

Michael Schmitt

# Insekten- wunderwelt - Einstieg in die Entomologie



SACHBUCH

 Springer

# Insektenwunderwelt - Einstieg in die Entomologie

Michael Schmitt

# **Insektenwunder- welt - Einstieg in die Entomologie**

 Springer

Michael Schmitt  
Allgemeine & Systematische Zoologie  
Universität Greifswald  
Greifswald, Deutschland

ISBN 978-3-662-64076-0      ISBN 978-3-662-64077-7 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-64077-7>

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

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2022

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

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

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

Einbandabbildung: © Fauzan Maududdin / stock.adobe.com

Planung/Lektorat: Stefanie Wolf

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

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

## Vorwort

---

Es mag Menschen geben, die als Entomolog\*innen geboren werden. Ich bin keiner davon. Mein Interesse und meine Begeisterung für Insekten wurden erst geweckt, als ich an der Freien Universität Berlin in den 1970er-Jahren Biologie studierte und unter der Leitung von Professor Ekkehard Wachmann an einem Standortpraktikum in Eschwege in Nordhessen teilnahm. Er konnte buchstäblich zu allen Kerbtieren, die wir Studierende fanden, eine spannende Geschichte erzählen, über Besonderheiten ihres Baus oder ihres Lebens, ihrer systematischen Stellung oder ihrer ökologischen Bedeutung. In meiner Diplomarbeit untersuchte ich spezielle Aspekte des Soziallebens von Totenkopfpaffen in einer gefangen gehaltenen Gruppe. Formal betreut wurde ich von Ekkehard Wachmann. Er bot mir im Anschluss an mein Diplom eine Doktorarbeit über die Evolution einer Teilgruppe der Blattkäfer an. Zu Beginn meiner Studien wusste ich lediglich, dass zu den Blattkäfern auch die Kartoffelkäfer und die Spargelkäfer gehören. Je mehr ich aber über Bau und Leben dieser Tiere erfuhr, desto faszinierender wurden für mich die Fragen ihrer Stammesgeschichte, ihrer Ökologie, ihrer Kommunikation, ihrer Physiologie, ihres Körperbaus und ihrer Körperfunktionen. Als ich auf einer Tagung die Ergebnisse meiner Doktorarbeit vorstellte, fragte mich in einer Kaffeepause Manfred Döberl, ein Flohkäferspezialist, mit dem mich später bis zu seinem Tod im Jahr 2016 eine tiefe Freundschaft verband: „Sagen Sie mal, machen Sie eigentlich bloß Phylogenetik oder auch Taxonomie?“ Aus diesem Gespräch erwuchs eine engere Beschäftigung mit den Problemen des Einordnens und Beschreibens von Arten und die Erkenntnis, dass die Taxonomie das Rückgrat jeder wissenschaftlichen Bearbeitung von Organismen ist.

Meine Begeisterung für das Verhalten und die Lebensweisen von Insekten in ihrer natürlichen Umwelt, die Befriedigung durch das Verstehen ihrer Körperfunktionen sowie die Faszination der Vielzahl ihrer Arten und der Vielfalt ihrer Formen bilden die Grundlagen, auf denen dieses Buch beruht. Ich wünsche mir, dass ich möglichst viel Interesse für die Wunderwelt der Insekten wecken, möglichst viele Fragen beantworten und zu möglichst vielen neuen Fragen anregen kann.

Zahlreiche Menschen haben mir geholfen, dieses Buch zu dem werden zu lassen, das es nun ist. Mein Doktorvater, Ekkehard Wachmann, beriet mich vom Anfang des Buchprojekts an und überließ mir die Fotos zu den [Abb. 9.54](#) und [9.55](#). Heidi Land, Greifswald, erstellte mit viel Enthusiasmus, Können und Ausdauer die Fotos und die Zeichnungen zu den [Abb. 2.21](#), [2.65](#) und [6.4](#). Mehrere Mitglieder der iNaturalist-Community und das Ehepaar Ulrike und Horst Aspöck, Wien, unterstützten mich durch die korrekte Bestimmung von Insekten auf meinen Fotos, etliche Verlage und Institutionen überließen mir Abbildungen aus ihren Beständen zur Verwendung. Die Mitarbeiter\*innen im Springer-Verlag, allen voran Dr. Meike Barth und Stefanie Wolf, begleiteten die Planung, die Entstehung und die Fertigung des Buches einfühlsam, konstruktiv und mit viel Geduld. Andreas Held (Eberbach) führte das Copy Editing mit herausragender Sorgfalt durch. Ihnen allen danke ich herzlich.

In besonderem Maße hat meine Familie, Gabriele, Veronika und Helene Uhl, mich unterstützt. Meine Frau Gabriele, selbst Zoologin, hat das Buchmanuskript kritisch und solidarisch gegengelesen. Ohne sie wäre nicht nur mein Leben ärmer, sondern auch dieses Buch. Danke.

**„Theo“ Michael Schmitt**

Greifswald

Juli 2021

# Inhaltsverzeichnis

---

1	<b>Einleitung</b> .....	1
1.1	Insekten und Menschen .....	2
1.2	Die zoologische Nomenklatur .....	5
1.3	Verwendete Literatur .....	8
	Literatur .....	8
2	<b>Der Insektenkörper</b> .....	11
2.1	Insekten als Gliederfüßer .....	12
2.2	Das Integument .....	24
2.3	Färbung .....	27
2.4	Muskulatur .....	30
2.5	Kreislaufsystem .....	33
2.6	Atemsystem .....	36
2.7	Nahrungsaufnahme und Verdauung .....	40
2.8	Drüsen .....	49
2.9	Exkretion .....	51
2.10	Sinnesorgane .....	52
2.11	Nervensystem und Gehirn .....	68
	Literatur .....	76
3	<b>Fortpflanzung und Entwicklung</b> .....	79
3.1	Fortpflanzung .....	80
3.2	Entwicklung .....	86
	Literatur .....	97
4	<b>Physiologie und Abwehr</b> .....	99
4.1	Stoffwechsel .....	100
4.2	Abwehrmechanismen und Immunbiologie .....	102
4.3	Neuro- und Sinnesphysiologie .....	106
	Literatur .....	108
5	<b>Fortbewegung</b> .....	109
5.1	Kriechen und Laufen .....	110
5.2	Springen .....	110
5.3	Schwimmen .....	111
5.4	Fliegen .....	114
	Literatur .....	117
6	<b>Verhalten</b> .....	119
6.1	Orientierung .....	120
6.2	Kommunikation .....	123
6.3	Lernen .....	128
6.4	Sozialleben .....	129
	Literatur .....	140

7	<b>Ökologie</b> .....	143
7.1	<b>Lebensräume der Insekten</b> .....	144
7.2	<b>Die Nahrung der Insekten</b> .....	150
7.3	<b>Insekten als Nahrung</b> .....	157
7.4	<b>Insekten und Menschen</b> .....	159
	Literatur .....	161
8	<b>Insekten in Kunst und Literatur</b> .....	163
	Literatur .....	173
9	<b>Die Vielfalt der Insekten</b> .....	175
9.1	<b>Prinzipien der Systematik</b> .....	177
9.2	<b>Das System der Insekten</b> .....	180
9.2.1	Collembola (Springschwänze).....	180
9.2.2	Protura (Beintastler) .....	183
9.2.3	Diplura (Doppelschwänze) .....	184
9.2.4	Archaeognatha (Felsenspringer) .....	187
9.2.5	Zygentoma (Fischchen) .....	189
9.2.6	Ephemeroptera (Eintagsfliegen).....	191
9.2.7	Odonata (Libellen) .....	194
9.2.8	Plecoptera (Steinfliegen) .....	197
9.2.9	Dermaptera (Ohrwürmer).....	200
9.2.10	Embioptera (Tarsenspinner).....	202
9.2.11	Phasmatoptera (Phasmida, Phasmatodea, Gespenstschrecken).....	204
9.2.12	Orthoptera (Geradflügler, Saltatoria: Springschrecken).....	206
9.2.13	Zoraptera (Bodenläuse) .....	211
9.2.14	Grylloblattodea (Notoptera, Grillenschaben) .....	212
9.2.15	Mantophasmatodea (Gladiatoren, Fersnläufer).....	214
9.2.16	Mantoptera (Mantodea, Fangschrecken) .....	216
9.2.17	Blattoptera (Blattodea, Schabenverwandte).....	219
9.2.18	Isoptera (Termiten) .....	223
9.2.19	Psocoptera (Staub-, Rinden- oder Bücherläuse, Flechtlinge).....	226
9.2.20	Phthiraptera (Tierläuse) .....	228
9.2.21	Thysanoptera (Fransenflügler) .....	232
9.2.22	Hemiptera: Heteropterida (Heteroptera: Wanzen und Coleorrhyncha – Mooswanzen)...	236
9.2.23	Hemiptera: Auchenorrhyncha (Zikadenverwandte) .....	241
9.2.24	Hemiptera: Sternorrhyncha (Pflanzenläuse) .....	246
9.2.25	Hymenoptera (Hautflügler) .....	255
9.2.26	Neuroptera (Netzflügler) .....	261
9.2.27	Megaloptera (Schlammfliegen) .....	265
9.2.28	Raphidioptera (Kamelhalsfliegen) .....	269
9.2.29	Coleoptera (Käfer) .....	271
9.2.30	Strepsiptera (Fächerflügler).....	279
9.2.31	Trichoptera (Köcherfliegen).....	282
9.2.32	Lepidoptera (Schmetterlinge) .....	285
9.2.33	Siphonaptera (Flöhe) .....	294
9.2.34	Mecoptera (Schnabelfliegen) .....	298
9.2.35	Diptera (Zweiflügler).....	301



9.3	<b>Der Stammbaum der Insekten</b> .....	310
	Literatur .....	317
	<b>Serviceeteil</b>	
	Glossar.....	322
	Stichwortverzeichnis .....	331



# Einleitung

## Inhaltsverzeichnis

- 1.1 Insekten und Menschen – 2
- 1.2 Die zoologische Nomenklatur – 5
- 1.3 Verwendete Literatur – 8
- Literatur – 8

## 1.1 Insekten und Menschen

„Sagen Sie mal – Sie sind doch der für die Käfer –, ich hab da in meiner Küche so kleine braune Käfer – was ist das, was tun die, was kann ich dagegen tun?“ Solcherlei Anrufe erhält man oft, wenn man an einem zoologischen Museum für die Käfersammlung zuständig ist. Es dreht sich nicht immer um kleine braune Käfer (wie z. B. den Speckkäfer in [Abb. 1.1](#)), aber regelmäßig um die drei Fragen „was ist das, was tut das, was kann ich dagegen tun?“. Insekten werden von vielen Menschen als Lästlinge oder sogar als Schädlinge wahrgenommen, gegen die man etwas unternehmen muss.

