt: In die wesentlich dickeren Wände brechen Angreifer meist nur kleine Löcher. Und die vermag die mittlerweile angewachsene Arbeiterpopulation oft schon binnen eines Tages zu schließen.

Eine solche Reparatur erfolgt in bemerkenswerter Aufgabenteilung: An der Schadensstelle beginnen zunächst kleine Soldaten, mit dem Kopf auf den Untergrund zu schlagen. Die Klopfzeichen locken weitere Soldaten und Arbeiter an, die das Signal verstärken. Zugleich schleppen Arbeiter winzige Erdklumpen zur Ausbesserung herbei, begleitet von großen Soldaten, die sie vor möglichen Angriffen schützen.

Durch das Leck ist zudem der Gas austausch im Bau gestört, was sich umgehend durch eine veränderte Luftzusammensetzung im zentralen Nest bemerkbar macht, in dem sich die meisten Termiten aufhalten. So wird schnell die Aufmerksamkeit der gesamten Kolonie auf den Krisenherd gelenkt.

Auch für die normalen Bauarbeiten gibt es keinen zentralen Plan; sie erfolgen ebenfalls durch **Selbstorganisation**.

Tausende der blinden Konstrukteure folgen dabei gleichzeitig einigen wenigen Grundreizen – und orientieren sich vermutlich vor allem an Duftstoffen: Angeregt von diesen **Pheromonen**, wird beispielsweise die Hochzeitskammer, die das Königspaar anfangs gegraben hatte, mit der Zeit zu einem größeren Raum mit massiven Wänden umgebaut. Diese **Königskammer** liegt später im Zentrum des meterhohen Hügels (siehe Seite 66).

Wie die verborgenen Umbauten in der natürlichen Nestumgebung ablaufen, ist nicht bekannt. Laborexperimente und Computermodelle vermitteln jedoch einen Eindruck von der Vorgehensweise der Termiten: Demnach veranlasst beim Ausbau der Königskammer ein von der Königin abgesondertes Pheromon die Arbeiter dazu, ihre Erdpartikel in einer bestimmten Entfernung von der Monarchin abzulegen.

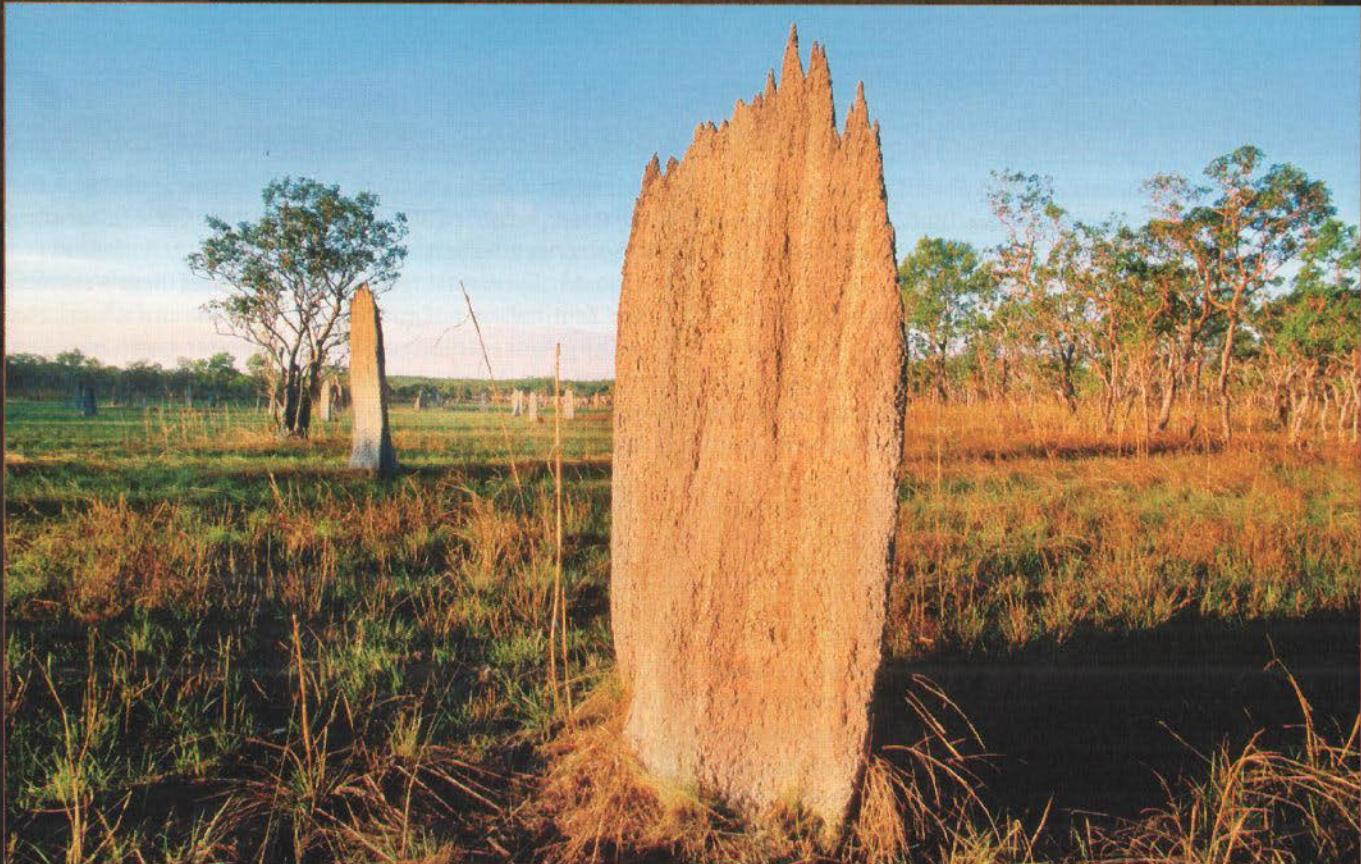
Der in diese Klümpchen gemischte Speichel wirkt wiederum anziehend auf andere Termiten. Deshalb deponieren Bauarbeiter ihre Erdkrümel mit Vorliebe genau dort, wo bereits ihre Vorgänger Bodenpartikel abgeladen haben. Um die Königin herum bilden sich in der Simulation zunächst säulenähnliche Anhäufungen. Indem manche Termiten dem Gedränge zur Seite ausweichen, wachsen diese Haufen allmählich zu Wänden zusammen.

Auf ähnliche Weise, ebenfalls von Duftstoffen gesteuert, bauen die Insekten auch Tunnel und Kreuzungen. Wie auf Grundlage von solch einfachen Reizen die komplexe Gesamtarchitektur des Termitenbaus entsteht, übersteigt bislang jedoch die Möglichkeiten eines Computermodells.

Denn die Königskammer ist nur eine von vielen Baustellen: Ringsum haben die Termiten mit der Zeit immer mehr Pilzgärten und Brutkammern zur Aufzucht der Nachkommen angelegt. Zusammen bilden sie eine eiförmige Termitenstadt, die halb unterirdisch, halb oberirdisch in der Mitte des Hügels liegt. In einigen Fällen ist sie durch einen kuppelförmigen Hohlräum vom äußeren Bau abgetrennt.

Das ganze Konstrukt wird ständig vergrößert, erweitert und ausgebessert, um dem Wachstum der Kolonie zu genügen – und dem der Königin. Im Inneren des Nestes schwollt ihr Leib an, bis sie etwa zehn Zentimeter lang ist und sich nicht mehr bewegen kann. Regelmäßig vom König begattet, zeugt sie mehr und mehr Nachkommen: Am Ende legt sie die Eier im Sekundentakt, bis zu 40 000 Stück täglich.

NACH ZEHN JAHREN hat das Gebilde aus Erde und Speichel seine endgültige Größe erreicht. Oft mit auffälligen Rippen versehen, erhebt sich der äußere Hügel jetzt bis zu sechs Meter über dem zentralen Nest. Dass diese



Die Form der Termitenbauten variiert: Manche sind kegelförmig, andere erstrecken sich nur unterirdisch oder in Baumstämmen. Die Behausungen der australischen Kompasssterne sind wie eine Wand gebaut – sie werden von der aufgehenden Sonne auf ganzer Fläche bestrahlt, sodass sich die Tiere rasch aufwärmen können. Der schmale Kamm verhindert das Überhitzen in der Mittagszeit

oberen Stockwerke keineswegs Wohnbereiche sind, zeigt schon die erstaunliche Leere in dem Röhrensystem, durch das nur wenige Soldaten und Arbeiter patrouillieren. Denn während sich das Kolonieleben im kugelförmigen Nest abspielt, dienen die darüber aufragenden Bauten vor allem der Luftzirkulation. Ein einzelnes Tier verbraucht zwar nur wenig Sauerstoff – zwei Millionen Termiten aber benötigen so viel wie ein großes Kaninchen. Und die Pilzgärten mitsamt ihrer Bakterienflora erhöhen den Sauerstoffbedarf sogar auf den einer ausgewachsenen Kuh.

Erst nach einer Bauzeit von gut zehn Jahren ist die bis zu sechs Meter hohe Wohnburg vollendet

Den nötigen Nachschub liefert als selbstgebautes Atemorgan der Termitenhügel. In seinen Seitenschächten steigt die verbrauchte Luft auf und vermischt sich über die porösen Wände mit der Außenluft, sodass sich der Kohlendioxidgehalt verringert. Mit Sauerstoff angereichert, sinkt sie durch einen Zentralkamin wieder hinab ins Nest. Zugleich sorgt das Bauwerk für eine äußerst effektive Wärmeregulation: Im Nest herrschen fast immer genau 30 Grad Celsius – exakt diese Temperatur ist nötig für das Wachstum des Pilzes.

Die höchst unterschiedlichen Formen der Hügel werden dabei durch die äußeren Bedingungen bestimmt. So sehen im Wald gelegene Bauten anders aus als die Kathedralen des Graslands: Im Schatten der Bäume ist die durchschnittliche Umgebungstemperatur geringer, sodass es den Termiten schwerer fällt, ein konstantes und ausreichend warmes Nestklima zu schaffen. Um die Wärme im Hügelinneren zu halten, haben die Waldbauten deshalb wesentlich dickere Wände und kaum Rippen, wodurch sie kegelförmig wirken.

SOBALD DAS BAUWERK vollendet ist, bereitet sich der Termitenstaat auf Neugründungen vor. In dessen Hügel – im Comoé-Nationalpark etwa, wenn die Bauten mindestens 3,50 Meter hoch aufragen – stellt die Königin ihren Legebetrieb um. In den Jahren zuvor hat sie nur Arbeiter und Soldaten gezeugt: unfertige Nachkommen, die sich nicht fortpflanzen können. Nun aber produziert sie erstmals vollständige Geschlechtstiere mit Augen, Flügeln und Sexualorganen: Der Staat ist bereit, eine neue Generation von Königinnen und Königen auszusenden.

In der wichtigsten Nacht des Jahres, nachdem die ersten großen Regenfälle das Startsignal gegeben haben, warten diese Pioniere einige Zentimeter tief unter der Erdoberfläche. Jeweils 50 bis 70 von ihnen drängen sich in zahlreichen Kammern am Fuß des Hügels, bis Arbeiter-

trupps endlich Gänge zur Außenwelt öffnen. Soldaten eskortieren die geflügelten Tiere ins Freie, wo sie zu ihrem Hochzeitsflug ins Ungewisse starten.

Dieses Ritual wiederholt sich auch während der folgenden Regenzeiten. Einer ausgewachsenen Kolonie bleiben aber nur ein paar Jahre, um Nachfolger zu Neugründungen auszusenden. Denn ständig drohen Angriffe von Treiberameisen, die in Heeren von bis zu 20 Millionen Tieren durch die Savanne ziehen und über jeden Termitenbau herfallen, der auf ihrem Weg liegt.

Bei einigen Arten erfolgen die Angriffe unterirdisch: Kolonnen von Treiberameisen ziehen durch die Gänge des Baus und überwältigen die Termiten mithilfe ihrer Mundwerkzeuge. Bei einer oberirdischen Attacke kann der Hügel fast völlig unter einer schwarzen Schicht aus Ameisenleibern verschwinden. Nach und nach werden Millionen von Termiten getötet und gefressen, bis der letzte Widerstand gebrochen ist – zum Teil erst nach Tagen.

Von dem gewaltsamen Ende der Kolonie künden später makabre Haufen, die im Hügelinneren zurückbleiben: Sie bestehen aus den unverdaulichen Köpfen der Termitsoldaten.

In der Savanne des Comoé-Nationalparks sind solche Überfälle die häufigste Ursache für den Untergang erwachsener Termitenstaaten. Doch selbst wenn eine Kolonie verschont bleibt, hat sie nach etwa 15 Jahren ihren Zenit überschritten.

Zum einen lässt dann die Zeugungskraft des Königspaares nach. Zum anderen sieht der Pilz, der heimliche Herrscher des Insektenvolkes, langsam dahin: Im Garten, der immer wieder mit eigenen, von den Termiten vorverdauten Resten gedüngt wird, sammeln sich womöglich Giftstoffe an.

Spätestens mit etwa 20 Jahren stirbt entweder der König oder die Königin. Dann geht auch der langjährige Partner zugrunde und in der Folge die gesamte

Gemeinschaft. Für ein paar Monate – so lange, wie die aus den letzten Eiern geschlüpften Nachkommen leben – geht der Alltag in der Kolonie weiter. Millionen von Termiten folgen ihrem genetischen Programm, doch ihre Arbeit hat nun den Mittelpunkt verloren.

Und so bleibt am Ende nur der unbesiedelte Bau übrig. Wie das Skelett eines riesigen Tieres. □

Martin Paetsch, 36, ist Wissenschaftsjournalist in Hamburg. Wissenschaftliche Beratung: **Dr. Judith Korb**, Lehrstuhl für Biologie, Universität Regensburg.

Wohn-Gemeinschaften

Sie errichten Hochhäuser mit Wasseranschluss und perfekter Lüftung, graben Wohnhöhlen ins Erdreich, erschaffen künstliche Hügel, kleben in luftiger Höhe Bauten aus Speichel und Holz zusammen: Die Behausungen der staatenbildenden Insekten zählen zu den raffiniertesten Konstruktionen im gesamten Tierreich

Illustrationen: Jochen Stuhrmann, Tim Wehrmann;

Texte: Rainer Harf und Jürgen Bischoff

Termiten

Leben im Klimaturm

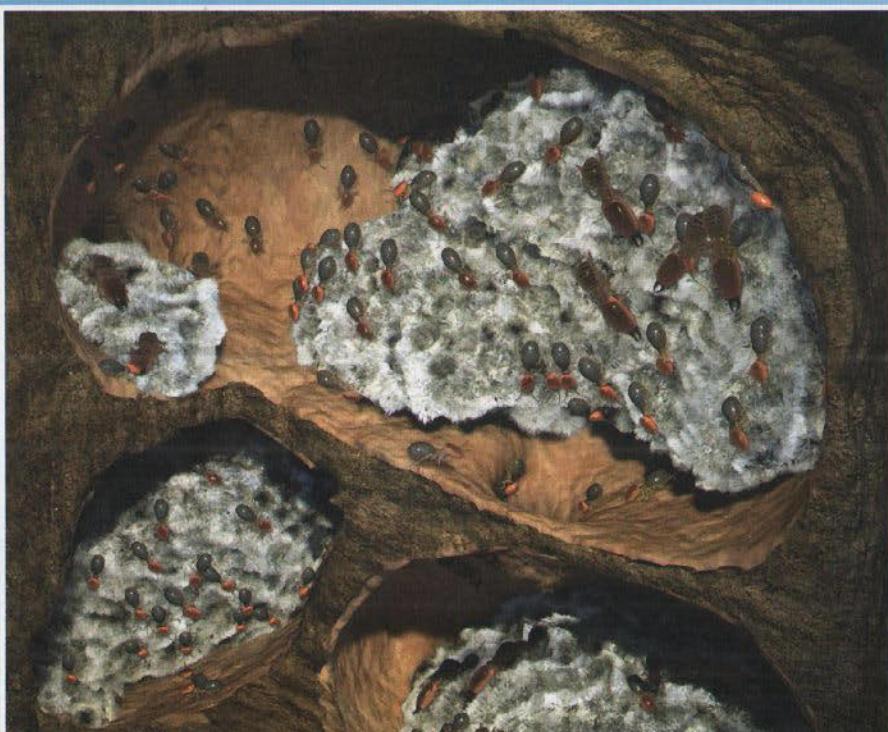
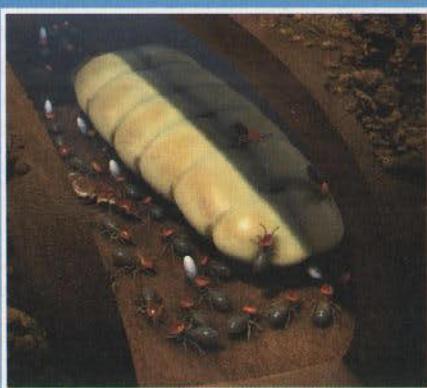
Bis zu drei Millionen **Termiten** schützen ihr Königspaar hinter dicken Lehmwänden, die sie in jahrelanger Arbeit aufschichten und mit Speichel verkleben. Ihre markanten Bauten ragen bis zu sechs Meter über dem Savannenboden auf und zeichnen sich durch ein hochkomplexes Belüftungssystem aus

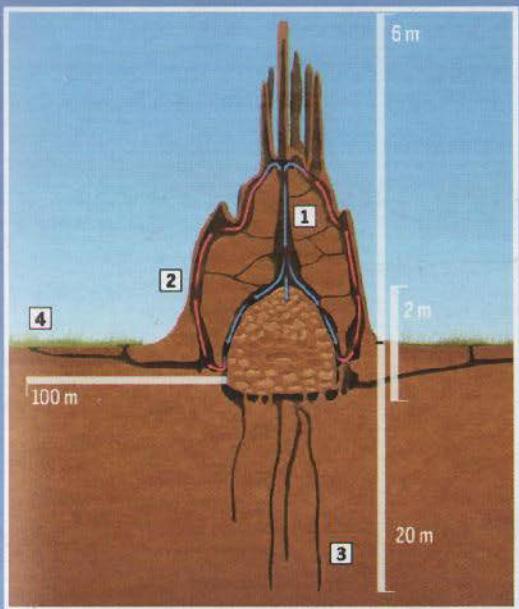


Größe und Körperform einer Termite spiegeln deren Aufgabe in der Kolonie wider: Königin (1), durch ihre gewaltigen Eierstöcke völlig unbeweglich, und König (2) zeugen ausschließlich Nachkommen. Soldaten verschiedener Größe (3) sind zuständig für die Feindabwehr, Arbeiter (4) versorgen sowohl das Königspaar wie jene Soldaten, deren Kiefer zum Fressen nicht geeignet sind

Termiten sind Farmer: In Hunderten von Kammern kultivieren sie in ihrem Bau einen Pilz, der ihnen und ihrer Brut als Nahrung dient – und der nur in den feuchten und warmen Termitenhügeln gedeiht

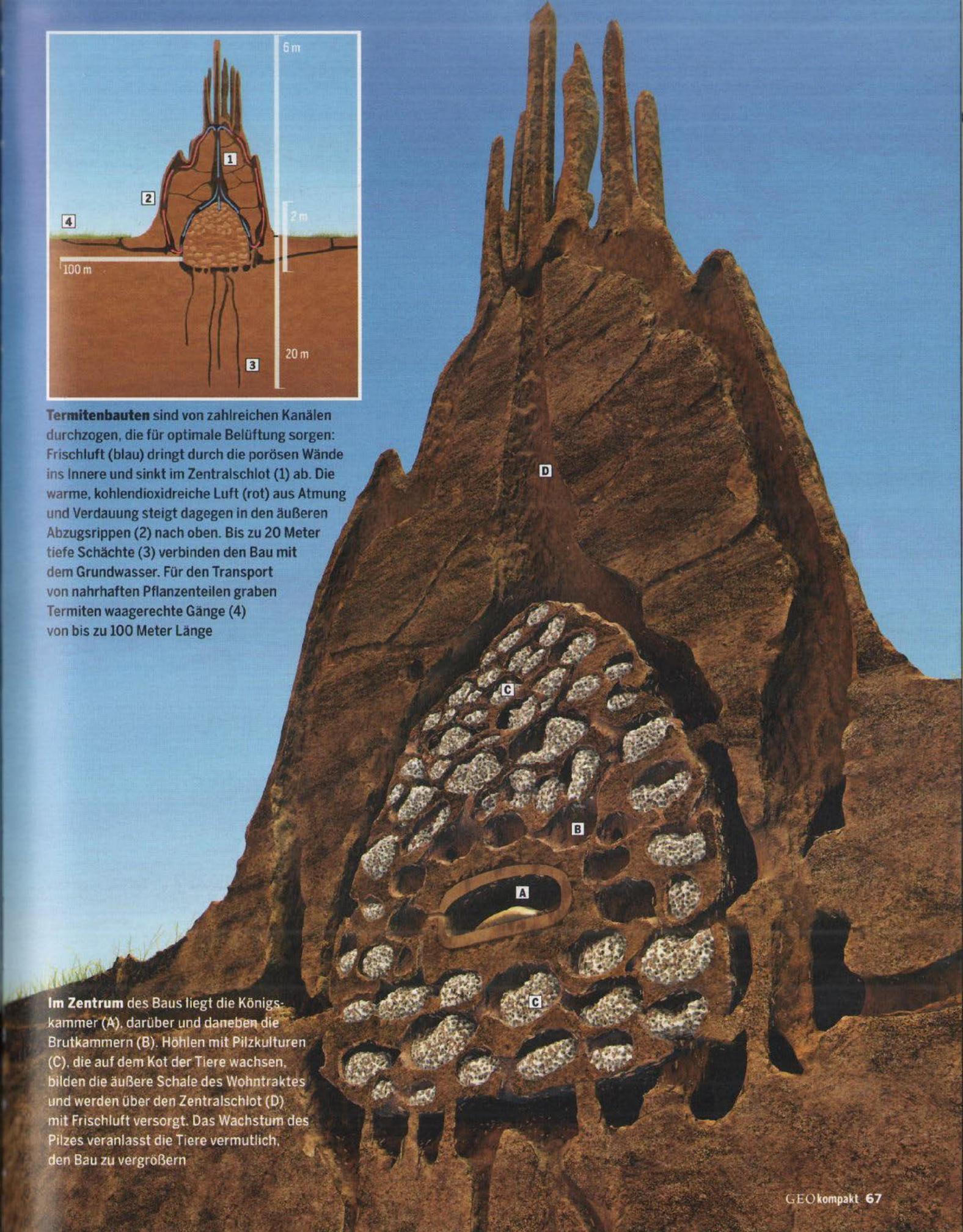
Das Königspaar eines Termitenstaates verbringt den Großteil seiner maximal 20 Lebensjahre in einer Kammer, von Arbeitern geputzt und gefüttert. Eine Termitenkönigin (rechts) kann pro Tag 40 000 Eier legen, die von den Arbeitern in die umliegenden Brutkammern geschafft werden





Termitenbauten sind von zahlreichen Kanälen durchzogen, die für optimale Belüftung sorgen: Frischluft (blau) dringt durch die porösen Wände ins Innere und sinkt im Zentralschlot (1) ab. Die warme, kohlendioxidreiche Luft (rot) aus Atmung und Verdauung steigt dagegen in den äußeren Abzugsrinnen (2) nach oben. Bis zu 20 Meter tiefe Schächte (3) verbinden den Bau mit dem Grundwasser. Für den Transport von nahrhaften Pflanzenteilen graben Termiten waagerechte Gänge (4) von bis zu 100 Meter Länge

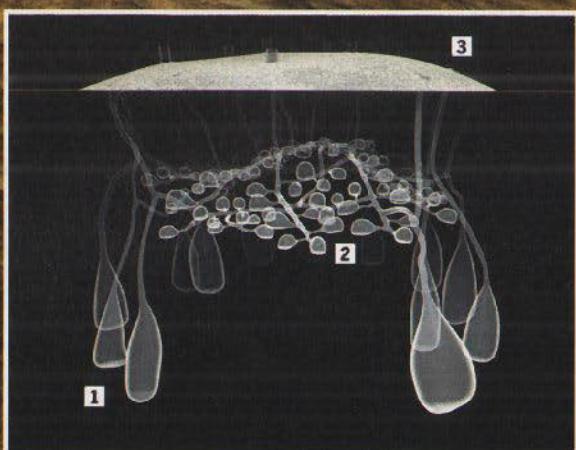
Im Zentrum des Baus liegt die Königs-
kammer (A), darüber und daneben die
Brutkammern (B). Höhlen mit Pilzkulturen
(C), die auf dem Kot der Tiere wachsen,
bilden die äußere Schale des Wohntraktes
und werden über den Zentralschlot (D)
mit Frischluft versorgt. Das Wachstum des
Pilzes veranlasst die Tiere vermutlich,
den Bau zu vergrößern





Pilzkultur: Große Arbeiterinnen (1) bringen Blattstückchen, kleine (2) zerkaulen sie und düngen damit den Pilz. Dessen Pflege widmen sich Zwerggärtnerinnen (3), die mit ihren Fühlern die Beete abtasten und Sporen fremder Pilze entfernen. Hier wird auch die Brut (4) herangezogen

3-D-Modell: Am tiefsten reichen die Ausschachtungen für die Abfälle (1). darüber liegen die kleineren Brut- und Pilzzuchtkammern (2). Oben wölbt sich der Hügel mit den Zugängen (3)



Metropole im Untergrund

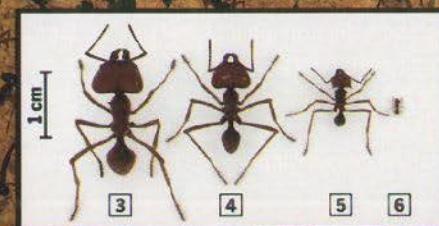
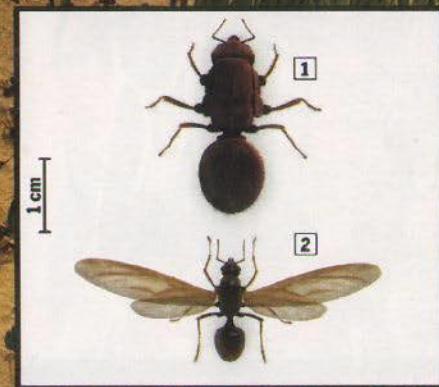
Die größten Nester im Insektenreich bauen die **Blattschneiderameisen**.

Ihre unterirdischen Bauten können acht Meter in die Tiefe reichen und sich über eine Fläche von 50 Quadratmetern erstrecken. Hierfür transportieren die Tiere rund eine Milliarde Ladungen Erdreich an die Oberfläche – und bewegen dabei bis zu 40 Tonnen Boden

B

C

Ist eine Königin befruchtet, gräbt sie im Lehmboden einen Gang und eine Kammer. Dort legt sie einen Pilzgarten an – und platziert die ersten Eier daneben. Die daraus heranwachsenden Arbeiterinnen pflegen den Pilz und bauen über Jahre hinweg Hunderte faust- bis fußballgroße Kammern (A), meterlange Tunnel (B), Abfallschächte (C) und an der Oberfläche Zugänge (D), die wie kleine Türme aus dem flachen Erdhügel ragen

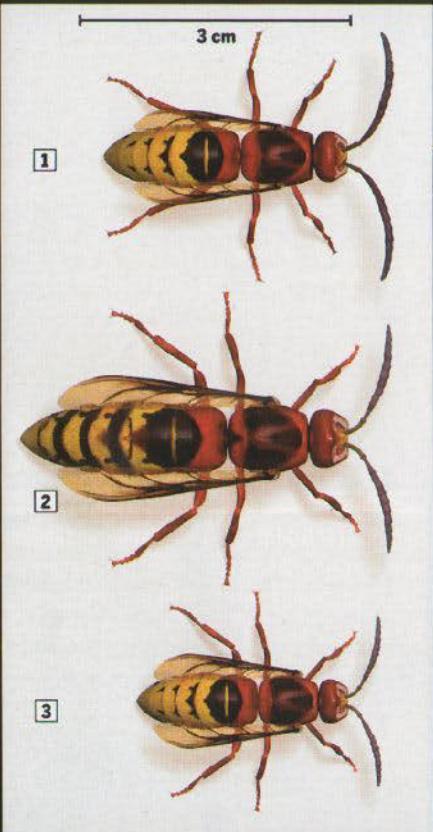


Ein Volk stammt von einer Königin (1) ab – und von mehreren Männchen (2), die nach der Begattung sterben. Das Sperma reicht für 150 Millionen Eier, die die Königin bis zu 14 Jahre lang legt. Daraus wachsen Solldatinnen (3), Arbeiterinnen (4+5) und Zwerggärtnerinnen (6). Wird die Kolonie groß genug, reifen weibliche und männliche Geschlechtstiere heran, die nun zu Paarungsflügen ausschwärmen – und ein neues Volk entstehen lassen

Palast aus Papier

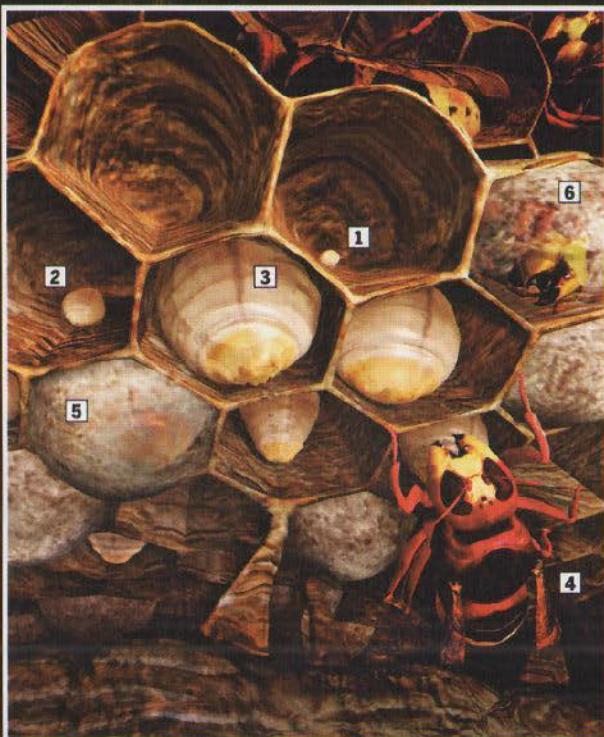
Hornissen konstruieren ihre Nester auf Speichern, unter Vordächern oder in Baumhöhlen. Dazu nutzen sie eine Art Papier: zerkautes Altholz, das mit Speichel gebunden wird.

Den Anfang macht im Mai die Königin, später übernehmen ihre Töchter. Sie arbeiten den Sommer über – bis im Herbst das Volk zugrunde geht



Im Herbst paaren sich mehrere Drohnen (1) mit einer Königin (2). Die Männchen sterben, die Königin legt im Frühjahr Eier, aus denen zunächst Arbeiterinnen (3), später Drohnen und mehrere junge Königinnen heranwachsen. Die zeugen wiederum im Herbst gemeinsam die nächste Generation

In jede Wabe ihres Nestes legt die Königin ein Ei (1). Nach etwa einer Woche schlüpft daraus eine Larve (2), die nun zwei Wochen lang heranwächst (3). Arbeiterinnen (4) putzen und füttern sie. Dann spinnt die Larve über ihre Zelle einen Deckel aus Seide und verpuppt sich (5). Nach weiteren 14 Tagen beißt das fertige Insekt den Deckel auf (6)





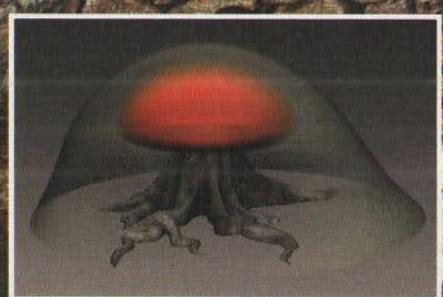
In kleinen Waben (A) wachsen Arbeiterinnen heran, in größeren (B) Drohnen und Jungköniginnen. Lufttaschen in der Außenwand (C) dienen dem Temperaturausgleich und der Gewichtersparnis, die Streifen (D) entstehen durch die Verwendung unterschiedlicher Holzarten. Ein Hornissennest misst bis zu 60 Zentimeter

Das Volk im Hügel

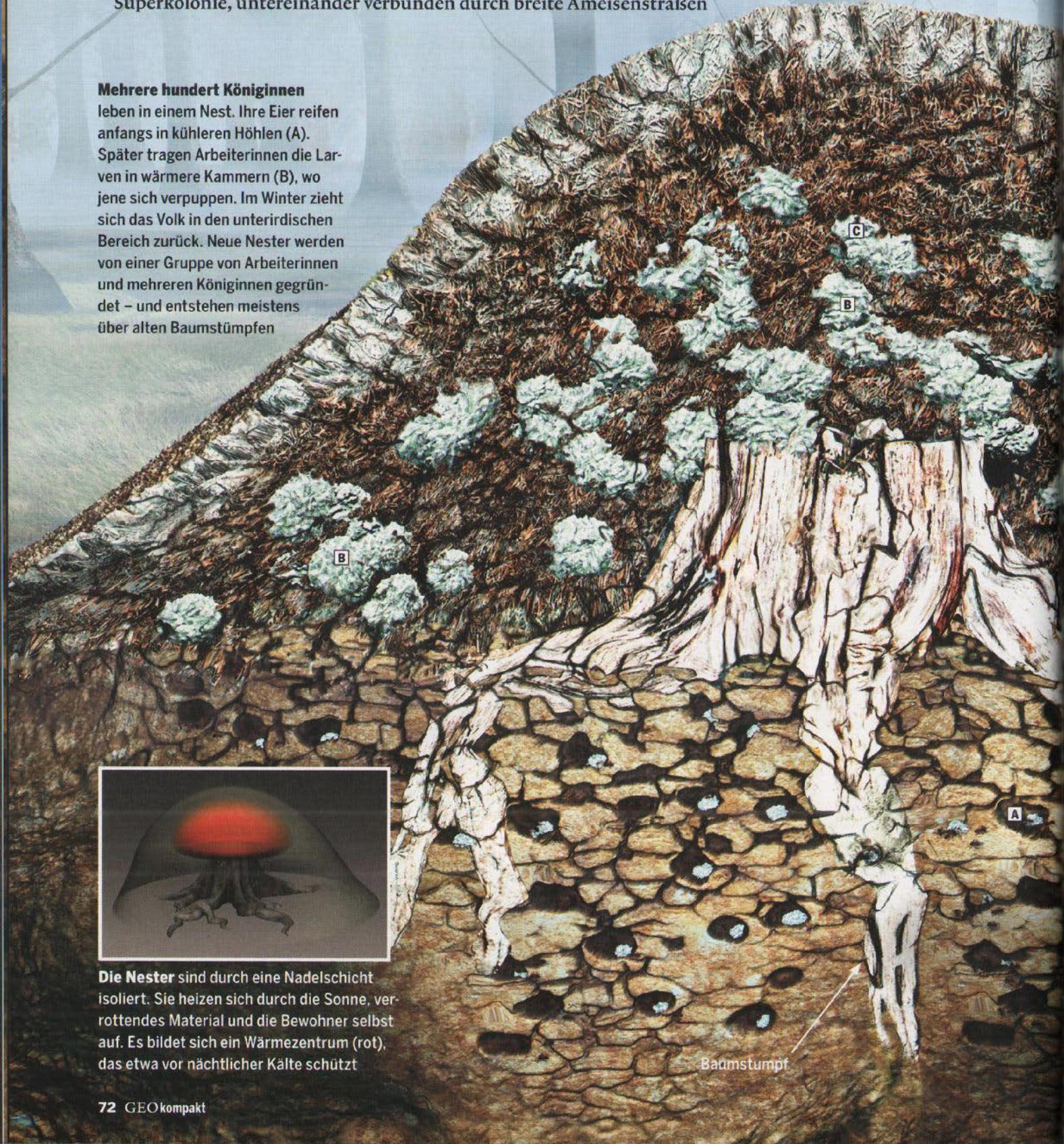
Die Nester der **Kahlrückigen Waldameisen** werden oft viele Jahre lang vom selben Volk bewohnt. Wird es zu groß, zieht ein Teil aus. Auf diese Weise bilden nicht selten Hunderte solcher Hügel eine einzige Superkolonie, untereinander verbunden durch breite Ameisenstraßen

Mehrere hundert Königinnen

leben in einem Nest. Ihre Eier reifen anfangs in kühleren Höhlen (A). Später tragen Arbeiterinnen die Larven in wärmere Kammern (B), wo jene sich verpuppen. Im Winter zieht sich das Volk in den unterirdischen Bereich zurück. Neue Nester werden von einer Gruppe von Arbeiterinnen und mehreren Königinnen gegründet – und entstehen meistens über alten Baumstümpfen



Die Nester sind durch eine Nadelsschicht isoliert. Sie heizen sich durch die Sonne, verrottendes Material und die Bewohner selbst auf. Es bildet sich ein Wärmezentrum (rot), das etwa vor nächtlicher Kälte schützt



Baumstumpf



Begegnung an einer Kreuzung: Arbeiterinnen bringen Puppen (1) in die besonders gut temperierte Nestkuppel (große Zeichnung C). Larven (2) in fast ebenso warme Kammern (B) und Eipakete (3) in feuchte Höhlen (A). Tote Artgenossen (4) werden aus dem Nest getragen. Waldameisen züchten keinen Pilz, sondern ernähren sich unter anderem von den Ausscheidungen der Blattläuse

Jochen Stuhrmann, 31, und Tim Wehrmann, 32, sind Illustratoren in Hamburg und arbeiten regelmäßig für GEOkompakt. Konzeption: Rainer Harf. Wissenschaftliche Beratung: Dr. Elmar Billig, Prof. Dr. Alfred Buschinger, Deutsche Ameisenschutzwarte, Dr. Judith Korb, Universität Regensburg

Die Männchen (1) tragen Flügel und sterben nach dem Hochzeitsflug. Die Königin (2) lagert die Spermien über Jahre ein und kann die Reifung der Eier steuern: Unbefruchtete werden zu Männchen, befruchtete können sich auf zweierlei Weise entwickeln. Je nach Ernährung wachsen daraus Arbeiterinnen heran (3) – oder neue Königinnen □

Weshalb die Bienen tanzen

Im Jahr 1919 beobachtet der Zoologe Karl von Frisch die seltsam anmutenden Bewegungen der Honigbienen und folgt, dass sie anderen Sammlerinnen auf diese Weise die Lage einer Futterquelle mitteilen. Mit Dresurexperimenten versucht von Frisch, diese Sprache zu enträtseln. Doch erst 30 Jahre später gelingt ihm der endgültige Beweis

Text: Anja Haegele

Konzentriert blickt Karl von Frisch auf den Bienenstock im Garten seines Hauses am Wolfgangsee. Es ist der 24. August 1949. Der 62-jährige Zoologe versucht seit langem herauszufinden, wie Honigbienen miteinander kommunizieren – und glaubt inzwischen verstanden zu haben, auf welche Weise die Sammlerinnen in einem Bienenstock anderen die Lage einer Futterquelle übermitteln. An diesem Tag will er den Beweis antreten, dass er die Sprache der Insekten tatsächlich enträtselt hat.

Bereits 1919 hat der Bienenforscher entdeckt, dass Sammlerbienen auf ihrer Wabe spezielle Figuren laufen, wenn sie anderen etwas mitteilen wollen: dass ihre Tänze also eine Form von Kommunikation sind. Seither bewegt ihn die Frage, welchen Regeln diese Tanzfiguren folgen. Wie beschreiben Sammlerinnen, die einen Futterplatz gefunden haben, ihren Stockgenossinnen die Himmelsrichtung? Wie den genauen Weg?

Beim Experiment am Wolfgangsee assistieren ihm zwei seiner Töchter: 330 Meter vom Bienenstock entfernt, haben die beiden in nordöstlicher Richtung einen Futterplatz mit duftenden Blüten und Zuckerwasser eingerichtet, an den sie nun einige Bienen locken. Jede Biene, die das Zuckerschälchen erreicht, versehen sie mit einem Farbtupfer.

Der Vater weiß nicht, wo der Napf steht. Er sitzt beim Stock und beobachtet die zurückkehrenden, markierten Sammlerinnen.

Zunächst geben die Heimkehrerinnen den anderen Bienen eine Kostprobe des Zuckerwassers. Dann beginnen sie, auf der Wabe zu laufen: Erst einen Bogen, dann

auf gerader Linie zurück zum Ausgangspunkt, von dort schließlich wieder einen Bogen zur anderen Seite. Auf dem geraden Stück führen die Tiere mit ihrem Hinterleib schnelle, zuckende Bewegungen aus; sie „schwänzeln“.

Schon bald trippeln andere Bienen hinter einer Tänzerin her, die erste berührt mit den Fühlern deren Hinterleib und vollzieht jede Zuckung nach, weitere schließen sich an – eine Polonaise im Bienenstock.

Der Forscher registriert mit Akribie die Geschwindigkeit der Tänze, die Richtung der Schwänzelstrecken – und markiert schließlich einen Punkt auf einer Landkarte. Dann macht er sich auf den Weg.

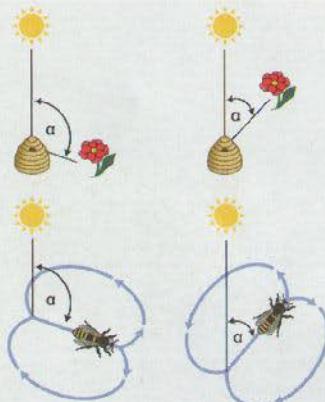
Später gibt von Frisch zu Protokoll: „Ich suche erst (vergeblich) die Büsche, die etwas mehr südöstlich gelegen sind, ab und finde dann nach wenigen Minuten das Futtertischchen nächst der Linie in meinem Plan.“ Das ist der Beweis: Er hat die Tanzsprache der Bienen entschlüsselt.

Die Kommunikation mit Tieren, der Wunsch, ihr Verhalten beeinflussen und schließlich verstehen zu können, begleitet den 1886 in Wien geborenen Karl von Frisch von Kind an. Mit sechs Jahren dressiert er einen Buntspecht, versucht, einen Sittich zur Stubenreinheit zu erziehen. Als Gymnasiast sammelt er sich einen Zoo zusammen, mit Säugetieren, Vögeln und Fischen.

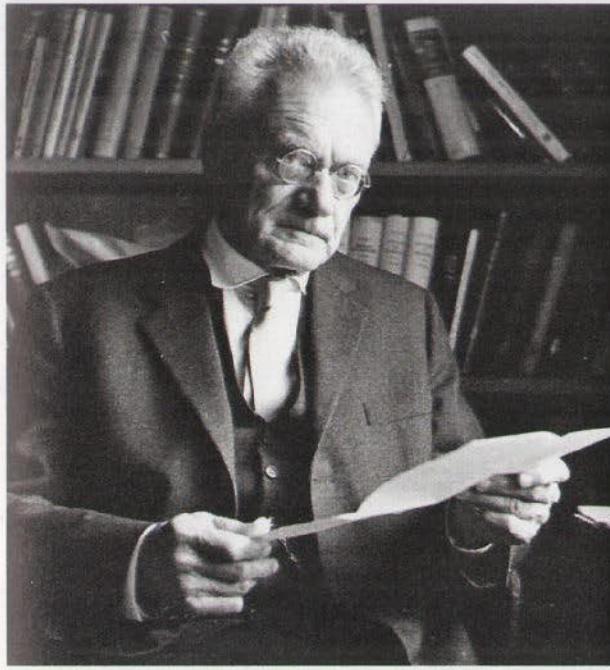
Nach dem Abitur studiert von Frisch zunächst Medizin, dann Zoologie. 1910 geht er als Assistent ans Zoologische Institut der Universität München. Auf die Bienen stößt er dort eher per Zufall: durch einen Wissenschaftlerstreit.