Küchenschaben erregen Ekel, Wespen und Hornissen lösen Ängste aus. Andererseits finden die meisten Menschen einige Insekten auch niedlich, Marienkäfer zum Beispiel. Die meisten Schmetterlinge gelten als schön ([Abb. 1.2](#)), ihr Erscheinen im Frühling wird begeistert begrüßt. Um uns herum und mit uns Menschen leben Millionen von Insekten, von denen wir die meisten gar nicht wahrnehmen. Sie sind so klein oder sie leben so verborgen, dass wir sie nicht sehen (wie z. B. die Staublaus in [Abb. 1.3](#)). Doch auch gut sichtbare Insekten geben häufig Anlass zur Verwirrung. Vorhersagbar berichten Spaziergänger im Frühling, sie hätten große Anzahlen „schwarzroter Käfer“ gesichtet. Wenn sie dann erfahren, dass es sich nicht um Käfer, sondern um Wanzen handelt (Feuerwanzen – *Pyrrhocoris apterus*, [Abb. 1.4](#)), reagieren sie im Allgemeinen entsetzt, mindestens aber erstaunt. Mit „Wanze“ verbinden die meisten Menschen etwas Unangenehmes, Schädliches, Gefährliches oder auch Peinliches, nämlich die Bettwanze (*Cimex lectularius*). Kaum jemand weiß, dass auf unserem Planeten ungefähr 40.500 Wanzenarten leben, wovon nur 75 Arten<sup>#</sup> zu den Bettwanzen zählen, in Mitteleuropa nur zwei.



**Abb. 1.1** Ein Gemeiner Speckkäfer, *Dermestes lardarius* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Dermestidae), auf Millimeterpapier, Bonn, Deutschland. Foto M. Schmitt



**Abb. 1.2** Kaisermantel, *Argynnis paphia* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Nymphalidae), Gugnypolen, Polen. Foto M. Schmitt



**Abb. 1.3** Eine zu den Staubläusen gehörende Bücherlaus der Gattung *Liposcelis* (*Liposcelis* sp.) (Psocoptera: Liposcelididae), Greifswald, Deutschland. Foto M. Schmitt



■ **Abb. 1.4** Gemeine Feuerwanzen, *Pyrrhocoris apterus* (Linnaeus, 1758) (Heteroptera: Pyrrhocoridae), Greifswald, Deutschland. Foto M. Schmitt

Insekten sind aber nicht nur schön oder hässlich, harmlos oder gefährlich, lästig oder erfreulich, sie sind vor allem auch wichtig – für uns Menschen und für die gesamten Ökosysteme auf der Erde. Insekten bestäuben ungefähr neun von zehn Pflanzenarten weltweit (Nabu). Zu den von Insekten bestäubten Pflanzenarten gehören die meisten Kulturpflanzen – z. B. alle Obstbaumarten, Raps, Beeren wie die Erdbeere, Kaffee und die Baumwollpflanzen (*Gossypium* spp.). Ohne Insekten also könnten wir weder Obst ernten noch Kaffee trinken, noch T-Shirts tragen. Die wichtigsten Bestäuber unter den Insekten sind die Bienen, wobei die Honigbienen (*Apis mellifera*) nur einen Teil der Bestäubungsleistung erbringen. Die meisten Blüten werden von Wildbienen, z. B. Hummeln, bestäubt. Die Honigbienen sind für uns Menschen eben auch als Honiglieferanten von großer wirtschaftlicher und gesundheitlicher Bedeutung. Andererseits ernähren sich viele Insekten von Pflanzen, die wir Menschen nutzen wollen. Solche Insekten bezeichnen wir als „Schädlinge“ und bekämpfen sie. Das ist wirtschaftlich gesehen vielleicht notwendig, führt aber auch zu unerwünschten Folgen, wenn durch die Bekämpfung von Schädlingen auch andere, erwünschte oder erfreuliche, Tiere oder Pflanzen geschädigt werden oder wenn die Gifte in unsere Nahrung oder Atemluft gelangen.

Eine besondere Rolle spielen für uns Menschen solche Insekten, die als Vektoren Krankheiten – genauer gesagt, Krankheitserreger – übertragen können. Zu den bekanntesten unter ihnen zählen die 40 Arten von Fiebertücken der Gattung *Anopheles*. Männchen und Weibchen dieser Mücken ernähren sich von Pflanzensäften, aber die Weibchen müssen darüber hinaus Blut von Tieren aufnehmen, um ihre Eier mit Proteinen versorgen zu können. Deshalb stechen sie mit ihren Stechrüsseln Tiere an – so auch uns Menschen – und saugen eine kleine Menge Blut auf. Dabei injizieren sie etwas Speichel, der gerinnungshemmende Stoffe enthält. Wenn sie selbst Wirte von Einzellern der Gattung *Plasmodium* sind, gelangen mit ihrem Speichel auch solche Zellen in den Körper der gestochenen Tiere. Im menschlichen Körper verursachen die Plasmodien eine Krankheit, die als Malaria bezeichnet wird (vom Italienischen *mal'aria* = schlechte Luft, weil man früher glaubte, aus Sümpfen aufsteigende schlechte Luft verursache die Krankheit). Tatsächlich gibt es verschiedene Arten von Plasmodien, die verschiedene Formen von Malaria hervorrufen. Die gefährlichste Form, die Malaria tropica, ist lebensbedrohlich – alljährlich sterben mehr als 1 Mio. Menschen daran. Daneben gibt es auch das sogenannte Drei-Tage-Fieber (Malaria tertiana) und das Vier-Tage-Fieber (Malaria quartana), die typische Fieberschübe im Drei- bzw. Vier-Tages-Abstand hervorrufen. Doch übertragen neben den *Anopheles*-Mücken noch viele andere Insektenarten beim Kontakt mit Menschen durch Stich oder Biss Erreger verschiedener Krankheiten. So können Tsetsefliegen der Gattung *Glossina* Protozoen der Gattung *Trypanosoma* übertragen, die Erreger der Afrikanischen Schlafkrankheit. Eine andere *Trypanosoma*-Art, *T. cruzi*, wird in Südamerika von blutsaugenden Raubwanzen (Familie Reduviidae) der Gattungen *Triatoma*, *Rhodnius*, *Dipetalogaster* und *Panstrongylus* aus der Unterfamilie Triatominae auf Affen und Menschen übertragen. Diese

Einzeller lösen im menschlichen Körper die gefürchtete Chagas-Krankheit aus (mit der wahrscheinlich Charles Darwin während seines Aufenthalts in Südamerika infiziert wurde). Zahllose weitere Erreger werden durch Insekten verbreitet. In den letzten Jahren wurde vor allem das Denguefieber bekannt. Es wird durch Viren verursacht, die durch verschiedene Stechmückenarten übertragen werden können, vor allem die Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*). In Europa haben Rattenflöhe (*Xenopsylla cheopis*) die Erreger der Beulenpest – Bakterien der Art *Yersinia pestis* – verbreitet, und Bettwanzen übertragen mit ihrem Stich Erreger von Hepatitis B und C sowie anderer Krankheiten. Durch Verbesserung der hygienischen Wohn- und Lebensbedingungen sind diese Übertragungswege in Mitteleuropa so gut wie verschwunden, in anderen Gegenden der Welt aber nach wie vor höchst aktuell.

Die Biomasse aller Insekten auf der Erde beträgt ca. 400 Mio. t. Dagegen stellen sämtliche Nutztiere mit 78 Mio. t nur ungefähr ein Fünftel davon (Focus Wissen). Die Frage ist durchaus berechtigt, weshalb wir nicht Insekten statt Nutztiere essen. Tatsächlich werden Insekten in vielen Regionen der Erde gegessen. In China z. B. gilt eine Suppe als Delikatesse, in der Raupen von Schmetterlingen der Gattung *Thitarodes* (*bat moths*) gekocht wurden. Auf vielen Märkten in Mexiko werden geröstete, scharf gewürzte Heuschrecken angeboten, die man wie Kartoffelchips knabbert, mit oder ohne Limonensaft. Unsere europäischen Vorbehalte dagegen, Insekten als Nahrung zu nutzen, sind ausschließlich kulturell bedingt. Schon 1885 fragte der Engländer Vincent M. Holt „*Why not eat insects?*“ und schrieb ein ganzes Büchlein darüber, in dem er auch Rezepte für Gerichte mit Insekten vorstellte (Holdt 1885). Vielleicht wandeln sich auch unsere abendländischen Vorlieben allmählich. Immerhin werden seit einiger Zeit in Supermärkten „Insektenriegel“ angeboten, die tatsächlich zu 17 % aus gemahlener

Grillen (Heimchen, *Acheta domestica*) bestehen. Seit Mai 2021 sind in der EU Mehlwürmer, die Larven des Mehlkäfers *Tenebrio molitor*, offiziell als Lebensmittel zugelassen (Burger 2021). Die Produktion von 100 g Eiweiß aus Mehlwürmern verursacht weniger als 2 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Für Protein aus Hühnern sind es 6 kg, für Eiweiß aus Rindern 24 kg (Burger 2021).

Seit Jahren ist bei uns in Mitteleuropa, aber auch in anderen Regionen der Erde, zu beobachten, dass Insektenarten seltener werden und sogar ganz verschwinden. Welchen Anteil der Einsatz von Schädlingsbekämpfungsmitteln (Pestiziden) daran hat, wird unter Fachleuten vehement diskutiert. Ebenso ist der Einfluss des Klimawandels auf den Rückgang der Häufigkeit von Insekten in unseren Ökosystemen wissenschaftlich umstritten. Die seit der „Krefelder Studie“ von Hallmann et al. 2017 lebhaft geführte öffentliche Diskussion um dieses Insektensterben hat aber fraglos mehr Menschen dazu gebracht, sich mit dem Thema zu beschäftigen und möglicherweise auch sich für das Leben von Insekten zu interessieren. Das vorliegende Buch soll den Körperbau, das Leben und die Stammesgeschichte der Insekten wissenschaftlich, aber nach Möglichkeit allgemein verständlich darstellen. Es wendet sich an alle Interessierten, an Laien wie Vorgebildete, und versucht in kompakter Form, eine Einführung in die Insektenkunde, die Entomologie, zu bieten. Die Entomologie besitzt, wie alle Wissenschaftszweige, eine eigene Terminologie, einen reichhaltigen Satz eigener Fachbegriffe, die nicht vermieden, sondern erklärt werden. Eine Auswahl solcher Fachbegriffe, die im Buch mehrmals auftauchen, ist im Glossar am Ende des Buches mit ihren Definitionen aufgelistet. Entomologie ist eine vielfältige Wissenschaft, die von vielen Wissenschaftler\*innen auf der ganzen Welt betrieben wird. Es ist daher beinahe unvermeidlich, dass die entomologischen Fachbegriffe nicht immer und überall genau gleich verwendet werden. Die

Fachbegriffe, die im Glossar stehen, sind im Laufertext mit einem hochgestellten Doppelkreuz (#) markiert. Das Glossar soll darstellen, wie die Begriffe hier in diesem Buch definiert sind. Dort ist auch für möglicherweise unvertraute Fremdwörter die Pluralform angegeben. Im vorliegenden Buch bilde ich den Genitiv nach dem Muster deutscher Wörter nur von solchen Begriffen, deren Plural wir deutsch bilden (zum Beispiel Rhabdom – Rhabdome, Genitiv: des Rhabdoms). Wenn wir in der Fachsprache den Plural eines Begriffs fremdsprachlich bilden, dann dekliniere ich die Singularform nicht (Beispiel: Taxon# – Taxa, Genitiv: des Taxon).

Eine ganz besondere Rolle spielen bestimmte Fachbegriffe der Taxonomie, das ist der Zweig der Biologie, der sich dem Bestimmen, Beschreiben und Einordnen von Individuen in Arten und andere Ordnungseinheiten widmet, und der Nomenklatur, welche die wissenschaftlichen Namen von Organismen regelt.

## 1.2 Die zoologische Nomenklatur

Im vorstehenden Text wurden verschiedene Insekten erwähnt, mit einem deutschen umgangssprachlichen und einem wissenschaftlichen Namen. Die umgangssprachlichen Namen sind zwar meist einprägsamer bzw. weiter bekannt als die wissenschaftlichen, aber sie sind häufig mehrdeutig. So werden z. B. verschiedene Arten# umgangssprachlich als „Junikäfer“ bezeichnet, z. B. *Amphimallon solstitiale* und *Rhizotrogus marginipes*, aber auch der Gartenlaubkäfer (*Phyllopertha horticola*). In der Wissenschaft ist eine eindeutige Benennung der Forschungsgegenstände eine unabdingbare Voraussetzung für Verständigung und Verlässlichkeit. Die Benennung und die Namen von Tieren werden innerhalb der Zoologie durch einen Satz von Bestimmungen geregelt, die letztlich auf das Werk von Carl Linnaeus (1707–1778, in den Adelsstand er-

hoben 1761, seit 1762: Carl von Linné) zurückgehen. Er führte das Prinzip der binominalen Benennung der Arten konsequent für alle Pflanzen und Tiere durch: Jeder Artname besteht aus einem Gattungsnamen und einem Art-Epitheton (wörtlich: das Dazugestellte), z. B. *Musca domestica* für die Stubenfliege. In der Zeit vor Linnaeus waren viele Namen von Pflanzen oder Tieren lang und umständlich. So hieß ein Käfer bei August Johann Rösel von Rosenhof (1705–1759) „der runde hoch-rothe Marien-Kefer mit schwarzen Puncten“. Linnaeus nannte ihn *Coccinella septempunctata*. Der wesentliche Unterschied ist, dass vor Linnaeus die Namen gleichzeitig Beschreibungen waren, während seine zweiteiligen Namen nur als Etiketten und Merkhilfen dienten und die eigentliche Beschreibung davon völlig unabhängig war. Linnaeus führte 1758 in der 10. Auflage seines grundlegenden Werkes *Systema Naturae* 4326 Tierarten auf, heute sind ca. 1,4 Mio. Tierarten beschrieben, davon annähernd 1 Mio. Insekten (Beutel et al. 2014, S. VII).

Die Regeln für die korrekte Vergabe von wissenschaftlichen Namen für Tiere sind im *International Code of Zoological Nomenclature* (I.C.Z.N.) festgelegt (International Commission on Zoological Nomenclature 1999). In diesem Code werden ausschließlich die wissenschaftlichen Namen geregelt. Umgangssprachliche Namen, sogenannte Trivialnamen, sind von diesen Regeln unberührt. Die Namen müssen innerhalb der zoologischen Nomenklatur eindeutig sein. Es dürfen also nicht zwei Tiere denselben Namen tragen, wohl aber dürfen eine Pflanze und ein Tier gleich heißen. Im I.C.Z.N. werden nur die Namen dreier Gruppen von Rangstufen der Klassifikation behandelt: Namen der Familiengruppe, der Gattungsgruppe und der Artgruppe. Zur Familiengruppe gehören die Rangstufen Überfamilie, Familie, Unterfamilie, Tribus (grammatisch weiblich!) und Subtribus. Namen der Gattungsgruppe sind Gattungen und Untergattungen, Namen der Artgruppe sind Arten und Unterarten.

Namen für höhere Ränge der Klassifikation, z. B. von Klassen oder Ordnungen, werden ebenso wenig geregelt wie Namen für Ränge unterhalb der Unterart, sogenannte infrasubspezifische Namen, wie z. B. Formen, Varietäten oder Aberrationen.

Gattungen tragen einen einteiligen Namen, Artnamen sind aus Gattungsnamen und Art-Epitheton (Mehrzahl: Epitheta) zusammengesetzt (binominale, binomiale oder binäre Nomenklatur). Fakultativ werden Autor oder Autor und Jahr der Erstbeschreibung genannt, in bzw. ohne Klammern, z. B. *Oulema melanopus* (Linnaeus, 1758) oder *Cassida vibex* Linnaeus, 1758 (die Regel für die Setzung von Klammern wird weiter unten erklärt). Dieselben Art-Epitheta dürfen beliebig oft vergeben werden, solange nicht dieselbe Kombination mit einem Gattungsnamen entsteht. Wurde ein Name mehrmals vergeben (Homonymie), gilt die älteste Bezeichnung. Falls ein Taxon<sup>#</sup> (eine Ordnungseinheit beliebigen Umfangs und Rangs, Plural: Taxa) mehrfach und verschieden benannt wurde, gilt der älteste Name, der den Vorschriften entspricht, alle jüngeren sind ungültige Synonyme. Namen der Gattungsgruppe sind Substantive im Singular, das lateinische (und englische) Wort für Gattung ist *genus* (grammatisches Geschlecht Neutrum, Plural: *genera*). Namen der Familiengruppe sind Substantive im Plural, die aus dem Wortstamm der Typusgattung mit einer angehängten Endung bestehen. Die Endung gibt die Rangstufe an (▣ Tab. 1.1).

Damit eindeutig zu klären ist, für welches Taxon<sup>#</sup> ein vergebener Name gelten soll, muss für jeden Namen ein sogenannter Typus festgelegt werden. Für einen Namen der Familiengruppe ist dies eine Gattung, für einen Gattungsnamen ist dies eine Art<sup>#</sup>. Für Taxa vom Artrang oder darunter (Arten, Unterarten, Formen etc.) sind es Einzelexemplare. Diese müssen in wissenschaftlichen Sammlungen allgemein zugänglich aufbewahrt werden, meistens in konserviertem Zustand. Jeder Name für ein

▣ Tab. 1.1 Endungen der wissenschaftlichen Tiernamen in der Zoologie

Rang	Endung
Abteilung, Reich, Stamm, Klasse Unterklasse	Keine bestimmte Endung
Ordnung	Keine bestimmte, für geflügelte Insekten häufig -ptera
Überfamilie	-oidea
Familie	-idae
Unterfamilie	-inae
Tribus	-ini
Subtribus	-ina
Gattung (Genus), Art (Species), Unterart (Subspecies)	Keine bestimmte Endung

Taxon muss von einer Beschreibung dieses Taxon begleitet sein. Ein Einzelindividuum, mit dem der Name verbunden ist, wird Holotypus genannt. Liegen der Beschreibung darüber hinaus noch andere Exemplare zugrunde, werden diese als Paratypen bezeichnet. Diese Typusexemplare sind für die systematische Biologie ungemein wichtig, es sind sozusagen die „Urmeter“ eines Namens. In der Vergangenheit wurden als Referenz für einen Artnamen manchmal mehrere Exemplare angegeben, die eine sogenannte Syntypen-Serie darstellen. Das ist zwar auch heute noch erlaubt, allerdings bergen solche Syntypenserien das Risiko, dass sie aus Exemplaren verschiedener Arten bestehen.

Im I.C.Z.N. ist festgelegt, dass ein wissenschaftlicher Name nicht inhaltlich zu treffen muss, damit ein Name gültig ist. Ein Käfer, der *Chrysolina americana* genannt wurde, muss also nicht unbedingt in Amerika vorkommen. Ein wissenschaftlicher Name muss nicht einmal irgendetwas bedeuten, er kann auch eine willkürliche Buch-

stabenkombination sein. Es spielt auch keine Rolle, ob er sprachlich korrekt gebildet ist. Der wissenschaftliche Name des Achtzehnfleckigen Marienkäfers lautet *Myrrha octodecimguttata* (Linnaeus, 1758), obwohl „achtzehn“ im klassischen Latein *duodeviginti* heißt und nicht *octodecim*. Ein einmal vergebener Name darf auch nicht nachträglich verändert werden (bzw. nur unter ganz bestimmten, genau festgelegten Bedingungen). Carl Linnaeus nannte 1758 die Honigbiene *Apis mellifera*, die „honigtragende“. Später entdeckte er, dass die Honigbienen nicht Honig eintragen, sondern Nektar und Pollen, und den Honig erst im Stock herstellen. Also taufte er diese Art um und nannte sie 1761 *Apis mellifica*, die „honigmachende“. Diese Umbenennung gilt jedoch als ungerechtfertigte Emendation (Verbesserung, Berichtigung), und der Name ist ungültig, er ist lediglich ein jüngerer Synonym von *A. mellifera*.

Wenn ein Art-Epitheton aus einer Kombination mit einem Gattungsnamen, z. B. *Chrysomela melanopus*, in eine andere Gattung überführt wird, dann wird dies in der Zoologie dadurch angezeigt, dass der Name des Erstbeschreibers der Art in Klammern gesetzt wird, z. B. *Oulema melanopus* (Linnaeus). Der Name einer Unterart wird ohne Zusatz an das Art-Epitheton angeschlossen (Artikel 5.2.), z. B. *Mus musculus domesticus* (die Hausmaus). In der Zoologie dürfen Gattungsname, Art-Epitheton und Unterartname gleich lauten (Artikel 18 und 23.3.7). So eine Tautonymie findet man z. B. beim Flachlandgorilla, *Gorilla gorilla gorilla*. Damit nicht nach beliebig alten Namen recherchiert werden muss, enthält der I.C.Z.N. ein Startdatum. Die zoologische Nomenklatur beginnt mit dem (willkürlich festgesetzten) 1. Januar 1758. In diesem Jahr erschien die zehnte Auflage des *Systema Naturae* (der ersten, in der Linnaeus die binominale Nomenklatur für das gesamte Tierreich konsequent durchführte). Das Erscheinungsjahr von Carl Clercks *Svenska Spindlar/Aranei succici* (die schwedischen

Spinnen), tatsächlich schon 1757 veröffentlicht (Clerck 1757), wurde durch Beschluss der Internationalen Kommission für zoologische Nomenklatur auf 1758 festgesetzt, letzteres Werk erhielt Priorität über ersteres. Das heißt, im Konfliktfall sind die Namen aus den *Svenska Spindlar* gültig und die entsprechenden anderslautenden aus der zehnten Auflage des *Systema Naturae* sind ungültig. Dieses Verfahren wurde von der Internationalen Kommission für zoologische Nomenklatur 1999 gewählt, weil einerseits das Werk des Linnaeus sämtliche Tiere behandelte und damit deutlich umfangreicher war als das Buch über die schwedischen Spinnen, andererseits enthält Clercks Werk wesentlich mehr Namen von Spinnen als das von Linnaeus, und viele dieser Namen waren bereits allgemein anerkannt und in Benutzung.

Eine Bestimmung, die immer wieder für Diskussion sorgt, enthält der Artikel 32.2 des I.C.Z.N.: „Handelt es sich bei einem Namen der Artgruppe um ein lateinisches oder latinisiertes Adjektiv oder Partizip im Nominativ Singular oder endet ein solcher Name entsprechend, so muss er im Geschlecht mit dem Gattungsnamen übereinstimmen, mit dem er jeweils kombiniert ist.“ Diese Bestimmung bedeutet, dass bei der Vergabe und Verwendung vieler Art-Epitheta geklärt sein muss, welches grammatische Geschlecht der zugehörige Gattungsname hat, nämlich immer dann, wenn diese Art-Epitheta lateinische Adjektive oder Partizipien sind oder so behandelt werden können. Da tun sich mancherlei Fallstricke auf. Das Heimchen beispielsweise trägt den wissenschaftlichen Namen *Acheta domestica* und nicht etwa *domestica*, weil *Acheta* aus dem Griechischen kommt, dort „der Sänger“ bedeutet und grammatisch männlich ist. Auch muss das Getreidehähnchen (ein Blattkäfer) wissenschaftlich *Oulema melanopus* heißen und nicht etwa *melanopa*, denn *melanopus* ist kein lateinisches Adjektiv, sondern ein latinisiertes griechisches Substantiv (das „Schwarzfuß“ bedeutet).