Der Direktor der Münchener Augenklinik vertritt die Ansicht, Fische und alle wirbellosen Tiere, etwa die Bienen, seien farbenblind. Von Frisch vermag das nicht zu glauben. Er hat in Wien mit einer Arbeit über den Farbwechsel bei Fischen promoviert und weiß um die Fähigkeit etwa von Elritzen, ihre Körperfärbung der Farbe des jeweiligen Untergrundes anzupassen. Und wären Bienen tatsächlich farbenblind, ergäbe seiner Ansicht nach die Farbigkeit der Blumen keinen Sinn. Denn diese diene doch vor allem dazu, Insekten zur Bestäubung anzulocken.

1912 beginnt er mit Versuchen, um den Farbsinn der Bienen zu beweisen. Am Wolfgangsee richtet er einen



Schwänzeltanz: Bienen teilen anderen Sammlerinnen die Lage einer Nahrungsquelle mit, indem sie auf den Waben eine Acht laufen und dabei ihren Hinterleib schütteln. Die Tanzfigur zeigt an, in welchem Winkel sich die Nahrungsquelle im Verhältnis zum Sonnenstand befindet: In der Zeichnung ist dieser Winkel links größer als rechts. Die Distanz signalisieren die Tiere durch das Tempo: Je langsamer der Tanz, desto weiter entfernt die Quelle



Der Verhaltensforscher Karl von Frisch (1886–1982) studiert Medizin in Wien und Zoologie in München. Von 1910 an experimentiert er mit Honigbienen und weist zwei Jahre später nach, dass die Tiere Farben sehen. 1949 enträtselt er schließlich das Geheimnis des Bienentanzes

Lage der Nahrungsquelle an – und zwar relativ zum Stand der Sonne.

Weil die Waben im Bienenstock senkrecht hängen, bedeutet ein Schwänzellauf nach oben also: „Ihr müsst in jene Himmelsrichtung fliegen, in der die Sonne steht.“ Ein Schwänzellauf 40 Grad nach links oben dagegen: „Ihr müsst euch 40 Grad links von der Sonne halten.“ Und ein Schwänzellauf senkrecht nach unten: „Die Futterquelle liegt der Sonne entgegengesetzt.“

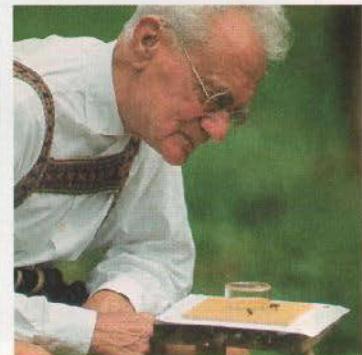
Außerdem beobachtet von Frisch, dass die Bienen langsamer tanzen, je länger der Flug zur Futterquelle dauert. Bei 100 Meter Distanz laufen die Bienen etwa 40 Runden pro Minute. Dabei berücksichtigen sie offenbar nicht nur die Entfernung, sondern auch Gegenwind und Hindernisse in der Landschaft.

Den Beweis dafür, dass er das Vocabular des Bienentanzes korrekt entziffert hat, erbringt Karl von Frisch an jenem Augustmittwoch des Jahres 1949. Es ist sein größter wissenschaftlicher Triumph: 1973 wird er gemeinsam mit Konrad Lorenz und Nikolaas Tinbergen (die ebenfalls die Kommunikation im Tierreich untersucht haben) als erster Verhaltensforscher mit dem Nobelpreis ausgezeichnet.

Der Laudator des Nobelpreiskomitees schließt seine Rede auf die drei geehrten Forscher mit dem Hinweis auf die Fabel vom mystischen Ring König Salomons, der den Herrscher in die Lage versetzte, die Sprache der Tiere zu verstehen: „Sie sind die Erben König Salomons. Denn sie haben es vermocht, die Informationen zu entschlüsseln, die Tiere untereinander austauschen. Und sie haben uns die Bedeutung erklärt, die ihr Verhalten hat.“

1982 stirbt Karl von Frisch – der Mann, der die Bienen als Erster zu deuten verstand. □

Anja Haegele, 36, ist Journalistin in Hamburg.



Bis ins hohe Alter – hier 1964 in seinem Garten – ist Karl von Frisch von Bienen fasziniert. 1973 erhält er gemeinsam mit Konrad Lorenz und Nikolaas Tinbergen den Nobelpreis

Bienenstock ein. Mit Honig und Blütenduft lockt er seine Versuchstiere auf blau gefärbtes Papier. Nach einiger Zeit entfernt er das Honigschälchen; dennoch fliegen die Insekten weiterhin auf das Blau. Zwei Jahre später führt von Frisch das Experiment öffentlich vor – und gilt seither als einer der Väter der modernen Verhaltensforschung.

Der Erste Weltkrieg unterbricht die Forschungen zunächst, doch gleich nach Kriegsende nimmt Karl von Frisch sie wieder auf. Im Frühjahr 1919 sitzt er im Hof des Zoologischen Instituts in München und beobachtet ein Bienenvolk, das er in einer speziellen Wabe einquartiert hat: Durch Glasfenster ist sie überall einzusehen.

Eines der Tiere lockt er aus dem Stock an ein Zuckersüsserschälchen, betupft es dort mit Ölfarbe und beobachtet sein Verhalten bei der Rückkehr: Die Biene, so notiert er, „machte auf der Wabe einen Rundtanz, der die umsitzenden Sammlerinnen in helle Aufregung versetzte und sie veranlasste, ebenfalls an den Futterplatz zu fliegen“.

Dieser „Rundtanz“ ist ein enger Kreis, den die Biene auf der Wabe läuft. Andere folgen ihren Bewegungen – und sammeln anschließend Nahrung an genau der Stelle ein, von der ihnen die Tänzerin offensichtlich berichtet hat. Aus den Beobachtungen schließt von Frisch, dass der Bienentanz eine Art Sprache sein muss.

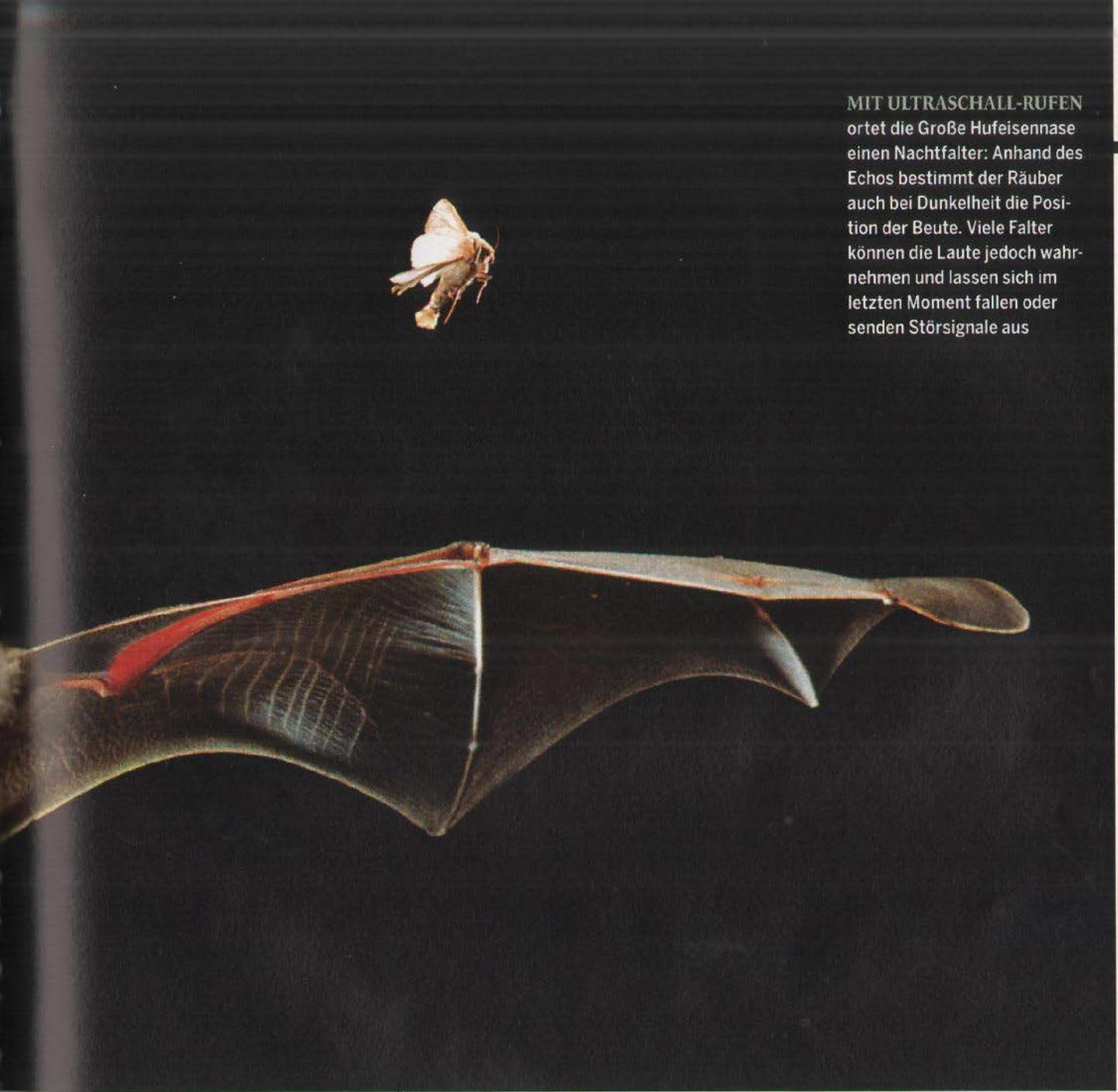
Durch immer neue Experimente – mal postiert er die Futternäpfe nah am Stock, mal weiter weg – macht er zwei weitere Entdeckungen: Die Sammlerinnen setzen den Rundtanz stets dann als Mitteilungsform ein, wenn eine Futterquelle weniger als 50 Meter vom Stock entfernt ist. Liegt sie weiter weg, nutzen sie zur Wegbeschreibung den komplizierteren Schwänzeltanz, bei dem sie auf der Wabe zwei Bögen und eine Gerade laufen.

Und: Die Ausrichtung der Tanzfigur ändert sich mit dem Sonnenstand. Denn die Richtung der Geraden, auf der sich die Bienen schwänzeln bewegen, gibt die



Duell in der Na

Vor gut 50 Millionen Jahren brachten Fledermäuse Sinnesorgane hervor, mit denen sie Falter im Dunkeln orten konnten. Doch die entwickelten raffinierte Tricks, um dennoch zu entkommen – und ein **WETTRÜSTEN** setzte ein, das bis heute anhält



cht

Text: Ute Kehse
und Jörn Auf dem Kampe

Als sich die Finsternis über die kanadische Provinz Ontario senkt, haben die Biologen bereits alles für den Luftkampf vorbereitet. Eine Nachtsichtkamera ist auf das Innere einer wohnzimmergroßen Voliere gerichtet. Zwei Detektoren sind eingeschaltet, um Töne aufzuzeichnen, die kein menschliches Ohr wahr-

MIT ULTRASCHALL-RUFEN
ortet die Große Hufeisennase
einen Nachtfalter: Anhand des
Echos bestimmt der Räuber
auch bei Dunkelheit die Posi-
tion der Beute. Viele Falter
können die Laute jedoch wahr-
nehmen und lassen sich im
letzten Moment fallen oder
senden Störsignale aus

nimmt. Und in der Mitte des Käfigs haben die Wissenschaftler das Opfer in Position gebracht: eine Tigermotte, einen kaum mehr als zwei Zentimeter langen Nachtfalter mit zarten, weißgelben Flügeln.

Auf dem Rücken des Insekts klebt ein dünner Faden, der an der Decke befestigt ist. So kann der Falter abheben und durch die Voliere kreisen – aber eigentlich hat er keine Chance, seinem Feind zu entkommen: einem nordamerikanischen Langohr, das in der Dunkelheit lauert.

Schon bald fliegt die räuberische Fledermaus eine Attacke auf den Falter. Doch im letzten Moment dreht sie ab und verschmäht die Beute.

Wieder und wieder bringen die Forscher in der Voliere Tigermotten und Fledermäuse zusammen, filmen die Manöver und nehmen die Laute auf, welche die Kontrahenten ausstoßen.

Die Tonkurven am Computerschirm machen sichtbar, wie sich Angreifer und Verteidiger zu überlisten versuchen: Für Menschen unhörbar, geben die Fledermäuse zunächst Ultraschallrufe ab und orten die Insekten anhand des Echos.

Doch kurz vor dem Zugriff senden die Tigermotten eine schnelle Folge von kurzen Ultraschalltönen. Dieses Störfeuer aus Klicklauten überfordert die **Echo-Ortung** der Langohren: Das Fledermaushirn muss zu viele Signale auf einmal verarbeiten. Und so bringt der Nachtfalter das Navigationssystem des Jägers durcheinander.



ZWEI GELBRANDKÄFER fressen einen erbeuteten Stichling. Die Räuber jagen im Wasser und können unter ihren Flügeln Luft speichern, die für zehn bis 15 Minuten reicht

aufzuzeichnen – und damit ein weiteres Beweisstück für ein evolutionäres Wettrennen zu sichern.

Denn seit die ersten Fledermäuse der Erdgeschichte vor Jahrtausenden begannen, Nachtfalter zu jagen, haben beide Gruppen immer neue Strategien hervorgebracht, um die Widersacher zu übertrumpfen. Einen solchen Prozess, bei dem sich Organismen in ihrer Entwicklung gegenseitig beeinflussen, nennen Wissenschaftler **Ko-Evolution**: Jede biologische Erfindung der einen Seite zwingt die andere, sich anzupassen und ihrerseits mit Innovationen zu reagieren.

ander ein und tragen auf diese Weise zum Reichtum der Arten bei.

Die meisten Forscher sind sich daher heute einig: Die Ko-Evolution ist der Vorgang, der die Vielfalt des Lebens mit am stärksten fördert. Nicht nur Angreifer und Verteidiger justieren ihre Fähigkeiten und Körperperformen in kleinen Schritten ständig nach, um im Vorteil zu sein. Zuweilen bilden sich auch Partnerschaften heraus, wie zum Beispiel die zwischen Insekten und Blütenpflanzen – eine Kooperation, bei der die Kerbtiere Gewächse bestäuben und dafür Nektar erhalten.

Die außergewöhnlichsten Techniken aber entstehen wohl beim Kampf zwischen Jägern und Gejagten (siehe auch Seite 80). Und eines dieser Duelle ist bereits seit Jahrzehnten Gegenstand einer besonders gründlichen Analyse: Weltweit untersuchen Biologen die Auseinandersetzungen zwischen Motten (gemeint sind Nachtfalter; es gibt jedoch auch tagaktive Motten) und Fledermäusen – und längst zählt deren Zweikampf zu den Klassikern der Evolutionsforschung.

Zwar ist unbekannt, in welchen Schritten diese Eskalation genau abließ.

Der **KAMPF** Fledermaus gegen Motte: ein Klassiker der Evolutionsforschung

Was die Forscher der Universität von Toronto im Sommer 2004 auf einer biologischen Station unweit des Ontariosees beobachteten, spielt sich in der freien Natur Nordamerikas Nacht für Nacht ab. Den Kanadiern gelang es jedoch erstmals, die akustische Abwehr einer Tigermotte

Dabei können durchaus komplett neue Spezies entstehen.

Zumeist aber sind es mehr als zwei Widersacher, die sich in so einem Wettlauf nach und nach verändern. Unzählige Tiere und Pflanzen wirken in einem komplexen Beziehungsgeflecht aufeinan-



GOTTESANBETERINNEN setzen auf den Überraschungseffekt: Stundenlang harren sie bewegungslos aus und schlagen dann in Sekundenbruchteilen mit ihren Fangbeinen zu

Doch Wissenschaftler lesen am heutigen Status quo ab, über welche Fertigkeiten die Tiere verfügen – und können dann Vermutungen darüber anstellen, wie so manche Angriffsstrategie die Entstehung einer Abwehrstrategie verursacht hat.

DAS WETTRÜSTEN setzte vor etwas mehr als 50 Millionen Jahren ein, während einer besonders warmen Periode, als Pflanzenwuchs und Insektenvielfalt einen Höhepunkt erreichten. Zu jener Zeit traten die ersten Fledermäuse der Erdgeschichte auf. Sie spezialisierten sich auf die nächtliche Insektenhatz und erschlossen damit eine üppige Nahrungsquelle ohne allzu große Konkurrenz. Dank ihrer **Ultraschall-Ortung** ge-

hörten sie zu den erfolgreichsten Jägern der Dunkelheit.

Die Nachtfalter waren der neuen Waffe zunächst hilflos ausgeliefert und wurden zu einer leichten Beute. Schon bald jedoch gelang es vielen Spezies, eine Schwachstelle der Echopeilung auszunutzen: Da Schall in der Luft mit zunehmender Entfernung leiser wird, muss der Ruf sehr laut sein, damit auch auf größere Distanz ein verwertbares Echo beim Sender eintrifft. Fledermäuse verraten sich daher jedem Tier, das die hohen Töne wahrnehmen kann.

Die Folge: Viele Motten brachten Fledermaus-Detektoren hervor. In mindestens acht Entwicklungslinien der Falter entstanden unabhängig voneinander

Hörorgane. Die Ohren dieser Falter mussten nicht einmal kompliziert gebaut sein: Sie bestehen – bis heute – lediglich aus einer Membran, einem Luftsack und zwei Sinneszellen.

Die meisten Spezies konnten so Richtung und Entfernung eines Fledermausrufs erkennen und vermochten, rechtzeitig vor den Räubern zu fliehen.

Diesen Nachteil glichen die Jäger vermutlich rasch wieder aus: Im Laufe der Evolution fanden Fledermausarten Lösungen, den Vorwarneffekt abzustellen. Einige Mottenfresser verzichteten nun weitgehend auf den verräterischen Schall und entwickelten äußerst feine Ohren. Statt sich selbst durch besondere Jagdlaute anzukündigen, lauschten sie auf das Knirschen und Rascheln der krabbelnden oder fressenden Insekten im Blattwerk und jagten sie dort.

Andere Fledermauspezies unterließen den Detektor der Kerbtiere, indem sie kurz vor dem Zuschlappen leiser riefen, extrem hohe oder besonders tiefe Töne

MEMO | ÜBERLEBENSSTRATEGIEN

» **INSEKTEN VERTEIDIGEN SICH** mit Reizgasen, Gifthaaren oder Dornen.

» **SPANISCHE FLIEGEN** geben zur Abwehr über ihre Beingelenke ein Nervengift ab.

» **AMEISENLÖWEN** bauen Fallen aus Treibsand.

» **STENUS-KÄFER** nutzen eine Art Außenbordmotor zur Flucht.

» **RAUPEN** krümmen ihren Körper zu einem Rad und rollen davon.

ausstoßen oder die Tonhöhe im Laufe eines Angriffs in irritierender Weise veränderten. Doch da sie in der Regel nur die schlecht gewappneten Individuen fraßen, „züchteten“ sie sich sozusagen immer geschicktere Gegner heran.

Und genau das ist ein Prinzip der Evolution: All jene Lebewesen, die ihrer Umwelt nicht gut genug angepasst sind, haben geringere Chancen, ihre Eigenschaften der nächsten Generation zu vererben. Keinesfalls, darin stimmen Wis-

Meister von Angriff und Verteidigung

Die Insekten verfügen über ein erstaunliches **REPERTOIRE** von Waffen

Viele Fleischfresser haben sich auf Insekten spezialisiert, denn die sind meist fett- und eiweißreich sowie leicht verdaulich. Bei den Säugetieren etwa gibt es eine ganze Gruppe, die vornehmlich Insekten jagt. Die größten Feinde der Kerbtiere jedoch sind andere Sechsbeiner. Um sich nicht einfach überrumpeln zu lassen, haben die Insekten zum Teil verblüffende Strategien hervorgebracht. Das umfangreiche Arsenal reicht von Fangbeinen mit Widerhaken und Giftkammern im Hinterleib über mit Dornen besetzte Rückenschilder bis zu stilettförmigen Stechrüsslern oder hydraulisch betriebenen Fangapparaten.

Tarnung

Um ihren Feinden gar nicht erst aufzufallen, haben sich viele Sechsbeiner einzigartige Verkleidungen zugelegt, die sie mit ihrer Umwelt verschmelzen lassen. Wie knorrige Zweige etwa sind die Körper mancher Stabheuschrecken gestaltet, andere ahmen vergilzte Blätter nach oder imitieren gar Vogelkot (siehe Seite 112). Wieder andere stellen sich tot. Die Camouflage schützt unter anderem vor Vögeln und Eidechsen, die sich bei der Jagd auf ihren Sehsinn verlassen.

Zahlreiche Raubinsekten jedoch lassen sich von einem optischen Bluff nicht täuschen. Sie haben sich der unsichtbaren Beute angepasst und hoch entwickelte Sensoren ausgebildet. Mit ihren Fühlern wittern die Jäger selbst geringste Konzentrationen verräterischer Düfte. Viele von ihnen besitzen **Sinnshaare**, die Luftschwingungen oder feinste Blattbewegungen wahrnehmen.

Ablenkung

Doch die Evolution hat einige der unauffälligen Beutetiere auch für diese Situation gerüstet: Fliegt ihre Tarnung auf, versuchen sie den Angreifer zu verwirren.

Stabheuschrecken etwa klappen ihre Flügel auf, um groß und bedrohlich zu wirken. Einige Bockkäfer und Schaben schüchtern Feinde durch Zischlaute ein, und Stinkwanzen dünnen übel riechende Substanzen aus, sobald ein Räuber ihnen allzu nahe kommt. Oder sie werfen, wie einige Gespenstheu-

schrecken, als Notopfer ein Körperteil ab und entkommen mit dem intakten Rest.

Flucht

Viele Angreifer wiederum sind auf jegliches Blendwerk eingestellt und packen trotzdem zu. Um das zu verhindern, bleibt der Beute nur der schnelle Rückzug: Einige Raupen heften sich mit einer Sicherheitsleine an Blätter und lassen sich fallen, andere krümmen sich zu einem Rad zusammen und rollen in abschüssigem Gelände davon.

Heuschrecken und Springschwänze katapultieren sich mithilfe gewaltiger Sprünge aus der Gefahrenzone. Und manche an der Wasseroberfläche lebende Käfer der Gattung *Stenus* besitzen gar eine Art Außenbordmotor. Bei Gefahr stoßen sie ein Sekret aus, das die Tiere mit einer Geschwindigkeit von bis zu 75 Zentimetern pro Sekunde über das Wasser schießen lässt. Hochgerechnet auf menschliche Maße entspräche dies einem Tempo von 450 km/h.

Angriff und Fallenbau

Doch die Evolution hat Jäger hervorgebracht, die noch schneller oder geschickter sind als ihre bevorzugten Opfer. Etwa Laufkäfer des Waldes, die vielfach Springschwänze verspeisen. Diese agilen **Urinsekten** leben am Waldboden. Um dort auf ihrer Jagd rasch voranzukommen, haben die Laufkäfer keilförmige Köpfe entwickelt und verfügen zudem über kurze, kräftige Beine: So können sie die Springschwänze in Lücken treiben, aus denen es kein Entkommen gibt.

Andere Käfer oder deren Larven haben ihre Unterlippe zu klebrigen Fangapparaten umgebildet, die sie auf ihre Beute schleudern und dann zur Mundöffnung zurückziehen. Einen Überraschungseffekt nutzen auch die Gottesanbeterinnen. Die mit kräftigen Fangbeinen ausgestatteten Jäger können binnen einer 50 000stel Sekunde eine wendige Stufenfliege packen – sie berechnen deren Kurs und schlagen in die Flugbahn hinein.

Wieder andere Räuber stellen regelrechte Fallen, um ihre flinken Opfer zu überrumpeln. Ein tropischer Verwandter des *Stenus*-Käfers legt zum Beispiel ein nach Dung riechendes

Sekret als Köder für Fliegen aus. Leuchtkäfer locken Verwandte durch trügerische Lichtsignale an (siehe Seite 132). Ameisenlöwen bauen trichterförmige Treibsandfallen, in deren Zentrum sie lauern. Beutetiere, die sich in den Trichter verirren, rutschen auf der instabilen Wand in die Tiefe – was der Ameisenlöwe zuweilen durch gezielte Würfe mit Sandkörnchen noch beschleunigt.

Abwehr

Viele Kerbtiere aber lassen es gar nicht zu Angriffen kommen: Sie setzen auf massive Abschreckung. Zahlreiche Schmetterlinge, Wanzen und Käfer haben sich mit Kampfstoffen armiert – und warnen ihre Feinde oft durch grelle Körperbemalung. Diese Strategie ist im Insektenreich weit verbreitet. Fast die Hälfte aller Sechsbeiner hat Klebstoffe, ätzende Säuren, Nervengifte oder Reizsprays im Repertoire.

Bombardierkäfer mischen gar ein höchst explosives Gemisch an. Bei Bedrohung pumpen die in Mitteleuropa und Nordamerika heimischen Krabbeltiere verschiedene Chemikalien in die Kammern ihrer Hinterleiber, wo die Stoffe miteinander reagieren und auf einen Schlag als 100 Grad Celsius heißes Gas entweichen. Aus dem beweglichen Hinterleib schießt das Insekt dann einen Hitzestrahl auf seine Feinde – und verbrüht die Räuber treffsicher.

Die Spanische Fliege, eine mediterrane Käferart, greift in größter Not zum so genannten Reflexbluten. Dabei gibt sie aus den Poren der Beingelenke ihren Körpersaft ab, der ein hochwirksames Nervengift enthält. Und viele Raupen speichern Chemikalien in ihren Haaren, die bei Kontakt abbrechen oder die sie wie Giftpfeile auf den Angreifer feuern.

Doch im ewigen Kampf zwischen Jäger und Gejagten haben sich manche Spezies selbst darauf eingestellt: Raubwespen etwa injizieren ihre Eier bevorzugt in hochgiftige Raupen von Faltern; bis zum Ableben des Wirts wächst die an das Gift angepasste Brut fortan gut geschützt in der für viele Jäger ungenießbaren Hülle heran. Und frisst sich langsam durch die Organe.



DROHT GEFAHR, mischt der Bombardierkäfer chemische Substanzen in den Kammern seines Hinterleibs und schießt einen 100 Grad heißen Gasstrahl auf Angreifer

senschaftler überein, sind Organismen fähig, etwas zu „planen“; sämtliche Veränderungen werden durch zufällig auftretende Mutationen ausgelöst. Im Experimentierlabor der Natur muss sich die Überlebenstaktik eines Gejagten bewähren, unter der ständigen Prüfung durch die Jäger. Viele Mottenarten konnten sich auf diese Weise über Jahrtausende jeweils an die bevorzugten Frequenzen ihrer Räuber anpassen.

Zu den Nachtfaltern, die sich bei dieser Qualitätskontrolle auf besonders raffinierte Weise behaupteten, gehört die Tigermotte mit ihrem Störsender. Aber auch der Eulenfalter *Noctua pronuba*, der ein im Insektenreich einzigartiges Gehör entwickelt hat: Je nach Bedarf lässt es sich auf verschiedene Frequenzen einstellen. So vermag er jene höheren Töne wahrzunehmen, die viele Fledermäuse direkt vor dem Zubeißen ausstoßen. Zahlreiche Mottenspezies eigneten sich zudem spezielle Manöver für den Luftkampf an: Sie lernten, durch unvorhersehbare Loopings, Spiralen und waghalsige Sturzflüge im letzten Moment zu entrinnen.

Den Fledermäusen blieb daher nichts anderes übrig, als die eigene Schnellig-

keit und Manövriertafähigkeit zu verbessern. Und so wandelten sich viele Fledermaus-Arten zu äußerst geschickten und wendigen Flugkünstlern, die ihre Opfer leichter verfolgen und ihnen den Fluchtweg abschneiden konnten.

An einer Fledermausspezies aus Nordamerika etwa haben US-Forscher erst kürzlich eine ungewöhnliche Navigationsgabe beobachtet. Diese Breitflügel-fledermausart berechnet die Route der

simpfen Mitteln aus – sie versuchen, jede Begegnung zu vermeiden:

Einige Arten schwirren nur in der frühen Dämmerung umher, vor der Hauptjagdzeit der Räuber. Andere halten eine Flughöhe knapp über dem Boden ein, in der Fledermäuse selten jagen. Zudem ändern sie ständig die Richtung und fliegen auf schwer zu kalkulierenden Routen kreuz und quer durch die Gegend.

Wieder andere verlegten ihr Erwachsenenleben auf Jahreszeiten, in denen die Fledermäuse ihre Winterquartiere bezogen haben, etwa auf den Spätherbst oder das Frühjahr. Und eine Gruppe von Faltern hat vermutlich das Dunkel der Nacht sogar ganz verlassen – vermutlich um den Jägern zu entkommen: die Tagfalter. Dem ewigen Wetlauf konnten sie dadurch freilich nicht entgehen. Denn am Tage warten andere Gefahren auf sie.

Für beide Welten bestens präpariert hat sich hingegen die Tigermotte. Schon die Larven des Falters nehmen von ihrer Futterpflanze, meist dem indischen Hanf, ein für sie ungefährliches Herzgift auf – und schützen sich so vor den Jägern: Tagsüber verrät die auffällige weißgelbe Färbung des erwachsenen Insekts allen Angreifern, dass sie einen giftigen Bissen vor sich haben. Daher muss sich das Kerbtier nicht in Verstecke flüchten.

Selbst den **ULTRASCHALLFREQUENZEN** ihrer Feinde haben sich die Motten angepasst

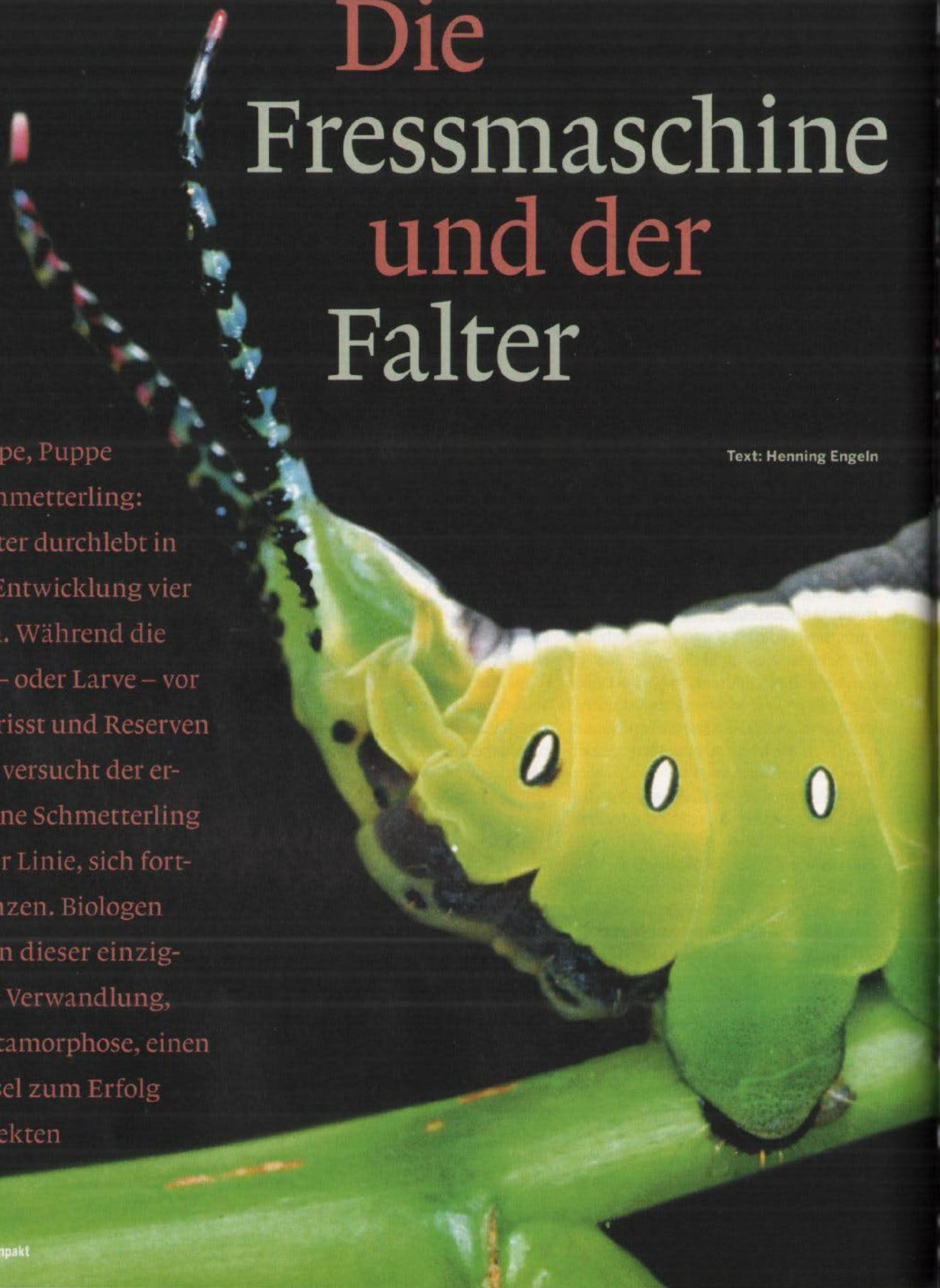
Insekten und fliegt nicht bloß hinterher, sondern auf einer möglichst parallelen Bahn neben dem Falter – bis sie schließlich plötzlich dessen Kurs kreuzt.

EINEN EINDEUTIGEN SIEGER jedoch gibt es in diesem ständigen Auf und Ab des Wettrüstens nicht, das lässt sich an den gehörlosen Motten belegen – denn selbst die tauben Falter haben überlebt und tricksen die Nachtfächer mit denkbar

Und in der Schwärze der Nacht setzt die Motte auf eine doppelte Lebensversicherung: Mit ihren Ultraschalllauten täuscht sie die Fledermäuse nicht nur, sondern warnt sie zugleich vor dem Gift in ihrem Körper. □

Die Wissenschaftsjournalistin **Ute Kehse**, 38, lebt in Delmenhorst. Fachliche Beratung: **Prof. Konrad Dettner**, Lehrstuhl für Tierökologie, Universität Bayreuth; **Dr. Björn M. Siemers**, Max-Planck-Institut für Ornithologie und Sinnesökologie, Seewiesen.

Die Fressmaschine und der Falter

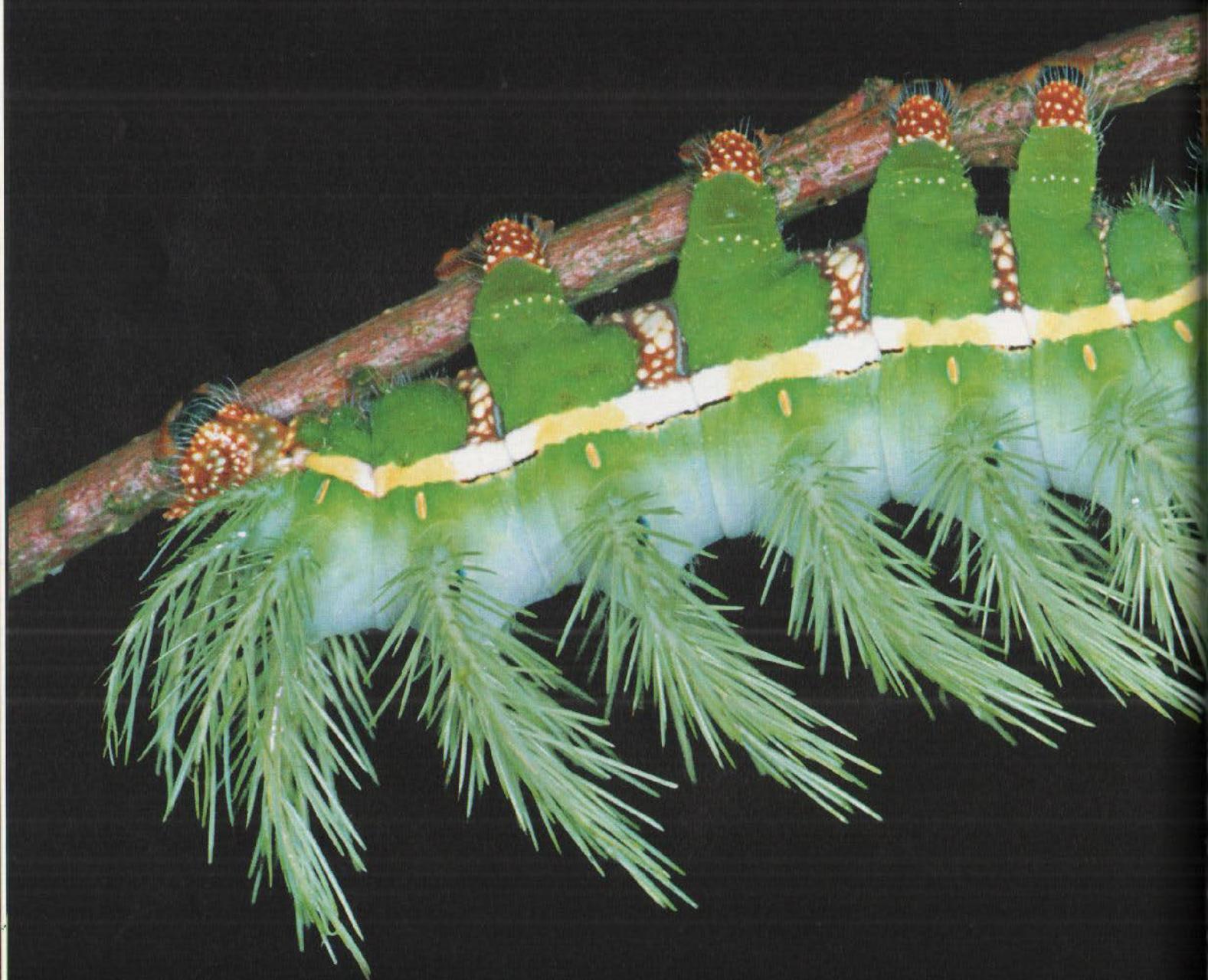


Ei, Raupe, Puppe und Schmetterling: Ein Falter durchlebt in seiner Entwicklung vier Stadien. Während die Raupe – oder Larve – vor allem frisst und Reserven anlegt, versucht der erwachsene Schmetterling in erster Linie, sich fortzupflanzen. Biologen sehen in dieser einzigartigen Verwandlung, der Metamorphose, einen Schlüssel zum Erfolg der Insekten

Text: Henning Engeln



Die schrille Zeichnung am Kopf der Raupe des Großen Gabelschwanzes soll Feinde abschrecken. Da die einfach gebauten Tiere für die Nahrungsaufnahme optimiert und nicht in der Lage sind, zu flüchten, bleibt ihnen nur die Verteidigung – etwa, indem sie aus ihrer Halsdrüse Ameisensäure verspritzen





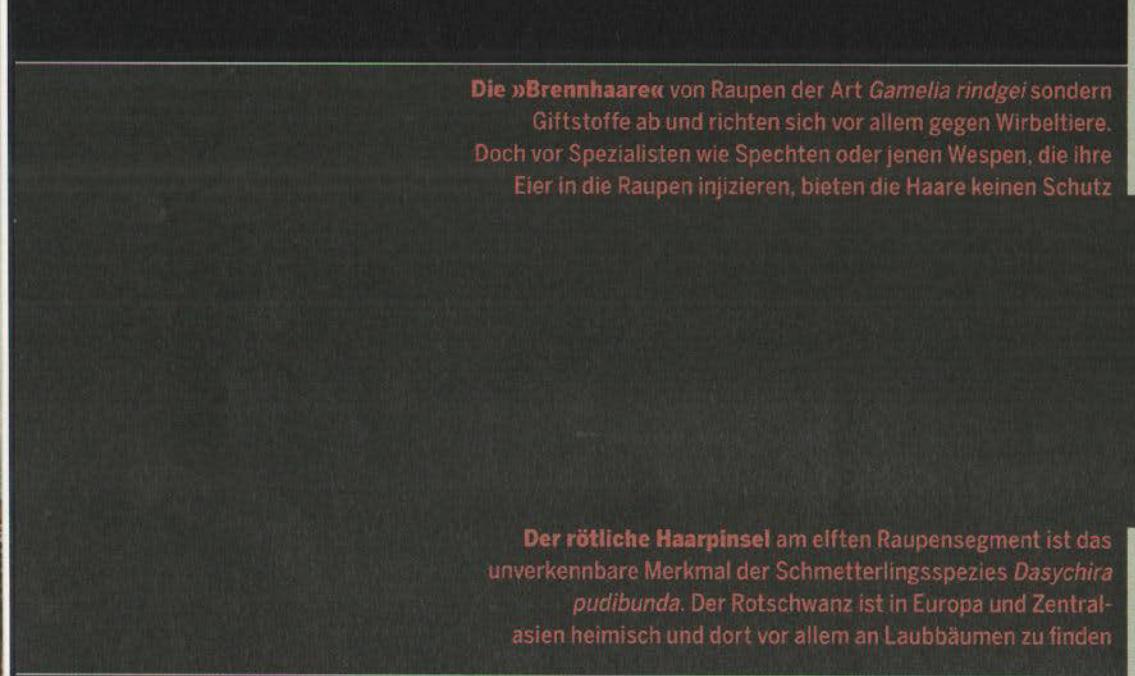
Starken Hautausschlag verursachen beim Menschen die langen, dornenartigen Fortsätze dieser Raupe eines aus Peru stammenden Nachtpfauenauge. Neben den drei gegliederten Brustbeinpaaren – den üblichen sechs Beinen der Insekten – besitzen Schmetterlingslarven stummelförmige Bauchbeinpaare sowie ein »Nachschieber« genanntes Beinpaar am Körperende



Die fellartige Behaarung im Raupenstadium dient den Bärenspinnern zur Feindabwehr. Obendrein machen sich manche der Larven ungenießbar, indem sie giftige Pflanzen fressen