Immer wieder haben Taxonomen die Benennung ihrer Gegenstände dazu genutzt, mehr oder weniger geistreiche Scherze zu treiben. Einige Beispiele mögen das illustrieren (eine ausführliche Sammlung solcher kurioser Namen findet sich auf ► <http://www.curioustaxonomy.net/>, weitere Information in Ohl 2015). George Willis Kirkaldy nannte 1904 eine Gattung von Buckelzirpen (Membracidae) *Elachisme* (Kirkaldy 1904). Dieser Name könnte den Eindruck erwecken, aus dem Altgriechischen zu stammen, denn „Öl“ heißt dort *elaion*, und *chi* ist der 22. Buchstabe des griechischen Alphabets. Wird der Name jedoch Englisch ausgesprochen, ergibt sich „*Ella, kiss me!*“. In derselben Publikation veröffentlichte der Autor auch noch die Namen *Dolichisme*, *Florichisme*, *Nanichisme*, *Polychisme*, *Ochisme* und *Alchisme*. Franz Werner beschrieb 1912 eine australische Gespenstschrecke als *Denhama aussa* (Werner 1912). Da diese Insekten in der Nähe der Ortschaft Denham in Westaustralien gesammelt wurden und „*Aussi*“ eine scherzhafte Bezeichnung für Australier ist, könnte der Artname so erklärt werden. Franz Werner war aber Österreicher, und wer mit dem austrobajuwarischen Zungenschlag vertraut ist, erkennt leicht, dass „*Denhama aussa*“ bedeutet „den haben wir heraus(gefunden)“. Vielleicht neigt man in der österreichischen taxonomischen Tradition mehr als anderswo zu augenzwinkernden Namensgebungen. Jedenfalls hat Ulrike Aspöck, Wienerin, 1982 drei Kamelhalsfliegen-Unterarten vordergründig klassisch altgriechisch, tatsächlich aber österreichisch benannt: *Agulla modesta adryte*, *A. m. aphyryte*, und *A. m. aphyntfe* (Aspöck 1982). Schon 1966 nannten sie und ihr Mann Horst (Aspöck und Aspöck 1966) eine Kamelhalsfliege *Raphidia noane* (= „noch eine“) und 1974 eine weitere Art *Parvoraphidia aphaphlyxte* (Aspöck und Aspöck 1974). Die Liste ließe sich beliebig verlängern. Die Beispiele sollen nur zeigen, dass Taxonomie nicht notwendigerweise eine humorlose Beschäftigung ist.

### 1.3 Verwendete Literatur

Die meisten in diesem Buch vermittelten Informationen stammen aus gängigen Lehrbüchern der Entomologie, der Wissenschaft von den Insekten oder Kerbtieren. Diese verwendeten Lehrbücher werden nicht jedes Mal eigens angegeben, wenn aus ihnen zitiert wird. Es sind dies *Entomologisches Praktikum* von Gerhard Seifert (Seifert 1995), das von Konrad Dettner und Werner Peters herausgegebene *Lehrbuch der Entomologie* (Dettner und Peters 2003), das von Reginald F. Chapman begründete und von Stephen J. Simpson und Angela E. Douglas herausgegebene Lehrbuch *The Insects – Structure and Function* (Simpson und Douglas 2013) und das Werk *Insect Morphology and Phylogeny* von Rolf Georg Beutel und Co-Autor\*innen. Eine weitere wichtige allgemeine Quelle ist das 15-bändige *Lexikon der Biologie* (Sauermost und Freudig 1999–2004). Auf darüber hinaus benutzte Quellen wird im Laufertext mit Autor und Jahr verwiesen, die entsprechenden bibliografischen Angaben stehen in den Literaturverzeichnissen am Ende der Kapitel.

#### ■ Quellen

##### Internetseiten

Focus wissen: ► [https://www.focus.de/wissen/natur/gute-frage-wie-verteilt-sich-die-biomasse\\_aid\\_501798.html](https://www.focus.de/wissen/natur/gute-frage-wie-verteilt-sich-die-biomasse_aid_501798.html), zuletzt besucht 6.5.2020.

Nabu: ► <https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/insekten-und-spinnen/info/22683.html>, zuletzt besucht 6.5.2020.

#### Literatur

- Aspöck H, Aspöck U (1966) Studien an europäischen und kleinasiatischen Arten des Genus *Raphidia* L. Mitt Schweiz Entomol Ges 39:33–48
- Aspöck H, Aspöck U (1974) *Raphidia* (*Parvoraphidia*) *aphaphlyxte* n. sp. – eine neue Kamelhalsfliege aus Griechenland (Neuropt., Raphidioptera, Raphidiidae). Nachrichtenbl Bayer Entomol 23:94–96

- Aspöck U (1982) Polymorphismus und Polytypie bei nearktischen Raphidiiden: *Agulla (Glavia) modesta* Carpenter, *Agulla (Glavia) unicolor* Carpenter und *Agulla (Glavia) paramerica* n. sp. (Neuropteroidea: Raphidioptera). Z Arbeitsgemeinschaft österr Entomol 33:95–112
- Beutel RG, Friedrich F, Ge S-Q, Yang X-K (2014) Insect morphology and phylogeny. De Gruyter, Berlin
- Burger K (2021) Grünes Licht für Mehlwürmer. Tageszeitung (taz) vom 7. Mai, S 18
- Clerck CA (1757) Svenska Spindlar uti sina hufvudslågter indelte samt under några och sextio särskildte arter beskrefne och med illuminerade figurer uplyste. – Aranei Svecici, descriptionibus et figuris æneis illustrati, ad genera subalterna redacti, speciebus ultra LX determinati. Laurentius Salvius, Stockholm
- Dettner K, Peters W (Hrsg) (2003) Lehrbuch der Entomologie, 2. Aufl. Spektrum, Heidelberg
- Hallmann CA, Sorg M, Jongejans E, Siepel H, Hofland N, Schwan H, Stenmans W, Müller A, Sumser H, Hörren T, Goulson D, de Kroon H (2017) More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. PLoS ONE 12:10: e0185809, 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>
- Holdt VM (1885) Why not eat insects? Classey, Faringdon (Reprint 1978)
- International Commission on Zoological Nomenclature (1999) International Code of Zoological Nomenclature, International Trust for Zoological Nomenclature, London. Online version <https://www.iczn.org/the-code/the-international-code-of-zoological-nomenclature/the-code-online/>. deutsch: Kraus O (Bearb.) Internationale Regeln für die zoologische Nomenklatur. Goecke & Evers, Kelttern, 2000
- Kirkaldy GW (1904) Bibliographical and nomenclatorial notes of the Hemiptera – no. 3. Entomologist (London) 37:279–283
- Linnaeus C (1758) Systema Naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Tom. I, Ed. decima, reformata. Laurentius Salvius, Stockholm (Reprint London, BMNH, 1964)
- Ohl M (2015) Die Kunst der Benennung. Matthes & Seitz, Berlin
- Sauermost R, Freudig D (Hrsg) (1999–2004) Lexikon der Biologie in 15 Bänden. Spektrum, Heidelberg
- Seifert G (1995) Entomologisches Praktikum, 3. Aufl. Georg Thieme, Stuttgart/New York
- Simpson SJ, Douglas AE (Hrsg) (2013) The insects – structure and function, 5. Aufl. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Werner F (1912) Mantodea und Phasmodea. In: Michaelsen W, Hartmeyer R (Hrsg) Die Fauna Südwest-Australiens. Ergebnisse der Hamburger südwest-australischen Forschungsreise 1905. Lieferung 3, Bd 4. Gustav Fischer, Jena, S 45–56



# Der Insektenkörper

## Inhaltsverzeichnis

- 2.1 Insekten als Gliederfüßer – 12
- 2.2 Das Integument – 24
- 2.3 Färbung – 27
- 2.4 Muskulatur – 30
- 2.5 Kreislaufsystem – 33
- 2.6 Atemsystem – 36
- 2.7 Nahrungsaufnahme und Verdauung – 40
- 2.8 Drüsen – 49
- 2.9 Exkretion – 51
- 2.10 Sinnesorgane – 52
- 2.11 Nervensystem und Gehirn – 68
- Literatur – 76

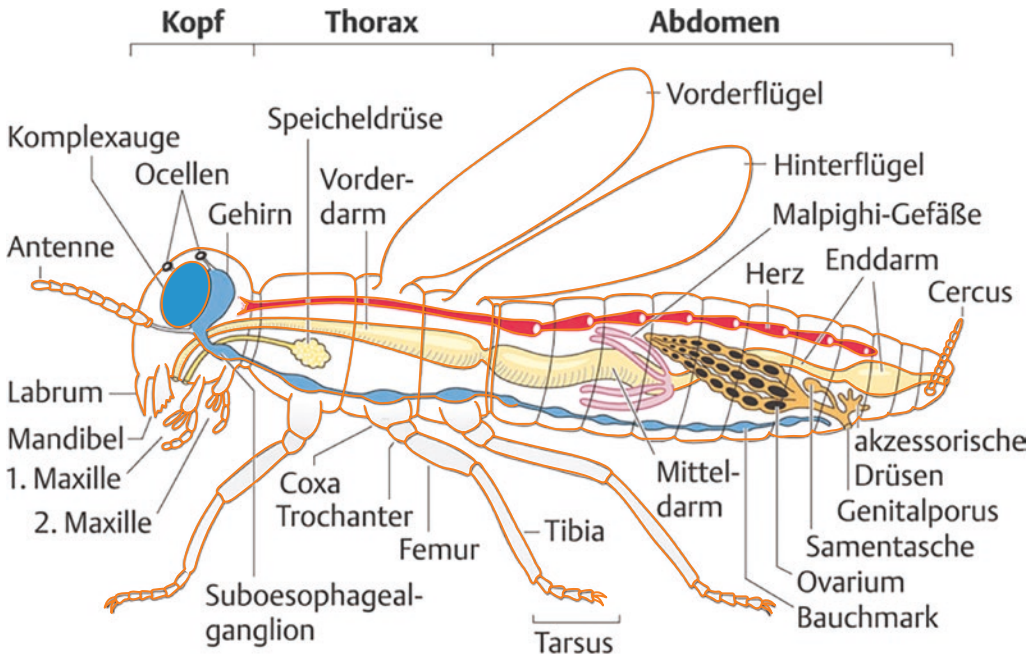
## 2.1 Insekten als Gliederfüßer

2

Insekten sind Arthropoda (Gliederfüßer) mit einem in Kopf (Caput), Brust (Thorax) und Hinterleib (Abdomen) gegliederten Körper (■ Abb. 2.1). Diese drei Körperabschnitte (Tagmata<sup>#</sup>, Singular Tagma) sind mehr oder weniger deutlich voneinander abgesetzt. Der deutsche Name Kerbtiere bezieht sich auf diesen allgemeinen Körperbau und bedeutet dasselbe wie lateinisch *insecta* und griechisch *entoma* (daher Entomologie für Insektenkunde), d. h. „Eingeschnittene“ oder „Eingekerbte“. Arthropoda sind in Segmente gegliederte wirbellose Tiere mit einem Außenskelett und gegliederten Extremitäten. In ihrem Körperinneren sind die Gewebe von einer Blutflüssigkeit, der Hämolymphe, umspült, die meistens frei flottiert und nur in bestimmten Körperabschnitten durch Gefäße strömt. Die Körperdecke (das Integument) besteht aus einer einschichtigen Epidermis und der von

ihr abgeschiedenen Cuticula. Diese Cuticula ist aus mehreren Schichten zusammengesetzt, die hauptsächlich Proteine und darüber hinaus Chitin enthalten. Die Cuticula wird von den Zellen der Epidermis gebildet und als zunächst weiches Sekret nach außen abgegeben, das an der Luft aushärtet und einen festen, meist elastischen, manchmal auch starren Panzer bildet. Die namensgebenden Gliederbeine bestehen aus mehreren röhrenförmigen, gelenkig verbundenen Abschnitten.

Zu den Arthropoda gehören außer den Insekten auch die Krebstiere (Crustacea), die Spinnentiere (Arachnida) und die Tausendfüßer (Myriapoda). Manche Vertreter dieser Gruppen werden manchmal von Laien für Insekten gehalten, z. B. die zu den Krebsen zählenden Asseln (■ Abb. 2.2), bestimmte Tausendfüßer der Gattung *Scutigera* (Spinnenläufer, ■ Abb. 2.3) oder die zu den Spinnentieren gehörenden Zecken (■ Abb. 2.4).



■ **Abb. 2.1** Schema des Körperbaus eines idealisierten geflügelten Insekts. Die Strukturen mit orange gezeichneten Konturen bestehen aus Cuticula, die ge-

häutet wird. Nach Wehner und Gehring (2007) © Thieme Gruppe, mit freundlicher Genehmigung



■ **Abb. 2.2** Eine Gewöhnliche Rollassel, *Armadillidium vulgare* Latreille, 1804, Bonn, Deutschland. Foto: M. Schmitt



■ **Abb. 2.3** Ein Spinnenläufer, *Scutigera coleoptrata* (Linnaeus, 1758), der Kopf ist links, Südfrankreich. Foto: M. Schmitt



■ **Abb. 2.4** Zecke oder Holzbock, *Ixodes* sp., Bonn, Deutschland. Foto: M. Schmitt

Insekten tragen an ihrem dreigliederten Körper nur am mittleren Abschnitt, dem Thorax, Gliederbeine. Der Thorax besteht seinerseits aus drei Segmenten, der Vorderbrust oder dem Prothorax, der Mittelbrust oder Mesothorax, und der Hinterbrust oder Metathorax. Jedes der drei Thoraxsegmente trägt ein Beinpaar, daher auch die wissenschaftliche Bezeichnung Hexapoda – Sechsbener – für die Insekten.

Nicht alle Insekten besitzen Flügel, aber sämtliche geflügelten Insekten tragen ihre Flügel nur am Meso- und/oder am Metathorax (■ **Abb. 2.1**). Die Insektenflügel sind nicht in gegeneinander bewegliche Abschnitte gegliedert, lassen aber im Allgemeinen verschiedene Regionen erkennen und können bei den meisten Insektengruppen auf die ein oder andere Weise gefaltet werden.

Der gesamte Körper der Insekten ist aus Segmenten aufgebaut, die prinzipiell alle dieselbe Ausstattung an inneren Organen aufweisen: einen Satz Längs- und einen Satz Ringmuskeln, ein Paar Ganglien (Nervenknoten), einen Abschnitt paariger Längsnerven, je zwei Stigmen (Singular: Stigma – Atemöffnungen) und ein Paar Extremitäten. Allerdings sind die Segmente der einzelnen Tagmata der Insekten sehr stark modifiziert. So wird der Kopf zwar ontogenetisch aus sechs Segmenten gebildet, lässt aber weder äußerlich sechs Abschnitte erkennen noch entspricht die Gliederung des Gehirns einer solchen Einteilung. Die Längsnerven sind bei den meisten Insekten zu einem unpaaren Bauchmark verschmolzen, und das Abdomen weist bei Insekten nie Gliederbeine auf.

Der **Kopf** besteht aus der Kopfkapsel (dem Cranium), deren Cuticula meist stark sklerotisiert (gehärtet) ist. Die Kopfkapsel ist aus mehreren Skelettelementen zusammengesetzt, die mit wissenschaftlichen

oder deutschen Namen bezeichnet werden. Diese Namen sind der Sprache der Wirbeltieranatomie entnommen, das bedeutet aber nicht, dass außer einer oberflächlichen Ähnlichkeit der Lagebeziehungen und der Funktion ein Zusammenhang zwischen den Teilen des Insektenkopfs und denen des Wirbeltierschädels besteht. Zwischen diesen Kopfskelettelementen verlaufen sogenannte Nähte, die als feine Furchen oder erhabene Leisten zu erkennen sind. Der Kopf setzt mit dem Occiput<sup>#</sup> (dem Hinterhaupt) am Prothorax an, mit dem er durch eine ringförmige Membran verbunden ist. Dieser Hals (die Cervix<sup>#</sup>) trägt lediglich bei manchen Arten kleinere Skelettelemente, sogenannte Cervicalsclerite, ansonsten ist er nicht sklerotisiert. Auf das Occiput folgt nach vorne der Vertex (Scheitel), an den sich die Frons (Stirn) anschließt. Die seitlichen, unter den Augen liegenden Teile der Kopfkapsel werden Genae (Wangen, Singular Gena<sup>#</sup>) genannt. Die Frons setzt sich nach vorne in den Clypeus<sup>#</sup> (Kopfschild) fort, an den sich das Labrum<sup>#</sup> (die Oberlippe) anschließt (■ Abb. 2.5).

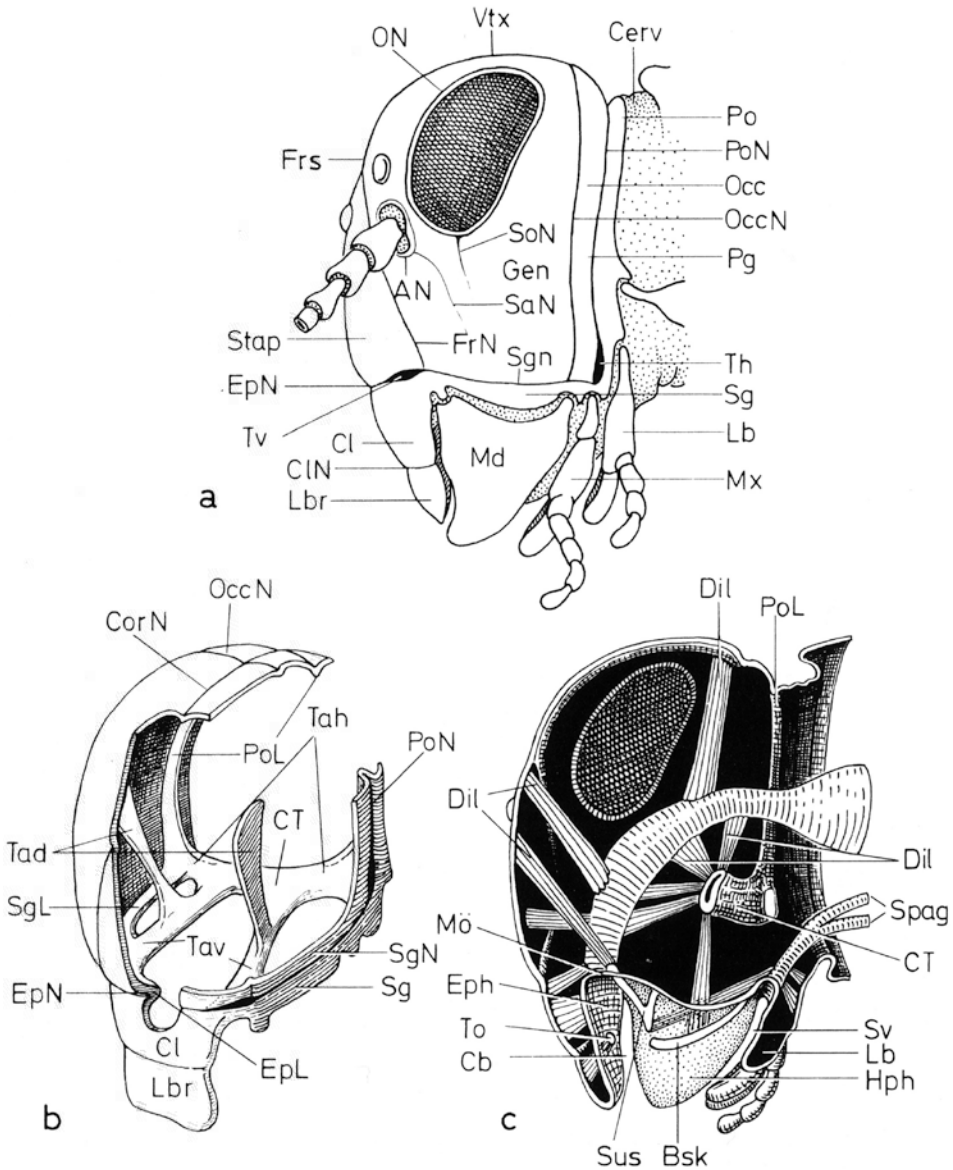
Das Labrum ist schon Teil der **Mundwerkzeuge**. Es entsteht in der Individualentwicklung, der Ontogenese, aus paarigen Anlagen, die zu einer unpaaren Platte zusammenwachsen. Insekten besitzen ein Paar Mandibeln<sup>#</sup> (Oberkiefer), ein Paar Maxillen<sup>#</sup> (Unterkiefer) und ein unpaares Labium<sup>#</sup> (die Unterlippe). Letzteres wird in der Ontogenese paarig angelegt und begrenzt die Mundhöhle nach unten. Maxillen und Labium tragen – in der Regel mehrgliedrige – Taster, die Maxillar- bzw. Labialpalpen (Singular: Palpus<sup>#</sup>). Die Mandibeln der Zygentoma (Fischchen) und aller primär geflügelten Insekten sind über zwei Gelenke mit der Kopfkapsel verbunden (dicondyl<sup>#</sup>), können also nur über eine Drehachse bewegt werden. Die übrigen, primär ungeflügelten Insekten besitzen Mandibeln mit nur einem Gelenk (monocondyl<sup>#</sup>). Wenn die Mundwerkzeuge frei beweglich und von außen sichtbar an der Kopfkapsel eingelenkt

sind, nennt man sie ektognath<sup>#</sup>, sind sie von Duplikaturen der Kopfkapselwand umschlossen, sodass nur ihre Spitzen heraus schauen, nennt man sie entognath<sup>#</sup>.

Diese Mundwerkzeuge sind beim beißend-kauenden Typ deutlich getrennt und leicht zu unterscheiden, z. B. bei Heuschrecken und Käfern. In einigen Gruppen sind sie stark abgewandelt und nur bei genauer Untersuchung zu unterscheiden, so bei den Insekten mit stechend-saugenden Mundwerkzeugen (z. B. Mücken und Wanzen) oder solchen mit leckend-saugenden, z. B. Schmetterlingen.