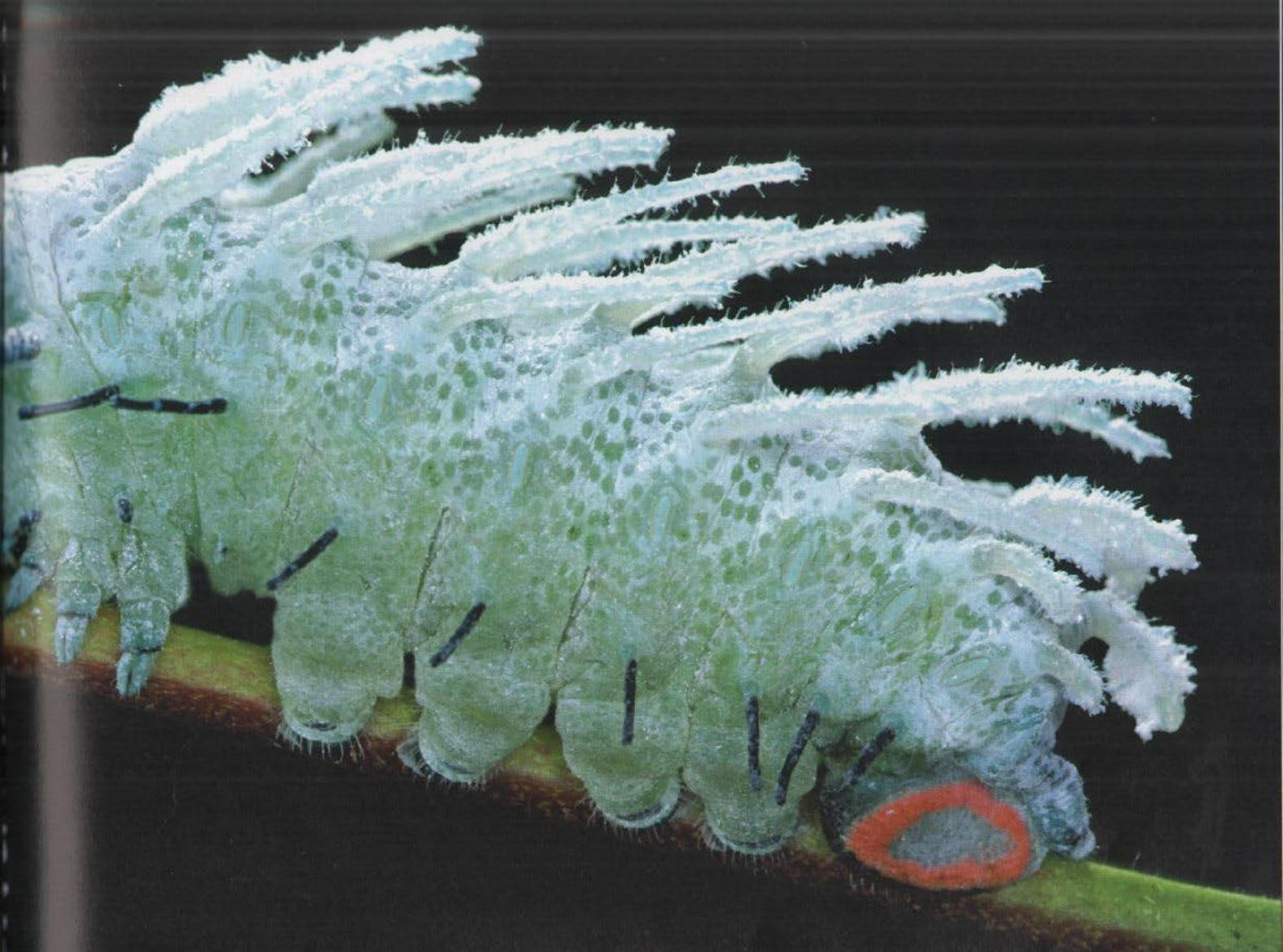
Die »Brennhaare« von Raupen der Art *Gamelia rindgei* sondern Giftstoffe ab und richten sich vor allem gegen Wirbeltiere. Doch vor Spezialisten wie Spechten oder jenen Wespen, die ihre Eier in die Raupen injizieren, bieten die Haare keinen Schutz



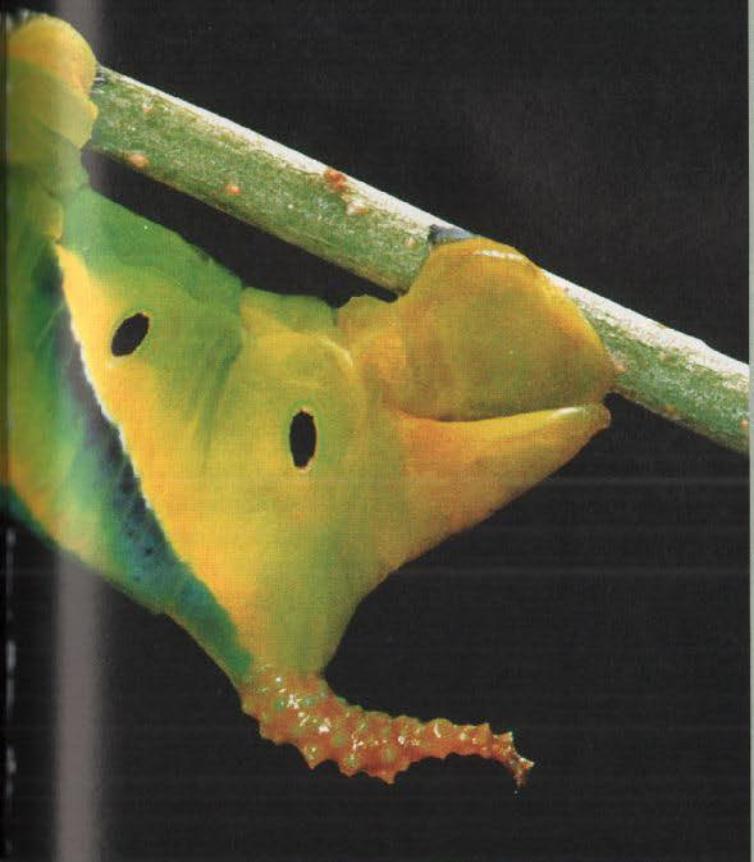
Der rötliche Haarpinsel am elften Raupensegment ist das unverkennbare Merkmal der Schmetterlingspezies *Dasychira pudibunda*. Der Rotschwanz ist in Europa und Zentralasien heimisch und dort vor allem an Laubbäumen zu finden



Bis zu zehn Zentimeter
lang werden die Larven des in Südostasien lebenden Atlasspinners. Das ist für Raupen nicht ungewöhnlich, doch schlüpft aus ihnen ein Schmetterling, der mit einer Flügelspannweite von mehr als 20 Zentimetern zu den größten der Welt zählt. Im Gegensatz zu seiner gefräßigen Raupe, deren Körper überwiegend aus einem riesigen Verdauungs- trakt besteht, verzichtet er ganz auf Nahrung





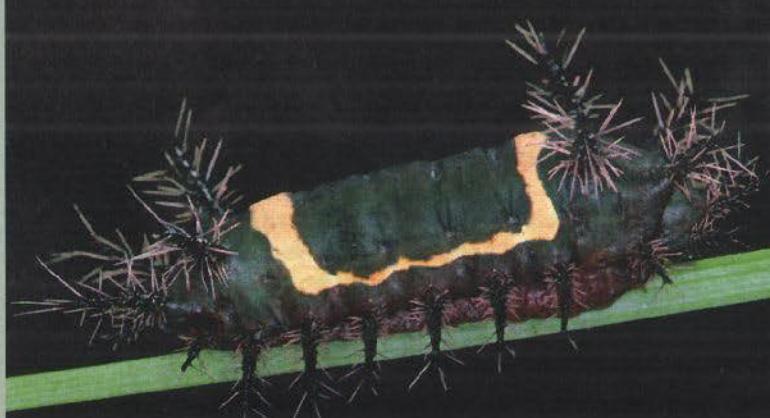


Mit ihrer hoch aufgerichteten Schreckstellung versucht diese Raupe des Totenkopf schwärmers, Feinde in die Flucht zu schlagen. Die Larven gibt es in verschiedenen Farbvarianten – der erwachsene Schmetterling hat jedoch immer das gleiche Aussehen



Feuerraupen werden die Larven der Schmetterlingsfamilie Megalopygidae aus den Wäldern Costa Ricas genannt. Die Giftdornen können beim Menschen zu einem anaphylaktischen Schock führen, einer lebensbedrohlichen Überreaktion des Immunsystems

An eine Nacktschnecke erinnert die Oberseite der Raupe von *Acharia nesea* mit ihren dornenartigen Fortsätzen. Mit den zu einer Kriechsohle umgestalteten Hinterleibsbeinen (lilafarben) saugt sie sich an Blattflächen fest, während sie – überwiegend in der Dämmerung oder nachts – an Pflanzen knabbert



Zum Schmetterling wird am Ende eine jede Raupe. Die gezeigte Art *Mechanitis polynnia* kommt in Mittel- und Südamerika vor



Der US-Forscher Terry Erwin wagte im Jahr 1974 eine Reihe von heute legendären Experimenten: Im Regenwald Panamas spritzte er ein Insektizid in die Krone von Bäumen, sammelte herabgefallene Krabbeltiere ein und bestimmte sie. Was er dabei herausfand, erschütterte das Weltbild der Biologen. Auf manchen Urwaldriesen lebten bis zu 1200 Käferarten und mehr Ameisenspezies als in ganz Europa. Danach musste die angenommene Artenzahl aller Lebewesen auf Erden nach oben korrigiert werden: von rund 1,2 Millionen auf geschätzte fünf bis zehn – vielleicht sogar 30 – Millionen Spezies. Und die weitaus meisten von ihnen sind Insekten.



In der Puppe zersetzen sich die Organe der Raupe, neue wachsen heran: Ein Schmetterling entsteht

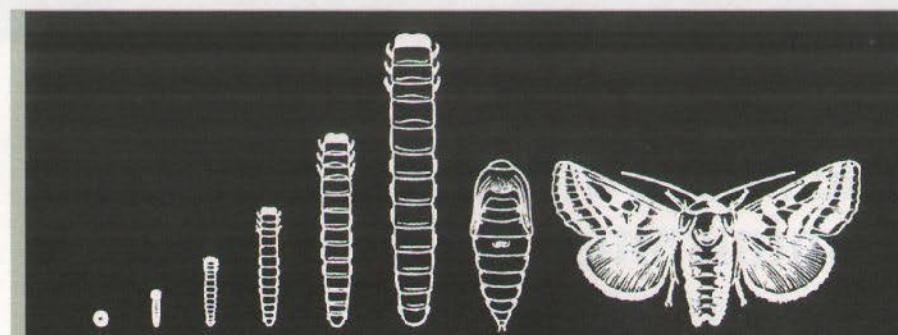
Die Initialzündung für deren ungeheure Vielfalt, so wissen Biologen heute, kam vor mindestens 290 Millionen Jahren, als die Artenzahl der Sechseinser einen großen Schub erhielt. Damals brachte die Natur in der Entwicklung der Kerbtiere die **Verpuppung** hervor – ein geniales Prinzip, das aus einem Lebewesen quasi zwei machte.

Aus einem Insekten-Ei schlüpft seither eine **Larve** (bei Schmetterlingen auch **Raupe** genannt) mit meist einfach gebautem Körper, deren Aufgabe allein darin besteht, zu fressen und sich mehrfach zu häuten. Hat sie eine bestimmte Größe erreicht, sucht sie sich ein geschütztes Plätzchen, wo sie zu einer **Puppe** wird (häufig von einem **Kokon** umgeben).

Nun beginnt ein dramatischer Prozess: Körpereigene Fresszellen verdauen alle Organe zu einem Brei, nur bestimmte Zellen bleiben verschont. Die bauen neue Gewebe und Organe auf, bis schließlich ein komplett anderer Körper entsteht und aus der Puppe das geschlechtsreife Tier schlüpft, die **Imago**.

Diese vollkommene Verwandlung (**holometabole Metamorphose**) ermöglicht es Insekten, im Larvenstadium einen völlig anderen Lebensraum zu bewohnen und andere Nahrungsquellen zu nutzen als die Imago. Die Raupen vieler Schmetterlinge etwa haben sich mit ihren Beißwerkzeugen auf Blätterkost spezialisiert, die erwachsenen Tiere hingegen saugen mit einem Rüssel den Nektar von Blüten. Stechmückenlarven leben im Wasser und filtrieren dort Kleinstlebewesen oder organische Partikel, während die ausgereiften Männchen Obstsaft oder Nektar aufsaugen, die Weibchen Blut. Und die **Engerlinge** des Maikäfers leben unter der Erde, wo sie an Wurzeln knabbern, die fertigen Käfer dagegen fressen bevorzugt Eichenlaub.

Dieses Konzept war so erfolgreich, dass heute mehr als 85 Prozent aller Insektenarten zu den „Holometabolen“



Bei der **holometabolen Metamorphose** verändern sich die Insekten – wie dieser Eulenfalter – im Verlauf ihrer Entwicklung komplett: Aus dem Ei schlüpft zunächst eine unbefruchtete Raupe (Larve), die innerhalb eines Monats fast nur frisst, sich mehrfach häutet und wächst. Sie wird schließlich zur Puppe, die ihren Körper mit all seinen Organen nahezu völlig auflöst und einen neuen aufbaut. Der erwachsene Schmetterling kann fliegen und hat vor allem ein Ziel: Nachkommen zu zeugen.



Bei der **hemimetabolen Metamorphose**, der allmählichen Verwandlung, ähneln die Larven mit jeder Häutung immer mehr dem geschlechtsreifen Tier. Abgebildet ist ein Vertreter der Thysanoptera, zu denen auch die »Gewitterfliegen« gehören. Die meist winzigen Vertreter dieser Ordnung können trotz des zerfransten Aussehens ihrer Schwingen sehr gut fliegen. Andere Insekten mit allmählicher Verwandlung sind etwa Heuschrecken, Wanzen, Steinfliegen, Fangschrecken, Libellen und Termiten.

MEMO | METAMORPHOSE

■■■ VOR MEHR ALS 290 MILLIONEN

Jahren entwickelte sich die Verpuppung.

■■■ 85 BIS 90 PROZENT der Insekten durchlaufen eine vollkommene Verwandlung.

■■■ GESCHLECHTSREIFFE, fertige Insekten wachsen und häuten sich meist nicht mehr.

■■■ DIE UNTERSCHIEDE im Körperbau von Larve und fertigem Insekt ermöglichen die Besiedlung mehrerer Lebensräume.

zählen, darunter Käfer, Bienen, Ameisen, Schmetterlinge, Flöhe und Fliegen.

Fast alle übrigen Spezies erleben eine allmähliche Verwandlung, die **hemimetabole Metamorphose**. Die Larve verändert sich mit jeder Häutung und wächst zur Imago heran. Zu ihnen gehören Eintagsfliegen, Libellen, Ohrwürmer, Schaben, Termiten, Heuschrecken, Läuse und Wanzen. (Rund 6000 urtümliche Arten, **Urinsekten**, kennen keine oder nur eine einfache Form der Metamorphose.)

Die hemimetabole Form war vermutlich die ursprüngliche Metamorphose, die vollkommene Verwandlung in der Puppe kam erst später hinzu.

Eines ist allerdings fast allen geflügelten Insekten gemein: Erst das ausgereifte Tier besitzt funktionstüchtige Schwingen und kann fliegen. Danach häutet es sich kein weiteres Mal, wächst folglich auch nicht mehr – möglicherweise, weil die Flügel eine Häutung auch nicht überstehen würden.

Weshalb jedoch haben gerade die holometabolen Insekten eine derart große Artenzahl hervorgebracht? Viele Forscher sind der Ansicht, das liege an der Nutzung der unterschiedlichen Lebensräume.

Möglicherweise spielt zudem die jeweilige Spezialisierung von Larve und Imago eine Rolle. So sind die Larven der Holometabolen äußerst primitiv gebaut und ganz aufs Fressen eingerichtet. Sie verschwenden keine Energie auf kompliziert gebaute Sinnesorgane, Flügel oder filigran gestaltete Beine, besitzen dafür mächtige Mundwerkzeuge und Verdauungstrakte – sind also optimierte Fressmaschinen.

Die erwachsenen Tiere dagegen sind kaum mehr als fliegende Fortpflanzungsorgane. Bei manchen Arten nehmen sie nicht einmal mehr Nahrung zu sich. Sie sterben, sobald sie ihren Lebenszweck erfüllt haben.

Nachwuchs in die Welt zu setzen. □



Die Fliege und der Feminismus

Sexmonster, die immer nur an das eine denken und dabei keinerlei Rücksicht oder Zartgefühl kennen: In Wirklichkeit richtet sich die kritische Frauenliteratur gar nicht gegen den Mann, sondern gegen das Insekt

Ja, sicher, es gibt Ausnahmen. Schmetterlinge mag jeder. Auch Libellen werden weithin als schön empfunden. Die fleißigen Ameisen und Bienen respektiert man als vorbildliche Arbeitnehmer. Trotzdem ist es ein Faktum, dass in unserem Kulturkreis die meisten Menschen die meisten Insekten ekelig finden, auch wenn die Insektenfreunde und die – gewiss nicht allzu häufig vorkommenden – Insektenfreundinnen diese Botschaft nicht gern hören.

Als Hausgenosse, als Mittagsgericht oder, um kurz in die Abgründe menschlichen Extremverhaltens hineinzuleuchten, gar als Intimpartner könnten die meisten Angehörigen unserer Gattung sich sicher weitaus eher mit einem Vogel, mit einem Fisch oder sogar einem Reptil arrangieren als mit einem Insekt.

Die Entfremdung des Menschen von der Menschlichkeit wird in kaum einem Buch so erschütternd beschrieben wie in Franz Kafkas „Verwandlung“, wo ein Angestellter zum Käfer wird, selbstverständlich wider Willen. In den Science-Fiction-Filmen sehen die Außerirdischen, vor allem die aggressiven und charakterlich fragwürdigen, fast immer nach Insekt aus.

In der Gesamtheit der Fauna verkörpert für viele Menschen das Insekt das schlechthin Fremde, das völlig Andere. Wieso eigentlich?

Ich glaube, es hängt mit der Kombination von harter Außenhaut, zahlreichen Beinen und wenigen Borstenhaaren zusammen. Das Harte kann man nicht streicheln, das Borstige kratzt, und das Vielbeinige juckt. Die meisten Insekten haben so gar nichts Weiches, Flauschiges.

Gewiss, das Gleiche könnte man über Fische und Reptilien sagen. Zusätzlich

gespenstisch und unbegreiflich wirkt es allerdings, dass ein Insekt von der Larve über die Puppe bis zum Endstadium des Tieres in drei völlig verschiedenen Körpern auftritt, ausgerechnet drei, eine magische Zahl, und dabei trotzdem es selber bleibt. Ein Insekt hat im Grunde überhaupt keine festgeschriebene Individualität. Extrem wandelbare Charaktere dieser Art tauchen ansonsten gern in Horrorromanen wie „Dr. Jekyll und Mr. Hyde“ auf.

»Wenn die Kakerlaken erst die Supermacht Nummer eins sind, werden sich selbst die Anhänger der PDS nach den Amerikanern sehnen«

Außerdem sind viele Insekten in einer Weise aufdringlich oder lästig, die es im übrigen Tierreich nicht gibt. Fische und Reptilien suchen das Weite, wenn unsereins sich ihnen nähert, Vögel ebenfalls. Wespen, Stubenfliegen und Ameisen dagegen rücken auf die Pelle, und man wird sie nicht wieder los.

Solch ein Insekt respektiert den Menschen irgendwie nicht. Es akzeptiert nicht, dass der Mensch laut offizieller göttlicher Mitteilung die Krone der Schöpfung ist.

Das beste Beispiel dafür ist die Fliege, mit der man als Mensch eine Nacht in einem Zimmer verbringen muss und die sich immer wieder, mit der Penetranz eines Sektenpredigers und der Todesverachtung eines Selbstmordattentäters, auf das Gesicht des Menschen setzt, mitten in die Krone seiner Intimsphäre hinein.

Insekten verhalten sich herausfordernd und übergriffig. Es sind Rivalen. Mein Biologielehrer pflegte zu sagen: „Wenn es einen Atomkrieg gibt, regieren hinterher Insekten die Erde. Nur Insekten werden übrig bleiben. Vor allem die Kakerlaken.“

Haben das nicht eigentlich, wenn man sich im Bekanntenkreis umhört, alle Biologielehrer früherer Jahrzehnte gesagt? Damit wollten sie ausdrücken, wie schlimm ein Atomkrieg sein würde. Dass die meisten Menschen sterben, wäre dabei nach Ansicht der Biologielehrer nicht einmal das Schlimmste.

Und es ist ja auch etwas dran. Wenn erst einmal die Kakerlaken auf dieser Erde Supermacht Nummer eins sind, wird man sich, selbst als Anhänger der PDS, ganz sicher nach den Amerikanern zurücksehnen.

Insofern leistet dieses Heft einen Beitrag zur Entspannung zwischen denen und uns. Ich habe gelernt, dass die Insekten dem Menschen biologisch eigentlich gar nicht so fern stehen, wie es auf den ersten Blick aussieht. Sie besitzen tatsächlich ein Herz. Sie haben auch Muskeln.

Trotz ihres Chitinpanzers empfinden sie etwas, zumindest Geschmack, selbst wenn sie mit den Haaren auf den Füßen schmecken. Insekten können zuhören, wenngleich das Ohr manchmal im Hinterleib oder der Brust sitzt. Und einige von ihnen kümmern sich sogar um ihre Kinder.

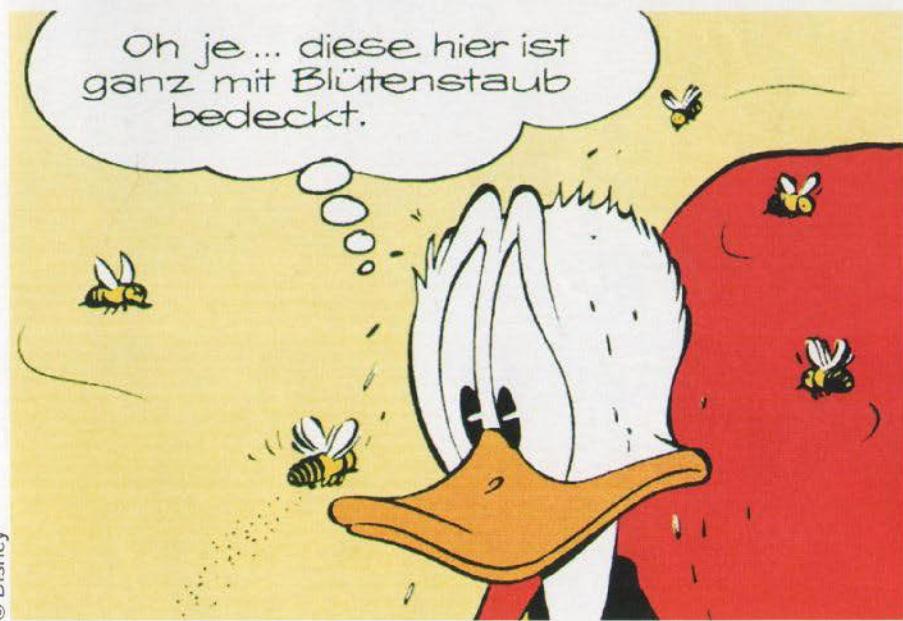
Das, was unsereinem ein andersartiges Geschöpf am sympathischsten macht, ist vielleicht die Intelligenz. Intelligenz ist typisch menschlich. Intelligenz hat uns Menschen zu den Herrschern der Erde

gemacht. In einem intelligenten Tier erkennen wir sofort den Verwandten und sehen es auf Augenhöhe, selbst wenn es im Wasser lebt wie der Delfin oder in den Bäumen turnt wie der Affe.

Unheimlich an den Insekten finde ich, dass sie außerordentliche Leistungen bei sehr geringer individueller Intelligenz vollbringen. Es ist offenbar immer noch nicht ganz geklärt, weshalb ein so außerordentlich dummes Tier wie die Stuben-

unheimlich ist. In dem Horrorfilmklassiker „Die Fliege“, von dem es mehrere Versionen gibt, verwandelt sich ein Mann allmählich in eine riesige Stubenfliege. Am Anfang findet er die Verwandlung sogar gut, unter anderem deshalb, weil seine sexuelle Leistungskraft sich in geradezu explosionsartiger Weise steigert, während er außen herum immer noch ziemlich menschlich aussieht.

Bekanntlich beschreiben die Theoretikerinnen des Feminismus den Mann häufig als ein seelenloses Sexmonster, welches immer nur an diese eine gewisse



fliege ein so exzenter Flieger sein kann. Die Fliege kann uns völlig fertigmachen, obwohl ihr Hirn nicht der Rede wert ist.

Die, überspitzt gesagt, hirnlosen, zum Selbstzweifel unfähigen Karrieristen namens Insekten repräsentieren auf der Erde das völlig andere, ein von uns, den Intellektuellen der Erde, total verschiedenes Erfolgskonzept der Schöpfung. Erfolg durch Dummheit und Dreistigkeit. Sie sind wirklich Rivalen.

Manche Eigenschaften oder Triebe, die auch wir besitzen, werden von den Insekten in einer Weise radikalisiert, die ebenso

Sache denkt und dabei keinerlei Rücksicht oder Zartgefühl kennt. Diese Beschreibungen der Frauenliteratur gelten in Wirklichkeit nicht so sehr für den Mann, sondern für die Fliege. In Wirklichkeit richtet der Feminismus sich nämlich gegen die Fliegen.

Gleichzeitig sind die Fliegen eine lebende Warnung vor der Überbewertung dieser Sache. Die Eintagsfliege (die gar keine Fliege ist – aber das ist ein anderes Problem) denkt nur an Sex und tut ihr

Leben lang nichts anderes, aber sie stirbt daran, und zwar schnell. Wenn man sie daran hindert, sich ununterbrochen zu paaren, lebt die Eintagsfliege bis zu acht Tage lang. Achtmal länger! Das heißt, wir Menschen würden bei Verzicht auf Sex ganze 560 Jahre alt werden.

Heuschrecken dagegen verhalten sich so, wie angeblich auch wir Menschen es im Zeitalter der Globalisierung tun sollen. Sie sind örtlich fast unbegrenzt flexibel, sie gehen in großer Zahl dorthin, wo das Futter ist. Sie flüchten nicht in Vereinzlung, sondern halten zusammen in der Stunde der Not. Sie zeigen Teamgeist und Pragmatismus, das heißt, sie wechseln sogar die Farbe, wenn die Verhältnisse es erfordern.

Ähnlich wie die Haie haben auch Heuschrecken einen gesegneten Appetit und nehmen bei der Nahrungsaufnahme auf Menschen keine Rücksicht. In den neueren Tierfilmen aber heißt es fast immer, man solle für den Hai Verständnis haben. Der Hai sei besser als sein Ruf.

Das Wort „Heuschrecke“ ist bei uns zu einem Schimpfwort für Investoren geworden, die Firmen aufkaufen, um in kürzester Zeit möglichst viel Profit zu machen und dann weiterzuziehen. Bis vor einiger Zeit hießen Investoren von zweifelhafter Moral meistens „Finanzhaie“. Das Wort „Heuschrecke“ klingt offenbar abwertender als „Hai“. Und wenn Heuschrecken sich zusammenrotten, sprechen manche Forscher von „Sportpalaststimmung“, eine Anspielung auf die Nazis. Dem Hai hat meines Wissens noch nie jemand vorgeworfen, dass er ein Nazi sei.

Mit anderen Worten: Eher schwimmt ein Hai durch ein Nadelöhr, als dass der Mensch die Insekten liebt. □

Harald Martenstein, 53, ist Schriftsteller und Kolumnist in Berlin.



Der Käfer-Ki

Bei ihrer Brut verfolgen Insekten ganz unterschiedliche Strategien: Manche und opfern im Extremfall sogar das eigene Leben. Andere verteilen riesige

Unter der Mutter als Schutzhilfe
versammeln sich die Larven des brasili-
nischen Schildkäfers. Das Weibchen hat
seinen Nachwuchs bereits im Gelege bewacht
und begleitet ihn später auch zu den Futterstellen – immer darum bemüht, die Klei-
nen beieinanderzuhalten. Ein Trick hilft
gegen Räuber: An den Hinterleibern der Lar-
ven kleben unappetitliche Exkreme



Text: Martin Paetsch

enn in Afrika ein Elefant einen Haufen macht, beginnt schon bald ein reges Krabbeln: Vom Geruch angelockt, machen sich nach 30 Minuten bereits Tausende Käfer am Dung zu schaffen. Einige formen daraus fünf Zentimeter große Kugeln, die sie anschließend im Rückwärtsgang wegrollen. Nach zwei Stunden können so anderthalb Kilo Kot restlos verschwunden sein.

Viele der Kugeln dienen als Nahrungsvorrat für die kotfressenden Sechsbeiner. Doch manche dieser „Pillendreher“ mühen sich auch im Dienste der Reproduktion: Nachdem ein Insektenpaar gemeinsam einen Dung-



Einen Ball aus Dung formen zwei
Pillendreher-Käfer – Heim und Verpfle-
gung für die Nachkommen

Wundergarten

kümmern sich mit großem Aufwand um wenige Nachkommen
Mengen an Eiern – und überlassen sie dann sich selbst



Eine raffinierte Brutpflege betreiben Buckelzirpen der Art *Aetalion reticulatum* im brasilianischen Regenwald. Ihre frischen Gelege bewachen sie selbst, den geschlüpften Nachwuchs überlassen sie dagegen der Obhut von Ameisen (in der Bildmitte an der Zweiggabel). Denn die leben vom Honigtau, den die rot gemusterten jungen Buckelzirpen ausscheiden – und beschützen sie im Gegenzug

ball geformt hat, rollt ihn das Männchen bis zu 40 Meter weit – das Weibchen reitet währenddessen auf der Kugel. Dann wird der Mist in einem unterirdischen Nest vergraben, in dem auch die Paarung stattfindet.

Aus dem Kot formt das Weibchen anschließend meist nur zwei bis vier **Brutbirnen**, in die es jeweils ein Ei legt. Während die Larven heranwachsen, bewachen die Eltern das Nest und scheuen keinen Aufwand: So produziert das Muttertier unter anderem antibiotische Substanzen, um den Mist und dessen kostbaren Inhalt, aber auch sich selbst vor Pilzbefall zu schützen.

Sogar die spezielle Birnenform mit der Eikammer am oberen Ende hat ihren Sinn: Wahrscheinlich dient sie der besseren Luftversorgung – und erhöht somit die Überlebenschancen der wenigen Nachkommen.

Den Aufwand, den die Pillendreher für ihren Nachwuchs treiben, diese **Brutpflege** hätten noch vor 30 Jahren

die meisten Forscher Insekten nicht zugetraut – sie galten als zu primitiv. Doch mittlerweile wissen die Biologen: Die Vielfalt der Fortpflanzungsstrategien in der Welt der Krabbler ist nahezu unüberschaubar.

Von den lebend gebärenden Kakerlaken bis zu den unfruchtbaren Arbeiterinnen in Insektstaaten finden sich alle nur denkbaren Spielarten.

Häufig verfolgen selbst miteinander eng verwandte Spezies vollkommen unterschiedliche Strategien. Deshalb bietet kaum eine andere Tiergruppe den Wissenschaftlern so gute Möglichkeiten, die Ursachen des Brutverhaltens zu erforschen.

Innerhalb dieser Vielfalt verkörpern die fürsorglichen Kotkäfer das eine Extrem; für das andere steht etwa die australische Geistermotte.

Das Weibchen dieses Falters lässt seine Eier während des Fluges einfach zu Boden fallen. Dabei versucht es aber, auf ein besonderes Gewächs zu zielen:

den Roten Eukalyptus, dessen Wurzeln den Larven später als Nahrung dienen sollen. Die Eiablage ähnelt einem flächendeckenden Bombardement: Forscher berichteten von einer Motte, die 29 100 Eier gelegt hatte. Als man sie genauer untersuchte, fanden sich in ihr noch 15 000 weitere Eier.

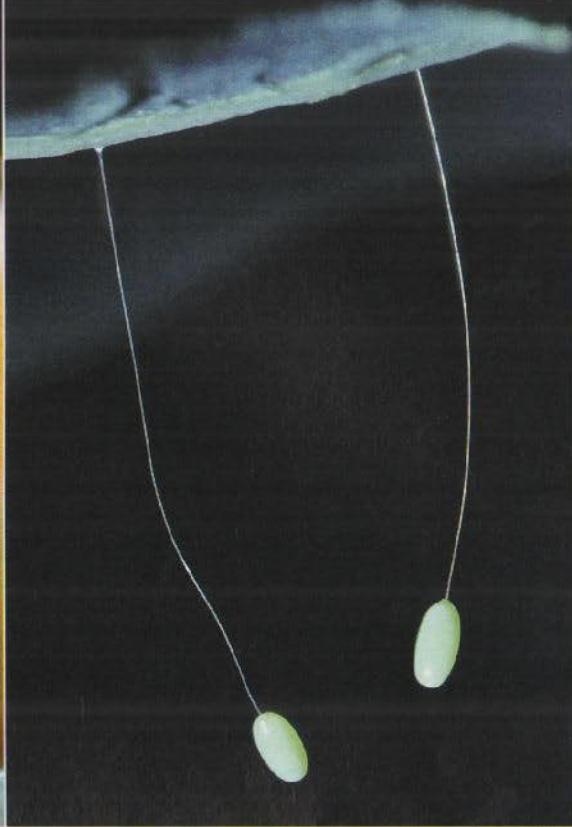
Die Massenproduktion hat einen guten Grund: Von Räubern, Temperaturschwüngen, Parasitenbefall und Nahrungsknappheit dezimiert, erreicht nur ein Bruchteil der Sprösslinge ein fortpflanzungsfähiges Alter.

Am Ende schafft es die Geistermotive, gerade so viele Nachkommen in die Welt zu setzen, wie nötig sind, um den Fortbestand der Art zu sichern – genau wie der Kotkäfer mit seinen ganz anderen Mitteln.

SO UNTERSCHIEDLICH DIESE Strategien auch sein mögen, beide haben sich bewährt. Jede Verhaltensweise gleicht einer unerbittlichen Kos-



Der Kohlweißling deponiert seine Eier auf den Blättern von Futterpflanzen. So kann die frisch geschlüpfte Schmetterlingsraupe sofort mit ihrer Hauptaufgabe beginnen: dem Fressen. Für die Mutter aber ist die Brutfürsorge mit der Eiablage erledigt



An Stielen hängen die Eier der Florfliege von einer Blattunterseite in der Nähe von Blattlauskolonien, der Nahrung der Larven

ten-Nutzen-Kalkulation, die ständig neu aufgestellt wird. Dabei setzt sich jene Strategie durch, bei welcher der Nutzen überwiegt: Und das Einzige, was in der evolutionären Endabrechnung als solcher verbucht wird, ist eine möglichst große Zahl von Nachkommen.

Um zu einer positiven Nachwuchsbilanz zu kommen, muss zunächst einmal jedes Insekt investieren – denn bereits die Herstellung der Eier kostet Energie. Während der Eiablage, die sich über mehrere Stunden oder sogar Wochen hinziehen kann, ist die Mutter zudem oft eine einfache Beute. Insekten wie der Käfer opfern für die Aufzucht ihrer Jungen sogar einen Gutteil ihrer Lebenszeit.

All dies sind Kosten: Sie schwächen das Tier, erschweren die Nahrungs suche und erhöhen das Risiko, einer Krankheit oder einem Räuber zum Opfer zu fallen – und am Ende gar keinen Nachwuchs zu haben.

Darüber hinaus kann jeder Zeitver lust dazu führen, dass ein Insekt im Laufe seines meist kurzen Daseins weniger Eier legt: Während es sich um ein Gelege kümmert, kann es sich nicht erneut fortpflanzen.

Die Geistermotte dagegen hält die Investition in jedes einzelne Ei so niedrig wie möglich – und nimmt dafür eine hohe Verlustrate unter ihren Nachkommen in Kauf. Weil sie aber viele Eier legt, fällt die Endabrechnung dennoch positiv aus: Der Nutzen pro Ei ist sehr gering, die Kosten aber sind noch geringer. Bei einer nur etwas höheren Sterblichkeit der Larven wäre diese Strategie jedoch äußerst riskant.

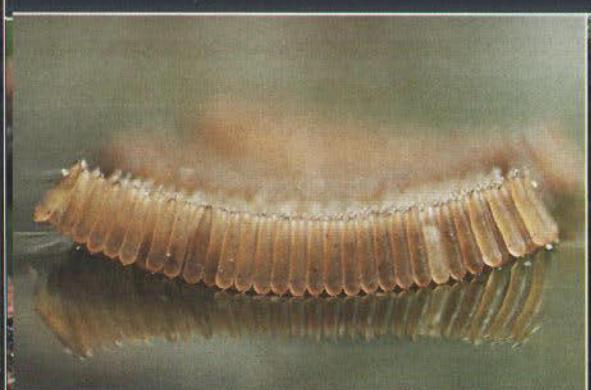
Die meisten Insektspezies investieren ein wenig mehr: Sie betreiben **Brutfürsorge**, indem sie ihre Eier zum Beispiel an einer geschützten Stelle ablegen. Manche kleben sie an Pflanzen stiele, verstecken sie in Hohlräumen oder injizieren sie in Wirtstiere.

Andere bauen Nester, indem sie Blätter zurechtschneiden und zu einem Behältnis für ihre Eier zusammenrollen. Das kostet zwar Zeit und Energie, doch die Brut ist dadurch besser vor Räubern und schädlichen Umwelteinflüssen geschützt (und kann zudem gleich nach dem Schlüpfen fressen).

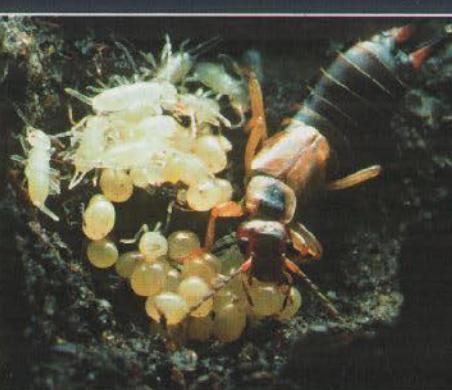
Manchmal reicht jedoch auch diese Hilfe nicht aus, um eine genügend große Zahl an Nachkommen zu ge-

Eine Abwägung von **Kosten** und **Nutzen** bestimmt die Fortpflanzungsstrategie

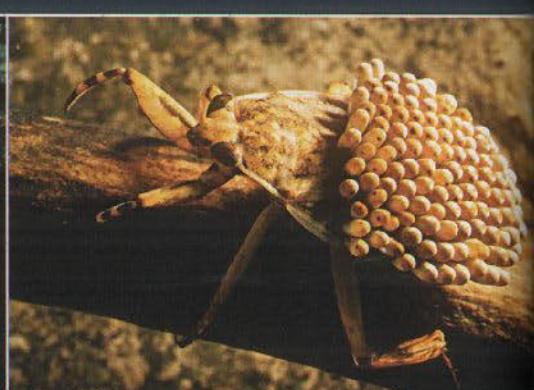
währleisten. Sind die Bedingungen besonders gefährlich – bedrohen möglicherweise viele Feinde die Eier –, ist es für die Eltern lohnend, ihr Gelege



Ihre Eierpakte legt die Stechmücke auf der Wasseroberfläche ab. Die geschlüpften Larven sind auf sich allein gestellt



In einer Höhle bewachen Ohrwürmer ihre Eier und säubern sie von Pilzbefall. Stirbt die Mutter, dient sie den Larven als Nahrung



Auf dem Rücken trägt das Männchen der im Wasser lebenden Riesenwanze die Eier: um sie optimal mit Sauerstoff zu versorgen

sogar zu bewachen – also Brutpflege zu betreiben.

Gottesanbeterinnen etwa umhüllen ihre Eier mit einem schaumigen Sekret, um sie vor Temperaturschwankungen zu schützen, und verharren oft wochenlang über dem Eipaket, um es gegen die Vorstöße lauernder Parasiten zu verteidigen.

Ohne das wehrhafte Weibchen wäre ein Großteil des Geleges, und damit der elterlichen Gene, verloren.

DIE MEISTEN SOLCHER Spezies überlassen ihre Jungen, sobald diese geschlüpft sind, sich selbst. Doch einige Arten betreiben eine Intensivpflege: Neben den Kotkäfern gehören dazu die Totengräber, die Kadaver etwa von Nagetieren und Vögeln vergraben und in ihnen die Eier deponieren.

Diese Käfer bewachen ihren Nachwuchs nicht nur, sondern füttern ihn mit ausgewürgtem, halbverdautem Fleisch. Auch einige Sand- und Grabwespen verproviantieren ihre gefräßi-

seine unreifen Nachkommen sogar wie eine Herde: Es überwacht die Wanderung der teilweise mehr als 100 Jungen von einem Blatt zum anderen. Wird die Versammlung von einer räuberischen Sichelwanze attackiert, versperrt die Mutter dem Angreifer den Weg und versucht ihn durch Flügelschlagen abzulenken, während sich die Jungen in ein eingerolltes Blatt flüchten.

Ohne mütterliche Hilfe hätte der Nachwuchs kaum eine Chance: Alleingelassen, würden nur etwa drei von 100 Nachkommen überleben.

Zudem opfert die Mutter fast die Hälfte ihres Erwachsenenlebens, bis die Jungen sämtliche Entwicklungsstadien durchlaufen haben. Weil die Eiproduktion in dieser Zeit unterdrückt ist, verringert sich die Gesamtzahl ihrer Nachkommen erheblich.

Dieser Konflikt führt häufig zu einem Verhalten, das Forscher lange Zeit nur von Vögeln kannten: Wenn sich die Möglichkeit dazu bietet, deponiert das Gitterwanzenweibchen seine Eier im Gelege einer Artgenossin. Solange sich weitere Gelegenheiten ergeben, kann es nun kontinuierlich Eier legen.

Diese Fremdelegerinnen produzieren in ihrem Leben mehr als doppelt so viele Eier – ein klarer evolutionärer Vorteil. Nur wenn keine fremden Gelege in Sicht sind, fabrizieren die Weibchen ihr eigenes. Die Hege der Brut ist also nichts anderes als eine Notlösung.

Ein solch **opportunistisches Verhalten** passt scheinbar gut zu der früher

unter Biologen verbreiteten Auffassung, wonach die Brutpflege auch bei den Insekten an der Spitze der evolutionären Entwicklung steht. Doch stattdessen ist sie womöglich in vielen Fällen genau das Gegenteil: ein Relikt aus längst vergangener Zeit.

Denn ursprünglich kümmerten sich vermutlich weitaus mehr Insektenarten als heute um ihren Nachwuchs. Erst die Entwicklung widerstandsfähiger Eihüllen erlaubte es später manchen Kerbtieren, ihre Gelege sich selbst zu überlassen.

Dank des **Ovipositors**, eines länglichen Fortsatzes am Hinterleib, konnten sie die Eier zudem an geschützten Stellen, zum Beispiel im Boden, depozieren – und so den hohen Preis der Brutpflege vermeiden.

Seither haben viele Spezies das kostspielige Verhalten abgeschafft. Und so ist der flache, an einen mittelalterlichen Schild erinnernde Panzer mancher noch heute vorkommender Insekten lediglich ein Überbleibsel: Zwar könnten sie damit ihre heranwachsenden Nachkommen schützen, doch haben sie die Brutpflege längst aufgegeben.

UNTER WELCHEN UMSTÄNDEN sich eine derart intensive Betreuung als Fortpflanzungsstrategie durchsetzt, hat der amerikanische Biologe Edward O. Wilson in einer These zusammenzufassen versucht. Danach entwickelt sich elterliche Rundum-Fürsorge vor allem dann, wenn die Bedingungen entwe-

Manche Ohrwurm-Mutter lässt sich von **ihrer Brut** verspeisen

gen Larven regelmäßig mit neuer Jagdbeute.

Das Weibchen einer nordamerikanischen Art von Gitterwanzen hüttet

der besonders günstig oder aber sehr ungünstig sind – wenn beispielsweise extremes Klima herrscht, schwer zu erschließende Nahrungsquellen genutzt werden oder die Tiere durch Räuber bedroht sind.

Tatsächlich könnte sich die Brutpflege der Pillendreher entwickelt haben, weil ihre Nahrungsquelle, der Dung, äußerst begehrt ist und zudem ständig vor dem Verrotten bewahrt werden muss.

Unter extremen Bedingungen kommt es bei manchen Spezies sogar zu selbstzerstörerischem Verhalten. Etwa bei den japanischen Ohrwürmern, die ihr Leben in einer besonders risikoreichen Umgebung verbringen: Sie nisten im Winter am Rande von Bergflüssen, die bei Tauwetter über die Ufer treten.

Diese stets drohende Gefahr bringt die Weibchen nicht nur dazu, ihren Jungen beim Schlüpfen zu helfen und hinderliche Eierschalen mit den

Mundwerkzeugen zu entfernen. Am Ende lassen sich viele Mütter von ihrer Brut sogar lebendig verspeisen – und verschaffen ihren Nachkommen so ein Startkapital an Kalorien.

GÄBE ES UMGEGEKEHRT all die Räuber nicht, die Jagd auf frische Gelege und

MEMO | BRUTVERHALTEN

»»» **AUSTRALISCHE GEISTERMOTTEN** lassen ihre Eier auf den Boden fallen und kümmern sich dann nicht mehr um sie.

»»» **MANCHE WANZENWEIBCHEN** deponieren ihre Eier einfach im Gelege einer Konkurrentin.

»»» **EINE KÄFERART** füttert ihre Larven sogar mit ausgewürgtem Fleisch.

»»» **GOTTESANBETERINNEN** schützen die Eier mit einem schaumigen Sekret vor Temperaturschwankungen.

und keine Nahrungskonkurrenz – dann hätten jene Insektenarten, die auf Masse setzen, längst den Planeten überschwemmt.

Etwa die Taufliege. Unter idealen Bedingungen braucht ein Weibchen nicht einmal zwei Wochen, um zu schlüpfen, sich zu paaren und dann mindestens 100 Eier zu legen.

Würden alle seine Nachkommen überleben und sich erfolgreich paaren, und deren Nachkommen ebenso, dann gäbe es auf der Erde bald keinen Platz mehr für andere Lebewesen.

Innerhalb nur eines Jahres, so haben Forscher berechnet, wäre die Menge der Abkömmlinge von einer einzigen Taufliege auf eine Zahl mit 41 Nullen angestiegen. Wären nun 60 Individuen in jeweils einem Kubikzentimeter zusammengepackt, ergäbe die Masse einen Ball mit 150 Millionen Kilometer Durchmesser.

Eine Insektenkugel, so groß wie der Abstand zwischen Erde und Sonne. □

Larven machen; gäbe es keine widrigen Umwelteinflüsse, keine Seuchen

ANZEIGE

Konzentrierter. Ausgeglichener. Belastbarer.

Was mein Gehirn zum Denken braucht.



Unser Gehirn ist die Schaltzentrale des Lebens: Es organisiert unsere geistige Leistungsfähigkeit, das Denkvermögen, die Konzentration. Ein Netzwerk aus 100 Milliarden Gehirnzellen – und jede Zelle eine Energiequelle, die wir besser nutzen können. Für mehr Gehirnleistung und mehr Konzentration.

Unsere Konzentration ist abhängig von der Energieleistung der Mitochondrien. Diese „Kraftwerke“ in den Gehirnzellen versorgen uns jeden Tag mit neuer Energie.

Auf diese natürliche Energieproduktion der Gehirnzellen kann man heute gezielt einwirken und die **Gehirnleistung „ankurbeln“**. Genau dafür wurde **Tebonin®** mit dem

exklusiven Ginkgo-Spezialextrakt EGB 761® entwickelt. **Tebonin®** schützt die Mitochondrien vor Leistungsabfall, ihre Energieversorgung bleibt aktiv. Selbst angegriffene Zellen können wieder regeneriert werden. So wird auf natürliche Weise Ihre geistige Leistungsfähigkeit gesteigert.

Nach wenigen Wochen werden Sie feststellen: Sie sind **konzentrierter und die Gedächtnisleistung nimmt zu**. Besser belastbar meistern Sie die Anforderungen des Alltags leichter und sind ausgeglichener. Kurz: Sie haben **spürbar mehr Gehirnleistung** – auch andere werden es merken. Fragen Sie noch heute Ihren Apotheker nach **Tebonin®**. Er wird Sie gerne beraten.

www.tebonin.de

Tebonin®

Mehr Energie für das Gehirn



Stärkt Gedächtnis und Konzentration.

Tebonin®

intens 120 mg



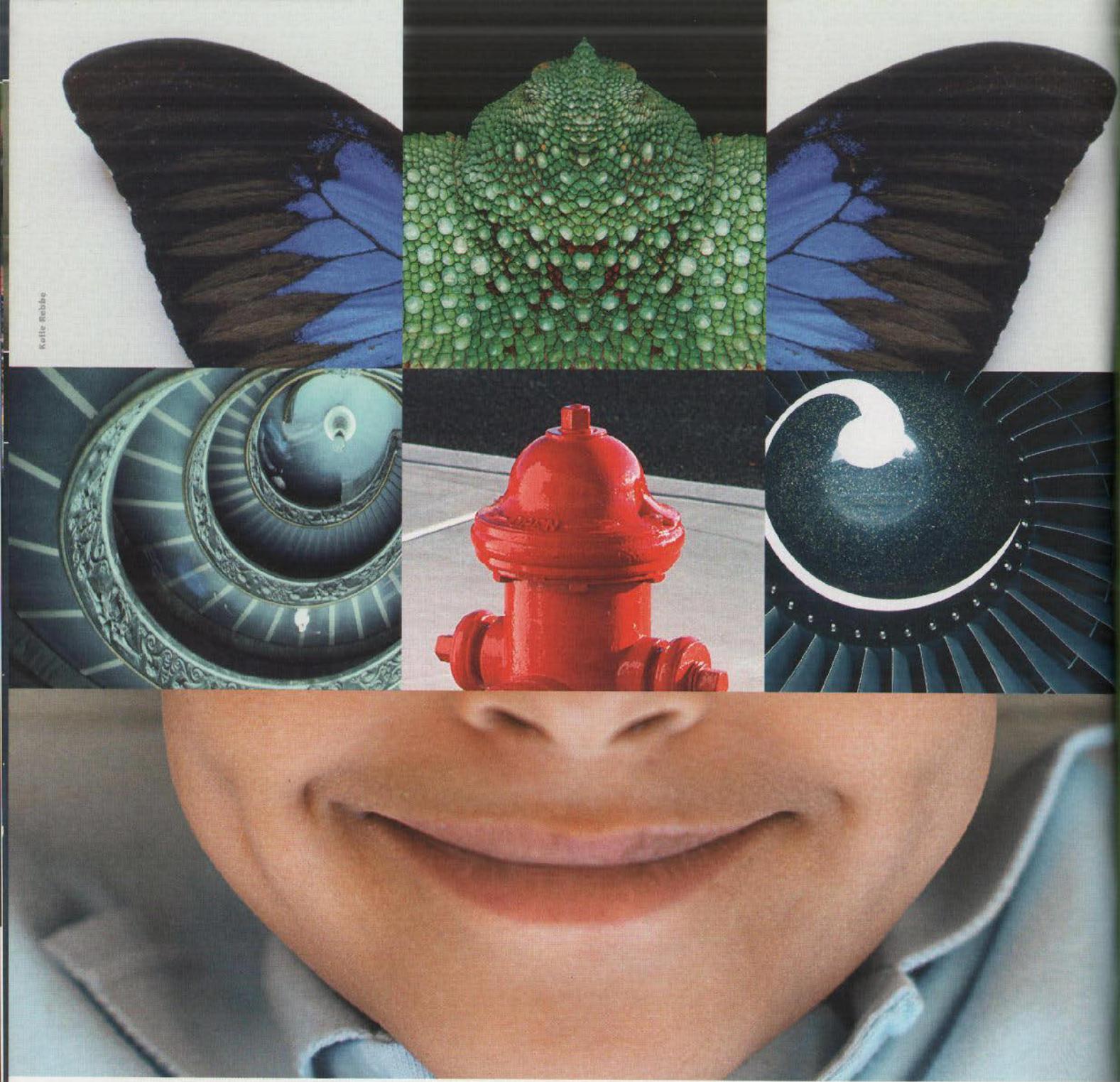
Pflanzlicher Wirkstoff.
Gut verträglich.



Mit der Natur.
Für die Menschen.

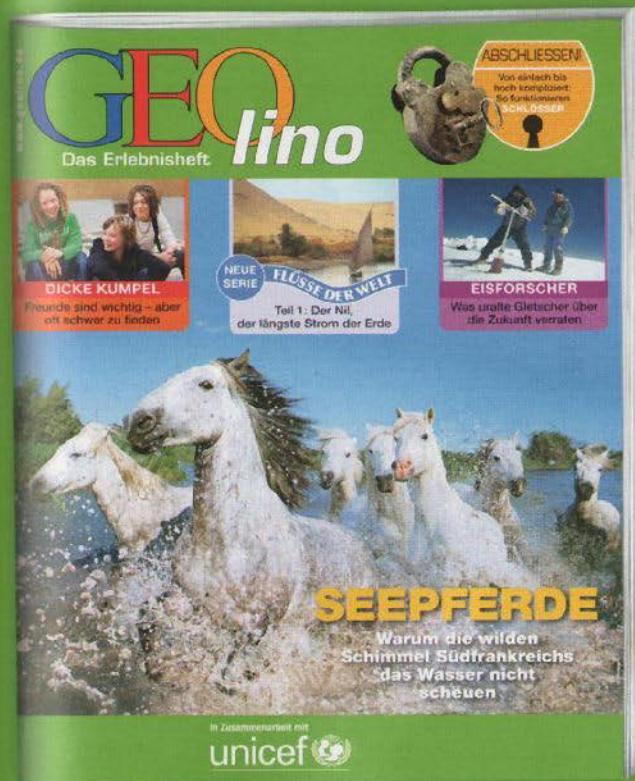
Dr. Willmar Schwabe Arzneimittel
www.tebonin.de
www.schwabe.de

Stand: 04/07 T/04/07/5/1

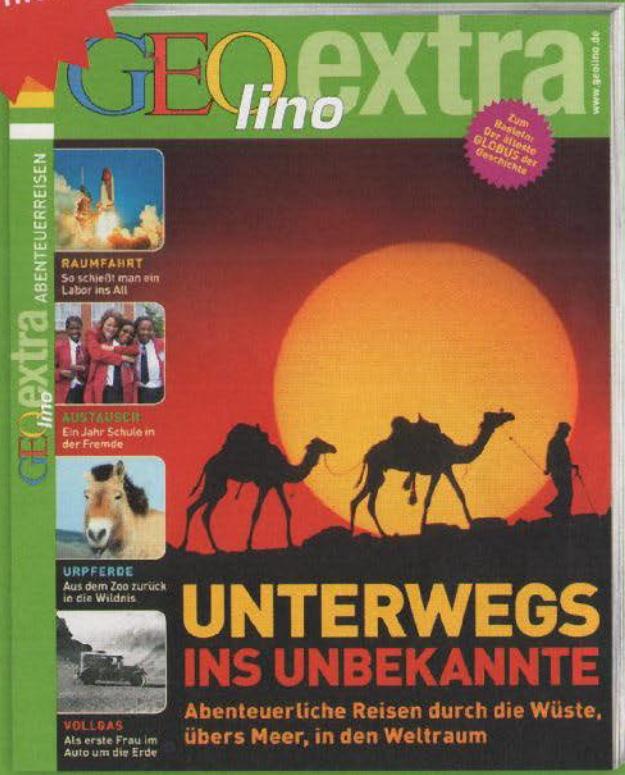


Zeigen Sie Ihren Kindern

Diesen Monat wieder neu: GEOlino – das Magazin für junge Entdecker. Und für alle, die noch mehr erleben.



Das große
Extra-Heft von
GEOlino.

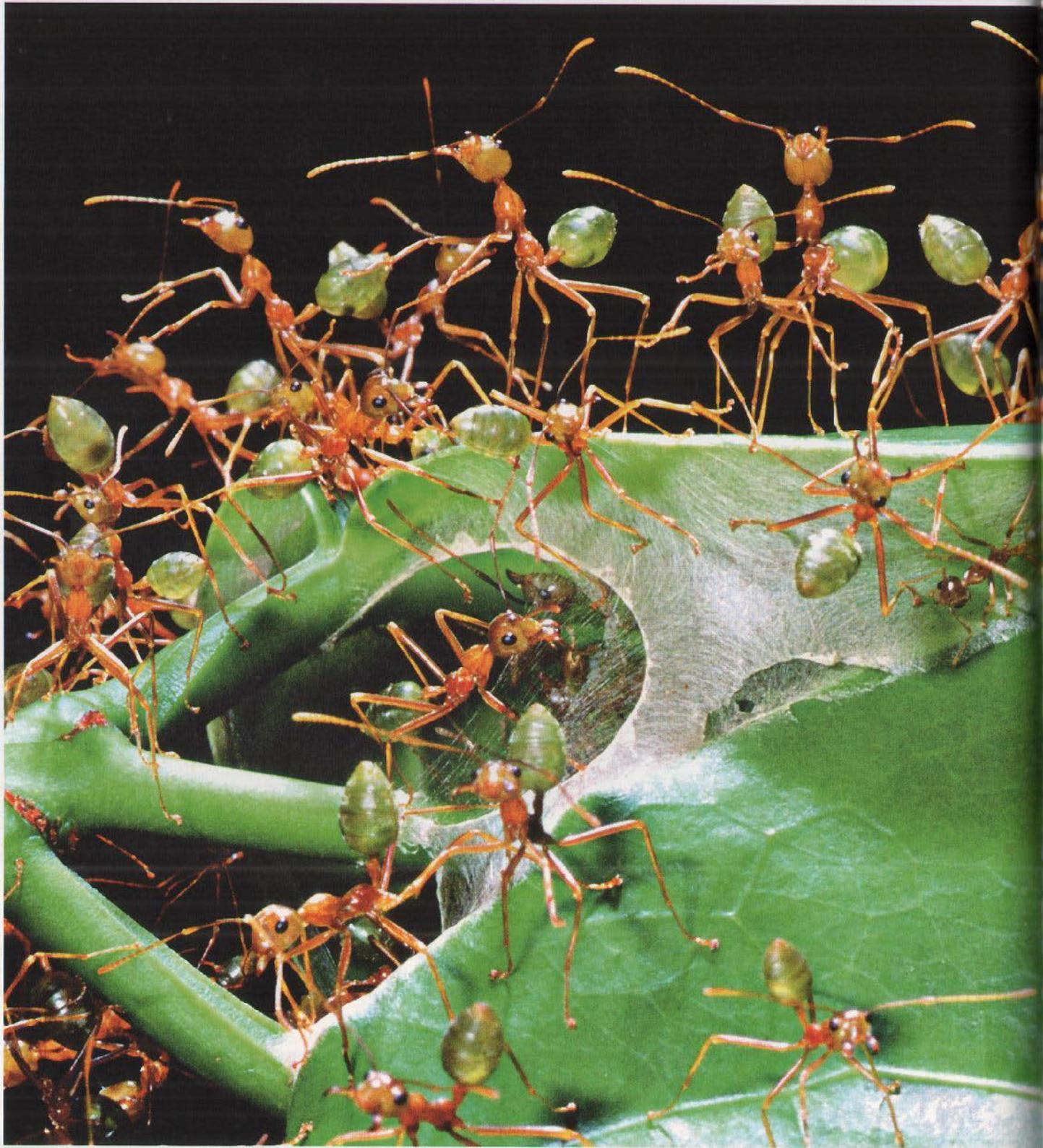


GEOlino. Wissen macht Spaß

die Gesichter der Welt.

wollen, gibt es außerdem GEOlino extra. In der neuen Ausgabe: Mutige Draufgänger und tollkühne Abenteurer.

mit der kraft de



Das kollektivs



Zur Verteidigung ihres aus Blättern geformten Nestes beziehen die Arbeiterinnen dieser australischen Weberameisen Position, alarmiert durch Duftstoffe, die ihre Wachposten abgegeben haben

Biologen vergleichen sie mit Superorganismen: Wie die Zellen eines Organs sind Ameisen allein für sich schwach, doch in der Gemeinschaft zu erstaunlichen Leistungen fähig

Text: Rainer Harf

Verrückte Ameise“ nennen die Menschen in Uruguay jenes Tier, das im Büro von Oliver Geissler gerade seinen Auftritt hat. Im weltweit renommierten Würzburger Institut

für Verhaltensphysiologie und Soziobiologie krabbelt das Insekt aus der **Gattung** der Rossameisen über einen drei Meter langen Steg, an dessen Ende Geissler einen Tropfen Zuckerwasser platziert hat.

Dort angekommen, beginnt es sofort zu trinken. Langsam bewegt das Tier seine Fühler hin und her, während es die

Auf der japanischen Insel Hokkaido hat sich eine Riesenkolonie ausgetragen – mit 45 000 Nestern und 300 Millionen Ameisen

Kiefer weit auseinanderspreizt. Dabei scheint sich die Ameise weder von dem Forscher irritieren zu lassen noch von den Kameras, die jede ihrer Bewegungen auf zwei Monitore übertragen.

Etwa eine Minute lang saugt das Tier am Tropfen, bis sich sein Hinterleib wie ein Ballon aufgebläht hat. „Sie kann ihr eigenes Körpergewicht an Flüssigkeit aufnehmen“, sagt Geissler, als sich die Ameise auf den Rückweg zu ihrer Kolonie macht, die in einer Plastikbox am anderen Ende des Holzstegs haust.

Auf dem Hinweg ist sie noch flink gelaufen. Doch nun torkelt sie und bewegt sich zittrigen Schrittes zurück zum Nest – gerade so, als hätte sie Alkohol getrunken. Es ist dieses kuriose Verhalten, dem die in Südamerika heimische Spezies ihren Spitznamen verdankt.

Geissler schaltet eine Hochgeschwindigkeitskamera ein. Mit 250 Bildern pro Sekunde erfasst das Gerät Details, die dem menschlichen Auge entgehen. In

Zeitlupe offenbart sich ein merkwürdiges Verhalten: Auf ihrem Weg bleibt die Ameise immer wieder stehen, wölbt ihren Rücken nach oben und presst dabei die Spitze ihres Hinterleibs für den Bruchteil einer Sekunde auf den Boden.

Dann eilt sie ein paar Schritte weiter und wiederholt die Bewegungen.

DIESE EIGENTÜMLICHE Darbietung der Rossameise ist Teil ihrer Sprache: einer Verständigung, mit der Ameisen Informationen austauschen und deren Rätsel die Forscher erst allmählich zu durchdringen vermögen.

Eines aber steht schon fest: Ihre Kommunikationsfähigkeit ist einer der Schlüssel für den Erfolg dieser Insektenfamilie, die beinahe jeden Landlebensraum der Erde besiedelt. Ameisen bewohnen das abgefallene Laub nordamerikanischer Wälder ebenso wie die Böden asiatischer Steppen; sie nisten im heißen Wüstenland der Sahara und besetzen die Baumkronen tropischer Regenwaldriesen.

Die Hügelnester einiger europäischer Waldameisen können mehrere hunderttausend Tiere beherbergen; manches Volk südamerikanischer Blattschneiderameisen zählt bis zu acht Millionen Mitglieder. Und auf der japa-

nischen Halbinsel Hokkaido entdeckten Biologen eine Superkolonie der Ameisenart *Formica yessensis* – in gut 45 000 miteinander verbundenen Nestern leben dort mehr als 300 Millionen Insekten auf einer Fläche von 270 Hektar. Sie bilden eine der größten Gemeinschaften im Tierreich.

Weltweit bevölkern schätzungsweise zehn Billiarden Ameisen die Kontinente – gemeinsam wiegen sie so viel wie die gesamte Menschheit. Bemerkenswerter noch als ihre schiere Masse ist jedoch die Fähigkeit, im Kollektiv zu arbeiten: Waldameisen überwältigen Tiere, die hundertmal schwerer sind; benachbarte Stämme liefern sich Gefechte um die Grenzen ihrer Territorien; und mancherorts rücken millionenstarke Ameisenheere zu regelrechten Raubzügen aus.

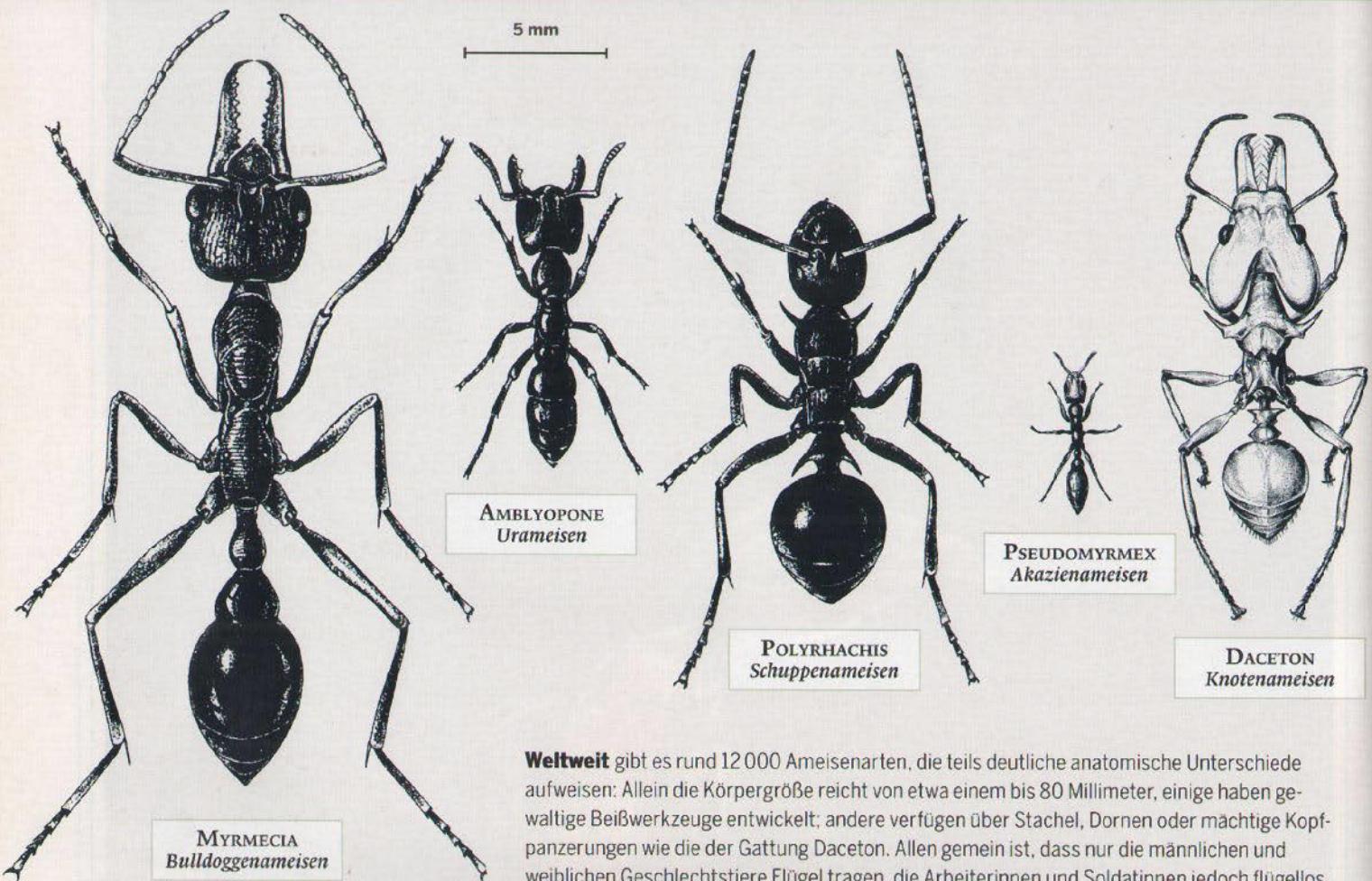
ZU WELCHEN GROSSTÄTEN die Winzlinge in der Lage sind, wird im Büro von Flavio Roces deutlich, dem Leiter der Arbeitsgruppe Verhaltensökologie am Würzburger Institut. Roces hat Fotos eines Gebildes an die Wand gehetzt, das aus Hunderten von Kammern besteht, die über schmale Röhren miteinander verbunden sind: Es ist das riesige, unterirdische Nest von Blattschneiderameisen, das die Würzburger Wissenschaftler in Zusammenarbeit mit brasilianischen



Selbst Skorpione. Spinnen, Eidechsen, Schlangen und junge Vögel gehören zur Beute der Treiberameisen (im Bild links). Oft jagen sie – wie hier zu sehen – anderen Spezies den Fang ab



Mit einer wirksamen Waffe bekämpfen Waldameisen ihre Feinde: Aus einer Drüse im Hinterleib versprühen sie gezielt eine ätzende Säure, die zudem andere Tiere alarmiert. Auf diese Weise können ein paar hundert Ameisen auch zentnerschwere Braunbären verjagen



Weltweit gibt es rund 12 000 Ameisenarten, die teils deutliche anatomische Unterschiede aufweisen: Allein die Körpergröße reicht von etwa einem bis 80 Millimeter, einige haben gewaltige Beißwerkzeuge entwickelt; andere verfügen über Stachel, Dornen oder mächtige Kopfpanzerungen wie die der Gattung Daceton. Allen gemein ist, dass nur die männlichen und weiblichen Geschlechtstiere Flügel tragen, die Arbeiterinnen und Soldatinnen jedoch flügellos sind – wie diese Auswahl zeigt. Zudem verfügen Ameisen über einen dehnbaren Hinterleib, in

Kollegen mühsam freigelegt haben (siehe Illustration Seite 68).

„Der Bau einer solch komplexen Behausung verlangt ein hohes Maß an Organisation“, sagt der gebürtige Argentinier Roces, 45, der schon als Kind aus Glasscheiben und Erde künstliche Nester baute und giftige Feuerameisen zur Beobachtung in Milchflaschen sperrte.

„Doch im Gegensatz zu menschlichen Staaten gibt es in Ameisenvölkern keine Regierung. Niemand erlässt Gesetze, kein Staatsoberhaupt wacht über das Wirken seiner Untertanen. Vielmehr funktionieren Ameisenkolonien nach dem Prinzip der **Selbstorganisation**.“

Ein paar Schritte von seinem Büro entfernt liegt ein rund 30 Quadratmeter großer Raum, der für die Aufzucht eingerichtet worden ist. Leise surrend hält eine Klimaanlage die Luft konstant auf 25 Grad Celsius und 50 Prozent Feuch-

tigkeit. Ein süßlich-fauliger Geruch liegt in der Luft: Schaben verbreiten ihn, denn auch sie werden hier gezüchtet – als Futter für jene räuberischen Arten unter den 20 Formica-Spezies, die ständig mit Nahrung versorgt werden müssen.

Mehr als zwei Millionen Tiere leben hier. Allein aus der Gruppe der Blattschneiderameisen ziehen die Wissenschaftler sieben verschiedene Spezies heran. Als Domizile haben sie den Völkern flache Kunststoffboxen eingerichtet, in deren Inneren kleinere Behälter über Röhren miteinander verbunden sind. In solch einem Nest können mehr als 100 000 Tiere leben. Dicht gedrängt stehen Dutzende dieser Kolonien, nach Arten geordnet, auf Metallregalen.

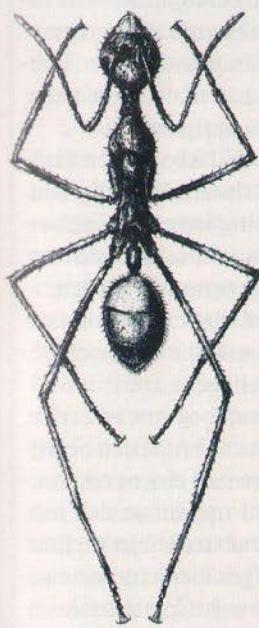
Auch die Protagonisten für Oliver Geisslers Versuche sind hier untergebracht. Von einem Bord in der Mitte des

Raums zieht der Biologe eines der künstlichen Nester und öffnet den Deckel: Blattschneiderameisen laufen geschäftig durch transparente Röhren und Kammern. Obwohl es Hunderte Individuen

Forscher halten Ameisen für aggressiver als Menschen – manche Völker führen permanent **Krieg gegen ihre Nachbarn**

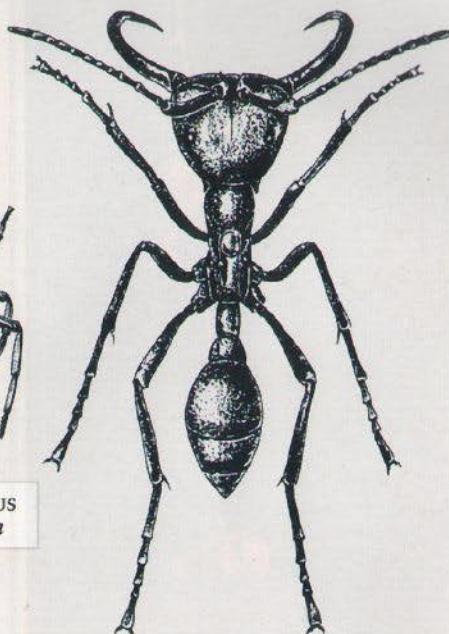
sind, scheint es, als wisse jede Ameise genau, wozu sie gebraucht wird.

Einige Tiere schleppen Exkreme und Unrat in einen der Behälter, den das



DOLICHODERUS
Drüsenameisen

ZACRYPTOCERUS
Knotenameisen



Eciton
Wanderameisen

dem sie reichlich Nahrung aufnehmen können. Ihre Beine tragen am letzten Glied zwei Krallen nebst Haftorgan, mit dem sich die Tiere an glatten Flächen festhalten. Ihre Fühler sind meist sehr empfindlich und nehmen unter anderem Temperaturschwankungen, Luftströmungen und Duftstoffe wahr. Die Oberkiefer sind oft zu Schaufeln verweitert und mit Zähnen besetzt, mit denen sie Beute packen oder Gänge ausheben. Ihr vorderer Darm ist zum Teil zu einem Kropf erweitert, der Nahrung speichert – die sie zur Fütterung von Artgenossen hervorwürgen.

Volk als Abfallhaufen nutzt. Andere tragen Haferflocken von der Futterkammer in eine Box, die von einem grauweißen Belag befallen ist – einem Pilz, den die Sechsbeiner durch ein Gemisch aus Speichel und Haferflocken herangezüchtet haben und der ihnen und ihrer Brut nun als Nahrung dient.

Mitunter baut Geissler den Blattschneidern einen acht Meter langen Parcours aus Holzbrücken auf. An einem Ende postiert er eine Kolonie von Ameisen; an das andere legt er einen Haufen frischer Blätter. Sobald die Tiere das Futter entdeckt haben, bilden sie eine **Ameisenstraße**: Tausende marschieren los, schneiden die Blätter klein und transportieren sie rasch in ihr Kunstnest.

Doch wie stimmen die Sechsbeiner all dieses Treiben ab? Was befähigt sie, ihre Handlungen zu koordinieren? Immer wieder werden die Biologen im

Freiland Zeugen der verblüffenden Fertigkeiten der Gemeinschaften: Stürzen etwa in einem unterirdischen Nest von



Weberameisen aus Malaysia beim Nestbau: Gut ein Dutzend Tiere ziehen mit ihren Kiefern an einem Blatt, während sie sich an einem Stängel festhalten. Liegen zwei Blätter nebeneinander, werden sie mit einer Seide »vernaht«, die die Larven ausscheiden

Blattschneiderameisen Kammern oder Gänge ein, sind binnen kürzester Zeit Arbeiterinnen zur Stelle und graben ihre verschütteten Nestgenossen aus.

Auch auf der Suche nach Beute agieren viele Formica-Arten mit Präzision: Bei Versuchen mit markierten Waldameisen haben Forscher herausgefunden, dass Kundschafter eines Volkes ausschwärmen und sich dabei mehr als 100 Meter vom Bau entfernen. Sobald sie ein totes Tier entdeckt haben, folgen ihnen schon bald wie auf ein geheimes Signal etliche Nestgenossen, um die Kost zu zerstücken und in den Bau zu tragen. Und meist finden sie die kürzeste Route zwischen der Nahrungsquelle und ihrem Nest.

DIESER HOHE GRAD an Organisationskunst und Effizienz nahm vor etwa 100 Millionen Jahren seinen Anfang, als sich die Vorfahren der Ameisen aus wespenähnlichen Insekten entwickelten. Vermutlich lebten in dieser Frühzeit mehrere Ameisenweibchen zusammen und bauten ein gemeinsames Nest, in dem jede Mutter ihren eigenen Nachwuchs umsorgte. Bald darauf entstanden Arten, bei denen sich alle Elterntiere gemeinschaftlich der Brut annahmen.

Der entscheidende Schritt zum Kollektiv erfolgte, als schließlich nur noch wenige Weibchen innerhalb eines Nests Eier legten, aus denen nun Larven schlüpften, die sich in der Regel zu unfruchtbaren Arbeiterinnen entwickelten.

Nur von Zeit zu Zeit wuchsen aus einigen Eiern Geschlechtstiere mit Flügeln heran. Diese männlichen Drohnen und weiblichen Prinzessinnen stiegen dann zu Hochzeitsflügen auf, um sich zu paaren und anschließend anderswo neue Staaten zu gründen.

Das Gros der Nachkommen jedoch stellten die meist sterilen, stets weiblichen Tiere. Sie übernahmen von nun an die Futterbeschaffung, die Verteidigung des Baus und die Aufzucht ihrer Geschwister. Im Lauf der Zeit entstanden zudem bei vielen Spezies unterschiedliche Formen für unterschiedliche Aufgaben – etwa wehrhafte Soldatinnen oder kleinere Arbeiterinnen.

In einem komplexen Zusammenspiel aus Erbanlagen und äußeren Einflüssen entschied sich, zu welcher dieser **Kasten** ein Tier heranreifte. Zu einer Königin etwa, einem fruchtbaren Muttertier, wurden bei manchen Arten jene Larven, die mit einer hochwertigen Nahrung aus Sekreten bestimmter Drüsen ihrer Ammen gefüttert worden waren.

Da die Töchter als Pfleger, Soldaten oder Kundschafter eingesetzt wurden, konnten sich die Königinnen ganz der Eiablage widmen.

„Diese Arbeitsteilung versetzte Ameisen in die Lage, sich in den unterschiedlichsten Lebensräumen zu behaupten“, erklärt Flavio Roces. Sie konnten massenweise Nachwuchs aufziehen und zugleich Nahrungsquellen weitaus effektiver nutzen als die Solisten; sie ver-

Ameisen können eine Vielzahl von **Duftstoffen** herstellen – und sie zur Kommunikation mit Artgenossen einsetzen

mochten ihre Feinde wirkungsvoller zu bekämpfen und ihre Nester vor Angriffen zu schützen. Allesamt Vorteile, die vermutlich den evolutionären Schritt zum Kollektiv begünstigten.



Mit ihren Leibern überwinden Treiberameisen Hindernisse: Sie verhaken sich zu lebenden Hängebrücken, damit Artgenossen von einem Ast zum nächsten gelangen

Die organisatorischen Leistungen, die so ermöglicht wurden, zählen zu den komplexesten im Tierreich. „Ein Ameisenvolk gleicht einem **Superorganismus**, dessen Mitglieder wie Zellen in Organen zusammenarbeiten“, sagt Bert Hölldobler, einer der Gründer des Würzburger Instituts. „Eine einzelne Zelle ist relativ schwach und kann wenig ausrichten“, erläutert der Biologe, der heute in Arizona forscht. „Erst der organisierte Zusammenschluss einer Vielzahl von Individuen formt einen Organismus, der gestalterische Kraft entfaltet.“

IRGENDWANN IM VERLAUF der Erdgeschichte entwickelten die Ameisen zudem eine Fähigkeit, die als wichtigste Voraussetzung für den Erfolg dieses Superorganismus gilt: Sie lernten miteinan-

der zu kommunizieren. Dabei machten sie sich vor allem drei Möglichkeiten zunutze, Informationen auszutauschen:

- **Berührungen.** Zwei Individuen nehmen direkten Körperkontakt zueinander auf und geben Botschaften weiter;

- **Vibrationen.** Die Tiere reiben ihre Taille gegen den Hinterleib und erzeugen dadurch Schwingungen, die sich etwa über den Boden ausbreiten und von Artgenossen wahrgenommen werden;

- **Duftstoffe.** Über Drüsen scheiden sie chemische Stoffe aus, die unterschiedliche Bedeutungen haben.

Die Verständigung beginnt schon im Kleinen: Wenn sich zwei Ameisen begegnen, kommt es meist zu einem erstaunlichen Ritual – mal tippen sie sich mit den Fühlern an, mal streicheln sie ihre Körper. Ein hungriges Tier kann eine andere Nestbewohnerin beispielsweise um Futter bitten, indem es deren Kopf mit den Antennen betrommelt und gleichzeitig die Mundregion mit den Vorderbeinen berührt. Daraufhin würgt die Gefährtin flüssigen Nahrungsbrei hervor, den das bettelnde Tier aufschleckt.

„Ameisen haben einen sozialen Magen“, sagt Oliver Geissler. „Kehren sie von einer ergiebigen Futterquelle zurück, bieten sie anderen aus der Gemeinschaft Kostproben an, um sie auf die Nahrung aufmerksam zu machen.“

Dieses Verhalten zeigt auch die Rossameise in Geisslers Experiment: Sobald sie zurück zu ihrer Kolonie gelangt ist, läuft sie zur nächsten Ameise und stößt etwas Zuckerwasser aus ihrem Mund hervor. Bald schon drängt sich ein halbes Dutzend Nestgenossen um die Sammlerin. Innerhalb von einer Minute hat sie mehr als die Hälfte ihres Mageninhaltes verfüttert.

Wie viel sie davon überhaupt in das Nest transportiert, hat Geissler mit einer winzigen Waage gemessen, die jede Sammlerin überqueren muss. Je nachdem, wie hungrig ihr Volk ist, sind es unterschiedliche Mengen – es scheint, dass die Koloniemitglieder einer Kundschafterin mitteilen können, wie dringend sie Nahrung brauchen.

Auch über größere Distanzen vermögen Ameisen Botschaften zu übermitteln. Etwa indem sie Teile ihres Körpers vi-

brieren lassen: Werden etwa Blattschneiderameisen in ihrem Bau verschüttet, versetzen sie ihren Leib in Schwingung und rufen so um Hilfe. Arbeiterinnen strömen dann herbei und graben sie frei.

Die Würzburger Forscher um Flavio Roces haben darüber hinaus eine noch komplexere Methode der Verständigung entdeckt. Wenn Kundschafter der Blattschneiderameisen auf einer Pflanze eine ergiebige Futterquelle gefunden haben, müssen sie möglichst schnell Arbeiterinnen rekrutieren, um das Grün vor der Konkurrenz zu sichern. Deshalb lassen die Scouts ihre Hinterleiber vibrieren. Die feinen Schwingungen, die Roces und sein Team per Lasertechnik nachgewiesen haben, breiten sich über die Blätter und Stängel der Pflanze aus und werden von anderen Ameisen wahrgenommen. So alarmiert, finden sie die Futterquelle und beginnen mit der Sägearbeit.

DIE BEI WEITEM wichtigste Rolle bei der Kommunikation spielen jedoch Gerüche. „Eine Ameise besitzt bis zu 20 Drüsen, die eine Vielzahl von Duftstoffen herstellen, wie eine chemische Fabrik“, sagt Oliver Geissler und verweist auf seine Rossameise: „Immer wenn die Sammlerin auf dem Rückweg zur Kolonie den Boden berührt, scheidet sie geringe Mengen einer Spursubstanz aus. So hinterlässt sie einen unsichtbaren, gepunkteten Duftpfad, der andere Koloniemitglieder wie ein Leuchfeuer zur Futterquelle führt.“ Diese Bewegung erweckt bei Beobachtern den Eindruck, die Ameise torkele.

Und nicht nur den Weg markiert das Tier durch den Aromastoff. Erhöht Oliver Geissler den Zuckergehalt des Nahrungstropfens, tupft die Rossameise ihren Hinterleib in kürzeren Intervallen auf den Holzsteg – kennzeichnet also gleichzeitig die Qualität der Nahrung.

Solche Duftstraßen legen die meisten Arten zu neu entdeckten Futterquellen an. Oft sind es winzige Mengen einer Spursubstanz, die Koloniegenossen den Weg weisen. Bei der Feuerameise *Solenopsis richteri* etwa ließe sich mit einem Gramm des entsprechenden Lockstoffes eine Fährte von einer Milliarde Kilometer Länge legen.

Dass gerade die Gerüche für die Organisation des Kollektivs maßgeblich sind, hat der Amerikaner Edward O. Wilson bereits in den 1960er Jahren nachgewiesen. Er extrahierte die Inhaltsstoffe unterschiedlicher Drüsen, fabrizierte dann künstliche Spuren und beobachtete, welchem Duft die Ameisen folgten und auf welchen sie nicht reagierten.

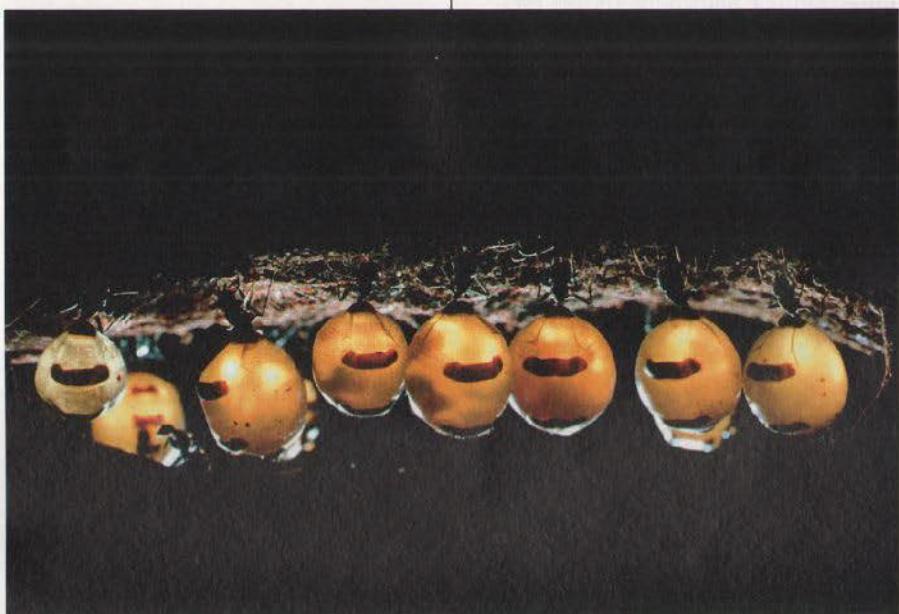
Dabei fand er Hinweise für ein erstaunliches Prinzip: Werden andere Tiere über eine solche Spur zu einer Futterquelle gelöst, geben sie ihrerseits Duftstoffe ab und intensivieren den Geruch des Pfades. Kurz darauf macht sich dann eine ganze Kolonne von Arbeiterinnen auf den aromatisierten Weg.

Doch nicht alle Ameisen eines Volkes halten sich an die vorgegebene Route –

Duftsprache, die eine Kolonie scheinbar planvoll agieren lässt“, sagt Roces.

Das System funktioniert so gut, dass Ameisen zu den effizientesten Räubern gehören: Mehr als 90 Prozent aller verendeten Schnecken, Spinnen und Insekten rund um ihre Bauten werden von Ameisen abtransportiert, noch ehe irgendein anderer Fleischfresser die Chance hat, ihnen die Nahrung streitig zu machen.

Wissenschaftler wie der Zürcher Zoologe Rüdiger Wehner gehen angesichts solcher Phänomene deshalb sogar so weit, Ameisenvölkern eine „kollektive Intelligenz“ zuzusprechen. Zwar ist demnach die einzelne Ameise recht dumm, doch im Kollektiv stehen Tausende Miniaturgehirne durch ihre Duftkommunikation miteinander in Verbindung – im Zusam-



FÜR NOTZEITEN sind die Hinterleiber dieser Rossameisen mit Honigtau und Nektar gefüllt. Bei Bedarf würgen die schwer beweglichen Tiere Nahrung hervor – wie lebende Vorratsbehälter

manche krabbeln durch Zufall auf einem kürzeren Weg zur Futterquelle. Diese Tiere können schneller zwischen Nest und Nahrung hin- und herlaufen und den Weg dadurch häufiger markieren. Angezogen von dem nun dort stärkeren Geruch, folgen bald fast alle anderen Ameisen dieser Route. Sobald aber die Nahrung vertilgt ist, setzen die Tiere keine Duftstoffe mehr frei und die Markierung der Futterstraße verflüchtigt sich.