Wenn die Achse zwischen Occiput und Labrum ungefähr wie die Körperachse ausgerichtet ist, der Kopf also nach vorne zeigt, spricht man von einem prognathen<sup>#</sup> Kopf (z. B. bei Ohrwürmern und vielen Käfern). Weist diese Achse in etwa in einem rechten Winkel nach unten (wie bei Heuschrecken und Libellen), bezeichnet man diese Kopfform als orthognath<sup>#</sup> (im Englischen *hypognathous*). Eine Kopfform mit nach hinten gerichteten Mundwerkzeugen und nach vorn gerichteter Frons (wie z. B. bei Schaben, Zikaden und einigen Käfern) nennt man hypognath<sup>#</sup> (im Englischen *opisthognathous*). Bei einigen Insektengruppen, z. B. Coleoptera, Neuroptera und Trichoptera, ist der Kopf ventral von einer sklerotisierten Platte, der Gula<sup>#</sup>, verschlossen, die zwischen Hinterhauptsloch und Labium liegt.

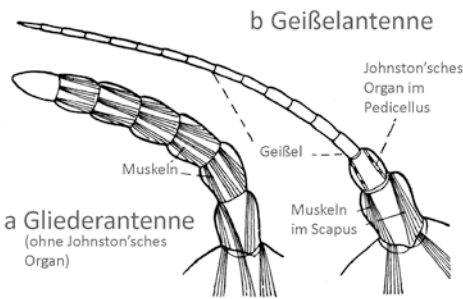
Der Kopf trägt ein Paar **Antennen** (Fühler), die aus mehreren Antennomeren (Antennengliedern) aufgebaut sind, die Augen und die Mundwerkzeuge. So gut wie alle Insekten haben als adulte Tiere paarige Komplexaugen. Diese sind aus einzelnen Elementen zusammengesetzt und werden daher auch als Facettenaugen bezeichnet. Darüber hinaus besitzen viele Insekten ein bis drei Einzelaugen, sogenannte Ocellen. Es gibt zwei verschiedene Typen von Antennen bei Insekten (■ Abb. 2.6). Bei den Gliederantennen sind alle Antennomere außer dem äußersten mit Muskeln versehen,



■ **Abb. 2.5** Schema des Insektenkopfes. **a:** äußere Morphologie; **b:** geöffnete Kopfkapsel ohne weiche Gewebe; **c:** paramedian sagittal<sup>ff</sup> aufgeschnittener Insektenkopf mit einigen Muskeln. AN: Antennennaht, Bsk: Basalsklerit, Cb: Cibarium, Cerv: Cervix, Cl: Clypeus (Kopfschild), CIN: Clypeolabralnaht, CorN: Coronalnaht, CT: Corpotentorium, Dil: Dilatatormuskel, Eph: Epipharynx, EpL: Epistomalleiste, EpN: Epistomalnaht, FrN: Frontalnaht, Frs: Frons (Stirn), Gen: Gena (Wange), Hph: Hypopharynx, Lb: Labium (Unterlippe), Lbr: Labrum (Oberlippe), Md: Mandibel (Oberkiefer), Mö: Mundöffnung, Mx: Maxille (Unterkiefer), Occ: Occiput (Hinterkopf),

OccN: Occipitalnaht, ON: Okularnaht, Pg: Postgena, Po: Postocciput, PoL: Postoccipitalleiste, PoN: Postoccipitalnaht, SaN: Subantennalnaht, Sg: Subgena, SgL: Subgenalleiste außen an der Kopfkapsel, SgN: Subgenalleiste im Inneren der Kopfkapsel, SgN: Subgenalnaht, SoN: Subokularnaht, Spag: Speicheldrüsenausführgang, Stap: Stirnnapodem, Sus: Suspensorium, Sv: Salivarium, Tad: dorsaler Tentorialarm, Tah: hinterer Tentorialarm, Tav: vorderer Tentorialarm, Th: Mündung des hinteren Tentorialarms, To: Torma (kleiner Sklerit am Epipharynx), Tv: Mündung des vorderen Tentorialarms, Vtx: Vertex (Scheitel). Aus Seifert (1995) © Thieme Gruppe, mit freundlicher Genehmigung

durch welche die Glieder gegeneinander bewegt werden können (■ Abb. 2.6a). Bei den Geißelantennen (■ Abb. 2.6b) befinden sich Muskeln nur in den beiden Grundgliedern, dem Scapus und dem Pedicellus, während die übrigen Glieder die Geißel bilden, die nur durch die Muskeln der Grundglieder bewegt wird. Im Pedicellus befindet sich ein spezielles Sinnesorgan, das Johnston-Organ

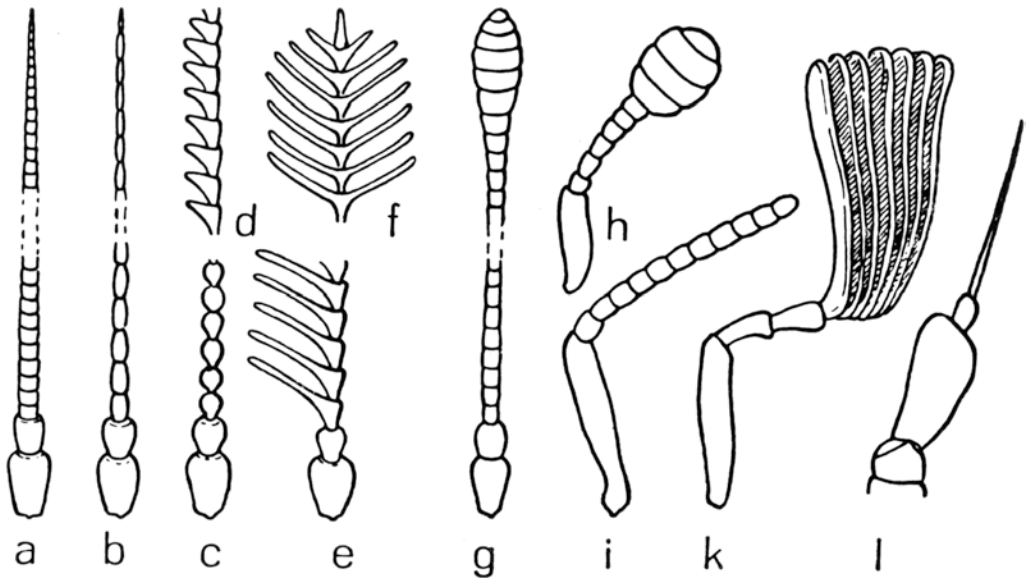


■ Abb. 2.6 Die beiden Haupttypen von Antennen der Insekten. Aus Weber und Weidner (1974)

(s. ► Abschn. 2.10). Es finden sich ganz verschiedene Formen von Antennengeißeln, die häufigsten sind in ■ Abb. 2.7 dargestellt. Die Antennen sind mit einer Vielzahl verschiedener Sinnesorgane ausgestattet, die mechanische, thermische, flüssig-chemische oder flüchtig-chemische Reize aufnehmen.

Ins Innere der Kopfkapsel stülpen sich im Lauf der Ontogenese Äste der Cuticula ein. Aus ihnen bildet sich ein chitines Innenskelett, das Tentorium# (■ Abb. 2.5b). An den Ästen oder Fortsätzen dieses Innenskeletts setzen Muskeln an, die die Mundwerkzeuge bewegen.

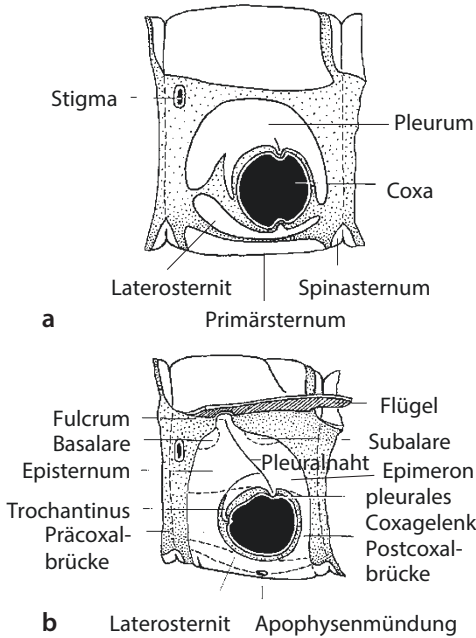
Das Außenskelett der Segmente des Thorax und des Abdomens besteht grundsätzlich aus einem Rückenschild, dem Tergum, mit einer sklerotisierten Rückenplatte, dem Tergit und einem Bauchschild, dem Sternum, mit einer Bauchplatte, dem Sternit. Diese beiden Platten sind durch eine Membran, die Pleura, verbunden. In diese Pleura sind häufig cuticulare Versteifungen eingebaut, die als Pleurite oder Pleura (Singular: Pleu-



■ Abb. 2.7 Die wichtigsten Formen von Geißelantennen. a: borstenförmig (setiform); b: fadenförmig (filiform); c: perlschnurförmig (moniliform); d: einseitig gekämmt; e: einseitig und f: beidseitig gekämmt

(pectinat); g: keulenförmig (clavat) mit großer und h: mit beschränkter Zahl von Antennomeren; i: gekniet; k: blätterförmig (lamellat); l: pfiemenförmig mit ungegliederter Endgeißel. Aus Weber und Weidner (1974)





■ **Abb. 2.8** a: Bildung der Sternopleuralregion. b: Schema der Pleura. Aus Seifert (2003) © Thieme Gruppe, mit freundlicher Genehmigung

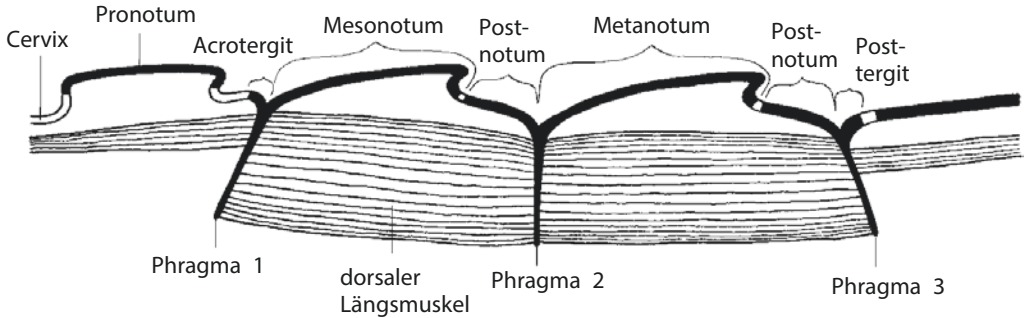
rum) bezeichnet werden (■ Abb. 2.8). Für die Bauchplatten wird häufig der Begriff Ventrit verwendet, vor allem dann, wenn die äußerlich erkennbare Gliederung der Skelettplatten nicht der ursprünglichen segmentalen Anordnung entspricht. Im Lauf der Ontogenese vieler Insekten fusionieren manchmal Skelettplatten oder teilen sich, sodass die von außen sichtbaren Grenzen zwischen den Platten nicht mehr die Segmentgrenzen widerspiegeln. Oft sind die Skelettplatten der Bauchseite ins Körperinnere verlagert, sodass die äußerlich sichtbaren Skelettelemente von den Pleuren gebildet werden. Daher bezeichnet man häufig die sklerotisierten ventralen Elemente von Thorax und Abdomen als Ventrite.

In vielen gängigen deutschsprachigen entomologischen Werken werden die auf „-it“ endenden Bezeichnungen solcher Skelettelemente grammatisch als Neutra verwendet. Das ist aber sprachlich falsch, wie ein Blick auf die Herkunft dieser Be-

griffe deutlich macht: Im Griechischen ist eine Stadt eine *polis*, der Bürger einer solchen Stadt ein *polites*, und der war männlich (Frauen wurden nicht als Bürger gerechnet). Die Endung „-ites“ bedeutet also ein männliches Substantiv (siehe den Eintrag „Tergit“ im Entomologischen Wörterbuch von Stefan von Kéler (1963)).