„Es ist dieser sich selbst verstärkende Mechanismus, die Kettenreaktion der

menschluss wachsen die Winzlinge über sich selbst hinaus und können komplexe Aufgaben meistern.

AUCH AM EINGANG vieler Ameisen-nester ist der Geruch entscheidend: Ankommende Arbeiterinnen werden von anderen Koloniemitgliedern beschimpft, und nur Tiere, die den typischen Nestduft verströmen, dürfen passieren. Das spezifische Bukett, das jedes Koloniemitglied umhüllt, verschafft ihm wie ein Passwort Zugang zur Gemeinschaft.

Ameisen mit fremdem Geruch werden dagegen sofort angegriffen und vertrieben – wie sämtliche Eindringlinge.

Wie effizient dieses System arbeitet, demonstriert Oliver Geissler im Zuchtraum des Würzburger Instituts: Sobald er eine leere Papierrolle in ein Nest von Waldameisen stößt, ist die Spitze der Rolle sofort mit dunklen Leibern aufgebrachter Ameisen bedeckt. Dann lässt der Wissenschaftler die Tiere wieder in den grünen Plastikbehälter rutschen. Ein breiter Flüssigkeitsfilm überzieht nun das Ende der Rolle – und ein beißender Gestank steigt auf. „Das ist Ameisensäure, eine ätzende Substanz, die Feinde abschreckt“, sagt Geissler.

Der Geruch hat noch eine weitere Funktion: Er alarmiert andere Arbeiterinnen und bringt sie dazu, in einer Kettenreaktion ebenfalls Gift zu verspritzen. Das Abwehrsystem ist wirkungsvoll: Wenn etwa Soldatinnen auf einem Waldameisenhügel einen Feind orten, sprühen binnen weniger Sekunden Hunderte Tiere die Säure gezielt auf

ben die Tiere aus Drüsen am Kopf einen Cocktail aus vier chemischen Substanzen ab, die sich unterschiedlich schnell in der Luft verteilen und dadurch andere Nestgenossinnen in mehreren, aufeinanderfolgenden Duftwolken erreichen.

Die beiden ersten Stoffe veranlassen die Arbeiterinnen, sich auf die Suche

Die europäische Diebsameise treibt **Tunnel** zu anderen Nestern, bricht in die Bauten ein und plündert die fremden Völker aus

nach der Gefahrenquelle zu machen. In deren Nähe kommen sie dann mit den beiden weniger flüchtigen Stoffen in Berührung. Deren Geruch macht sie so aggressiv, dass sie jeden Fremdling mit heftigen Bissen attackieren.



Vor dem Umzug in ein neues Revier hat sich ein Volk von Treiberameisen an einem Ast versammelt: Sie bauen keine Nester, sondern umgeben Königin und Brut mit einer Hülle aus Leibern

ihren Gegner. So können die Ameisen selbst Bären in die Flucht schlagen.

In den Baumkronen Kenias lebende Weberameisen nutzen gleich mehrere Geruchsstoffe, um Kämpfer aus der Gemeinschaft zu alarmieren. Bei Gefahr ge-

Manche Ameisenvölker haben ihre Kommunikation derart perfektioniert, dass sie ihnen sogar hilft, Kriege zu führen. Sie verteidigen ständig ihre Territorialgrenzen und versuchen, ihre Nachbarvölker zu berauben oder gleich ganz

zu vernichten – Bert Hölldobler und Edward O. Wilson halten Ameisen daher für aggressiver als Menschen.

Die europäische Diebsameise etwa hat sich darauf spezialisiert, die Nester fremder Völker auszuplündern. Diebsameisen sind ausgezeichnete Bauarbeiter. Von ihrem eigenen Nest aus graben sie ein Tunnelsystem zu einer anderen Kolonie. Brechen die ersten Tiere zum gegnerischen Bau durch, hasten sie zu ihrem Nest zurück und alarmieren mithilfe von Duftstoffen Verstärkung. Dann versprühen die Eindringlinge ein giftiges Sekret, das ihre Opfer betäubt. Nun können sie den Bau nach Eiern, Larven und Puppen durchstöbern, die sie in ihr eigenes Nest tragen und vertilgen.

Bei solchen Kriegen kommt es häufig zu längeren Gefechten – so zwischen den giftigen Feuerameisen und ihren kleineren Verwandten, den Pheidole-Ameisen, die im Süden der USA siedeln. Die Völker der Feuerameisen sind 100-mal größer als die von Pheidole. Hält man Kolonien beider Spezies in der Enge eines Labors, hat Pheidole keine Chance: Die stärkeren Feuerameisen finden ihre kleineren Vettern rasch und töten sie.

Doch im Freiland haben Pheidole-Ameisen eine besondere Taktik, in Nachbarschaft zu dem Feind zu überleben. Sie verfügen über eine Armee: Zu ihren Kolonien gehören großköpfige Soldatinnen, die ihre scharfen Kiefer wie Drahtscheren einsetzen und damit feindlichen Insekten Kopf oder Beine abtrennen.

Solange keine Gefahr droht, warten diese Soldatinnen meist in Nestnähe, während die kleineren Arbeiterinnen auf Futtersuche gehen. Begegnet eine Pheidole-Kundschafterin einer patrouillierenden Feuerameise, wagt sie einen Vortrieb, berührt den Feind und überträgt etwas von dem gegnerischen Geruch auf ihren eigenen Körper. Dann rennt sie zum Nest zurück und zieht eine Alarmspur hinter sich her.

Der spezielle Mix aus Feind- und Alarmaroma lässt nun Gruppen von Soldatinnen ausschwärmen, die den Gegner suchen und dann in Stücke schneiden. Noch ein bis zwei Stunden später fahnden die Pheidole-Soldatinnen in der Um-

gebung des Nestes nach Eindringlingen. Denn kehrt auch nur eine der feindlichen Späherinnen in die eigene Kolonie zurück, droht die Gefahr, dass die Feuerameisen einen Feldzug beginnen.

In einem solchen Fall bleibt dann nur noch eines: Die zahlenmäßig unterlegenen Pheidole-Soldatinnen müssen versuchen, die anrückenden Feuerameisen möglichst lange aufzuhalten. Währenddessen ziehen sich die kleinen Pheidole-Arbeiterinnen ins Nest zurück, laufen durch sämtliche Kammern und Gänge und versprühen Alarmduftstoffe.

Immer panischer werden die Koloniemitglieder, bis die zunehmende Erregung sich explosionsartig entlädt: Dann packen Hunderte Arbeiterinnen die Puppen, Larven und Eier, quellen aus dem Nest heraus und versuchen, sich durch die Reihen der Gegner zu schlagen. Auch die Königin läuft schließlich davon.

Die Pheidole-Soldatinnen hingegen kämpfen weiter, bis sie nach und nach von ihren Feinden zu Tode gestochen werden. Erst wenn die Feuerameisen das Schlachtfeld geräumt haben, weil alles ausgeräubert ist, kehren die Überlebenden Pheidole in den Bau zurück, um eine neue Generation von Kriegerinnen großzuziehen.

DIE BEREITSCHAFT, sich töten zu lassen, ist das größte Opfer, das ein Tier für das Gemeinwohl seiner Kolonie erbringen kann – und wichtig für die Überlebensstrategie eines Ameisenvolkes. Von den weltweit rund 12 000 Arten geben sich die meisten für das Kollektiv hin.

„Für das Fortbestehen einer Kolonie ist das Schicksal einzelner Tiere kaum von Bedeutung“, sagt Ameisenforscher Roces. Sämtliche Aktionen einer Kolonie hätten nur ein Ziel: die fruchtbaren Königinnen überleben und gedeihen zu lassen.

Die Völker tropischer Treiberameisen etwa bilden lebende Nester aus Abertausenden von Leibern. In ihnen beherbergen sie das Herzstück des Superorganismus: die Königin und ihre Brut. Um den Nachwuchs mit Nahrung zu versorgen, wälzen sich diese Nomaden wie gigantische, mobile Teppiche durch den Regenwald und schicken ihre Armeen aus.

Sie sind so gut organisiert, dass sie beinahe jedes Hindernis überwinden. So bilden zahlreiche ineinander verhakte Arbeiterinnen Hängebrücken über kleinere Felsspalten oder formen bei Überschwemmungen Flöße aus Leibern, die auf der Wasseroberfläche treiben –



In Ameisenstaaten herrscht Arbeitsteilung, viele Tiere gehen nicht selbst auf Futtersuche – sie werden von Sammlerinnen gefüttert

dabei stürzen etliche zum Wohle der Gemeinschaft in den Tod und ertrinken, damit das Kollektiv fortbestehen kann.

Die in den Regenwäldern Malaysias heimische Art *Camponotus saundersi* beweist ihre Selbstaufgabe noch dramatischer: Kommen diese mit mächtigen Giftdrüsen versehenen Ameisen während eines Kampfes zu stark in Bedrängnis, ziehen sie ihre „Bauchmuskeln“ so heftig zusammen, dass sie explodieren.

paar Tagen der kolonietypische Duft um die Tote, transportieren Arbeiterinnen den Kadaver aus dem Nest. Und entsorgen ihn – ganz pragmatisch – auf dem hauseigenen Abfallhaufen.

OBWOHL DIE WISSENSCHAFT bereits zahlreiche Rätsel aus der Welt der Ameisen hat klären können, erscheint vieles nach wie vor geheimnisvoll. Wie etwa gelingt es den Millionen Köpfen starken Völkern der Blattschneiderameisen, komplexe unterirdische Nester mit bis zu 1000 Kammern und Hunderte Meter langen Gangsystemen zu erbauen? Gelingt auch hier einfache Regeln der Kommunikation, denen die einzelnen Ameisen folgen und die in ihrer Gesamtheit zu solch einem Wunderwerk führen?

Um die Genese ihrer Bauten zu begreifen, haben die Würzburger Forscher um Flavio Roces ein einzigartiges Projekt ins Leben gerufen. In ihren mit Erde gefüllten Boxen sollen die Blattschneiderameisen nun Nester buddeln. Schritt für Schritt wollen die Wissenschaftler verfolgen, wie ein solcher Bau heranwächst. Um herauszufinden, ob die Ameisen trockene oder feuchte Böden bevorzugen, bis zu welcher Tiefe sie bei unterschiedlichen Temperaturen graben und wann sie den ersten Pilzgarten anlegen.

Dennoch werden die Würzburger immer wieder zu den unterirdischen Burgen nach Südamerika reisen müssen, um die Modelle mit der Wirklichkeit zu vergleichen: Die Bauten im Labor werden niemals die Ausdehnung der natürlichen Nester erreichen. Denn manche erstrecken sich über eine Fläche von 50 Quadratmetern, reichen acht Meter in die Tiefe – und sind über viele Jahre mit gewaltigem Aufwand entstanden. Für die Errichtung seien „ungefähr eine Milliarde Ladungen Erde nötig, von denen jede vier- bis fünfmal so viel wiegt wie eine Arbeiterin“, schreiben die Ameisenforscher Hölldobler und Wilson: „Und jede dieser Ladungen wird – nach menschlichem Maßstab – aus über einem Kilometer Tiefe herauftransportiert.“

Die Konstruktion eines solchen Nestes, notieren die Wissenschaftler, ließe sich daher leicht mit dem Bau der chinesischen Mauer vergleichen. □

MEMO | AMEISEN

» BIS ZU ACHT MILLIONEN TIERE bewohnen einen Bau.

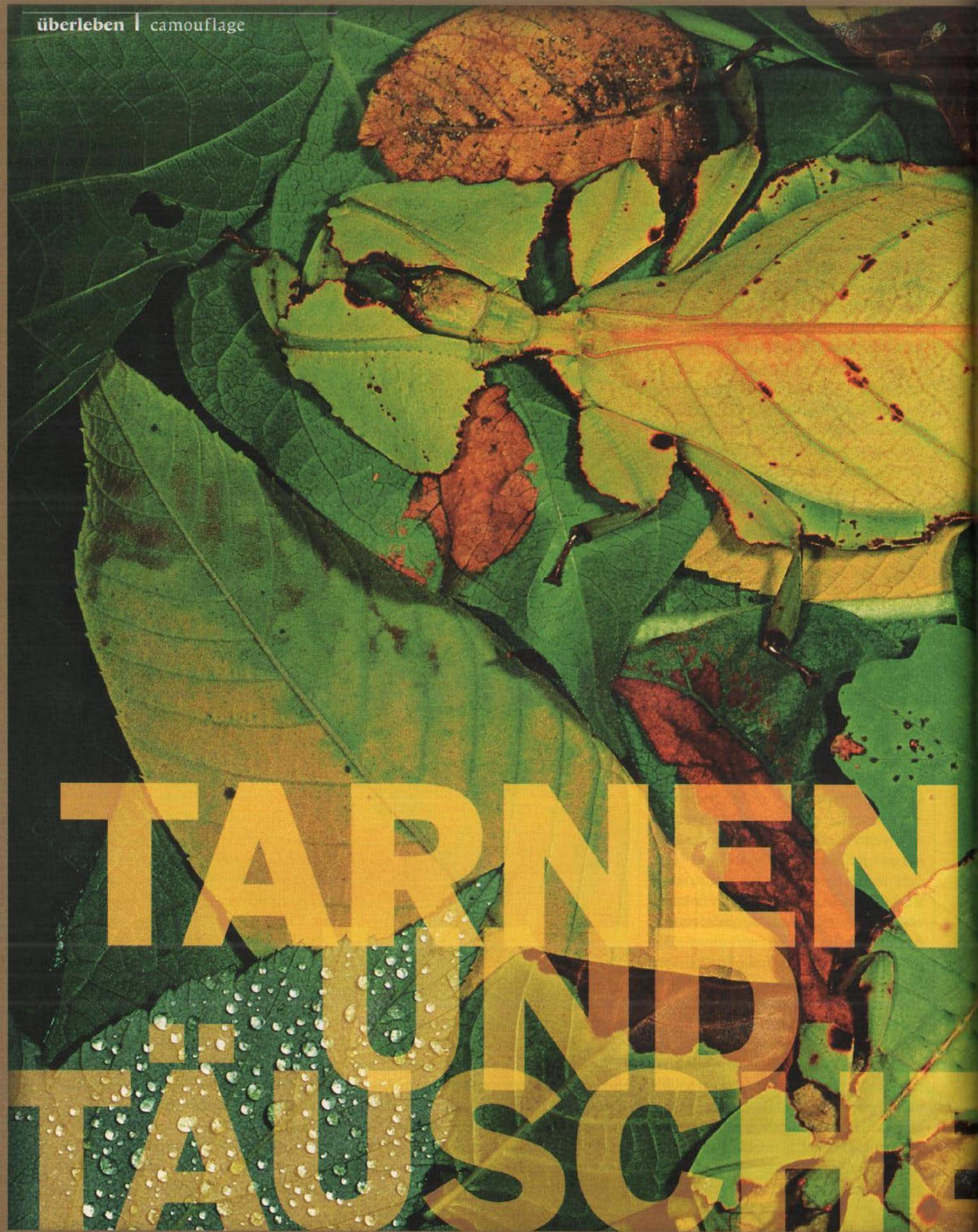
» ARBEITSTEILUNG macht die Völker besonders effizient.

» DIE KÖNIGIN legt Eier, Arbeiterinnen sind für Nestbau und Pflege des Nachwuchses zuständig. Soldatinnen für Verteidigung.

» AMEISEN kommunizieren vor allem mittels Düften.

Ihre Körperwand birst und der Feind wird mit den giftigen Sekreten bedeckt.

Wie wenig das Individuum zählt, zeigt sich gerade dann, wenn eine Ameise in ihrem Bau stirbt. Denn davon nimmt die rastlose Gemeinschaft zunächst keine Notiz. Doch Ameisen sind reinliche Tiere, die sich bemühen, ihre Bauten von Bakterien und Verwesungsgiften freizuhalten. Verfliegt nach ein



Wandelndes Blatt

WIE EIN HALBWELKES LAUBBLATT erscheint diese Gespenstheuschrecke, die sich nicht nur in ihrer Färbung, sondern auch in ihrem Verhalten echtem Laub anpasst. Tagsüber verharrt sie regungslos am Baum – und zittert bei Störungen wie ein Blatt im Windhauch

Sie schwanken wie Blätter im Wind, sehen aus wie faules Laub oder leuchten wie ein Teil einer Orchideenblüte. Viele Insekten haben in Verhalten und Farbgebung die perfekte Camouflage entwickelt. Einige zum Schutz vor Feinden. Andere, um ihre Opfer irrezuführen

N





Augenspinner

WENN ER SEINE FLÜGEL AUSBREITET, ist dieser Falter aus dem Regenwald der panamaischen Insel Barro Colorado von den welken Blättern kaum zu unterscheiden. Er ahmt selbst die Löcher nach, die der Verfall ins alte Laub fräst. Solange er unbeweglich auf seinem Platz ausharrt, ist er gut vor Fressfeinden geschützt

**AUCH SPUREN
DER FÄULNIS WERDEN
IMITIERT**

VERSTECKSPIEL MIT FARBE UND STRUKTUR

Laubheuschrecke

AUF DEM MIT FLECHTEN bewachsenen Baumstamm im Dschungel von Borneo ist das Insekt kaum zu sehen, so sehr hat es sich seiner Umgebung angepasst. Die Tarnung ist derart detailliert, dass selbst die Flügeloberfläche ähnlich uneben ist wie der Flechtenuntergrund



Gottesanbeterin

DIE FANGSCHRECKEN sind gut getarnte Lauerjäger und treten mit ihren rund 2300 Arten – je nach Lebensraum – in den unterschiedlichsten Verkleidungen auf: manche, wie diese Gottesanbeterin aus Amazonien, als Borke eines Urwaldriesen, andere als Blätter oder Blütenteile

Grüner Rindenflechten-Spanner

DIE RAUPEN dieses Falters ernähren sich von Flechten, die auf Bäumen und Sträuchern wachsen. Entsprechend angepasst ist die Farbgebung der in warmen und feuchten Wäldern heimischen Art



Laubheuschrecke

ALS ABSTERBENDES BLATT kostümiert sich diese Heuschreckenart aus dem Regenwald Ecuadors – einschließlich der von anderen Insekten ins Grün gefressenen Löcher





Orchideenmantis

DIESER GOTTESANBETERIN dient das Tarnkleid auch zur Täuschung ihrer Opfer: Beutetiere übersehen sie leicht und geraten so schnell in die Nähe ihrer tödlichen Fangbeine

FRESSEN – OHNE GEFRESSEN ZU WERDEN



Mondvogel

AUF EINEM FALSCHEN AST hat sich dieser Nachtfalter niedergelassen. Schmetterlinge können nicht spontan ihre Tarnfarbe wechseln – anders als etwa einige Wirbeltiere □

Die Kunst der Maskerade

Weshalb sehen manche Raupen wie Giftschlangen aus? Warum tarnen sich Fliegen als Bienen? Wieso färben sich Heuschrecken wie Wespen? Um 1860 findet der Amateurzoologe Henry Walter Bates beim Insektsammeln im Regenwald Amazoniens die Antwort – und liefert nebenbei entscheidende Indizien für die noch junge Evolutionstheorie

Text: Bertram Weiß

Erschrocken starren die Dorfbewohner den weißen Mann an, der aus dem Dschungel zwischen ihre Behausungen getreten ist. Sie kennen den Engländer als Sammler kurioser, aber harmloser Tiere. Doch diesmal bringt er eine winzige, sich schlängelnd windende Kreatur mit dreieckigem Schädel, höckerähnlichen Strukturen und schwarzen Augen auf der glatten Kopfhaut ins Dorf. Der Name des Fremden: Henry Walter Bates.

Am 28. Mai 1848 hat der 23-Jährige nahe der Mündung des Amazonas südamerikanischen Boden betreten, um die Tiere des Urwalds zu erforschen. Das Wesen, das jetzt über seine Handflächen kriecht und die Einheimischen erschreckt, ist besonders seltsam: Es ist keine Giftschlange, sondern eine Raupe – ein Insekt, dessen Aussehen dem einer Schlange täuschend gleicht.

Von Beginn seiner Expedition an hat Bates im Urwald immer wieder Tiere gefunden, die sich auf ähnlich merkwürdige Weise anderen Spezies angeglichen haben. Und nun diese Raupe. Welchen evolutionären Sinn haben diese Maskierungen? Und wie sind sie entstanden? Der Forscher ist, ohne es zu ahnen, einem grundlegenden Phänomen in der Entwicklung des Lebens auf der Spur.

Henry Walter Bates kommt 1825 als Sohn eines Strumpfmachers in der englischen Stadt Leicester zur Welt. Mit 13 Jahren geht er bei einem Bekannten seines Vaters in die Lehre.

Aber er will mehr. An einer Abendschule für Handwerker und Arbeiter lernt er unter anderem Zeichnen, Griechisch, Französisch und Latein.

Seine größte Leidenschaft aber sind die Insekten. So oft wie möglich durchstreift er die Umgebung und sammelt Schmetterlinge und Käfer. Sortiert, bestimmt und katalogisiert sie. Bald begleitet ihn ein guter Freund: der junge Englischlehrer und Amateurbotaniker Alfred Russel Wallace. Begeistert lesen die beiden Reiseberichte großer Naturforscher jener Zeit und träumen: Wie wäre es, selbst

durch den Urwald zu reisen? Welche Wunder der Natur ließen sich dort entdecken?

Sie beschließen, im Frühjahr 1848 gemeinsam nach Amazonien zu reisen. Wallace bleibt vier Jahre in Brasilien – und erarbeitet später unabhängig von Charles Darwin die Grundidee der Evolutionstheorie. Sein Gefährte Bates hält insgesamt elf Jahre durch.

Fast 3000 Kilometer reist er entlang des Amazonas und seiner Nebenflüsse und sammelt mehr als 14 700 Tiere; 8000 davon sind in Europa unbekannt. Anfangs hatte er vor, das gesamte Amazonasbecken zu durchqueren und die Anden zu erreichen, doch dann erkrankt er an Malaria, und das Leben in der Wildnis zehrt seine Kräfte auf.

Im Juli 1859 kehrt er nach England zurück. Und noch immer beschäftigt ihn das Rätsel um die schlängelartige Raupe und ihr seltsames Täuschungsmanöver.

Im November 1859 erscheint Charles Darwins Werk „Über die Entstehung der Arten durch natürliche Auslese“. Darin behauptet der Autor: Tier- und Pflanzenarten sind nicht unveränderlich, sondern werden im Laufe der Zeit umgeformt. Ein radikaler Angriff auf die vorherrschende Überzeugung, nach der die von Gott geschaffenen Lebewesen einmalig sind und in ihrem Aussehen beständig.

Fürsprecher und Gegner der Theorie liefern sich erbitterte Gefechte. Die neuen Ideen lassen sich schwer belegen, denn sie beziehen sich auf lange Zeiträume. Bates gehört schon bald zu Darwins glühendsten Anhängern – und seine Beobachtungen sowie die umfangreichen Insekten-Sammlungen aus dem Regenwald liefern ihm entscheidende Indizien, um den Evolutionstheoretiker zu stützen und zugleich die Maskierungen der Tiere zu erklären.

Denn Bates ist mittlerweile aufgefallen, dass unter den Faltern Amazoniens oftmals Exemplare auftauchen, die einen Naturforscher verwirren können. Ihre Flügel sind ähnlich gefärbt wie die der Passionsblumenfalter; anhand weiterer Körpermerkmale jedoch lassen sie sich ohne Zweifel einer ganz anderen Familie von Schmetterlingen zuordnen: den Weißlingen.

Wäre diese Erscheinung ein Einzelfall, müsste Bates sie wohl als Kapriole der Natur abtun. Doch er erkennt die Vergleichbarkeit der Phänomene: Da ist die Raupe,



In detailreichen Bildern zeichnet Bates die Schmetterlinge des Amazonas. Dabei erkennt er, dass Weißlinge Fressfeinden entgehen, indem sie das Aussehen von Passionsblumenfaltern annehmen



Henry Walter Bates (1825–1892), gelernter Strumpfmacher, wendet sich als Autodidakt der Zoologie zu und durchstreift elf Jahre lang das Amazonasgebiet. Als Erster kann er belegen, dass sich Arten in vielen kleinen Schritten zu ihrem eigenen Vorteil verändern

die eine giftige Schlange mimt. Da sind Fliegen, die wie wehrhafte Bienen ausschen. Und Heuschrecken, die sich als aggressive Wespen ausgeben. An Zufälle mag er nun nicht mehr glauben.

Bates entwickelt eine These: „Schen wir einen Nachtfalter, der das Aussehen einer Wespe hat, müssen wir daraus ableiten, dass diese Imitation das ansonsten wehrlose Insekt schützen soll, indem insektenfressende Tiere getäuscht werden“ – also Räuber, die den Falter jagen würden, die vermeintliche Wespe aber meiden.

Diese Theorie überträgt Bates auf die Maskerade der Passionsblumenfalter. Er vermutet, dass diese Schmetterlinge für Insektenjäger ungenießbar sind und dass es für andere Falter von Nutzen sein kann, wie ein Passionsblumenfalter auszusehen – gerade so, als würde sich eine Taube mit falschem Federkleid als Habicht ausgeben.

Aber wie ist es zu dieser Verwandlung gekommen? Die Lösung: Lebewesen variieren aufgrund von Mutationen von Generation zu Generation. Einige Varianten der Weißlinge kommen dem Aussehen ihrer Vorbilder besonders nahe. Anderen gelingt der Bluff weniger gut – sie werden zu Opfern der Insektenfresser. „Die am wenigsten ähnlichen Formen werden Generation für Generation eliminiert und nur die anderen bleiben, um ihre Form fortzupflanzen“, schreibt der Amateurzoologe.

Bates legt seine Gedanken zur Entstehung der Imitationen 1862 in einem 75-seitigen Aufsatz dar. Es ist eine wissenschaftliche Revolution.

Denn die Beobachtungen und Schlussfolgerungen zeigen erstmals, wie sich Leben in vielen kleinen Schritten zweckmäßig verändert. In den Schaukästen liegt der Beweis. Darin sind die Varianten der Weißlinge konserviert: Manche sind Passionsblumenfaltern täuschend ähnlich, andere deuten deren Färbung nur an, wieder andere gleichen ihnen überhaupt nicht.

Präzise lassen sich die akkurat sortierten Stufen der allmählichen Anpassung studieren. „Das ist die natürliche Selektion“, schreibt Darwin jubelnd in einer Besprechung über Bates' Abhandlung und lobt dessen „exzellente Illustration“ seiner eigenen Theorie. Die Anhänger der Evolutionslehre haben endlich ein anschauliches Argument – und Bates hat das Rätsel des natürlichen Blendwerks gelöst.

„Nach meiner Ansicht ist es einer der bemerkenswertesten Aufsätze, die ich je gelesen habe“, schreibt Darwin an Bates. „Der Text ist zu gut, um vom Mob der seelenlosen Naturforscher gebührend geschätzt zu werden; aber vertrauen Sie mir, dass er dauerhaften Wert haben wird.“

Darwin behält Recht. Die Passionsblumenfalter sind, wie sich herausstellt, tatsächlich ungenießbar und werden deshalb von Räubern gemieden.

Das von Bates enthüllte Phänomen wird zu einem der wichtigsten Beispiele für die Veranschaulichung der Evolution. Biologen haben inzwischen ungezählte Spielarten der Täuschung entdeckt: Manche dienen dem Schutz – wie bei der Schlangenraupe und den Weißlingen –, andere zur Maskerade eines Angreifers oder dem Anlocken von Beute.

Und dazu imitieren Organismen nicht nur Farben und Formen, sondern ahmen auch Gerüche, Bewegungen und Geräusche anderer Spezies nach. Täuschen Tiere durch ihre Körpergestalt und Färbung vor, so gefährlich zu sein wie andere Arten, wird dies heute als **Bates'sche Mimikry** bezeichnet – zu Ehren des Entdeckers, der 1892 stirbt.

Schon Henry Walter Bates hat den Begriff Mimikry gebraucht, der sich aus dem griechischen Wort „mimos“ ableitet: der Schauspieler. □



Ihr gekrümmter Rücken und die großen Augenflecken lassen diese harmlose Raupe aus Costa Rica wie eine Giftschlange erscheinen – mit dieser Mimikry genannten Taktik schreckt sie Feinde ab. Bates stieß im Regenwald Amazoniens auf eine ganze Reihe von Insekten, die auf diese Weise Räuber täuschen

Bertram Weiß, 23, ist Wissenschaftsjournalist in Hamburg.



Drei Jahre und ein Tag

MEHRERE HUNDERTTAUSEND THEISSBLÜTEN schwärmen an einem Junitag dicht über der Oberfläche des ungarischen Flusses Tisza (Theiß), um sich zu paaren. Die männlichen Eintagsfliegen sterben sofort, die Weibchen fliegen noch einige Kilometer flussaufwärts, um dort jeweils bis zu 9000 Eier abzulegen



Bis zu 36 Monate lang leben die Larven der Eintagsfliegen in Gewässern, fressen, häuten sich und wachsen. Dann aber schlüpfen simultan – bei manchen Arten auf die Viertelstunde genau – Myriaden geschlechtsreifer Tiere, kopulieren und legen Eier. Wie gelingt diese Synchronisation, und was ist der Sinn der Massenveranstaltung?

S

ie heißen Theißblüte, Märzbraune oder Uferaas, und ebenso seltsam wie ihre Namen mutet ihr Körperbau an. Es scheint, als habe die Natur an den erwachsenen Eintagsfliegen die Kunst des Weglassens geübt: Ihre Beine sind häufig so schwach, dass sie nicht mehr vom Fleck kommen, wenn sie sich einmal niedergelassen haben. Ihr Mitteldarm besitzt weder einen Ein- noch einen Ausgang, sondern ist wie ein Ballon mit Luft gefüllt und dient als Auftriebskörper. Ihre Mundwerkzeuge sind verkümmert, denn sie fressen nicht.

Sie müssen schließlich auch keine Nahrung zu sich nehmen, denn ihr Erwachsenenleben währt nur ein paar Stunden, bestenfalls wenige Tage; im Extremfall ist es bereits nach 15 Minuten beendet. Und in dieser kurzen Zeit tun sie nur eines: Sie pflanzen sich fort. Zu keinem anderen Zweck erheben sich Eintagsfliegen in die Lüfte.

Die wenige Millimeter bis etwa fünf Zentimeter großen Tiere sind für diese Aufgabe perfekt ausgestattet: Die Männchen haben gleich zwei Penisse, ihre Partnerinnen zwei Geschlechtsöffnungen. Auch mit Sehorganen sind Eintagsfliegen reichlich bestückt – neben drei Einzelaugen verfügen sie über leistungsfähige **Facettenaugen**, die sich bei Männchen mancher Arten zu grotesken, turbanähnlichen Gebilden vergrößert haben. Schließlich gilt es, herannahende Weibchen sofort zu erkennen.

Genau genommen haben fast alle Insekten ihr Leben beinahe schon hinter sich, wenn sie erst einmal ausgewachsen sind. Das herumschwirrende Geschöpf, das für uns der Inbegriff des Insekts ist, lebt in der Regel maximal ein paar Wochen oder Monate. Nur relativ wenige Arten der Sechsbeiner, darunter eine Reihe von Käfern, existieren jahrelang als **Imago** und können sich wie höhere Tiere mehrfach fortpflanzen.

Kaum ein Kerbtier aber hat sein geflügeltes Erwachsenen-Dasein so kompromisslos auf die Fortpflanzung reduziert wie die Eintagsfliege.

DAS WAHRE LEBEN DIESER INSEKTEN spielt sich ohnehin im Larvenstadium ab. Nachdem sie aus den im Wasser abgelegten Eiern geschlüpft sind, hausen die Larven der Eintagsfliegen, je nach Spezies zwischen drei Monaten und drei Jahren, am Grunde von Flüssen oder Seen. Es sind bizarre

Text: Alexandra Rigos

Geschöpfe mit oft spindelförmigem Körper, sechs Beinen und zwei oder drei Schwanzfäden.

Die Larven ernähren sich von totem organischem Material oder Algen, häuten sich etliche Male und sammeln Kraft für ihren großen Auftritt. Im Gegensatz zu vielen anderen Insekten verpuppen sich die Eintagsfliegen am Ende ihrer Jugendzeit nicht, vielmehr schlüpft das geflügelte Geschöpf direkt aus der Larvenhaut. (Bei einigen Insekten kann die Phase des Heranwachsens noch weitaus länger dauern; so lassen sich drei im Osten der USA heimische Zikadenarten 17 Jahre Zeit, ehe die geschlechtsreifen Tiere ausschwärmen, sich paaren und wenige Wochen später verenden.)

So radikal die Strategie der Eintagsfliegen erscheinen mag, so erfolgreich ist sie: Die Ordnung der Ephemeroptera (griech. = die für einen Tag Geflügelten) umfasst mindestens 3000 Arten, die mit Ausnahme der Antarktis und hochalpiner Gebiete alle Lebensräume der Erde besiedelt haben, in denen Süßwasser vorkommt.

Vor allem aber haben sich die Eintagsfliegen über eine enorme Zeitspanne hinweg behauptet: Es gibt sie seit 300 Millionen Jahren; damit gehören sie zu den ältesten geflügelten Insekten überhaupt. Eine Reihe sonderbarer Eigenarten verrät ihr hohes evolutionäres Alter.

So können die erwachsenen Eintagsfliegen (wie die ebenfalls urtümlichen Libellen) ihre Flügel nicht horizontal über dem Hinterleib zusammenfalten, sondern müssen sie in Ruhestellung senkrecht hochklappen. Die charakteristischen drei Schwanzfäden der Larven, die zum Teil länger sind als der eigentliche Körper, finden sich so nur bei flügellosen Urinsekten wie den Silberfischchen.

Mit diesen lebenden Fossilien haben die Ephemeroptera auch die Eigenheit gemeinsam, dass sie sich noch als ausgewachsene Tiere häuten: Die Eintagsfliegen sind die einzigen Fluginsekten, die ein voll entwickeltes, aber in der Regel noch nicht fortpflanzungsfähiges Zwischenstadium ausbilden. Diese **Subimago** existiert aber oft nur wenige Minuten lang, dann wirft das Tier seine letzte Hülle ab.

Weshalb dieser Umweg im Laufe der Evolution nicht abgekürzt wurde, ist bislang ein Rätsel. Denn während der Häutung sind die Eintagsfliegen eine leichte Beute für Räuber. Darüber hinaus gelingt es manchen Tieren nicht, ihre Flügel aus der Subimago-Hülle zu befreien. Sie bleiben stecken und gehen zugrunde, ohne für Nachkommen gesorgt zu haben.

Womöglich aber legen sie diesen Zwischenschritt – die Subimago – ein, um Zeit für einen weiteren Umbau zu gewinnen. So müssen beispielsweise die Schwanzfäden der

**Männliche Eintagsfliegen besitzen gleich zwei Penisse,
die Weibchen zwei Geschlechtsöffnungen**

Larve enorm verlängert werden, was sich nicht auf einmal umsetzen lässt.

Bei manchen naturgeschichtlich jüngeren Arten, wie der Theißblüte, verzichten zumindest die Weibchen auf das risikante Manöver – sie werden gewissermaßen nie richtig erwachsen. Das Männchen begattet die fröhreife Subimago noch auf der Wasseroberfläche, was den poetischen Namen der größten Eintagsfliegen-Art Europas erklärt: Wie Blumen treiben die kopulierenden Paare auf dem ungarischen Fluss Theiß.

NEBEN DEM UFERAAS und der nordamerikanischen Gattung *Hexagenia* zählt die Theißblüte zu jenen Eintagsfliegen, die an wenigen Abenden im Sommer in ungeheurer Zahl gleichzeitig aus dem Wasser aufsteigen. Myriaden männlicher Exemplare tanzen dann nach dem Massenschlupf als dichte Wolke am Ufer und stürzen sich auf jedes Weibchen, das sich nähert.

In ihrem Paarungseifer – die Zeit drängt – versuchen sie, alles zu begatten, das nur entfernt einer Partnerin ähnelt, seien es Geschlechtsgenossen, Papierschnipsel oder auch glühende Zigarettenkippen.

Nur wenige Augenblicke dauert die Paarung, dann befreit sich die weibliche Eintagsfliege und muss sich an Millionen von Männchen vorbei zur Flussmitte durchkämpfen. Anders als ihr Gefährte, der sich während der Begattung verausgabt hat und stirbt, fliegt das Weibchen noch einige Kilometer flussaufwärts, um dort seine Eier über dem Wasser abzuwerfen.

Dieser „Kompensationsflug“ verhindert, dass die Eier zu weit flussabwärts drifteten und das heimische Revier hinter sich lassen, während sie zu Boden sinken. Hat das Weibchen diese letzte Pflicht erfüllt, geht es ebenfalls ein.

Experimente zeigen, dass Eintagsfliegen selbst dann, wenn Wissenschaftler sie im sicheren Labor halten und ihnen die Mühen des Geschlechtsakts ersparen, innerhalb von zwei bis drei Tagen verenden; vereinzelte Veteranen halten bis zu acht Tage durch. Unter natürlichen Umständen ist das Schauspiel bereits zwei oder drei Stunden, nachdem die ersten Männchen geschlüpft sind, beendet.

In dieser Zeit kann die Eintagsfliegenhochzeit für Menschen durchaus lästig werden; mitunter lösen die Insektenwolken sogar Verkehrsunfälle aus oder lassen den Strom ausfallen. Im August 1990 warnte der Kölner Verkehrsfunk vor Schwärmen des Uferases, die auf den Rheinbrücken eine rutschige Schicht bildeten, auf der Autos ins Schleudern gerieten.

Denn leuchtende Laternen ziehen die Eintagsfliegen an, und auch Asphalt führt sie in die Irre: Er reflektiert **polarisierteres Licht** ganz ähnlich wie eine Wasserfläche, sodass oft Abertausende von Weibchen zur Eiablage versehentlich auf Straßen statt auf dem Fluss landen.

Für Fische und Vögel, Raubinsekten und Fledermäuse ist das Millionenheer der Eintagsfliegen seit jeher ein Festschmaus. Paradoxe Weise hat sich der Massenschlupf im Lau-



DIE IN RUHESTELLUNG senkrecht hochgeklappten Schwingen der Eintagsfliegen, hier die Schwefel-Aderhaft, sind ein urtümliches Merkmal: Ihnen fehlt ein spezieller Muskel, mit dessen Hilfe die meisten Insekten die Flügel waagerecht über ihrem Körper zusammenfalten können

fe der Evolution gerade deshalb als Strategie durchgesetzt, um sich in der risikanten Phase des Häutens und Paarens vor Räubern zu schützen: Die schiere Menge der schwärmenden Insekten ist derart gewaltig, dass die übergroße Mehrheit den Räubern entkommt.

Und so bleibt der Prozentsatz der Opfer klein – und damit die Wahrscheinlichkeit, dass eine einzelne Eintagsfliege im Magen eines Räubers landet. Damit erklären sich Forscher auch die Invasion der amerikanischen 17-Jahr-Zikaden: Von den bis zu 350 Tieren, die sich nach dem Massenschlupf auf

einem Quadratmeter Wald tummeln, werden in der Regel nicht mehr als 15 Prozent gefressen.

Gleichwohl setzen nicht alle Eintagsfliegen auf den Sättigungseffekt bei den Räubern. Viele Arten – darunter die in Deutschland heimische Maifliege – schlüpfen nach und nach über einen längeren Zeitraum, tanzen in kleineren Gruppen auf und ab und warten auf ein Weibchen. Ihre Taktik im Überlebenspoker ist die Unauffälligkeit: Sie setzen darauf, dass kein Jäger auf sie aufmerksam wird.

DIE ERSTAUNLICHSTE ERRUNGENSCHAFT der Eintagsfliegen ist jedoch das Vermögen, ihren Schlupf zu synchronisieren – und diese Eigenschaft ist der Wissenschaft zugleich das größte Rätsel: Wie nur gelingt es Millionen dieser Insekten, simultan, auf die Viertelstunde genau, mit ihren Artgenossen zu schlüpfen? Wie vermeiden sie es, ein paar Stunden oder gar Tage vor oder nach dem großen Ereignis den bisherigen Lebensraum aufzugeben?

Fast scheint es, als verließen die Larven in ihrem letzten Stadium wie auf ein geheimes Signal hin ihre Zuflucht am Gewässergrund, um sich von der alten Hülle zu befreien, in die Luft aufzusteigen und ihrem Tod entgegenzuschwirren.

Tatsächlich wissen die Forscher noch immer nicht genau, wie es Eintagsfliegen gelingt, ihr Schlüpfen zu synchronisieren. Mit Thermometern und Fallen versuchen Wissenschaftler im Freiland den genauen Zusammenhang zwischen Witterung und der Zahl ausschwärmernder Tiere zu erkunden; dann wieder lassen sie Larven unter kontrollierten Bedingungen im Labor heranwachsen.

Immerhin haben sie inzwischen herausgefunden, dass die Auslöser des Massenschlupfs von Spezies zu Spezies und manchmal auch bei verschiedenen Beständen variieren. Und dass stets Umwelteinflüsse das Signal zum Aufbruch geben.

Bei mehreren Spezies haben Biologen nachgewiesen, dass die Wassertemperatur der entscheidende Faktor ist. Erreicht



DIE LARVEN DER EINTAGSFLIEGEN leben am Boden von Gewässern, wo sie abgestorbenes pflanzliches und tierisches Material oder Kleinstlebewesen fressen. Sauerstoff nehmen sie über Tracheenkiemen auf, die seitlich vom Hinterleib abstehen und sich womöglich aus Extremitäten entwickelt haben

Bei vielen Arten ist die Wassertemperatur der entscheidende Faktor, der die Tiere schlüpfen lässt

die Summe der **Entwicklungsgradtage** (ein Maß für die durchschnittliche Wassertemperatur über einen gewissen Zeitraum hinweg) einen bestimmten Schwellenwert, schlüpft die Subimago.

Wie genau die Larve registriert, wann die richtige Zahl der Entwicklungsgradtage verstrichen ist, hat bislang niemand herausfinden können: Die Tierchen sind einfach zu empfindlich, um sie im Labor physiologisch zu untersuchen.

Anhand von Messungen der Wassertemperatur in Flüssen aber lässt sich beispielsweise der Schlupf von japanischen Eintagsfliegen der Spezies *Ephoron shigae* exakt vorhersagen. Und um die richtige Tageszeit zu treffen, orientiert sich diese Fliege vermutlich an der Lichtstärke.

Ganz anders organisiert die afrikanische Art *Povilla adusta* ihre Massenveranstaltung. Sie schlüpft nach einem vom Mond bestimmten Rhythmus, und zwar vor allem am zweiten Tag nach Vollmond, wenn dessen Licht die abendliche Dämmerung verlängert. Der gesamte Lebenszyklus dieser Eintagsfliege dauert nur einen Monat.

Mehr als über die Signale, mit deren Hilfe Eintagsfliegen ihren Schlupf synchronisieren, ist über die Zeitgeber bekannt, an denen sich beispielsweise die winzige Zuckmücke *Clunio marinus* orientiert. Sie ist zwar nicht mit den Eintagsfliegen verwandt, führt jedoch ein ähnlich kurzes, auf Kopulation und Eiablage beschränktes Erwachsenenleben.

Wie *Povilla* folgt sie dabei einem lunaren Rhythmus und tritt alle 15 Tage jeweils zu Voll- und Neumond in Erscheinung. Dann nämlich zieht sich das Meer in jenen felsigen Wattgebieten, in denen *Clunio* lebt, bei Ebbe am weitesten zurück. Dabei gibt es Algenmatten frei, auf denen die Zuckmücken ihre Eier ablegen.

Um das Schlüpfen von Millionen Individuen in Übereinstimmung zu bringen, nutzt *Clunio* gleich zwei innere Uhren: einen 24-Stunden-Zeitmesser, der sich nach dem Tageslicht richtet, und ein 15-Tage-Chronometer, das den Mondschein als Signal verwendet.

Weiter nördlich lebende Bestände orientieren sich sogar an den Turbulenzen des Wassers, wie sie bei einem bestimmten Gezeitenstand auftreten. Denn hoch im Norden steht der Mond so tief über dem Horizont, dass er nicht als verlässlicher Taktgeber taugt.

All diese Signale registrieren die Tiere mit ihren Sinnesorganen, zumeist mit den Augen. Daraufhin werden die inneren Zeitmesser in Gang gesetzt, die sich in vielen Zellen des Körpers befinden. Wie bei einer Sanduhr nimmt darin jeweils die Konzentration spezieller Stoffe zu und wieder ab. Ist ein Schwellenwert erreicht, kommt es zu einer körperlichen Reaktion – so gesteuert, beginnen etwa die Zuckmücken mit der Paarung.

Clunio marinus zeigt beispielhaft, über welch komplizierte Regelkreise ein scheinbar so simples Lebewesen verfügt, um den entscheidenden Moment seines Lebens nicht zu verpassen.

DOCH DIE NATUR KENNT noch andere Weckrufe, um ihre Akteure zum richtigen Zeitpunkt auf die Bühne zu holen. Im Fall der 17-Jahr-Zikaden sind Wissenschaftler einem besonders spektakulären Chronometer auf der Spur: Sie vermuten, dass sich die Larven an der schwankenden Saftqualität der Bäume orientieren, an deren Wurzelwerk sie saugend ihre Jugend verbringen. Wie jedoch die Signalübertragung im Detail funktioniert, ist bislang unklar.

Immerhin ist es Mathematikern inzwischen gelungen, anhand von Modellrechnungen zu erklären, weshalb sich manche Zikaden der Gattung *Magicicada* ausgerechnet 17 Jahre Zeit bis zum Schlüpfen nehmen: Es ist wohl ein Schutz vor synchronisierten Feinden.

Denn betrüge die Zyklendlänge beispielsweise nur 16 Jahre, so könnten die Zikaden von sämtlichen Tieren gefressen werden, die alle ein, zwei, vier, acht und 16 Jahre erscheinen. Auf die 17-Jahres-Zikaden jedoch könnte sich nur ein Räuber einstellen, der im Zyklus von einem oder 17 Jahren massenweise auftritt. Anders als etwa im

Fall von Fuchs und Hase kann sich also kein Räuber-Beutezyklus einpendeln.

Die nächste Invasion der Zikaden steht schon bald an: Im Frühsommer 2008, wenn die Bodentemperatur 17 Grad Celsius übersteigt, werden im US-Bundesstaat Tennessee Milliarden Zikaden zugleich ihre Verstecke im Erdboden verlassen – um ihr Leben überirdisch zu beschließen. □

Alexandra Rigos, 39, ist Wissenschaftsjournalistin in Berlin. Fachberatung: **Dr. Arnold Staniczek**, Staatliches Museum für Naturkunde, Stuttgart.



Die Ameisen und ihre Fluchtkompetenz

Überraschend viele Menschen halten sich die Sechsbeiner als Haustiere. Die aber versuchen meist auszubüten. Und so kommt es regelmäßig zum evolutionären Wettkampf zwischen Formica fusca und Homo sapiens

In dem komplizierten, von Gewalt (Fliegenklatschen!), Zurückweisung (Insektspray) und Missverständnissen (Spinnen sind keine Insekten!) gekennzeichneten Verhältnis zwischen den Europäern und den Insekten war der 14. November 1993 ein historisches Datum. An diesem Tag lud eine Gastronomiezeitschrift in München 80 Journalisten und Gourmets zu „Europas erstem Insektenessen“ ein.

Angeblich ernähren sich rund 80 Prozent der Weltbevölkerung zumindest hin und wieder von Insekten, ohne sich anschließend zu übergeben. In Beijing, so liest man, seien Skorpione (die zu den Spinnen gehören, ich weiß) am Spieß ein beliebtes Fastfood, und Heuschrecken würden nussig schmecken.

Nur auf unserem Kontinent findet man das offenbar ekelig, obwohl wir doch Naturfreunde sind und aufgeklärt und obwohl das Insekt, mal ganz pauschal gesprochen, weder vom Aussterben bedroht ist noch in tierschutzwidrigen Zuchtanlagen gemästet wird. Insofern ist der Insektenverzehr korrekt. Außerdem – leben nicht auch Aale von Aas und Schmodder?

Wenn man sich die anschließend erschienenen Presseberichte anschaut, kann man nur sagen: Der 14. November 1993 endete im Desaster. Die Hamburger Wochenzeitung „Die Zeit“ zum Beispiel schrieb: „Die mit Fliegenlarven gewürzte Tomatensauce hat einen penetranten Seifengeschmack. Mehlwurmkuchen ist eine widerlich süße Pampe.“

Am besten kamen in der Gastro-Kritik noch die Heuschrecken weg, nussig, tat-

sächlich, die lebenden Mehlwürmer dagegen wurden von fast allen Feinschmeckern mit größter Reserve beurteilt. Trotzdem – ich erwähne es bloß – gibt es im heutigen Basel eine Bar, wo „Glasierte Mehlwürmer an würziger Limetten-Marinade“ zum Preis von 8,50 Schweizer Franken als Häppchen angeboten werden, das Gericht trägt den Namen „Wirre Würmer“. Und der Insektenkoch Frank Ochmann gibt Kurse in Berlin. Ich war niemals dort.

einer Ameise ist leicht säuerlich, mit einem Hauch von Zitrone, Pilzen und Blattlaus im Abgang.

Nur sehr wenige Lebewesen sind dazu motiviert, einen Staat zu gründen, darunter die Ameise und der Mensch. Beide, Ameisen und Menschen, bringen ihren Müll ordentlich auf Müllplätze, beide züchten Pilze. Beide führen Kriege. Die mächtigsten Ameisenstaaten haben etwa 300 Millionen Bewohner. Der mächtigste Staat der Menschen, die USA, hat interessanterweise ebenfalls etwa 300 Millionen Einwohner.

Dann habe ich in diesem Heft gelesen, dass sich der größte Ameisenstaat der Welt über 270 Hektar ausdehnt, und



Zu den wenigen Insekten, die bei uns ein eher positives Image besitzen und sogar Hauptrollen in erfolgreichen amerikanischen Filmen spielen – „Das große Krabbeln“ –, gehören die Ameisen. Dem Insektenessen war der wohl bekannteste deutsche Gourmet-Kritiker Wolfram Siebeck demonstrativ ferngeblieben, anschließend aber äußerte er in einem Artikel die These, dass Ameisen in Deutschland vor allem mit der Marmelade verzehrt werden, in die sie manchmal fallen. Ich vermute, der Geschmack

habe recherchiert, dass diese Fläche ziemlich genau der Anbaufläche der Rebsorte „Kerner“ im Freistaat Bayern entspricht. Was das aber zu bedeuten hat, weiß ich nicht genau.

Überraschend häufig scheinen Ameisen als Haustiere gehalten zu werden, die Tierhaltung findet in einem Behälter statt, den der Experte „Formicarium“ nennt. „Ameisenhaltung“, steht in einem Exper-

ten-Internet-Forum, „ist ein sehr preiswertes und einfaches Hobby.“ Man kann sie zum Beispiel mit toten Fliegen und mit Regenwürmern füttern, gewiss, das kostet nicht die Welt. Im Gegensatz zu Wolfram Siebeck oder mir nimmt die Ameise auch klaglos Mehlwürmer zu sich.

Die **Hausameisen** weisen allerdings eine überraschende Gemeinsamkeit mit den Aquarienfischen auf – sie sterben relativ rasch, sobald ihnen trocken wird. Hausameisenliebhaber müssen ihre kleinen Freunde regelmäßig besprühen oder ein Wassertöpfchen für sie aufstellen.

Ein **Hauptfeind** der Hausameise ist auch der Fernsehapparat. Lautes, aufdringliches Fernsehen und laute Musik kann die Hausameise, ähnlich wie alte Universitätsprofessoren, nicht gut oder sogar überhaupt nicht ertragen. Sie stirbt dann oder versucht zu flüchten.

Was die **Ameise** von anderen Haustieren unterscheidet, ist überhaupt ihre extrem hohe Fluchtkompetenz. In den Ameisenforen wird intensiv darüber diskutiert, wie sich die Flucht eines so extrem kleinen, so extrem willensstarken Haustieres verhindern lässt, das ohne Sauerstoff leider nicht leben kann, weswegen sich ein luftdichter Verschluss des Formicariums verbietet. Vaseline zum Beispiel soll helfen. Auf der an der Glaswand verstrichenen Vaseline glitscht die Ameise immer wieder aus, und ihre Flucht scheitert ein ums andere Mal. Die Vaseline bitte regelmäßig erneuern!

Neben denen, die Ameisen halten und lieben und bis zu 500 Euro im Internet für eine exotisch-schöne Ameisenkönigin bezahlen, die dann womöglich unbefruchtet ist, also ein Fall von Betrug, gibt es jene anderen, welche Ameisen als lästig empfinden und sie töten. In dieser Szene, die ihr Problem ebenfalls im Internet ausführlich diskutiert, ist eine der umstrittensten Fragen die Backpulverfrage.

Angeblich fressen Ameisen gern Backpulver und zerplatzen anschließend wie Feuerwerkskörper, weil das Backpulver sich aufgrund chemischer Prozesse im Inneren der Ameise explosionsartig ausdehnt. Andere Ameisenfeinde bestreiten dies heftig und sprechen von einem „Ammenmärchen“. Sonderbar, dass eine experimentell so einfach zu überprüfende These immer noch nicht wissenschaftlich geklärt ist! Nun, fast jede Leserin und fast jeder Leser wird Backpulver zu Hause haben.

Neben meinem Interesse an Ameisen habe ich ein zweites Insekten-Lieblingsthema, nämlich deren extreme Sexualität.

»Die Termiten sind das perfekte Beispiel für Monogamie: König und Königin leben 20 Jahre zusammen, ihre Lust verlischt niemals, und wenn das eine Tier stirbt, folgt ihm das andere«

Denn was die **Sexualität** betrifft, so werden die beiden radikalsten Positionen des gesamten Tierreiches von Sechsbeinern besetzt. In Gestalt der erwachsenen Eintagsfliege haben wir ein Geschöpf, das nur für die Erotik lebt und sozusagen an nichts anderes denkt – mit der Ameisenarbeiterin dagegen eines, welches steril ist und vermutlich nie an Erotik denken würde, falls sie denn zum Denken imstande wäre.

Nach der Theorie von Sigmund Freud hat Kultur etwas mit der Verdrängung von Sexualität zu tun. Das Verdrängte oder Unterdrückte verwandelt sich – ich vereinfache! – in Kunst und Politik. Zugespitzt gesagt: ohne Verdrängung kein Staat. Deswegen finde ich die Tatsache bemerkenswert, dass auch die Insektenstaaten etwas mit der Verdrängung von Sexualität zu tun zu haben scheinen, denn ihre Bevölkerung ist zum größten Teil asexuell.

Gleichzeitig liefern uns ausgerechnet die scheinbar so unsentimentalen Insekten das vermutlich perfektste Beispiel für eine lebenslange, monogame Beziehung. Ich spreche von der Termitenkönigin und dem Termitenkönig. Ihr Leben lang verbringen diese beiden alle Zeit gemeinsam in ihrer Kammer, 20 Jahre, ihre Lust aufeinander erlischt niemals, und wenn das eine Tier stirbt, dann folgt ihm bald das andere. Selbst die für ihre Monogamie berühmten Saatgänse sterben nicht gleich, wenn sie verwitwen.

Statt aber verliebten jungen Pärchen korrekterweise die Termiten als Rollenmodell für ewiges Glück vorzuhalten, statt beim Einblick eines sich schon lange treu ergebenen Paares zu sagen: „Sieh mal, die beiden da sind ja wie zwei Termiten!“, statt auf dem Standesamt zu rufen: „Möget ihr in Zukunft leben wie die Termiten, hurrat!“, ist in unserer Kultur meist von den „Turteltaubchen“ die Rede. Die Täuben aber sind gar nicht hundertprozentig monogam, sie tun nur so.

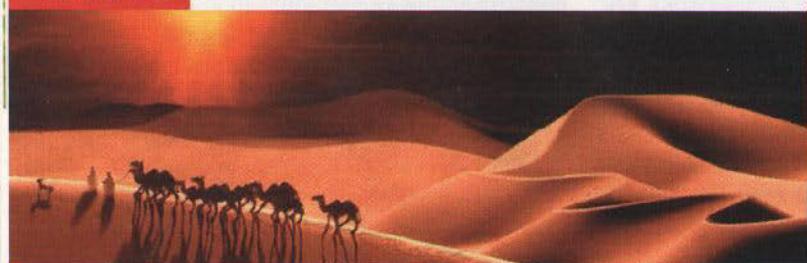
Daran ist wieder einmal zu erkennen, dass der Mensch, zumal der europäische, die Verdienste der Insekten nicht annähernd genug zu würdigen weiß. □

Wissen kompakt!



GEOkompakt
Heft 12

Die Wüsten der Erde:
Wie Mensch, Tier und Pflanze den Extremen trotzen.



GEOkompakt
Heft 13

Leben in der Steinzeit:
Von Höhlenmalern, Mammutjägern und Sterndeutern.



Dankeschön dazu!



Karte schon weg?
Sichern Sie sich **GEOkompakt** zum Vorteilspreis!
Bestellen Sie einfach per

Tel.: 01805/861 80 00*
E-Mail: GEOkompakt-Service@guj.de
Bitte Bestellnummer angeben:
zum Selbstlesen: 538282, zum Verschenken: 538283

Haben Sie die ersten Ausgaben verpasst?
Fehlende **GEOkompakt**-Ausgaben können Sie einfach nachbestellen: per Telefon unter o. g. Telefonnummer oder im Internet unter www.geo-webshop.de.
Sie erhalten jedes Heft für € 8,- zzgl. Porto und Verpackung (D).

Verlag: Gruner+Jahr AG & Co KG, Dr. Gerd Brüne, Am Baumwall 11,
20459 Hamburg, AG Hamburg HRA 102257.
Vertrieb: DPV Deutscher Pressevertrieb GmbH, Hartmut Bühne, Düsternstr. 1,
20355 Hamburg, AG Hamburg, HRB 95 752.

*14 Cent/Min.

Gleich Karte ausfüllen und abschicken!

Tauchen Sie ein in die Grundlagen des Wissens

GEOkompakt präsentiert die großen Themen der Allgemeinbildung in außergewöhnlicher visueller Opulenz, mit anschaulichen, leicht verständlichen Texten und Erklärungen. Alle **GEOkompakt**-Ausgaben ergänzen sich zu einer **Bibliothek des Wissens**.

Ihre **GEOkompakt**-Vorteile

- Sie sparen mehr als 9% gegenüber dem Einzelkauf!
- Sie erhalten ein Dankeschön Ihrer Wahl gratis!
- Kein Risiko: nach 4 Ausgaben jederzeit kündbar!
- Geld-zurück-Garantie für bezahlte, aber nicht gelieferte Hefte!
- Nachbestellrecht: Frühere Ausgaben sind für Sie reserviert!

Die Grundlagen des Wissens

In ihrem Körper reagieren bestimmte Stoffe miteinander und setzen Licht frei: Leuchtkäfer verfügen über ein hoch-effizientes Organ zur Brautwerbung. Doch zuweilen reagiert darauf nicht der gewünschte Partner – sondern ein tödlicher Feind

Text: Jörn Auf dem Kampe

Goochland County, nahe Richmond, US-Bundesstaat Virginia, Juni 1963. In einer warmen, feuchten Sommernacht wandert der Biologe James E. Lloyd durch Wiesen und Felder und tut so, als sei er ein Insekt. Genauer: ein männlicher Leuchtkäfer auf Brautschau.

Lloyd hält zu diesem Zweck eine Taschenlampe in der Hand – das genügt. Immer wieder lässt er sie aufblitzen, wartet, blickt in die Dunkelheit. Plötzlich glimmt wenige Meter von ihm entfernt ein winziges Licht am Boden auf, exakt fünfhalb Sekunden nach Lloyds letztem Signal. Dann verglüht es wieder.

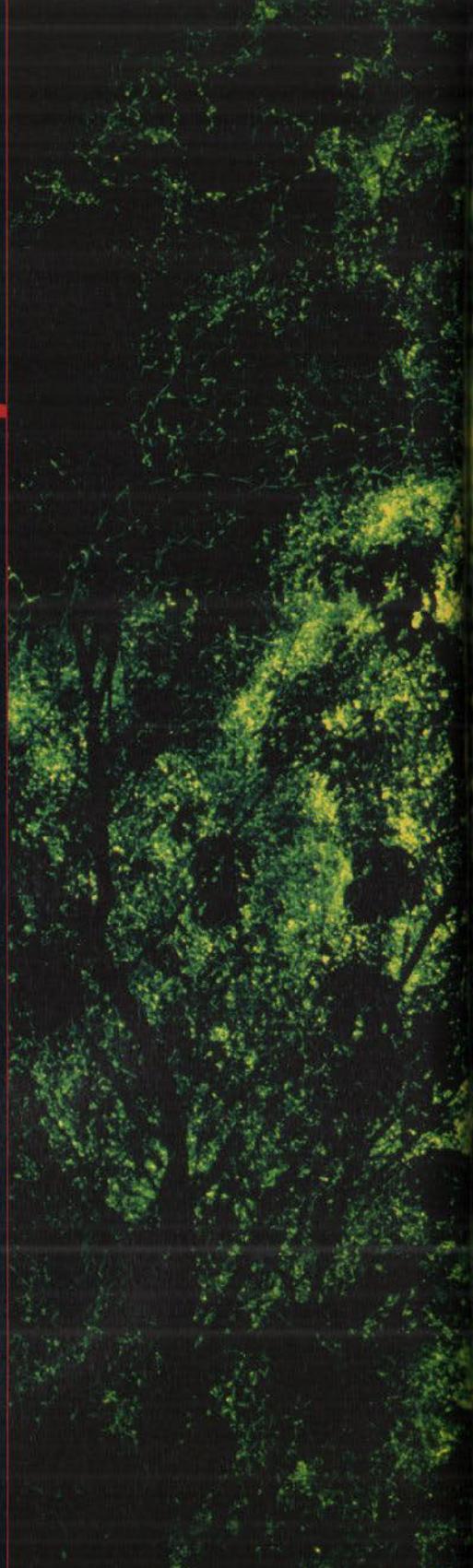


Vom Nervensystem
gesteuert, leuchten die
Hinterleiber der Käfer
auf – wie bei dieser Spe-
zies aus Jamaika

Es muss ein Weibchen sein, das einen Freier zur Hochzeit anlockt und dabei einen speziellen Code benutzt. Sofort sendet der For- scher ein weiteres Zeichen – und erhält nach einer erneut fünf- halb Sekunden langen Pause wieder eine Antwort. Mehrere Male noch blitzt Lloyd in die Nacht und nähert sich der Lichtquelle.

Schließlich entdeckt er die Ursache: Es ist tatsächlich ein Leuchtkäferweibchen.

Doch wäre Lloyd ein Kerbtier auf einer *tour d'amour*, befände er sich jetzt in höchster Gefahr. Denn die Käferfrau, die sich mit ihm per Licht- signal verständigt hat, ist gar nicht auf eine Paarung aus. Sie will fressen; sie gehört zur räuberischen Gattung *Photuris* und verspeist ausschließlich Leuchtkäfermännchen and-



Die Sprache der Leuchtkäfer



Abertausende Käfer lassen in Südostasien ganze Bäume aufflammen: Bei der Brautwerbung blinken die Männchen, wie hier in Indonesien, gemeinsam auf. Und zwar in einem bestimmten Rhythmus, wie Forscher nachgewiesen haben

rer Spezies. Um sie zu ködern, imitiert sie die Lichtsprache der zugehörigen Weibchen. Und dabei sind die Blinkzeichen und Pausen zwischen den Signalen entscheidend.

Bis dahin haben Wissenschaftler lediglich vermutet, dass die Photuris-Weibchen sich die Liebeskommunikation artfremder Leuchtkäfer zunutze machen. Doch Lloyd erbringt nun den Beweis und tauft die Sirenen „Femmes fatales“ – Frauen, die Unheil bringen.

Derartig hinterhältige Verlockungen sind unter Insekten nicht ungewöhnlich: Der Prolog zum

Kerbtier-Sex ist häufig eine risikante, aufreibende Angelegenheit – aber oft sind es nur die Männchen, die sich für den Beischlaf verausgaben und gar ihr Leben einsetzen.

Die Rollen sind nicht ohne Grund ungleich verteilt. Während Insektenmännchen ihre Spermien als Massenware herstellen und theoretisch unzählige Weibchen begatten könnten, muss das andere Geschlecht in die nährstoffreichen Eier viel Energie investieren. Ein Kerbtiermann kann daher weit mehr Nachwuchs zeugen als ein Weibchen, das sich im Gegenzug unter vielen Interessenten den besten auswählt.

Daraus folgt ein Prinzip, das im gesamten Tierreich gilt: Häufig müssen sich die männlichen Bewerber ungemein abmühen, um die Gunst einer Umworbenen zu gewinnen und dabei die Konkurrenz auszustechen.

Wer schließlich über die Rivalen triumphiert, entscheidet sich bei vielen Arten in regelrechten Ringkämpfen. Für diese Auseinandersetzungen hat die Evolution die Insekten bestens gerüstet: Hirschkäfer etwa hebeln mit ihren geweihähnlichen Mundwerkzeugen Nebenbuhler von Baumstämmen, einige Wanzen nutzen ihre Beine als Prügel, Ohrenknei-



Sobald ein Leuchtkäferweibchen dieser japanischen Spezies ein passendes Männchen entdeckt, beantwortet es dessen Blinken mit einem typischen Signal – so finden die Partner einer Art zueinander

Die Weibchen fliegen *Luftangriffe* auf

die zögernden Männchen

fer zwacken ihre Gegner mit Hinterleibszangen. Tagfalter stellen ihre Farbmuster auf den Flügeln zur Schau und versuchen, die Mitbewerber an Pracht zu übertragen. Grillen, Heuschrecken und Zikaden wetteifern mittels einer ausgefeilten Tontechnik um die Weibchen.

Die Zikaden setzen dafür eine Art Trommel ein: Sie verfügen über elastische Häutchen im Hinterleib, die sie per Muskulkraft und mit hoher Geschwindigkeit eindrücken und wieder zurück schnellen lassen – wie den Deckel einer Blechdose. Heuschrecken und Grillen hingegen besitzen zum gleichen Zweck mehrere Reihen winziger Buckel an Flügelkanten, dem Hinterleib oder auch den Beinen. Reiben sie diese gegeneinander, entsteht ein Zirpen, das weithin zu hören ist.

Im Laufe der Evolution sind dabei komplexe Gesangschoreografien entstanden, für deren Darbietung die Männchen viel Energie aufwenden müssen. Doch die Liebesakustik ist nicht nur anstrengend, sie ruft auch Feinde herbei; Räuber oder Schmarotzer können die Zikaden nun leicht orten. Parasitische Fliegen etwa stechen den Panzer der liebestollen Sänger an, um die Eier ihrer Brut darin abzulegen.

Und einem Pilz gelingt es sogar, die von ihm befallenen Zikaden umzuprogrammieren, wie Forscher der Universität Göttingen entdeckt haben: Der Parasit dringt in das Nervensystem des Wirts ein und verändert dessen Verhalten; statt selbst weiterhin Weibchen anzulocken, spürt das Männchen nun Geschlechtsgenossen anhand ihrer Gesänge auf,

um sich an die Musikanten heranzumachen und sie zu infizieren – und so zur Verbreitung des Schmarotzers beizutragen.

Trotz solcher Gefahren bei der Brautschau geht es bei vielen Spezies jedoch um die maximale Lautstärke: Eine Maulwurfsgrillenart zum Beispiel hebt im Erdreich eine Höhle aus, deren Form an ein Megafon erinnert. Am Ende des Trichters, neben einem zusätzlichen Ausgang, bezieht das Männchen Position und erzeugt mithilfe des Verstärkers Töne, die in 15 Zentimeter Entfernung eine Lautstärke von mehr als 70 Dezibel entfalten – und damit fast so geräuschvoll sind wie ein startender Jumbojet.

Das wohl spektakulärste Instrument zur Brautwerbung haben indes die Leuchtkäfer hervorgebracht. Eine teilweise durchsichtige Zone ihres Hinterleibs ist zu einer Lampe umgestaltet – ein spezielles Organ darin speichert Stoffe, die auf einen Nervenimpuls hin binnen Millisekunden miteinander reagieren und Licht aussenden.

Wie mit einem Schalter vermögen die Insekten den Effekt innerhalb kürzester Zeit auch wieder zu stoppen, sodass ihr Hinterteil nur kurz aufleuchtet. Die Lichtausbeute ist dabei höher als in einer Glühbirne, zudem liegt hinter der Leuchte noch eine Zellschicht mit reflektierenden Kristallen, die das Signal intensivieren.

Derart ausstaffiert, senden die Käfer bestimmte Codes: Die meisten Arten haben höchst charakteristische Lichtmuster entwickelt, um einander in der Nacht zu orten und nicht zufällig an eine andere Leuchtkäfer-Spezies zu geraten, von denen es weltweit etwa 2000 gibt.

Manche dieser Laternenträger erzeugen dabei so viele Blitze pro Sekunde, dass sie vom menschlichen Auge als langes flackerndes Glimmen wahrgenommen werden – die Käfer hingegen können die einzelnen Signale als solche erkennen. Oft ist zur sicheren Identifizierung zudem entscheidend, aus welcher Höhe und mit welcher Fluggeschwindigkeit die Zeichen abgegeben werden.

Nebenbei erfüllt die Lampe bei vielen Arten noch eine andere Aufgabe: Sie illuminiert die Umgebung bei Start- und Landemanövern.

Häufig sind beide Geschlechter mit dieser Mehrzweck-Leuchte ausgestattet. Den größeren Aufwand betreiben aber auch dann in der Regel die Männchen. Sie fliegen auf der Suche nach Partnern manchmal kilometerweit durch die Dunkelheit und lassen immer wieder ihr Lichtsignal aufglühen. Die Weibchen hingegen sitzen im Gras oder Gebüsch und warten ab.

Die Lampen schalten manche Spezies erst ein, wenn die funkelnden Männchen über ihnen bereits ihre Kreise ziehen. Bei anderen hingegen antworten die Weibchen einem Hochzeitsbewerber schon aus der Distanz mit ihrem typischen Leuchtkode. Dann nimmt der Anwärter sofort Kurs auf die Lichtquelle. Immer wieder blinken die Partner im

Die Leuchtsignale eines Männchens verraten

Wechsel auf, bis das Männchen endlich zum Landeanflug ansetzt.

Einige Arten erkennen sich darüber hinaus an den Pausen, die die Käferfrauen einlegen, ehe sie das Signal erwidern. Und genau das nutzen die gefräßigen Weibchen der Gattung *Photuris* aus.

Die „Femmes fatales“ leuchten nach den Pausen auf und rufen die Männchen anderer Spezies so mit gefälschten Signalen herbei. Zögern die Freier, fliegen die zum Teil fast doppelt so großen *Photuris*-Weibchen aus der Deckung heraus sogar Luftangriffe auf sie. Die räuberischen Käfer-Damen sind in ihrer Verstellungskunst so vielseitig, dass einige gleich fünf oder mehr unterschiedliche Codes beherrschen, um ihre Beute anzulocken.

Doch selbst wenn die liebeswillingen Blinker bei ihrer Brautschau nicht in die Fänge einer mörderischen „Femme fatale“ geraten, ist ihr Erfolg beim anderen Geschlecht noch lange nicht sicher: Denn es kann vorkommen, dass sich Rivalen gegenseitig in die Parade blitzen und auf diese Weise versuchen, ihren Kontrahenten zuvorzukommen. Zuweilen buhlen gut 50 Männchen um ein Weibchen.

Bei einigen Leuchtkäfer-Spezies Südostasiens hocken die Konkurrenten sogar zu Tausenden dicht nebeneinander im Blätterwerk von Mangrovenbäumen und locken ihrerseits die Partnerinnen an. Die Käfer synchronisieren ihre Blitze, bis die Gehölze, in denen sie sitzen, im Takt geradezu aufflammen – wie Weihnachtsbäume, deren Lichterketten man an- und ausschaltet. Offenbar

auch seine Eigenschaften

hilft ihnen dabei eine Art Schrittmacher im Kopf, der das Leuchten mit den Nachbarn abstimmt.

Die geballte Blitzkraft, so vermuten Insektenkundler, soll den Käferfrauen signalisieren, dass die Bäume frei von räuberischen Ameisen sind. Zudem dient das Feuerwerk wahrscheinlich der gemeinsamen Sache: Die Massenveranstaltung zieht mehr Weibchen an, als wenn jeder Bewerber für sich allein leuchten würde.

Das Spektakel, das sie veranstalten, beeindruckte schon die Entdeckungsreisenden vergangener Jahrhunderte: Der deutsche Arzt Engelbert Kaempfer etwa beobachtete das Phänomen 1680 bei einer Expedition in der Nähe von Bangkok und schilderte es als „feurige Wolke“.

„Gegen sämtliche Gesetze der Natur“ verstoße diese Erscheinung, schrieb ein Wissenschaftler noch 1917 in einem anerkannten Fachblatt und kam zu dem Schluss, seine Augenlider hätten plötzlich derart gezuckt, dass er sich das vereinte Blitzen wohl nur eingebildet habe.

In den 1960er Jahren nahmen Biologen das geheimnisvolle Synchron-Leuchten mit hochempfindlichen Messgeräten auf und bewiesen, dass die Tiere tatsächlich und äußerst präzise im Takt blinken.

Doch innerhalb der Gruppe tragen die Männchen erbitterte Kämpfe aus. Bei einer in Malaysia heimischen Art konnten Forscher

beobachten, dass die Käfer ihre Hinterleiber immer wieder wie Lichtwaffen auf einen der Konkurrenten in der Nähe ausrichten und – stets im Takt mit den anderen – von Zeit zu Zeit besonders intensive Blitze aussenden. So lange, bis der Nachbar aufgibt und davonfliegt.

Hat sich ein Pärchen aber gefunden, versucht das Männchen, auf seine Partnerin zu klettern. Reitet er auf deren Rücken, krümmt er seinen Laternen-Hinterleib und blitzt dem Weibchen direkt in die Augen – möglicherweise blendet er seine Gespielin so und macht sie blind für die Signale aus der Nachbarschaft.

MEMO | LEUCHTKÄFER

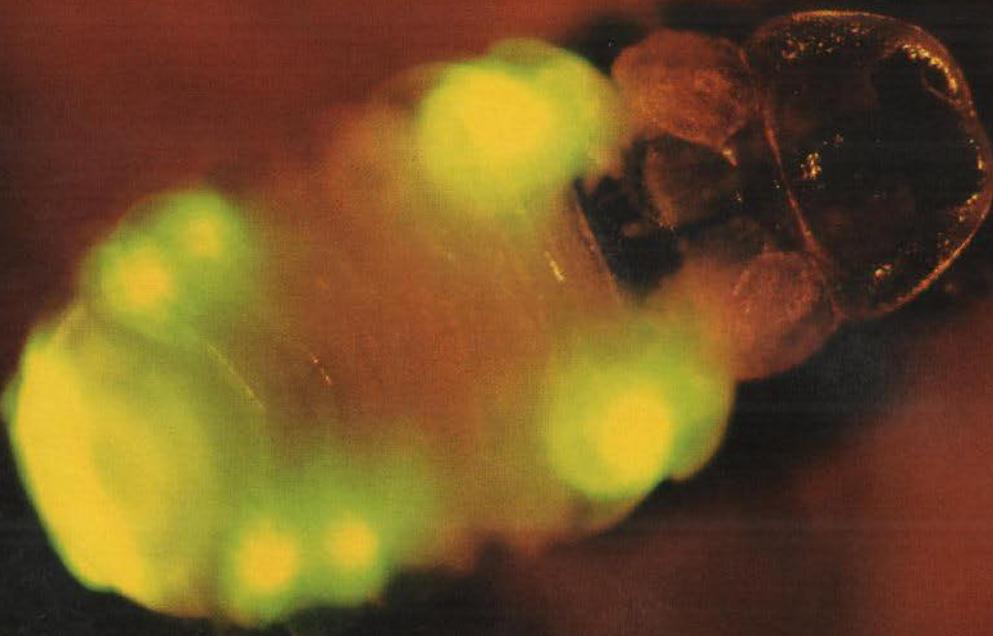
» SPEZIELLE ORGANE im Hinterleib enthalten Stoffe, die miteinander reagieren und dabei Licht freisetzen.

» JEDER ART hat ihren typischen Erkennungscode bei der Brautschau.

» KONTRAHENTEN um eine Partnerin versuchen, die Lichtwerbung eines Widersachers mit eigenen Signalen zu stören.

Und bei Schwärmen in Neuguinea sitzen beide Geschlechter von Beginn an gemeinsam auf den Bäumen. Nach stundenlangem Blinken machen sich die Weibchen plötzlich auf, und die Männchen jagen ihnen hinterher. In der Regel folgen mehrere Käfer einer Käferfrau, kollidieren dabei mit ihren Panzern in der Luft und krachen auch gegen das Weibchen, bis es schließlich landet und sich mit einem aus der Schar einlässt.

Das Ergebnis solcher Kämpfe ist jedoch keineswegs immer von vornherein festgelegt – denn das



Die Weibchen einiger in Mitteleuropa heimischer Arten der Leuchtkäfer werden wegen ihrer larvenähnlichen Körperform auch »Glühwürmchen« genannt. Mit ihren Lichtzeichen locken sie die flugfähigen Männchen an

Weibchen fällt nicht automatisch als Trophäe dem Gewinner einer Auseinandersetzung anheim. Vielmehr bestimmt die Umworbene meist selbst, wer den Vortzug erhält.

Wissenschaftler vermuten, dass die Signale der Leuchtkäfer stets auch etwas über die Qualität des männlichen Absenders aussagen: Je nach Individuum können geringste Variationen in Dauer, Frequenz oder Intensität der Zeichen entscheidend sein. Bei einer Leuchtkäfer-Art aus Nordamerika haben Forscher unlängst nachgewiesen, dass die Weibchen stets jene Käfermänner auswählen, die mit sehr hoher Frequenz blitzen.

Die Weibchen einer anderen nordamerikanischen Spezies favorisieren dagegen Aspiranten mit besonders lang andauern-

den Leuchtsignalen. Daraus können die Umworbenen offenbar schließen, dass die Männchen in ihrem Körper ein großes Paket mit Spermien tragen: je länger das Leuchten, desto üppiger das Hochzeitsgeschenk, das die Männchen den Partnerinnen bei der Kopulation verabreichen.

Und das ist für die Weibchen von großer Bedeutung: Denn es enthält neben den Spermien auch Nahrung.

Die „Femmes Fatales“, die verführerischen Codeknacker, hingegen sind kaum wäblerisch und locken alle Leuchtkäfermänner an, deren Signale sie beherrschen und die in Reichweite sind.

Was dahintersteckt, konnten amerikanische Biologen 1997 enträtseln, 34 Jahre nach der Entde-

ckung von James E. Lloyd: Erst wenn sich die Photuris-Weibchen mit ihren eigenen Männchen gepaart haben, werden sie aggressiv. Und fressen dann einen fremden Käfer nach dem anderen. Mit jedem Opfer nehmen sie ein hochwirksames Gift auf – da fast alle Leuchtkäfer Stoffe enthalten, die giftig sind.

Auf diese Weise machen sich die eigentlich ungiftigen Photuris-Damen unangreifbar. Einen großen Teil des fremden Gifts speichern sie zudem in ihren Eiern.

So reift später auch der Nachwuchs der „Femmes fatales“ vor Feinden geschützt heran. □

Jörn Auf dem Kampe, 33, ist GEOkompakt-Redakteur und hat das Konzept dieser Ausgabe erarbeitet. Wissenschaftliche Beratung: **Prof. Dr. Konrad Dettner**, Lehrstuhl für Tierökologie, Universität Bayreuth.

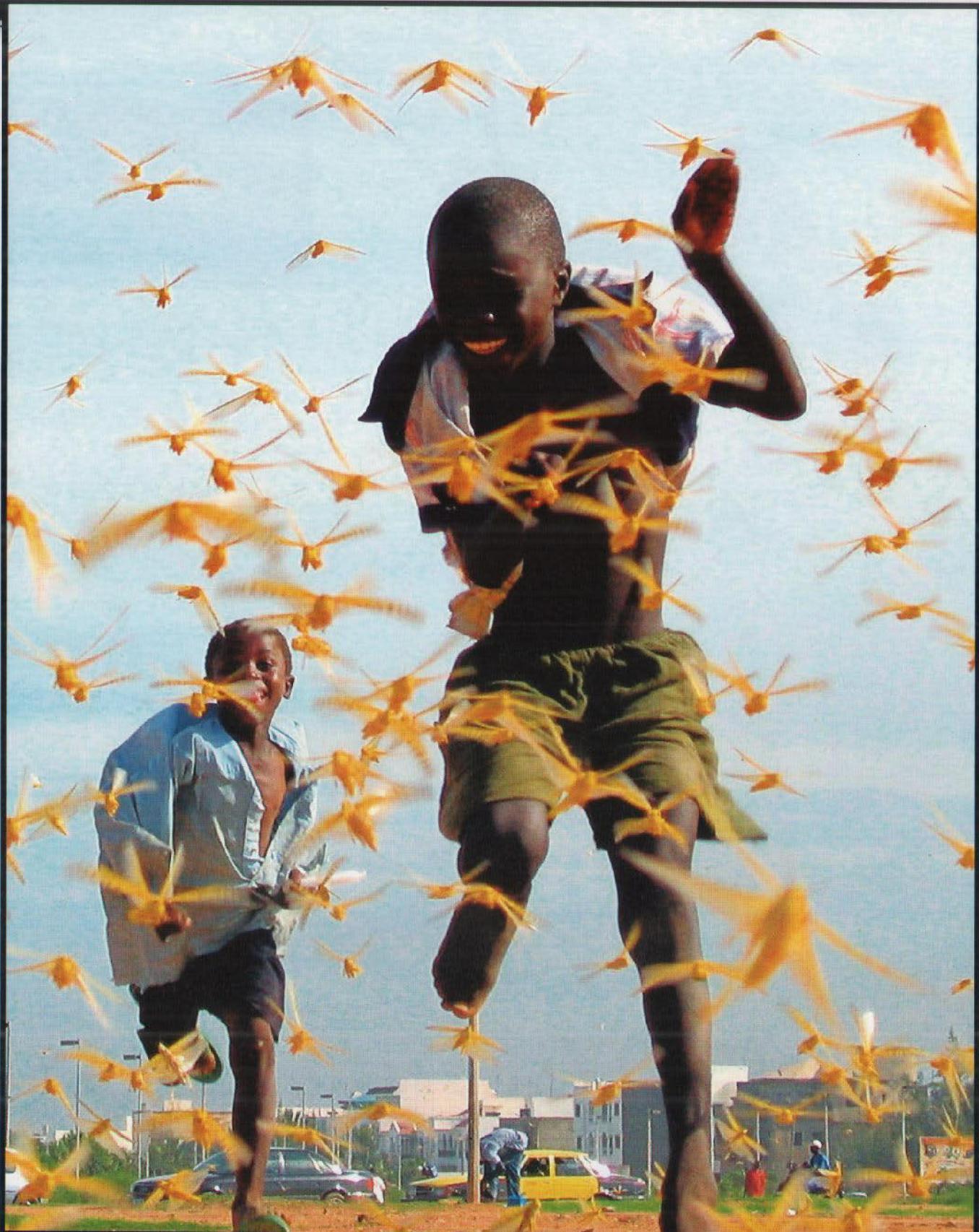


Die Zähne des Windes



Einzel lebende Wüstenheuschrecken werden unter bestimmten Bedingungen zu gefräßigen Schwarmwesen, die auf Wanderschaft gehen. Bei ihrer letzten Hautung bilden sich aus Stummeln am Rückenpanzer – wie auf diesem Bild zu sehen – Flügel

Sie erscheinen wie aus dem Nichts, und oft sind es Abermillionen: **Wüstenheuschrecken** ziehen in gewaltigen Schwärmen umher und fressen ganze Landstriche leer. Bevor es zu einer solchen Heimsuchung kommt, bauen die Tiere ihren Körper auf erstaunliche Weise um



Es war die schlimmste regionale Plage seit 15 Jahren: Im Herbst 2004 zogen Heuschreckenschwärme durch die Sahelzone vom Tschad bis nach Senegal, in dessen Hauptstadt Dakar die gelb-schwarzen Schädlinge im September zu Abermillionen einfielen

Dies ist die Geschichte einer Verwandlung. Sie handelt von scheuen, harmlosen Einzelgängern und davon, was aus ihnen werden kann – fresswütige Zerstörer, die sich zusam-

menrotteten zu gigantischen Heerscharen und halbe Kontinente verwüsteten. Es ist eine Verwandlung, so spektakulär wie nirgendwo sonst im Tierreich; und so verblüffend, dass Forscher noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts glaubten, die Einzelgänger und die Zerstörer gehörten zwei völlig verschiedenen Arten an.

Wer konnte zu jener Zeit auch ahnen, wozu die Wüstenheuschrecke fähig ist? Wie wundersam sie ihr Verhalten und ihr Aussehen ändert, um Schwärme zu bilden wie jenen, der am 3. Oktober 2004 Nouakchott heimsuchte. Es war halb elf am Vormittag in der Hauptstadt Mauretanien, als sich eine Wolke vor die Sonne schob, 20 Kilometer lang, fünf Kilometer breit. Fünf Milliarden Heuschrecken fielen über die Stadt her.

Die Luft knisterte. Dann regnete es Tierleiber. Sie prallten gegen Autoscheiben, Mauern, Menschen. Steckten in Haaren fest, drangen in Häuser ein. Und machten sich über alles her, was grün war: den Rasen des Fußballstadions, die Gärten des Präsidentenpalastes, die Gemüsefelder am Stadtrand. Bäume wurden zu brodelnden Ungetümen; manche brachen knallend unter der Last zusammen. Die Sichtweite lag bei einem Meter. Wer konnte, stülpte sich einen Eimer über den Kopf.

10 000 Tonnen Nahrung braucht ein Schwarm dieser Größe jeden Tag – ungefähr so viel wie die fast acht Millionen Bewohner Londons. Als die Insekten nach zwei Stunden abzogen, hinterließen sie eine verheerte, kahle Stadt. Mauretanien, der Wüstenstaat im Westen Afrikas, er lag im Zentrum einer Heuschreckeninvasion, unter der 20 Länder litten. Es war die schlimmste seit 15 Jahren. Nun hatte sie ihren Höhepunkt erreicht.

„Es zieht herauf in mein Land ein mächtig Volk und ohne Zahl; das hat

Zähne wie Löwen und Backenzähne wie Löwinnen.“ So fassungslos wie einst der biblische Prophet Joel standen Menschen zu allen Zeiten den Himmelshorden gegenüber, die urplötzlich kamen, wie aus dem Nichts, und deren Gier gnadenlos war.