Der **Prothorax** der Insekten wird in den meisten Gruppen von einer einheitlichen Rückenplatte bedeckt. Dieser Tergit wird oft auch einfach „Tergum“ genannt, auf Deutsch: Rücken. Ein anderer Begriff dafür, der allgemein den Rücken bezeichnet, ungeachtet der Konsistenz der Rückendecke, ist *Notum*<sup>#</sup>. Im Sternit<sup>#</sup> liegen die Hüftkammern der Vorderbeine. Die Seiten des Prothorax sind meist stark sklerotisiert, sodass der gesamte Prothorax zusammen mit der Kopfkapsel der härteste Abschnitt des Insektenkörpers ist.

**Meso-** und **Metathorax** werden zusammen auch als Pterothorax bezeichnet, von griech. *pteron* = Flügel, weil Flügel bei Insekten nur an einem dieser Thoraxsegmente oder an beiden ansetzen. Die Seiten – Pleuren (Singular: Pleura) – dieser beiden Segmente sind bei den meisten Insektengruppen stark sklerotisiert. In der membranösen Außenhaut der Segmente liegt ein Pleurum, das meist in einen vorderen Abschnitt, das Episternum, und einen hinteren, das Epimeron, gegliedert ist (■ Abb. 2.8). Das Pleurum umschließt zusammen mit einigen kleineren Elementen, unter ihnen der sichelförmige Trochantinus<sup>#</sup>, die Coxalhöhle (Hüftkammer). Die Rückenplatten der Pterothoraxsegmente sind abweichend von den ursprünglichen Segmenten gegliedert: Der jeweils vordere Teil der Rückenplatte, das Mesonotum bzw. das Metanotum, ist mit einem Abschnitt der dahinter liegenden Platte, dem Postnotum, verschmolzen, sodass die äußerlich sichtbaren Nähte nicht die Lage der ursprünglichen Segmentgrenzen markieren. Man spricht hier von „sekundärer Segmentierung“. Nach innen ragen Einstülpungen des



■ **Abb. 2.9** Schema der Dorsalregion des Thorax. Aus Seifert (2003) © Thieme Gruppe, mit freundlicher Genehmigung

Außenskeletts, die Phragmata (oder Phragmen, Singular: Phragma), an denen die vor allem bei den flügeltragenden Insekten mächtigen dorsalen Längsmuskeln ansetzen (■ Abb. 2.9). Außerdem liegen im Thorax auch die beinbewegenden Muskeln.

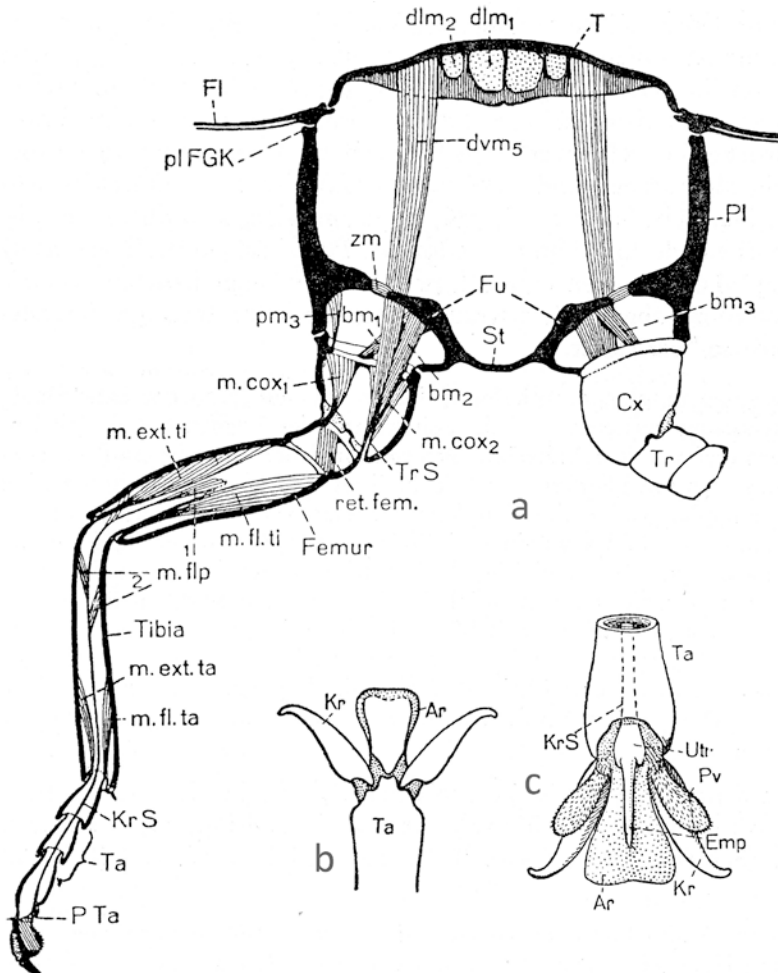
Die gegliederten **Beine** der Insekten sind grundsätzlich alle gleich gebaut. Sie bestehen aus gelenkig verbundenen, mehr oder weniger röhrenförmigen Abschnitten, die durch Muskelzug gegeneinander bewegt werden können (■ Abb. 2.10). Insekten besitzen Strecker- und Beugermuskeln in den Beinen, im Gegensatz zu Spinnen, die ihre Beine durch Hämolympdruck strecken und nur Beuger besitzen.

Die Abschnitte der Beine sind – von proximal (körpernah) nach distal (körperfern) – die Coxa (Hüfte, Plural: Coxae), der – manchmal zweigeteilte – Trochanter (Schenkelring), das Femur (der Schenkel, Plural: Femora), die Tibia (die Schiene, Plural: Tibiae oder Tibien) und der Tarsus (der Fuß, Plural: Tarsi oder Tarsen). Der Tarsus ist seinerseits gegliedert in maximal fünf Tarsomere (Tarsenglieder). Das äußerste Tarsenglied trägt einen sogenannten Prätarus, der meist als einfache oder paarige Krallen vorliegt. An diesem Prätarus setzen in manchen Insektengruppen weitere paarige oder unpaare Strukturen an, die meist einem besseren Halt auf dem Untergrund dienen: z. B. paarige Pulvillen<sup>#</sup>, ein unpaares Arolium<sup>#</sup> oder ein unpaares Emp-

odium<sup>#</sup> (■ Abb. 2.10b, c). Die einzelnen Beinabschnitte sind durch Scharniergelenke verbunden, d. h. Gelenke mit nur einer Bewegungsachse. Diese Achsen sind von der Coxa bis zur Tibia jeweils aufeinanderfolgend gegeneinander um bis zu 90° versetzt ausgerichtet. Durch diese kardanische Gelenkung können Insekten ihre Beine so bewegen, als seien sie mit dem Körper über ein Kugelgelenk verbunden wie unsere menschlichen Arme.

Ursprünglich dienten die Beine der Insekten sicher nur der Fortbewegung, waren also einfache Laufbeine. In ihrer Evolution haben verschiedene Insektengruppen ganz unterschiedliche Beinformen ausgebildet, die verschiedenste biologische Rollen erfüllen. Eine Auswahl ist in ■ Abb. 2.11 dargestellt.

Die **Flügel** von Insekten sind membranöse (häutige) Flächen und durch feine stab- oder röhrenförmige Adern versteift. Die Längsadern der Flügel verzweigen sich bei den meisten Insekten und bilden Queradern, wodurch ein charakteristisches Äderungsmuster entsteht. Die Flächen, vor allem die Oberseite, und die Kanten sind mit Härchen besetzt, die eine wichtige aerodynamische Rolle spielen und zudem Bestandteile von Sinnesorganen sind. Die Flügelflächen bestehen aus zwei Lagen dünner Cuticula, die in der Ontogenese als Ausstülpungen der Körperwand entstehen. Die Adern sind von einem einschichtigen Epithel ausgekleidet,



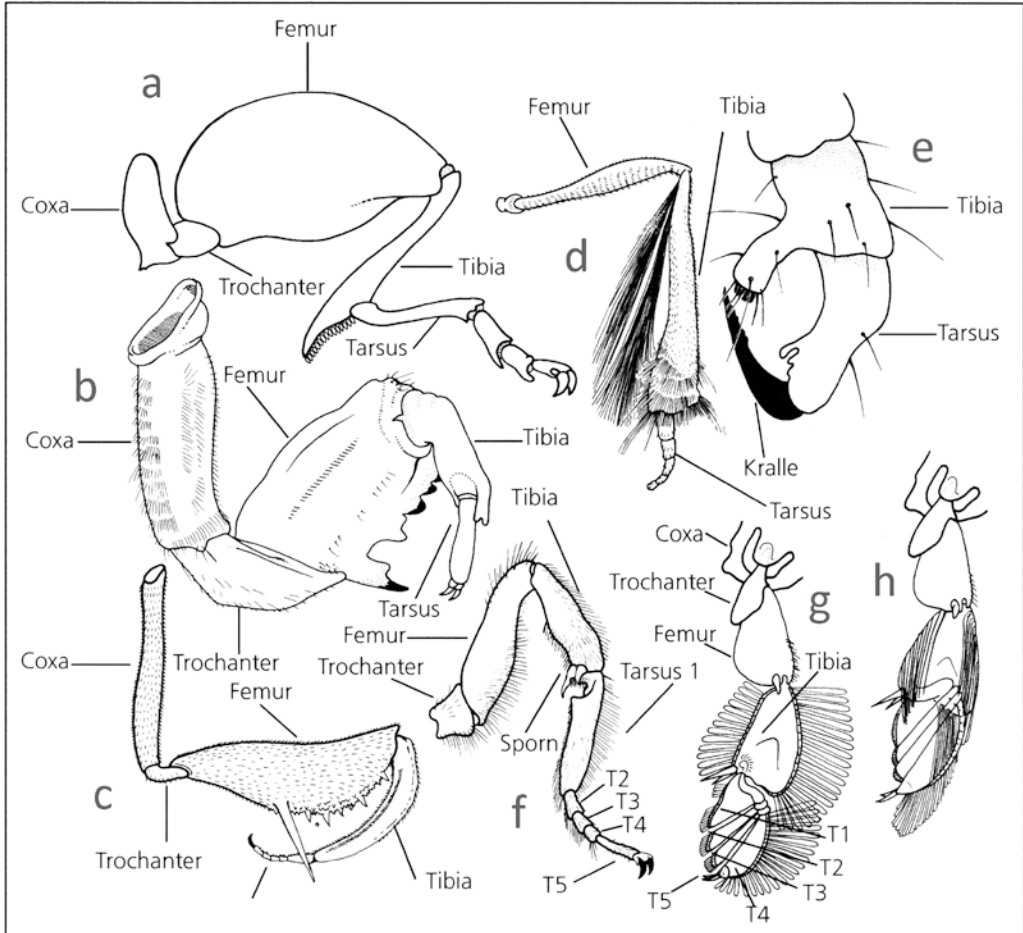
■ **Abb. 2.10** a: Querschnitt durch ein geflügeltes Thoraxsegment; b: letztes Tarsenglied mit Klauen und Arolium, von oben; c: idealisierte Tarsenspitze mit verschiedenen Haftvorrichtungen, von der Sohlenseite. Ar: Arolium, *bm<sub>1</sub>*, *bm<sub>2</sub>*, *bm<sub>3</sub>*: sternale Beinmuskeln, Cx: Coxa, *d<sub>lm</sub><sub>2</sub>*, *d<sub>lm</sub><sub>1</sub>*: dorsale Längsmuskeln, *d-plHG*: , *dvm<sub>5</sub>*: Dorsoventralmuskel 5, Emp: Empodium, Fl: Flügel, Fu: Furca, Kr: Kralle, KrS: Krallensehne, *m.cox<sub>1</sub>*, *m.cox<sub>2</sub>*: Coxalmuskeln 1 und 2, *m.ext.ta*: Extensor-(Strecker-)muskel des Tarsus, *m.ext.ti*: Extensor-(Strecker-)muskel der Tibia,