800 000 Tote soll es im antiken Nordafrika während einer **Plage** im Jahre 125 v. Chr. gegeben haben. Als die **Wanderheuschrecken** 1613 in den Süden Frankreichs vordrangen, ordnete der Erzbischof von Avignon eine Teufelsaustreibung an. In Libyen fraßen hungrige Schwärme 1944 sieben Millionen Weinstöcke kahl. Und noch die vorerst letzte große Plage stürzte Hunderttausende ins Elend; sie brach 1987 im Sudan aus und endete erst zwei Jahre später, in Indien.

Die Geschichte eines jeden Milliardenheeres – sie beginnt immer in idyllischen Verhältnissen.

Mauretanien, September 2003, ein Jahr vor der Heimsuchung: Grün gewellte Teppiche überziehen die Dünenlandschaft, die östlich von Nouakchott beginnt. Es regnet seit Monaten hier in der Sahelzone, alles blüht. Die Heuschrecken sind nirgend-



Zwei Weibchen bei der Eiablage: Unter idealen Bedingungen versechsfacht sich ein Schwarm binnen drei Monaten

wo zu sehen. Sie verbergen sich in Sträuchern und den wenigen Akazien: Überlebenskünstler in grüner Tarnfarbe, sechs Zentimeter lang.

Die Tiere sind noch in der **solitären Phase**, der Einzelgänger-Phase. Ihre bevorzugte Nahrung sind Wildpflan-

zen, etwa die mannshohe Schouwia, ein Kreuzblütengewächs. Ihre Strategie: die Unauffälligkeit. Flüge absolvieren sie vor allem nachts, Eidechsen und Spinnen gehen sie aus dem Weg – wie auch ihren Artgenossen. Manchmal finden Forscher hier mitten im Brutgebiet nur ein Exemplar pro Quadratkilometer.

Nun aber, am Ende der sommerlichen Regenfälle, ist es vorbei mit der Einsamkeit. Denn die wochenlange Feuchte, das viele Grün haben dafür gesorgt, dass sich die Heuschrecken kräftig vermehren konnten. Schneller als sonst wachsen sie jetzt heran, häuten sich, pflanzen sich fort. Mancherorts leben schon 2000 auf einem Hektar.

Und es wird noch enger. Plötzlich bleibt der Regen weg; die Böden trocknen aus. Nur hier und dort halten sich noch Pflanzen, in Wadis vor allem, den Flussbetten in der Wüste. In solchen

Einen Anführer

brauchen die Heuschrecken auf ihrer
Wanderung nicht

Gebieten – viele kaum größer als ein Fußballfeld – versammeln sich immer mehr Heuschrecken. Hungrige Artgenossen aus dem Süden des Landes treffen ein.

Binnen ein, zwei Wochen ist aus dem Überfluss ein Notstand geworden. Nun beginnt die Verwandlung.

Irgendwann drängen sich in einigen Wadis Dutzende der scheuen Einzelgänger auf einem Busch. Und plötzlich scheint es, als könnten sie nicht mehr ohne die Enge. Wenige Stunden dauert es nur, dann sind sie zu nervösen, kontaktsuchenden Gemeinschaftswesen geworden.



Dieser Übergang von der solitären in die **gregäre Phase**, also die „Herden“-Phase – er brennt sich tief in das Nervensystem der Heuschrecken ein. Zunächst steigt die Menge des **Botenstoffes** Serotonin auf das Achtfache; was offenbar das Zusammenspiel von zehn weiteren **Neurotransmittern** grundlegend verändert.

Genau haben die Wissenschaftler diesen Mechanismus noch nicht verstanden. Aber sie verblüfft, wie sehr er dem menschlichen Lernen ähnelt:

Ein einziger Schwarm der Wüstenheuschrecke kann eine Fläche von 900 Quadratkilometern bedecken – das entspricht der Größe Berlins.

Auch dort ist Serotonin an einem ersten, noch vorläufigen Schritt beteiligt, der Speicherung einer Kurzzeit-Erinnerung; gefolgt von tief greifenden Umbauten der **Synapsen** – und womöglich gilt das Gleiche für die grundlegende Verhaltensänderung bei den Heuschrecken.

Welcher Sinnesreiz das neurochemische Feuerwerk auslöst, wissen die Forscher dagegen inzwischen: Es ist die Be- rührung der Hinterbeine. Dort wachsen viele feinfühlige Härchen. Streicht man im Laborversuch solitären Heuschrecken jede Minute fünf Sekunden lang mit einem Pinsel über diesen „G-Punkt“, wie ihn einige Biologen nennen („G“ wie gregär), dann ist die Umbildung nach vier Stunden abgeschlossen.

Ein perfekt austariertes System der Anpassung also: Je dichter die Tiere



aufeinanderhocken, desto eher beginnt der Wandel.

Die Welternährungsorganisation (FAO) hat errechnet, dass die Verwandlung bei einer Menge von 20 Tieren pro Quadratmeter einsetzt. Aber das ist nur ein Richtwert. Denn in jedem Wadi herrschen andere Bedingungen.

Dort wo sich das Grün in wenigen „Hotspots“ konzentriert und wenig Nährwert hat, polen die Heuschrecken ihr Verhalten schneller um – in der Sahara, einem der extremsten Lebensräume

der Erde, kann nur bestehen, wer sich besonders flexibel auf die Bedingungen einstellt.

Die Strategie des Versteckens verspricht keinen Erfolg mehr; also setzen die Heuschrecken nun auf das Gegenteil. Sie bereiten sich darauf vor, den Kampf um die raren Ressourcen im Kollektiv aufzunehmen.

In den Wadis herrscht jetzt das Chaos des Übergangs. Auf manchen Büschen leben noch Einzelgänger, nebenan aber gibt es bereits Gruppenwesen. Sie bilden zwar noch keine Schwärme, pflanzen sich aber schon fort. Dabei übertragen sie ihr soziales Verhalten auf den Nachwuchs – der sich dann auch äußerlich verändert.

Fünf bis 15 Zentimeter tief bohrt das Muttertier seinen Hinterleib in den feuchten Boden. In diesen Gang legt es die Eier ab. Und umhüllt sie mit einer Schaumschicht, die **Pheromone** enthält: Signalstoffe, die festlegen, wie sich die Jungtiere, die noch nicht flugfähigen so genannten Hüpfer, entwickeln sollen.

Und je länger die Verwandlung des Muttertiers zurückliegt – je ausgeprägter sie also ist –, desto stärker das Signal der Mutter an ihren Nachwuchs. Denn: Die Wahrscheinlichkeit ist hoch, dass auch der künftige Hüpfer in einem Krisengebiet aufwächst, dass auch er in einer Masse hungriger Heuschrecken wird überleben müssen.

Und so kommt es. Die ameisengroßen Wesen, die zwei Wochen später aus der Erde kriechen, sind nun schwarz statt grün. Sofort finden sie sich zusammen, klumpen zu Haufen, die oft keinen Quadratmeter groß sind, aber Tausende winzige Heuschrecken enthalten. Sie formieren sich zu „Hopper Bands“, den Vorstufen der Schwärme.

Diese Hüpfer-Horden verlassen die Wadis. Einige Wochen lang krabbeln sie in dichten Strömen über den Wüstenboden, oft mehrere Kilometer am Tag, immer auf der Suche nach Nahrung. Sie häuten sich fünfmal, um sich langsam zu erwachsenen, flugfähigen Wesen zu entwickeln. Und sie rekrutieren junge

solitäre Artgenossen: Der Geruch anderer Heuschrecken genügt, schon setzt die Umfärbung von grün zu schwarz ein.

Treffen zwei Horden aufeinander, vereinigen sie sich. Im Extremfall entstehen kilometerlange Armeen, die alles kahl fressen, was ihnen zwischen die immer kräftigeren Kieferzangen kommt: nicht nur Büsche und Wüstengräser, auch Hirse, Weizen oder Mais auf den Feldern überraschter Bauern.

Die jungen Heuschrecken wirken jetzt wie Soldaten eines Millionenheeres, gleichgeschaltet und besinnungslos, wie von einem einzigen Willen gelenkt. Dabei braucht das Insekten-Kollektiv auf seinem Marsch nicht einmal einen Anführer. Weshalb das so ist, hat der Biologe Jerome Buhl von der Universität Sydney in Australien jüngst herausgefunden.

Die „Gleichschaltung“, bewies Buhl, folgt mathematischen Gesetzen. Mit zunehmender Dichte des Heuschrecken-Heeres steigt die Zahl der Kontakte zwischen benachbarten Hüpfern. Das führt

Aus Abermillionen

Berührungen

entsteht langsam

eine Ordnung

zunächst zum Chaos: Scheren einige Tiere aus, folgen ihnen alle anderen. Ein ständiges Hin und Her, mit dem Vorteil allerdings, dass wenige Heuschrecken ihre Artgenossen zu einer Nahrungsquelle leiten können.

Irgendwann geht selbst das nicht mehr. Drängen sich mehr als 60 – nun schon fast ausgewachsene – Jungtiere auf einem Quadratmeter, formt sich aus Abermillionen Blicken und Berührungen nach und nach eine Ordnung. Die Armee marschiert jetzt nur noch in eine Richtung, oft ziellos, manchmal so-

gar vorbei an grüner Vegetation, immer weiter durch die Wüste – ein Himmelfahrtskommando, das mit dem Hungertod enden kann.

Natürlich, die Hüpfer müssen wandern. Schon allein wegen des Nahrungs Mangels; und weil jeder, der innehält, Gefahr läuft, sofort von hungrigen Mitmarschierern aufgefressen zu werden. Aber warum die großen Heere? Denen droht ja nicht nur der selbstmörderische „Fanatismus“ der Wanderarmee, sondern auch der Zugriff der Feinde. Nie ist die Wüstenheuschrecke so leicht zu erspähen wie bei der Gruppenwanderung über offenes Terrain. Es kann geschehen, dass Vogelschwärme Millionen Hüpfer massakrieren.

Doch nicht allzu oft. Denn im großen Verbund haben die Insekten bessere Überlebenschancen als Einzelgänger oder Kleingruppen – offenbar lassen sich Eidechsen, Vögel und Spinnen von der Masse an Tierleibern einschüchtern.

Wüstenheuschrecken speien Gift, um Feinde abzuschrecken

Zumal die Hüpfer über eine weitere Methode der Abschreckung verfügen. Sie fressen Giftpflanzen, und zwar solche, die ihre solitären Artgenossen meiden. Nähert sich ein Feind, spucken sie ihm den Inhalt ihres Magens entgegen. Die giftgelben Sprenkel, die den schwarzen Panzer der gregären Hüpfer nun überziehen, zeigen es an: Vorsicht, ungenießbar!

Für die Forscher ist inzwischen klar: Was mit der Wüstenheuschrecke bei der Verwandlung geschieht, dient dazu, Feinde zu verscheuchen. Enges Aufeinanderhocken, das die Massen



Je enger die anfangs einzelgängerischen Heuschrecken aufeinanderhocken, desto eher beginnt der Wandel zum Schwarmwesen: Ab etwa 20 Tieren pro Quadratmeter führt das gegenseitige Berühren der Hinterbeine zu der Verhaltensänderung

zusammenhält, Wechsel der Farbe und Ernährung – all das schützt die Nomaden wider Willen bei ihren Streifzügen durch eines der unwirtlichsten

Gebiete der Erde. Zunächst am Boden; dann auch in der Luft.

Der Ausbruch einer Plage ist unmöglich vorherzusagen. Was auch soll die

Heuschrecken-Einsatzzentrale der FAO in Rom tun? Sie bekommt Satellitenbilder, Wetterberichte, Meldungen der Kontaktleute vor Ort. Aber niemand kann in alle Wadis fahren, kann gregäre von solitären Tieren unterscheiden und winzige Hüpfer-Horden erkennen.

Zu komplex ist das Geschehen, zu sehr unterscheiden sich Feuchte, Art und Dichte der Vegetation von Ort zu Ort. Einige Sträucher weniger, und die Verwandlung setzt ein. Wer Heuschrecken bekämpft, kann nur reagieren.

Im Oktober 2003 entwickelte sich der Ausbruch der Heuschreckenplage parallel in Mauretanien, Mali, Niger und Sudan. Noch war die Lage nicht dramatisch. Hätte die Trockenheit angehalten, wären vermutlich viele Hüpfer bei ihren Wüstenmärschen verendet.

Andere hätten Unterschlupf gefunden in den letzten Wadis.

Aber es kam anders. Es kam der Regen.

Er fiel am 21. und 22. Oktober, auf einem 2000 Kilometer langen Streifen von Senegal im Süden bis nach Marokko und Algerien. Über 100 Millimeter an manchen Orten, mehr als sonst im ganzen Jahr.

Noch einmal, völlig überraschend jetzt, blühte die Wüste, und in Rom wussten sie nun, dass die Situation kritisch wurde.

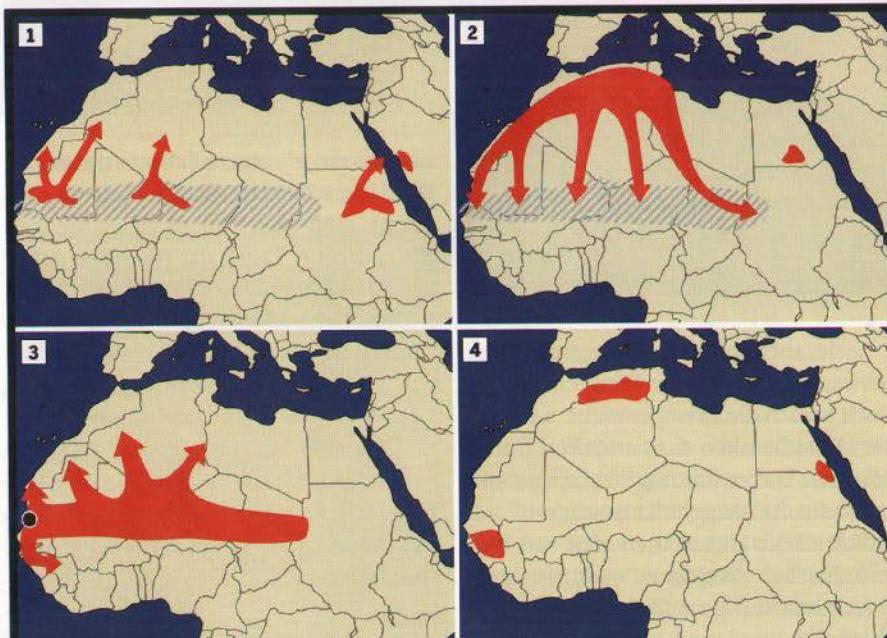
Die Armeen der Hüpfer liefen nicht ins Leere. Sie fraßen rastlos. Wuchsen weiter, häuteten sich. Schließlich legte ihr platzender Panzer die Flügel frei, die größer waren als bei den solitären

Artgenossen. Nur drei Tage dauerte es, dann waren sie ausgehärtet und ihre Muskeln einsatzbereit. Die Heuschrecken, jetzt erwachsen, hoben ab.

Und nun erreichte die Invasion ihr transkontinentales Ausmaß. In den Monaten nach dem großen Regen verwandelte sich der gesamte Nordwesten Afrikas in ein Fluggebiet für immer größere Schwärme. Der Zug ging nach Norden, in Richtung der Maghreb-Staaten; auf ihrem Weg entlang der plötzlich ergrünten Zone vermehrten sich die Heuschrecken weiter.



Heuschrecken-Bekämpfer können mit Insektiziden nur reagieren – vorbeugende Maßnahmen zeigen kaum Wirkung



Der Weg der Heuschrecken

Wie eine Plage entsteht: Im August 2003 kommt es zu längeren Regenfällen in den Brutgebieten der Heuschrecken in der Sahelzone (grau schraffiert). Die Tiere vermehren sich rasant und verwandeln sich nach und nach in gesellige Schwarmwesen. Im Oktober dringen erste Schwärme nach Norden vor (1), im darauffolgenden Sommer ziehen die meisten ihrer Nachkommen wieder nach Süden (2). Im Oktober 2004 fliegen Schwärme nach Norden und Westen, einer davon fällt unter anderem in Nouakchott, Mauretanien, ein (3; schwarzer Punkt). Zwischen Marokko und dem Tschad setzen Schädlingsbekämpfer schließlich Insektizide gegen die Wanderheuschrecken ein. Im Frühjahr 2005 brechen die Bestände zusammen, übrig bleiben Restpopulationen (4).

Ein Muttertier lebt mehrere Monate. Es legt ein- bis zweimal, manchmal auch dreimal, bis zu 80 Eier in den Boden. Räuber, trockene Böden oder Krankheiten dezimieren die Zahl der Eier. Jetzt, unter optimalen Bedingungen, produzierte jedes Weibchen durchschnittlich 20 Nachfahren, die überlebten. Das Wachstum war exponentiell. Und jede neue Generation war mobiler als die vorherige, noch gelber, mit noch etwas größeren Flügeln.

Im Norden, in Marokko und Algerien, beginnt die Regenzeit im März. Im Frühjahr 2004 nutzten die Schwärme die Feuchte im Maghreb, um immer noch weiter zu wachsen. Ein gespenstischer Anblick: Auf Feldern, viele Quadratkilometer groß, krochen plötzlich Abermillionen Hüpfer aus dem Boden.

Im Sommer breiteten sich die Heuschrecken nach Osten aus, die meisten der Nachkommen zog es jedoch zurück in die Sahelzone. Der Wanderzyklus war vollendet, mit ihm der Aufbau der



Riesenarmeen – und jener Gegend, in der alles begonnen hatte, stand nun die Heimsuchung bevor.

Der Schwarm, der Nouakchott am 3. Oktober 2004 überfiel, kam aus dem Süden des Landes. Er flog, wie alle Schwärme, mit dem Strom der Luft; wo sie hinweht, herrscht Tiefdruck, dort wird Regen fallen. „Zähne des Windes“ nennt der Koran die Heuschrecken, die auf diese Weise bis zu 200 Kilometer am Tag zurücklegen, immer im Formationsflug, die Flügelschläge synchronisiert, die visuellen Zentren des Gehirns besonders aktiviert; Kollisionen sind ausgeschlossen.

Die Heuschreckenwolke war schwierig zu entdecken, weil sie flach war und in großer Höhe unterwegs, getrieben von einer stabilen Luftströmung. Steigt warme Luft auf, kann es vorkommen, dass Schwärme eine Art rollende Walze bilden, die insgesamt 1500 Meter hoch ist. Dann ist ein Teil des Geschwaders am Boden, frisst, wird überholt, fliegt, überholt andere Tiere. So fräst das Milliardenheer eine Schneise durch das Land.

Wo sie Grünzeug ausmachen, lassen sich Heuschrecken nieder – 10 000 Tonnen pflanzlicher Nahrung vertilgt ein großer Schwarm täglich. Winde treiben die Massen bei der Suche voran

Viele, aber nicht alle Bewegungen der Schwärme sind mit dem Wetter erklärbar. Noch wissen die Forscher nicht, weshalb die Heuschrecken mal mit dieser, mal mit jener Luftströmung fliegen und wie genau sie ihr Zielgebiet auswählen.

Vor allem aber fragen sich die Wissenschaftler: Welchen evolutionären Zweck haben die spektakulären Reisen überhaupt?

Es ist eine Kamikaze-Strategie. Die großen Wanderschwärme sind zum Scheitern verdammt. Unausweichlich kommt der Moment, an dem sie in der Wüste vertrocknen. Oder vom Wind aufs Meer geweht werden; so endete nach der biblischen Überlieferung schon die achte der Plagen, mit denen Gott Ägypten strafe.

Nur selten erreichen die Vertriebenen dann noch rettendes Land. 2004 über-

raschte ein kleinerer Schwarm von 200 Millionen Tieren Urlauber auf den Kanaren. 1988 verschlug es Heuschrecken binnen zehn Tagen gar über den Atlantik, auf die Westindischen Inseln.

Das Gebiet, das die fliegenden Festungen regelmäßig befallen, umfasst ein Fünftel der Landmasse der Erde, von Algerien über den Nahen Osten bis nach Indien, insgesamt 57 Länder. Eine riesige Zone – aber die Wüstenheuschrecke schafft es nicht, dort „Brückenköpfe“ zu bilden, sich dauerhaft niederzulassen.

MEMO | HEUSCHRECKEN

»**EINZELGÄNGER** werden zu geselligen Tieren, wenn sich Artgenossen in einem Gedränge ständig berühren.

»**SIE BILDEN** große Schwärme, die sich zunächst am Boden fortbewegen.

»**NACH FÜNF HÄUTUNGEN** formen die Heuschrecken Flügel aus.

»**WINDE** tragen die Schwärme täglich bis zu 200 Kilometer weit.

»**DER EVOLUTIONÄRE SINN** der Schwarmbildung ist bislang unbekannt.

HERAUSGEBER

Peter-Matthias Gaede

CHEFREDAKTEUR

Michael Schaper

GESCHÄFTSFÜHRENDE REDAKTEURE

Martin Meister, Claus Peter Simon

CHEFS VOM DIENST

Dirk Krömer

Rainer Drost (Technik)

TEXTREDAKTION

Jörn Auf dem Kampe (Heftkonzept),

Jürgen Bischoff, Dr. Henning Engeln

ART DIRECTOR

Torsten Laaker

BILDERDAKTION

Roman Rahmacher;

Freie Mitarbeit: Katrin Kaldenberg, Tatjana Stapefeldt

VERIFIKATION

Susanne Gilges, Bettina Süssmilch;

Freie Mitarbeit: Dr. Eva Danulat, Friederike Eggers

WISSENSCHAFTLICHE BERATUNG

Christian Ulrich Baden, Rainer Harf

TEXT-MITARBEIT

Freie Mitarbeit: Katrin Blum, Nina Brendel, Bleike General, Ann-Christin von Haugwitz, Anja Haegele, Malte Henk, Ute Kehse, Eva-Maria Koch, Harald Martenstein, Martin Paetsch, Alexandra Rigos, Susanne Uertz, Bertram Weiß

ILLUSTRATION

Freie Mitarbeit: Rainer Harf, Jochen Stuhrmann, Eric Tscheime, Tim Wehrmann

SCHLÜSSREDAKTION

Ralf Schulte;

Assistenz: Hannelore Koehl

REDAKTIONSASSISTENZ: Ursula Arens

HONORARE: Angelika Györfy

BILDAADMINISTRATION UND -TECHNIK: Stefan Bruhn

BILDARCHIV: Bettina Behrens, Gudrun Lüdemann, Peter Müller

REDAKTIONSBÜRO NEW YORK: Nadja Märsi (Leitung),

Tina Ahrens, Christof Kalt (Sekretariat);

535 Fifth Avenue, 29th floor, New York, NY 10017, Tel. 001-646-884-7120,

Fax 001-646-884-7111, E-Mail: geo@geo-ny.com

Verantwortlich für den redaktionellen Inhalt:

Michael Schaper

VERLAGSLEITUNG: Dr. Gerd Brüne, Ove Saffe

ANZEIGENLEITUNG: Anke Wiegel

VERTRIEBESLEITUNG: Ulrike Klemmer, DPV Deutscher Pressevertrieb

MARKETING: Julia Duden (Ltg.), Anja Stalp

HERSTELLUNG: Oliver Fehling

ANZEIGENABTEILUNG: Anzeigenverkauf: Ute Wangermann,

Tel. 040/37 03 29 32, Fax: 040/37 03 5773; Anzeigenabposition:

Carola Kitschmann, Tel. 040/37 03 23 93, Fax: 040/37 03 56 04

Es gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 3/2007

Der Export der Zeitschrift GEO kompakt und deren Vertrieb im Ausland sind nur mit Genehmigung des Verlages statthaft. GEO kompakt darf nur mit Genehmigung des Verlages in Lesezirkel geführt werden.

Bankverbindung: Deutsche Bank AG Hamburg,

Konto 0312800, BLZ 200 700 00

Heft-Preis: 8,00 Euro • ISBN-Nr. 978-3-570-19743-1

© 2007 Gruner + Jahr Hamburg

ISSN 1614-6913

Litho 4mat Media, Hamburg

Druck: Mohn Media Mohndruck GmbH, Gütersloh

Printed in Germany

GEO-LESERSERVICE

FRAGEN AN DIE REDAKTION

Telefon: 040/37 03 20 73, Telefax: 040/37 03 56 48

E-Mail: briefe@geo.de

ABONNEMENT- UND EINZELHEFTBESTELLUNG

ABONNEMENT DEUTSCHLAND

Jahres-Abonnement: 29 €

BESTELLUNGEN:

DPV Deutscher Pressevertrieb

GEO-Kundenservice

20080 Hamburg

Telefon: 01805/861 80 03*

(*14 Cent/Min.)

ABONNEMENT ÖSTERREICH

GEO-Kundenservice

Postfach 5, 6960 Wolfurt

Telefon: 0820/00 10 85

Telefax: 0820/00 10 86

E-Mail: geo@geo-service.at

ABONNEMENT ÜBRIGES AUSLAND

GEO-Kundenservice, Postfach, CH-6002 Luzern;

Telefon: 0041-41/329 22 20, Telefax: 0041-41/329 22 04

E-Mail: geo@leserservice.ch

BESTELLADRESSE FÜR GEO-BÜCHER, GEO-KALENDER, SCHUBER ETC.

DEUTSCHLAND

GEO-Versand-Service 50/001

Postfach 1002

CH-4146 Genf 42

ÖSTERREICH

GEO-Versand-Service 50/001

Postfach 5000

A-1150 Wien

BESTELLUNGEN PER TELEFON UND FAX FÜR ALLE LÄNDER

Telefon: 0049-1805/08 20 00, Telefax: 0049-1805/08 20 00

E-Mail: service@guj.com

„Noch ist es uns ein Rätsel, weshalb dies so ist“, sagt der Zoologe Stephen J. Simpson. Und nennt zwei mögliche Erklärungen. Entweder ist die Auswanderung eine Art Verzweiflungstat – denn auch wenn die Masse des Schwärms naturgemäß untergeht, besteht für die Nachkommen womöglich doch eine winzige Überlebenschance.

Oder aber es ist bei den gigantischen Invasionsheeren einfach die „Aufrüstung“ außer Kontrolle geraten: Denn in jedem Jahr, in vielen Wadis, wechseln Heuschrecken von der solitären in die gregäre Phase, das macht Sinn, es bietet Schutz bei der Nahrungssuche. Viele kleine Schwärme fliegen einige Kilometer. Finden Grün, lassen sich nieder. Und werden wieder zu sesshaften Einzelgängern. Denn die Wanderheuschrecke vermag sich durchaus von der gregären in die solitäre Phase zurückzuverwandeln. Große Plagen kommen nur selten vor; im Verlauf des 20. Jahrhunderts waren es gerade einmal sechs, von denen die längste allerdings 13 Jahre dauerte. Eine



Selbst auf die Kanaren gelangten Schwärme im Jahr 2004 – dauerhaft niederlassen konnten sich die Tiere jedoch nicht: Sie verendeten, wie hier am Strand von Fuerteventura

Heuschreckeninvasion ist also möglicherweise nichts anderes als der Super-GAU einer ungewöhnlich opportunistischen Gabe zur Anpassung.

Das Ende des Schwärms von Nouakchott kam schon bald. Es gelang den Heuschreckenbekämpfern, den Weg der Wolke durch Mauretanien zu verfolgen. Abends ließ sie sich nieder, und am nächsten Morgen um fünf Uhr – die rund fünf Milliarden Insekten ruhten noch – kam ein Flugzeug und tötete sie mit Insektiziden. Mauretanien Getreideproduktion in jenem Jahr sank um beinahe 50 Prozent.

Sie bilden rollende Walzen, 1500 Meter hoch, und fräsen Schneisen durch die Felder

Im Winter nach der Katastrophe herrschte kaltes, trockenes Wetter. Die Nachkommen aller Schwärme des Ausbruchs von 2003 saßen fest, die Bekämpfer konnten zuschlagen. Sie nebelten zwischen Marokko und Tschad 13,5 Millionen Hektar Land mit Insektengift ein, ein Gebiet größer als Griechenland, und stoppten so den Aufbau bedrohlich großer Heuschreckenschwärme. Im Frühjahr 2005 war die Invasion beendet.

Aber die Menschen in Afrika wissen: Schon bald wird sich die Wüstenheuschrecke wieder in ihren größten Feind verwandeln. □

Malte Henk, 30, ist Journalist in Hamburg. Fachliche Beratung: **Prof. Dr. Hans-Jörg Ferenz**, Institut für Biologie, Martin-Luther-Universität in Halle-Wittenberg.

Kompakt erklärt

Wichtige Fachbegriffe – präzise definiert. Die Zahlen geben an, auf welchen Seiten sie vorkommen und wo sie (blau hervorgehoben) zum Verständnis eines Textes besonders wichtig sind

Abdomen

Bei Gliederfüßern, zu denen auch die Insekten gehören, der hintere der drei Körperabschnitte, bei Wirbeltieren der Unterleib. Das Abdomen der Insekten ist ursprünglich aus **elf Segmenten** zusammengesetzt, die jedoch oft miteinander verschmolzen sind. Es trägt weder Beine noch Flügel, sondern steht vor allem im Dienst von Verdauung, Stoffwechsel und der Regulation des Wasserhaushaltes. (30, 31, 34, 36)

Ameisenstraßen

Wege, die von zahlreichen Ameisen benutzt werden. Meist führen diese Straßen vom Nest zu nahe gelegenen Futterquellen, etwa von Blattläusen befallenen Pflanzen. Die Ameisen versehen diese Straßen mit einer Duftspur und ermöglichen so die Orientierung. (72, 107)

Antagonisten

Physiologisch gesehen Strukturen oder Substanzen, die gegeneinander wirken, zum Beispiel „Spieler“ und „Gegenspieler“ bei Muskeln. (58)

Außenskelett

Feste Hülle etwa bei Gliedertieren, aber auch vielen Einzellern, die den Körper stützt. Sie kann aus unter-

schiedlichen Materialien bestehen, wie **Chitin** und Eiweißen (bei Krebsen, Spinnen und Insekten) oder Kalk (bei Einzellern und Schnecken). (31, 32, 36, 38, 42, 57)

Bates'sche Mimikry

Nachahmung des Erscheinungsbildes gefährlicher oder ungenießbarer Arten durch eigentlich harmlose Tiere, die sich mittels dieser Maskerade vor Räubern schützen. (121)

Botenstoffe

Zellen vielzelliger Organismen kommunizieren in der Regel über chemische Stoffe, die eine Art Botenfunktion besitzen. Die Zellen müssen dafür nicht nebeneinander liegen. Manche Botenstoffe – wie etwa Hormone – können sogar die gesamte Körperlänge passieren, bis sie an ihren Bestimmungsort gelangen. Die angesprochenen Zellen reagieren dann mit einer spezifischen Antwort. (46, 142)

Brutbirne

Kinderstube der Pillendreher oder Skarabäen. Sie besteht aus einer in der Erde vergrabenem, aus dem Kot verschiedener Tiere gefertigten Pille und einem Ei, aus dem die Larven schlüpfen. (96)

Brutfürsorge

Alle Verhaltensweisen vor und bei der Eiablage, durch die sich die Überlebenschancen der Nachkommen vergrößern. (97)

Brutpflege

Der Schutz und die Versorgung der Eier und **Larven** durch die erwachsenen Tiere (**Imagines**) nach der Eiablage. (96, 98, 99)

Caput (Kopf)

Vorderer Körperabschnitt der Weichtiere, Gliederfüßer und Wirbeltiere. Er besteht bei den Insekten aus miteinander verschmolzenen **Segmenten** und beherbergt die Mundwerkzeuge, Fühler, **Facettenaugen** und gegebenenfalls die Ozellen (einfache Lichtsinnesorgane). In ihm befindet sich auch die Mundöffnung, das Gehirn (bei den Insekten als Oberschlundganglion bezeichnet) sowie ein kleinerer Nervenknoten, der die Mundwerkzeuge steuert. (31, 34)

Chitin

Stickstoffhaltiger Vielfachzucker (Polysaccharid), der ein wichtiger Bestandteil des **Außenskeletts** der Gliederfüßer ist. Auch in den Zellwänden bei Pilzen weit verbreitet. (29, 30, 32, 34, 37, 38)

Chitinschädel

Das zum großen Teil aus **Chitin** bestehende **Außenskelett** der Gliederfüßer. (30, 31, 92)

Echo-Ortung

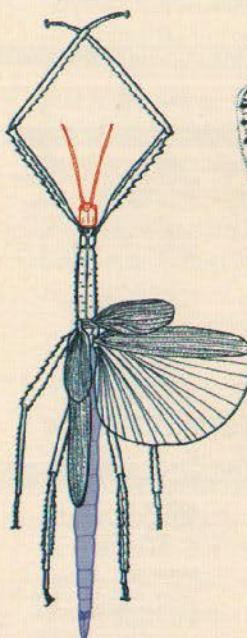
Lokalisierung von Gegenständen mithilfe von Schallwellen. So senden etwa Fledermäuse und Zahnwale Schallimpulse aus, die zum Tier zurückgeworfen werden, wenn sie einen Gegenstand treffen. Aus den reflektierten Wellen bestimmen sie dessen Position. (78)

Eiweiße (Proteine)

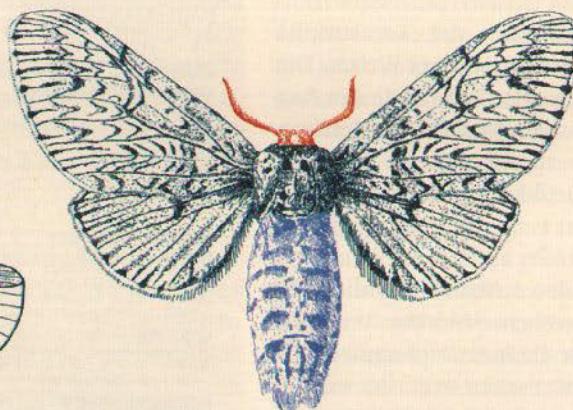
Biomoleküle, die aus 22 verschiedenen Aminosäuren aufgebaut sind. Diese sind in unterschiedlicher Anzahl und Reihenfolge miteinander verbunden und ermöglichen so eine enorme Vielfalt von Eiweißstoffen. Eiweiß und **Chitin** sind die Bausteine des Verbundwerkstoffes, aus dem der Außenpanzer von Gliederfüßern mit all seinen Anhängen geformt ist. (29, 30–32, 34, 36, 38)

Engerling

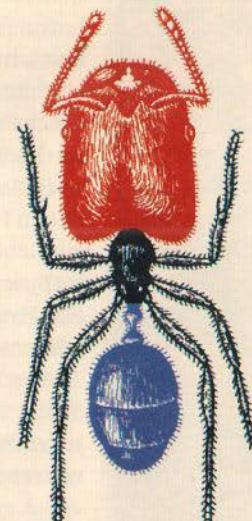
Larventyp einiger Käfer wie etwa der Blathornkäfer. Engerling-förmige **Larven** kommen auch bei vielen anderen Käfern vor, beispielsweise den Borken- und den



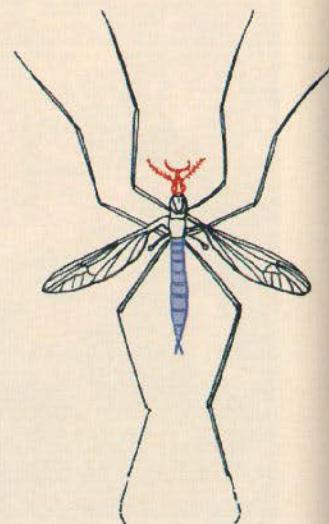
Gespenstheuschrecke



Großer Gabelschwanz



Bulldoggenameise



Schlange

Rüsselkäfern. Der wohl bekannteste Engerling ist die Larve des Maikäfers. (91)

Entomologe

Auf die Insektenkunde (griech. *éntomon* = Insekt) spezialisierter Wissenschaftler. (42, 51, 54, 59)

Entwicklungsgradtage

Ein Maß für die Entwicklungsdauer der *Larve* einer Eintagsfliege zur *Subimago*. Dazu wird ab dem durchschnittlichen Schlüpfdatum der Larven jeden Tag die mittlere Wassertemperatur bestimmt und addiert. Jede Art besitzt eine spezifische Anzahl an Entwicklungsgradtagen. (127)

Facettenaugen (Komplexaugen)

Sehorgane der Insekten, aber auch der Krebstiere und einiger Ringelwürmer. Sie bestehen aus bis zu 30 000 Sehelementen, die alle unterschiedlich ausgerichtet sind. So nimmt jedes von ihnen ein kleines Einzelbild auf. Diese werden im Gehirn zu einem Mosaikbild zusammengesetzt, das jedoch an Schärfe nicht an die menschlichen Sehkräfte heranreicht. (40, 46, 47, 48, 58, 59, 124)

Fadenhaare

Sensoren für mechanische Reize, die sich etwa bei Grillen an den Schwanzanhängen des *Abdomens* befinden. (45)

Ganglien

„Nervenknoten“, also eine kompakte Ansammlung von Nervenzellkörpern und den dazugehörenden Stützzellen. Die Ganglien

sind durch Nervenbahnen miteinander verbunden und kommen bei Organismen mit zentralem Nervensystem vor. (36)

Gattung

In der Biologie eine Kategorie im System der Lebewesen, die verwandtschaftlich sehr nahe stehende Arten zusammenfasst. Sie tragen dieselbe Gattungsbezeichnung. (9, 80, 92, 104, 106, 125, 127, 132, 136)

Gregäre Phase

Schwarmphase der *Wanderheuschrecken*, die zur *Ordnung* der Feldheuschrecken zählen und auf allen Kontinenten vertreten sind. Voraussetzung für den Übergang von der *solitären* zur *gregären Phase* ist andauernder Regen, der zur starken Vermehrung der Tiere führt, gefolgt von Dürre. Diese so genannte Gregarisation beruht überwiegend auf Berührungs- und Geruchsreizen. Der Grad der Gregarisation lässt sich an Verhalten und Färbung der Individuen erkennen. (142, 147)

Hämolymphe

Flüssigkeit, die bei den Weichtieren und Gliederfüßern, etwa den Insekten, unter anderem die Funktion des Stofftransports und des Wundverschlusses übernimmt. Sie umspült die Gewebe im offenen Kreislaufsystem der Kerbtiere. (34, 36, 152)

Halteren

Umgebildete Hinterflügel der Zweiflügler wie etwa der Fliegen und Mücken (bei den parasitisch lebenden Fächerflüglern die Vorderflügel), auch Schwingkölbchen

genannt, die mit derselben Frequenz, aber entgegengesetzt schwingen wie die Vorderflügel. Dabei registrieren sie Geschwindigkeit und Lage des Insekts in der Luft und ermöglichen diesem so eine bessere Flugstabilität. (58, 59)

Hemimetabole Metamorphose

Schrittweise Umgestaltung von etwa 15 Prozent der Insekten, bei der sich die *Larven* meist mehrfach häuten, bis sie sich – im Unterschied zur *holometabolen Metamorphose* – ohne Puppenstadium zur *Imago* entwickeln. Die Larven ähneln häufig bereits den erwachsenen Tieren, besitzen aber andere Proportionen und sind flügellos. Das letzte Larvenstadium wird Nymphe genannt. (91)

Holometabole Metamorphose

Eine Form der Verwandlung von Insekten, bei der ein Puppenstadium den Übergang von der *Larve* zum geschlechtsreifen Tier (*Imago*) bildet. Dabei erfolgt eine vollständige Umgestaltung des Insektenkörpers. Die Tiere nehmen in dieser Zeit keine Nahrung auf. (38, 91, 151)

Imaginalscheiben

Häufig einlängige Zellschichten, aus denen während des Puppenstadiums der holometabolen Insekten sowohl die äußeren Strukturen wie Beine und Flügel als auch die inneren Organe des erwachsenen Tieres heranwachsen. (56)

Imago

Erwachsenes (adultes) und damit geschlechtsreifes Entwicklungsstadium der Insekten. (91, 124, 151)

Indirekte Kraftübertragung

Bei vielen Insekten setzen die Muskeln nicht direkt an den Flügeln an, sondern an deren Peripherie, etwa am *Thorax*. Durch Verformung dieser Körperpartien werden beispielsweise beim Flugapparat vieler Insekten die Extremitäten bewegt. (58)

Kambrium

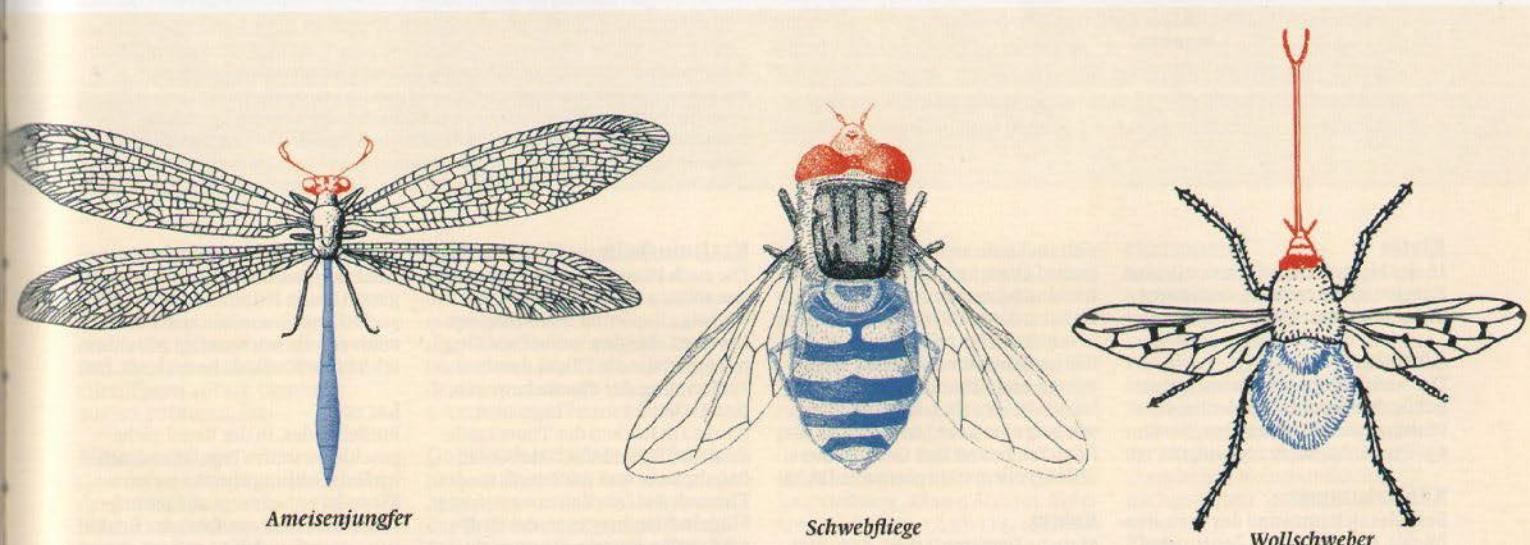
Erdgeschichtliche Periode zu Beginn des Erdalters (vor 542 bis 488 Millionen Jahren), in der – lange bevor der legendäre Sportwagen Aston Martin DB4 GT, Baujahr 1963, über den Asphalt rollte – die meisten grundlegenden Baupläne der Wirbellosen entstanden und mit den frühen kieferlosen Fischen auch die ersten Wirbeltiere. (30)

Karbon

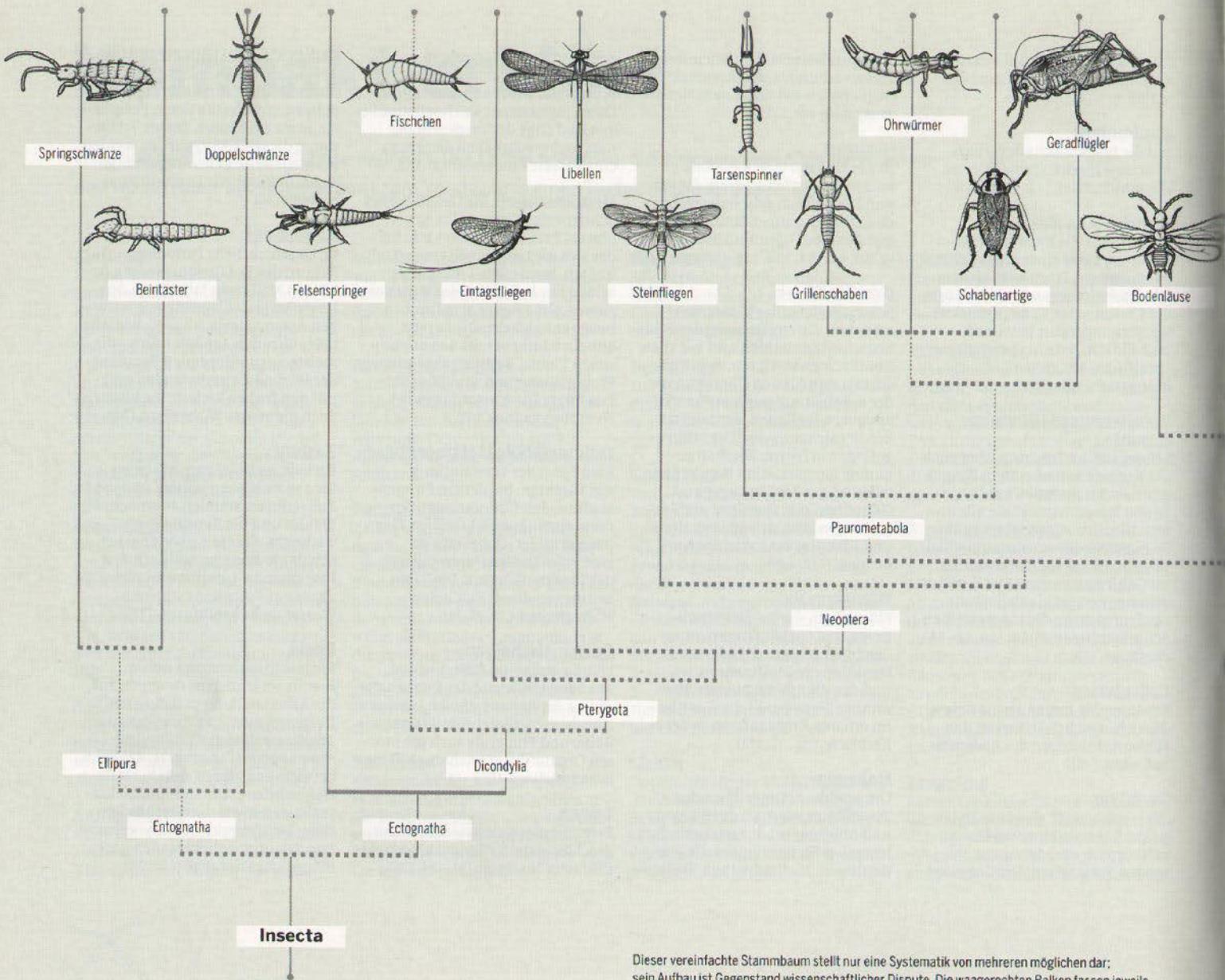
Periode im Erdaltertum vor 359,5 bis 299 Millionen Jahren. In diesem Zeitraum entstanden ausgedehnte Wälder und die Reptilien entwickelten das erste Ei mit harter Schale. So konnten sie (nach den Insekten) die Landmassen erobern, da sie zur Fortpflanzung kein Wasser mehr benötigten. (37)

Kaste

Soziale Insektenarten weisen jeweils verschiedene Gruppen auf, die Arbeitsteilung praktizieren. Körperformen und Verhaltensweisen dieser Kästen sind für ihre Arbeit optimal angepasst. Bei Kriegertermiten gibt es verschiedene unfruchtbare Arbeiter- und Soldatenkästen sowie die Geschlechtsküste; bei Honigbienen die befruchtete Königin, Arbeiterinnen und männliche Drohnen. (62, 108)



SÄMTLICHE INSEKTEN weisen das gleiche Bauprinzip auf: Ihr fester Panzer gliedert sich stets in drei Abschnitte: Kopf (rot), Brust (schwarz) und Hinterleib (blau). Das mittlere Segment trägt stets die drei Beinpaare und zudem häufig zwei oder vier Flügel. Dennoch sind die Kerbtiere Meister der Variation. Denn sie haben dieses Grunddesign im Laufe der Evolution auf vielfältige Weise verändert und etwa Segmente in die Länge gezogen oder gestaucht – wie diese Auswahl zeigt



Dieser vereinfachte Stammbaum stellt nur eine Systematik von mehreren möglichen dar; sein Aufbau ist Gegenstand wissenschaftlicher Dispute. Die waagerechten Balken fassen jeweils verwandte Gruppen zusammen, jene also, die ähnliche Merkmale aufweisen. Gestrichelte Linien deuten darauf hin, dass die Verwandtschaftsbeziehungen unsicher sind. Die lateinischen Namen der Ordnungen (der beiden obersten Reihen) wurden ins Deutsche übersetzt.

Klasse

In der biologischen Systematik eine Kategorie, die mehrere *Ordnungen* zusammenfasst. (151)

Königin

Das weibliche, anfangs fast immer geflügelte Geschlechtstier bei staatenbildenden Insekten. (59, 61, 62, 63–65, 66, 69, 70, 72, 73, 108, 110, 111)

Königskammer

Befindet sich inmitten des Termitenhügels, meist 10 bis 20 Zentimeter über dem Boden, und besitzt massive Wände zum Schutz des in der Kammer lebenden Königspaares. (64, 67)

Ko-Evolution

Einer der wichtigsten Vorgänge in der Evolution des Lebens, bei dem

sich im Laufe vieler Jahre zwei oder mehr Lebensformen bei ihrer Entwicklung gegenseitig beeinflussen. Dabei müssen nicht alle beteiligten Arten einen Vorteil daraus ziehen. Die gemeinsame Evolution von Insekten und Blütenpflanzen nützte jedoch beider: Insekten erschlossen sich eine neue Nahrungsquelle, Pflanzen ließen ihre Geschlechtszellen (Pollen) transportieren. (38, 78)

Kokon

Manche Insektenlarven, darunter viele Schmetterlinge, spinnen sich vor der *Verpuppung* in ein Gespinst ein, das häufig zu einem festen Kokon wird. In dieser festen Hülle verwandeln sich die *Larven*. Bei Spinnen und einigen Insekten dienen Kokons auch als Eibehälter. (90)

Kraftmuskel

Die auch Hauptantriebsmuskeln genannten Muskeln haben eine wichtige Funktion beim Flug der Insekten. Bei den indirekten Flugmuskeln, die die Flügel durch Verformung des *Thorax* bewegen, unterscheidet man Flügelsenker (längs am Rücken des Thorax gelegen) und Flügelheber (verbindet Bauchplatte und Rückenplatte des Thorax). Bei Libellen etwa wird der Flügelschlag hingegen durch direkt an den Flügeln ansetzende Muskeln erzeugt. (58, 59)

Kutikula

Komplexes Abscheidungsprodukt der obersten Hautschicht, das das *Außenskelett* der Gliederfüßer bildet. Die Kutikula besteht aus ver-

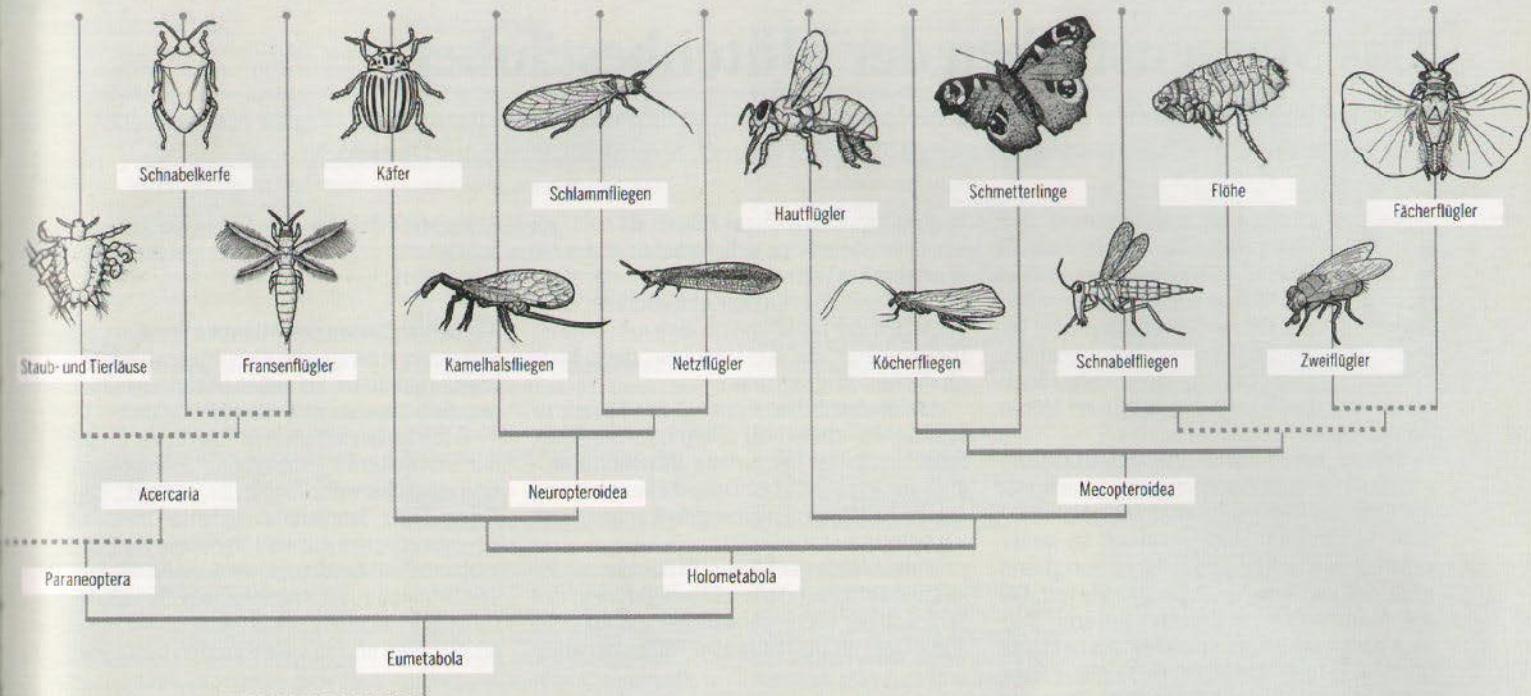
schiedenen Stoff-Kombinationen von *Eiweißen*, *Chitin* und in geringerem Maße Fetten, die hart, aber auch elastisch sein können. Bei Pflanzen wird die wachsartige Abschlusschicht als *Kutikula* bezeichnet. (30)

Larve

Freilebendes, in der Regel nicht geschlechtsreifes Jugendstadium im Entwicklungszyklus vieler Tiere; kann sich vom ausgewachsenen Tier im Aussehen, der Ernährungsweise und der Art des Lebensraums unterscheiden (37, 38, 70, 82, 90, 91, 92, 125, 127, 151)

Lichtsinneszellen

Auch: Lichtrezeptorzellen. Diese enthalten Licht absorbierende Pigmentmoleküle. Meist sind sie in



Der Insekten-Stammbaum

Vom Ur-Geziefer bis zum Fächerflügler – die Systematik der Kerbtiere

Der Urahre der Insekten entwickelte sich vor mehr als 380 Millionen Jahren, womöglich aus einem Krebstier oder einem Tausendfüßer. Mit diesem Prototyp und seinen Nachkommen entstand eine völlig neue Gruppe, die Systematiker heute als **Klasse** der „Insecta“ bezeichnen (ganz links unten) und die vermutlich mehrere Millionen Arten enthält; beschrieben sind bisher 962 500. Sie wird in 36 wissenschaftliche **Ordnungen** eingeteilt, von denen die wichtigsten hier mit Abbildungen wiedergegeben werden. Das **Urinsekt** konnte vermutlich nicht fliegen; nur wenige Ordnungen haben die flügellose Form bewahrt wie etwa die Springschwänze, Felsenspringer oder Fischchen (links oben). Die weitaus meisten Insekten stammen von einer flügeltragenden Kerbtiergruppe ab („Pterygota“), die vor mindestens 320 Millionen Jahren erstmals auftrat; wenige, wie die Tierläuse oder die Flöhe, haben ihre

Schwingen im Laufe der Evolution wieder zurückgebildet. Vor 290 Millionen Jahren brachten die Insekten zudem ein Prinzip hervor, das Wissenschaftler als einen Schlüssel für ihren Erfolg ansehen: die vollkommene Verwandlung, die **holometabole Metamorphose**. Zu den „Holometabola“ (oben Mitte) gehören etwa 85 Prozent aller Insektsarten, darunter die beiden artenreichsten Ordnungen der Schmetterlinge und Käfer. Aus ihren Eiern schlüpft zunächst eine einfach gebaute **Larve**, die vor allem frisst und heranwächst. Hat sie genügend Reserven angelegt, verpuppt sie sich. Dann lösen sich ihre Organe auf, und aus bestimmten Zellen wachsen neue Organe heran, die einen vollständig anderen Körper bilden: die **Imago** – das erwachsene, geschlechtsreife Insekt. Fast alle übrigen Insekten wie etwa Libellen oder Eintagsfliegen durchlaufen eine allmähliche Verwandlung ohne Puppenstadium von der Larve zur Imago.

Form von Augen unterschiedlichster Art organisiert, es kommen aber auch einfache Zellansammlungen vor, die lediglich Richtung und Stärke des Lichts wahrnehmen können. Sie sind vermutlich bei fast allen Tieren auf ein Urmuster zurückzuführen. (48)

Metamorphose

Gestalt- und Funktionswechsel in der Entwicklung, etwa bei Insekten beim Übergang von der **Larve** zur **Imago**. (50, 58, 82, 90, 91)

Neurotransmitter

Substanzen, die an den Kontaktstellen (**Synapsen**) von Nervenzellen freigesetzt werden und Signale von einem Neuron (= Nervenzelle) zum nächsten übertragen. (142)

Offener Blutkreislauf

Internes Transportsystem etwa der Gliederfüßer, in dem die **Hämolymphe** die Organe umspült. Für die Aufrechterhaltung des Kreislaufes sorgt das Rückengefäß, dessen im **Abdomen** gelegener Abschnitt als Herz bezeichnet wird. (36)

Opportunistisches Verhalten

Bereitwillige Nutzung von Gelegenheiten – etwa die Fremdversorgung der Brut durch Artgenossen – als Strategie, um die eigenen Überlebenschancen oder die der Nachkommen zu verbessern. (98)

Ordnung

Höhere systematische Kategorie in der Biologie, die verschiedene Familien zu einer Gruppe zusammen-

fassst. Sie steht im System der Lebewesen damit zwischen Familie und **Klasse**. Diese Klassifikation benutzen Forscher, um Lebewesen zu benennen und einzuteilen. Die kleinste biologische Einheit ist die Art, mehrere Arten bilden eine **Gattung**. Zusammenghörige Gattungen fassen Biologen zu einer Familie zusammen. Das System setzt sich über immer höhere Kategorien fort: **Ordnung, Klasse, Stamm/Abteilung und Reich**. (7, 91, 124, 143, 151)

Ovipositor

Legeapparat unter anderem der Insektenweibchen zur Ablage von Eiern. Er wird aus den letzten **Segmenten** des **Abdomens** gebildet und ermöglicht je nach Art unterschiedliche Formen der Eiablage. (98)

Pheromone

In kleinsten Mengen abgegebene, leicht flüchtige Signalstoffe, die im Gegensatz zu Hormonen nach außen abgegeben werden und das Verhalten und den Stoffwechsel von Artgenossen beeinflussen. Pheromone sind im Tierreich weit verbreitet und auch bei Menschen als Träger einer unbewussten chemischen Kommunikation nachgewiesen. (46, 64, 143)

Plage

Periode von ein oder mehreren Jahren mit schwerem, weiträumigem Befall durch sehr große Schwärme aus adulten Heuschrecken oder Hüpfer-Banden. Bei großen Plagen sind mehrere Regionen gleichzeitig betroffen. (140, 141, 144–147)

Das Massensterben der Blütenbestäuber

Ein rätselhaftes Phänomen beschäftigt Biologen vor allem in den USA: Im vergangenen Winter verendeten weit mehr Bienenvölker als sonst. Waren Milben der Grund, Monokulturen oder Überzüchtung?

Die Zahlen sind dramatisch. In den USA sterben die Bienen: Mehr als ein Viertel der 2,4 Millionen Völker sind seit Herbst 2006 zusammengebrochen, landesweit Dutzende Milliarden Tiere verendet. Die Katastrophenmeldungen kommen aus 27 Bundesstaaten; manche Imker stehen buchstäblich vor dem Nichts, in keinem ihrer Stöcke ist noch Leben.

Schon warnt das US-Landwirtschaftsministerium, die Versorgung der Amerikaner mit Lebensmitteln sei „ernsthaft gefährdet“, sollte es mit dem Massensterben so weitergehen. Schließlich ist die Westliche Honigbiene nach Rind und Schwein das wichtigste Nutztier des Menschen – ein Drittel unserer Nahrung hängt von ihr ab. *Apis mellifera* bestäubt Obst-, Nuss- und Mandelbäume, Gemüse, Raps und Futterpflanzen wie Sojabohne, Klee und Luzerne. Und schafft so indirekt gigantische Werte: 15 Milliarden Dollar jährlich in den USA, vier Milliarden Euro in Deutschland.

Die Forscher wissen nicht einmal, mit welchem Gegner sie es zu tun haben. Ist die „Colony Collapse Disorder“ (CCD), wie sie das Phänomen nennen, eine neue, rätselhafte Krankheit? Oder spielt jener Schädling eine Rolle, der seit Jahrzehnten – auch in Deutschland – bekannt ist: die Varroa-Milbe. Sie bohrt die Bienenlarven an, saugt deren **Hämolymphe**. Gleichzeitig dringen Erreger ein, vor allem Viren schwächen die Biene weiter. Der Tod kommt dann später.

Forscher haben verendete Bienen untersucht. Und sind im Verdauungstrakt der Insekten auf Scharen von Mikroorganismen gestoßen: Viren, Pilze, Bakterien – darunter einige unbekannte Organismen. Offenbar schwächt CCD das Immunsystem; ähnlich wie das Aids verursachende HI-Virus beim Menschen. Nun diskutieren die Wissenschaftler, ob eine Varroa-Epidemie diesen Parasiten den Weg in Milliarden Bienenkörper bereitet hat – oder doch ein neues Pathogen, eine Art „Bienen-HIV“.

In Deutschland haben Varroa-Milben im Winter 2002/03 ein Massensterben ausgelöst. 30 Prozent der Bienenvölker verendeten, dann stabilisierten sich die Verluste; im vergangenen Winter lagen sie bei zehn Prozent – einem Wert, der als normal gilt. Deshalb glauben viele deutsche Forscher nicht an einen geheimnisvollen amerikanischen Super-Schädling. „All jene Horrorszenarien, die wir bereits kennen, reichen als Erklärung völlig aus“, erklärt der Zoologe Jürgen Tautz, Leiter der „BEEgroup“ an der Universität Würzburg.

Denn wie gut sich die Honigbiene gegen ihren Hauptfeind, die Varroa-Milbe, durchsetzen kann, hängt von ihrem Gesundheitszustand ab. Und der wird immer schlechter: Um ein Bienenvolk zu vernichten, genügen heu-

te etwa zehnmal weniger Milben als noch vor einem Jahrzehnt. Für viele Forscher ist das ein dramatisches Warnzeichen, da die Honigbiene wie kein anderes Nutztier eingebunden ist in Kreisläufe der Natur und als eine Art „Umwelt-Thermometer“ die Veränderungen der Lebensräume feinfühlig registriert.

Im Verdacht, die „Fitness“ der Bienen zu schwächen, stehen vor allem öde, mit Pflanzenschutzmittel behandelte Monokulturen – etwa von Raps und Mais. Denn die Insekten sind auf ein vielfältiges Pollenangebot angewiesen, um sich gut zu entwickeln.

Unter welch gewaltigen Druck die moderne Landwirtschaft die Insekten setzt, zeigt das Schicksal der wilden Verwandten von *Apis mellifera*. Mehr als die Hälfte aller Wildbienenarten

ist die Milbe dagegen resistent geworden – und schlägt nun gegen die ohnehin geschwächten Bienen zurück.

Auf beiden Seiten des Atlantiks bemühen sich Forscher nun darum, den Kampf gegen die Schädlinge zu gewinnen. Sie wollen Honigbienen züchten, die besonders widerstandsfähig sind.

Doch vielleicht führt ein Eingriff ins Erbgut nur zu weiteren Problemen. „Honigbienen sind möglicherweise längst überzüchtet“, sagt Jürgen Tautz. Jahrzehntelang hätten Imker bei ihrer genetischen Auswahl Merkmale wie Sanftmut und Fleiß bevorzugt, wenn sie Königinnen und Drohnen zusammenbrachten. So schufen sie willige Helferinnen, die heute so viel Honig produzieren und so viele Pflanzen bestäuben



MIT DEM HINTERSTEN BEINPAAR kämmt die Honigbiene Pollen, den sie in Blütenpflanzen aufnimmt, aus ihrem Haarkleid. So entstehen die »Pollenhöschen« (orangefarben). Dabei bestäuben die Staateninsekten auch viele Nutzpflanzen – und haben daher eine enorme wirtschaftliche Bedeutung

in Deutschland sind in der Roten Liste der gefährdeten Tierarten verzeichnet. Auch die Zahl der Honigbienenvölker schrumpft ständig: hierzulande allein seit 1991 um mehr als ein Drittel auf etwa 700 000.

In den USA kommen weitere Stressfaktoren hinzu. Möglicherweise, so vermuten manche Biologen, reduzieren gentechnisch veränderte Maispollen die Abwehrkraft der Bienen, machen sie anfälliger für Parasiten. Vor allem aber betreiben viele amerikanische Imker ihr Geschäft in industriellem Maßstab. Sie karren die Völker auf Lastwagen übers Land, von Bestäubung zu Bestäubung, und füttern Proteine zu, wenn nicht ausreichend Pollen vorhanden sind. Die Varroa-Milbe bekämpfen sie mit aggressiven Chemikalien. Möglicherweise

wie niemals zuvor – deren genetische Vielfalt aber eventuell so eingeengt ist, dass ihr Immunsystem darunter leidet.

Um die Lebenskraft der Bienen zu ermessen, hat die Würzburger BEEgroup nun eine Reihe von Fitness-Tests entwickelt: Wie lange kann eine Bienengruppe ihre Temperatur aufrechterhalten, wenn man den Stock von 30 auf fünf Grad Celsius abkühlt? Wie aktiv ist ihr Stoffwechsel, wenn man sie, in einem Luftstrom fliegend, Stressfaktoren aussetzt?

Das Ziel: erste Alarmzeichen zu erkennen, ehe ein Volk zusammenbricht. Zunächst jedoch will Tautz überprüfen, wie gesund die deutsche Honigbiene wirklich ist – durch einen Vergleich mit Artgenossen aus der Türkei, die noch keine Züchtung hinter sich haben. *Malte Henk*

Polarisiertes Licht

Die Wellen von natürlichem, nicht polarisiertem Sonnenlicht schwingen regellos quer zu ihrer Ausbreitungsrichtung. Durch Reflexion an Wasseroberflächen oder Streuung in der Atmosphäre wird ein Teil des Sonnenlichts einer ganz bestimmten Schwingungsrichtung stärker zurückgeworfen – es wird also in eine Richtung gelenkt, polarisiert. Viele Insekten nutzen dieses Licht zur Orientierung. (6, 48, 125)

Puppe

Das zwischen der **Larve** und dem erwachsenen Tier gelegene Entwicklungsstadium der holometabolen Insekten, in dem sich der Übergang zum geschlechtsreifen Adultstadium vollzieht. (38, 73, 82, 90, 91, 92, 110, 111)

Raupe

Walzenförmige **Larve** einiger Insekten wie der Schmetterlinge oder Blattwespen, die sich meist nicht nur mit drei Brustbeinpaaren, sondern auch mit stummelförmigen Gliedmaßen und Haftorganen des Hinterleibs fortbewegen. Sie ernähren sich meist von Pflanzen. (25, 38, 58, 79, 80, 82, 83, 85–87, 89, 90, 91, 118, 120)

Rote Blutkörperchen

Auch Erythrocyten genannte, den Farbstoff Hämoglobin enthaltende Blutzellen, deren Aufgabe es ist, den Gastransport zu bewerkstelligen. (36)

Segmente

Die marinen Urahnen der Insekten waren vermutlich aus identischen Einheiten (Segmenten) aufgebaut, die sämtliche Körperfunktionen ausübt. Heute sind diese teilweise verschmolzen und haben sich spezialisiert, sodass der Kopf der Insekten nun aus sechs Segmenten, der **Thorax** aus drei und das **Abdomen** zumeist aus elf Segmenten besteht. (30, 31)

Sehelemente (Ommatidien)

Einzeläugige, die Bauelemente des **Facettenaugen** von Insekten und Krebsen. (46, 47)

Selbstorganisation

Bei den Ameisen das Zusammenleben ohne „Regierung“. In einem Ameisenvolk kommunizieren Tausende Individuen über Duftstoffe, Berührungen und Vibratoren miteinander und organisieren auf diese Weise beispielsweise die Versorgung mit Nahrung. (63, 106)

Sinneshaare

Haarähnliche Sensoren. Je nach Aufbau können sie unter anderem Geschmack, Duftstoffe, Schwerkraft, Wärme, Berührungen und andere Reize wie Stellung der Gliedmaßen oder Fluggeschwindigkeit, das magnetische Feld oder den Schall wahrnehmen. Sinneshaare sind jeweils spezialisiert auf bestimmte Reize. (45, 80)

Solitäre Phase

Lebensabschnitt der **Wanderheuschrecken**, in dem sie als strikte Einzelgänger existieren. Viele Individuen wechseln nie in die **gregäre Phase**, da diese spezifische Umweltbedingungen zur Voraussetzung hat. (141, 142, 147)

Steuermuskeln

Die Steuermuskeln setzen unmittelbar an den Insektenflügeln an und steuern die Stellung der Flügel. (58)

Strickleiternervensystem

Das Nervensystem der Insekten besteht aus Gehirn und Bauchmark. In der Aufsicht ähnelt seine Struktur einer Strickleiter. (36)

Subimago

Seltene Entwicklungsstufe der Insekten, die nur noch bei den Eintagsfliegen (Ephemeroptera) vorkommt. Die Subimago schlüpft aus dem letzten Larvenstadium und besitzt schon funktionstüchtige Flügel, ist allerdings noch nicht geschlechtsreif. Innerhalb weniger Minuten, Stunden oder eines Tages häutet sie sich zum erwachsenen Tier, der **Imago**. Dies ist die einzige bekannte Häutung von Insekten in einem bereits flugfähigen Stadium. (124, 125, 127)

Superorganismus

Bezeichnung etwa für einen Ameisenstaat, in dem die Einzeltiere wie Zellen und Organe eines Lebewesens zusammenwirken. Die Arbeiterinnen haben im wesentlichen die Funktion von Körperteilen wie Mund und Augen übernommen oder die des Gewebes, das die – von der **Königin** verkörperten – Eierstöcke umgibt. (108, 111)

Symbiont

Partner einer Lebensgemeinschaft unterschiedlicher Arten, bei der zum gegenseitigen Nutzen ein Individuum in oder auf dem anderen lebt. (63)

Synapse

Kontaktstelle zwischen zwei Neuronen (Nervenzellen) – oder zwischen einem Neuron und einer Sinnes-, Muskel- oder Drüsenzelle. Sie dient dazu, Signale von Zelle zu Zelle über den dazwischen liegenden Spalt zu übertragen. Dazu wird das elektrische Signal in ein chemisches umgewandelt: Vom eintreffenden Nervenimpuls ausgelöst, werden **Neurotransmitter** ausgeschüttet, die einen Spalt durchqueren. Auf der anderen Seite wird das chemische in ein elektrisches Signal zurückverwandelt. (142)

Thorax

Bei den Gliederfüßern der mittlere Körperschnitt, bei den Wirbeltieren der durch den Rippenkorb gekennzeichnete Körperschnitt. Er ist bei den Insekten in Pro-, Meso- und Metathorax gegliedert, wobei an jedem dieser **Segmente** in der Regel ein Beinpaar sitzt. Je

nach Art kann zusätzlich an Meso- und Metathorax rückenständig jeweils ein Flügelpaar vorhanden sein. (31, 34)

Tracheen

Röhrenförmige Atmungsorgane der Insekten und Tausendfüßer, die einen Gasaustausch zwischen der Außenwelt und jeder Region des Körpers ermöglichen. Die Öffnungen der Tracheen sind die Stigmen, die sich bei den ursprünglichen Insekten paarig an Meso- und Metathorax sowie an den Hinterleibsegmenten befinden. (34, 36)

Tracheen-Atmung

Die Sauerstoffzufuhr durch ein Röhrensystem, **Tracheen**, welche die Atemluft von den Öffnungen (Stigmen) des **Chitinpanzers** bis zu den feinsten Geweben leitet. (36)

Ultraschall-Ortung

Fledermäuse etwa setzen Ultraschallwellen zur Erkundung ihrer Umwelt ein. Mithilfe des reflektierten Signals orten sie vor allem Hindernisse, aber auch ihre Beute – beispielsweise Insekten. (79)

Urinsekten

In diesem Heft die ursprünglichen Insekten, die entweder bei ihren Häutungen keinen deutlichen Gestaltwechsel vollziehen – so die Springschwänze – oder eine sehr einfache Form der **hemimetabolen Metamorphose** durchlaufen – etwa die Doppelschwänze, Beintaster, Felsenspringer und Fischchen. (80, 91, 151)

UV-Licht (Ultraviolette Licht)

Teil des Spektrums elektromagnetischer Strahlen mit Wellenlängen von 380 bis 10 Nanometern. Im Gegensatz zum Menschen können etwa Bienen UV-Licht wahrnehmen und werden so nicht nur von Pflanzen mithilfe von UV-Blütenzeichnungen (so genannten Saftmalen) zum Nektar geführt, sondern orientieren sich auch anhand von polarisiertem UV-Licht in ihrer Umgebung. (6, 48)

Verpuppung

Während dieses Vorgangs wird die Altlarve zur **Puppe**. Dabei werden etwa die Beine und Flügel umgebaut, nach der Verpuppung die inneren Organe wie Darm oder Tracheen. (37, 90)

Wanderheuschrecken

Jene Arten der Familie der Feldheuschrecken, die unter bestimmten Umweltbedingungen – starke Regenfälle, gefolgt von Dürre – von der **solitären** in die **gregäre Phase** wechseln und dann als Schwarm umherziehen. Ihre Vertreter finden sich auf allen Kontinenten, etwa die Europäische Wanderheuschrecke *Locusta migratoria*. (36, 141, 145)

Autoren: Christian Baden, Eva Danulat, Susanne Gilges

Bildnachweis/Copyright-Vermerke

Anordnung im Layout: l. = links, r. = rechts, o. = oben, m. = Mitte, u. = unten

Titel: Gilles Mermet

Editorial: Werner Bartsch: 3

Inhalt: Gilles Mermet: 4 o.l.; Ingo Arndt: 4 o.r.; Tim Wehrmann für GEO kompakt: 4 u.l.; Mark Taylor/Warren Photographic: 4 u.m.; Stephen Dalton/Minden Pictures: 5 o.l.; Reuters/STR New: o.r.; David Scharf/Getty Images: 5 u.l.; Jochen Stuhmann für GEO kompakt: 5 u.m.; Stephen Dalton/Minden Pictures: 5 u.r.

Die Wundersamen: Gilles Mermet: 6–25

Der Stoff, aus dem die Panzer sind: Poul Beckmann/Prestel Verlag: 28–29; Paul Starosta: 30, 36, 38; Poul Beckmann/Prestel Verlag: 31, 37; Tim Wehrmann für GEO kompakt: 32–35

Mit Echo und mehr als tausend Augen: Manfred und Christina Kage/Kage-Mikrofotografie: 40–41, 43, 44, 47; David Scharf/Getty Images: 42 l.; Dr. Dennis Kunkel/Getty Images: 42 r.; S. Lowry/Unio Ulster/Getty Images: 45 l.; Eye of Science/Medeces & Ottawa: 45 r.; Eric Tschirner für GEO kompakt: 46

Vorstoß ins Innere der Käthe: Matthew Cobb: 51

Akrobaten der Lüfte: Stephen Dalton/Minden Pictures: 52–53, 55–56, 56–57, 58 o.; Rainer Harf für GEO kompakt: 58 u.; Michael Durham/Minden Pictures: 59

Eine Burg für Millionen: Mike Randolph/Masterfile: 60–61; Frans Lanting: 63; Christian Heeb/Laif: 64; Jochen Stuhmann für GEO kompakt: 66–67, 68–69; Tim Wehrmann für GEO kompakt: 70–71, 72–73

Weshalb die Bienen tanzen: Rainer Harf für GEO kompakt: 74; Universität München, Archiv: 75 o.; Time Life Pictures/Getty Images: 75 r.

Duell in der Nacht: Stephen Dalton/Minden Pictures: 76–77; Martin Dohrn/Science Photo Library/Agentur-Focus: 78; DIA/Mediacolors: 79; Thomas Eisner: 81

Die Fressmaschine und der Falter: Ingo Arndt: 82–83, 84 o., 85, 86, 87, 88, 89; Naturepl.com: 84 u.; Paul Starosta: 90

Die Fliege und der Feminismus: aus: Barks Library 8, erschienen im Egmont Ehapa Verlag; ©Disney: 93

Der Käfer-Kinderergarten: Ken Preston Maffham/Prenaphotos.com: 94–95, 96; Anthony Bannister/APB Image Library/Animals Animals: 95 r.; Cabbage White/Photo Library/Oxford Scientific: 97 l.; Kim Taylor/Naturepl.com: 97 r.; Martin Dohrn/Naturepl.com: 98 l.; Tim Sheperd/Photo Library/Oxford Scientific: 98 m.; David Dennis/Animals Animals: 98 r.

Mit der Kraft des Kollektivs: Mark Taylor/Warren Photographic: 102–103; Mark Moffet/Minden Pictures: 104, 105, 107 u., 108; Ameisenstecherkäfer: Turid Holdhoff-Forsyth: 106–107; Mitsuhiro Imamori/Minden Pictures: 109; Christian Ziegler/Agentur-Focus: 110; Hans Fleischinger/Getty Images: 111

Täuschen und Tarnen: Art Wolfe: 112–113, 114–115, 119 o.; Frans Lanting/Minden Pictures: 116; Mark Moffet/Minden Pictures: 117; Duncan Mc Ewan/Naturepl.com: 118 o.; Pete Oxford/Naturepl.com: 118 u.; Stephen Dalton/Minden Pictures: 119 u.

Die Kunst der Maskerade: The Natural History Museum, London: 120, 121 o.; Ingo Arndt: 121 u.

Drei Jahre und ein Tag: Milan Radisics: 122–123; Blickwinkel/Hecker/Saner: 125; Charles Krebs: 126

Die Ameisen und ihre Fluchtkompetenz: aus: Barks Library 8, erschienen im Egmont Ehapa Verlag; ©Disney: 128

Die Lichtsprache der Luchtkäfer: Dr. Paul A. Zahl/Photo Researchers: 132 l.; Mitsuhiro Imamori/Minden Pictures/FLPA: 132–133; Satoshi Kurabayashi/Nature Production: 134; Dietmar Nill/Naturepl.com: 137

Die Zähne des Windes: Kim Taylor/Warren Photographic: 138–139; Reuters/STR New: 140; Hans Wilps: 141; Mitsuhiro Imamori/Minden Pictures/FLPA: 142–143, 144; Rainer Harf für GEO kompakt: 145 l.; FAO/Giampiero Diana: 145 r.; Frans Lemmens/ZEFA/Corbis: 146; AP Photo/Jesus Portero/EFE: 147

Glossar: Eric Tschirner für GEO kompakt: 150–151; Tim Wehrmann für GEO kompakt: 152

Vorschau: Georg Fischer: 154; Frans Lemmens/Getty Images: 155 o.; Georg Fischer: 155 m.; Tony Heald/Naturepl.com: 155 u.; Carr Clifton/Minden Pictures: 155 u.r.

Für unverlangt eingesandte Manuskripte und Fotos übernehmen Verlag und Redaktion keine Haftung.
© GEO 2007, Verlag Gruner + Jahr, Hamburg,
für sämtliche Beiträge

Einem Teil dieser Auflage liegt folgende Beilage bei:
GEO kompakt, Gruner + Jahr AG & Co KG



GEO kompakt Nr. 12 erscheint am 12. September 2007

DIE WÜSTEN

Wie Menschen, Tiere und Pflanzen sich dank erstaunlicher Anpassungen in einer Welt einrichten konnten, die eigentlich nicht mit dem Leben vereinbar ist

Am Anfang waren die Wüsten. Erst als das Leben vor nicht ganz 500 Millionen Jahren vom Wasser aus das Land eroberte, breiteten sich Grünflächen auf unserem Planeten aus. Noch heute bedecken extreme Trockengebiete mehr als zehn Prozent der Landfläche. Wassermangel, Hitze und Leere lassen diese Regionen lebensfeindlich und unbarmherzig erscheinen. Dennoch ist das Leben bis hierher vorgedrungen und hat sich mit erstaunlichen Anpassungen in dieser Welt eingerichtet. Käfer fischen Wassertropfen aus dem Morgennebel, Kamele trinken salzhaltiges Wasser oder gewinnen das Nass aus Fettgewebe, Kängururatten produzieren derart

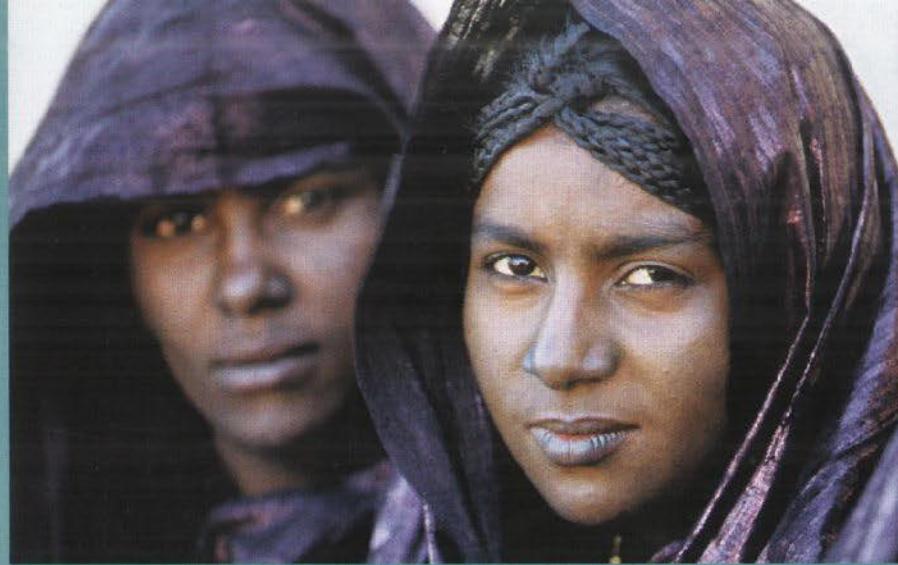
hochkonzentrierten Urin, dass er kristallisiert. Manche Pflanzen „wandern“ mit den Dünen, andere überstehen jah-

WEITERE THEMEN

- »»» **EROSION:** Wie Wind, Regen und Frost bizarre Gesteinsformen schaffen.
- »»» **TIMBUKTU:** Die abenteuerliche Suche nach der sagenhaften Wüstenstadt.
- »»» **SANDFORSCHUNG:** Weshalb die Dünen wandern – und manchmal singen.
- »»» **SAHARA:** Wie ein grünes Paradies zur größten Wüste der Erde wurde.
- »»» **DESERTIFIKATION:** Wo sich die Wüsten ausdehnen und wie sie sich wieder begrünen lassen.

relange Dürre. Auch der Mensch hat die Wüste erobert, hat sich in Oasen niedergelassen, als Nomade an ihren Randgebieten sein Auskommen gefunden und Karawanenwege durch todtbringendes Niemandsland getrieben.

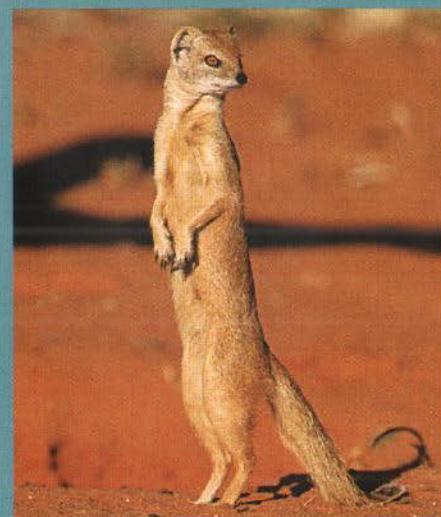
GEO kompakt lädt ein zu einer Reise durch die Wüsten dieser Erde. Erklärt, welche Formen es gibt, weshalb sie in ganz bestimmten Regionen liegen und wie sie entstanden sind. Erzählt von Abenteurern und Entdeckungsreisenden, von wundersamen Lebensgemeinschaften mit verblüffenden Anpassungen – und immer wieder auch von der alles entscheidenden Suche nach dem Wasser. □



Nomaden, hier Tuaregfrauen aus Mali, sind ständig auf der Suche nach flüchtigen Weiden, die nach einem Regenguss sprühen und ihre Herden für zwei, drei Wochen nähren



Reines Salz bedeckt die mehr als 10 000 km² große Ebene Salar de Uyuni in Bolivien. Mittendrin, auf der Isla del Pescado, wachsen Kakteen, Lebenskünstler in der Trockenheit



Wer in der Wüste bestehen will, muss wachsam sein, wie diese Fuchsmanguste, und notfalls schnell im Bau verschwinden



Im Desolation Canyon in Utah blüht noch die Kaktusart *Echinocereus triglochidiatus*, andere Pflanzen sind längst eingegangen

Bisher erschienen:



111 GEBURT DER ERDE
Als der Blaue Planet sich formte



111 DER KÖRPER Wie er sich entwickelt und funktioniert



111 TECHNIK Vom Nanoroboter bis zum Megajet



111 EVOLUTION DES MENSCHEN Woher *Homo sapiens* kam



111 DIE NATUR
Sexualität, Wachstum, Kommunikation



111 DAS UNIVERSUM
Urkall, Sternentode, Leben im All



111 GENE Wie das Erbgut Körper und Verhalten steuert



111 DIE URZEIT Panzertiere, Dinosaurier und Terrorvögel



111 KLIMA Wie es entsteht und weshalb es sich ändert



111 DAS MEER Ein Reich voller erstaunlicher Lebewesen

Die nächste Ausgabe:

111 LEBEN IN DER STEINZEIT Mit einfachen Mitteln überlebte der Mensch in einer harten Umwelt, jagte Mammuts, schuf wunderbare Höhlenmalereien. Und zettelte dann eine Revolution an: Er erfand Ackerbau und Viehzucht

More than meets the eye.



Pontos Décentrique GMT Limited Edition.
Hebt sich durch dezentrale Ästhetik vom Gewöhnlichen ab.
Mehr dazu: www.mauricelacroix.de

MAURICE LACROIX
Manufacture Horlogère Suisse