*m.fl.ta*: Flexor-(Beuge-)muskel des Tarsus, *m.fl.ti*: Flexor-(Beuge-)muskel der Tibia, *m.flp*: Flexor-(Beuge-)muskel des Prätarsus, Pl: Pleura, *plFGK*: pleuraler Flügelgelenkkopf, *pm<sub>3</sub>*: Pleuralmuskel 3, PTa: Prätarsus, Pv: Pulville, *ret.fem.*: Remotor (Rückziehmuskel) des Femur, St: Sternum, T: Tergum, Ta: Tarsus, Tr: Trochanter (Schenkelring), TrS: Trochantersehne, Utr: Unguitractor (Zugplatte, die am Krallenbeugemuskel ansetzt), *zm*: Zwischenmuskel. Aus Weber und Weidner (1974)

dessen Zellen nach außen eine erhärtende Cuticula abscheiden. Im Innern der Adern fließt Hämolymphe aus dem Körperinneren hinaus und zurück. Außerdem verlaufen in den Adern Tracheen (Atemröhren), die von den Tracheenhauptstämmen des Thorax ab-

zweigen (■ Abb. 2.12). Zahlreiche Sinnesorgane befinden sich in den Aderwänden, die Härchen sind ihre reizaufnehmenden Strukturen.

Die Adern der Insektenflügel tragen traditionell lateinische oder lateinischstämmige



**Abb. 2.11** Verschiedene Beinformen von Insekten. **a:** Sprungbein des Flohkäfers *Psylliodes affinis* (Paykull, 1799) (Coleoptera: Chrysomelidae: Galerucinae: Alticini); **b:** Grabbein einer Zikadenlarve, *MAGICICADA septendecim* (Linnaeus, 1758) (Homoptera: Auchenorrhyncha: Cicadidae); **c:** Fangbein des Fanghafts *Mantispa styriaca* (Poda, 1751) (Planipennia: Mantispidae); **d:** Duftbein eines Weibchens von *Hepialis hecta* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Hepialidae);

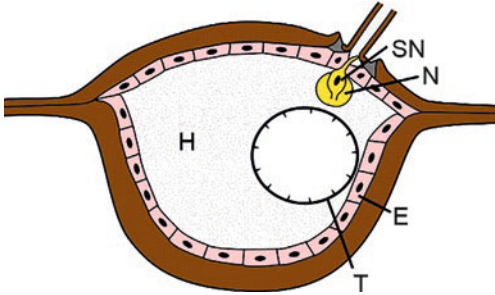
**e:** Klammerbein (Vorderbein) einer weiblichen Kleiderlaus (*Pediculus* sp., Anoplura); **f:** Putzbein (Vorderbein) einer Honigbiene (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) (Hymenoptera: Apidae); **g, h:** Schwimmbein (Hinterbein) eines Taumelkäfers, *Gyrinus natator* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Gyrinidae) mit abgespreizten (**g**) und mit angezogenen (**h**) Ruderplättchen. Aus Klausnitzer (1996)

Namen (Abb. 2.13). Die meist massive Ader an der Flügelvorderkante heißt Costa, die zweite Ader Subcosta. Die dahinter liegenden Adern Radius, Media und Cubitus verzweigen sich gewöhnlich zum körperabgewandten Ende der Flügel, sodass dort am Rand die Äste dieser Adern nummeriert werden. Der Postcubitus begrenzt den größten Teil der Flügelfläche nach hinten. Dieses

Feld wird Remigium genannt. Auf dieses folgt das Analfeld oder der Vannus mit mehreren Analadern. Der verbleibende kleinste Teil des Flügels ist das Jugum mit den Jugaladern. Zwischen Remigium und Vannus verläuft eine Sollknickstelle, die Plica vernalis, zwischen Vannus und Jugum die Plica jugalis. An diesen Plicae werden bei vielen Insekten die häutigen Flügel gefaltet. Darü-

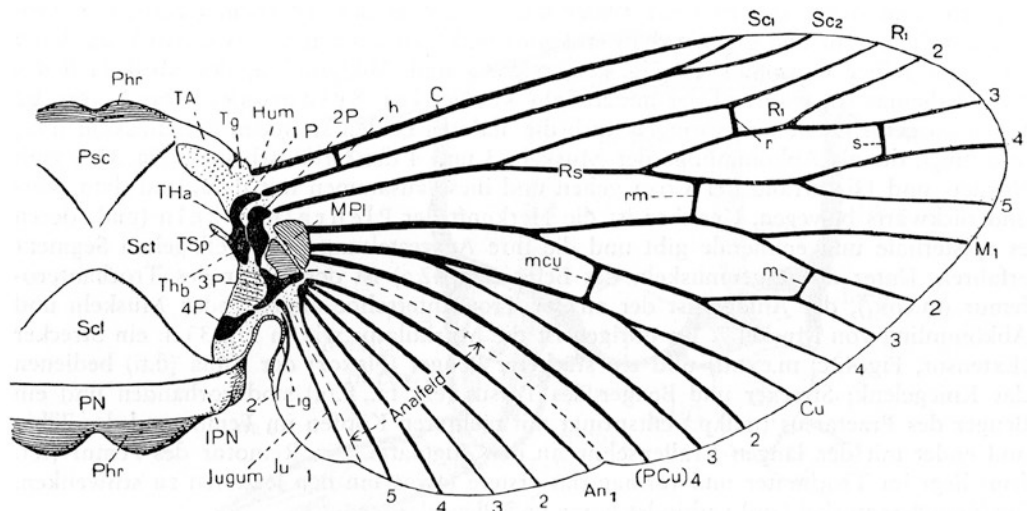
ber hinaus finden sich in etlichen Insektengruppen besondere Flügelfaltmechanismen mit zusätzlichen Plicae.

Bis heute ist nicht eindeutig geklärt, wie die Flügel der Insekten in der Evolution entstanden sind. Grundsätzlich werden zwei Möglichkeiten diskutiert: Entweder entstanden die Flügel bei Insekten, die vom



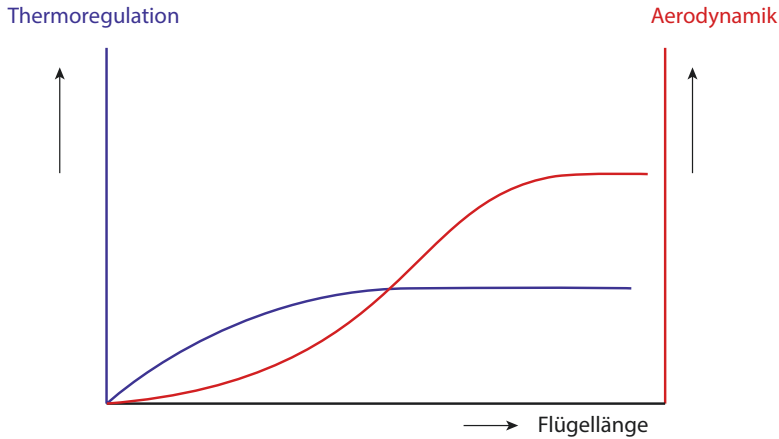
■ **Abb. 2.12** Schematisierter Querschnitt durch die Flügelader eines Insekts. E: Epithel, H: Hämolymphe, N: Nerv, SN: Sinnesneuron, T: Trachee. Aus Pass (2018)

Boden oder der Wasseroberfläche nach oben starteten, oder sie entstanden bei Insekten, die von Bäumen, Büschen, Felsen oder anderen Erhebungen nach unten fielen oder schwebten. Das erste Szenario geht davon aus, dass die Insektenflügel aus beweglich am Thorax eingelenkten Kiemenfächern hervorgegangen sind, wie sie heute noch am Abdomen von wasserlebenden Eintagsfliegenlarven vorhanden sind. Im zweiten Szenario wird angenommen, die Flügel seien aus seitlichen Auswüchsen der Körperwand des Thorax entstanden, den sogenannten Paranota, wie sie bei heutigen Silberfischchen noch zu sehen sind. Die erste Annahme hätte den Vorteil, dass die Flügelausgangsstufen schon von Anfang an ein Grundgelenk besaßen und damit ein Flügelschlag möglich war. Die zweite Idee erklärt zwanglos das Vorhandensein von hämolymphgefüllten Adern und von Tracheenzweigen in den Flügeln, denn beides finden wir auch in den Paranota heute



■ **Abb. 2.13** Grundschemata der Flügeladerung und des Flügelgelenks der Insekten. 1P, 2P, 3P, 4P: Pterale 1 bis 4, An: Analadern, C: Costa, Cu: Cubitus mit Postcubitus (PCu), h: Humeralquerader, Hum: Humeralquerader, Ju: Jugaladern, IPN: Lateropostnotum (seitlicher Teil des Postnotum), Lig: Ligament am Analwinkel, M: Media, m: Medialquerader, mCu: Medicubitalader, MPI: Vermittlungsplatte, Phr: Phragma,

PN: Postnotum, Pps: Parapsidalleisten (Außennähte), Psc: Postscutum, r: Radialquerader, R: Radius, Rs: Sector Radii, s: Sectorquerader, Sc: Subcosta, Scl: Scutellum, Sct: Scutum, TA: Tergalarm, Tg: Tegula, TH<sub>a</sub>: vorderer Tergalhebel, TH<sub>b</sub>: hinterer Tergalhebel, TSp: Tergalspalt. Die einzelnen Zweige der Längsadern sind am Flügelrand durchnummeriert. Aus Weber und Weidner (1974)



▣ **Abb. 2.14** Prinzip des Funktionswechsels, dargestellt am Beispiel des Insektenflügels: Am Anfang dient der Flügel dem Aufwärmen des Körpers, das umso effektiver ist, je länger der Flügel ist (blaue Kurve), bis bei einer bestimmten Flügellänge nicht mehr Wärme von der Hämolymphe aufgenommen

wird, als beim Zurückfließen in den Thorax wieder abgestrahlt wird. An diesem Punkt (Kreuzung von roter und blauer Kurve) sind die Flügel lang genug, um aerodynamisch wirksam zu sein, d. h., das Fliegen zu ermöglichen (Original)

lebender primär flügelloser Insekten. Allerdings ergibt sich die Schwierigkeit zu erklären, welchen Selektionsvorteil starre seitliche Ausstülpungen der Körperwand gehabt haben sollten, wenn sie noch nicht als Tragflächen, geschweige denn gleich als bewegliche Flügel fungieren konnten. Dieser Einwand wird durch die Befunde entkräftet, dass selbst kurze und starre seitliche Erweiterungen der Körperfläche aerodynamisch so wirksam sind, dass sie die Überlebenswahrscheinlichkeit von Insekten erhöhen, wenn diese von Bäumen fallen (Dudley und Yanoviak 2011). Zudem konnten Kingsolver und Koehl (1985) zeigen, dass Insektenflügel auch zum Aufwärmen des Körpers dienen können, weil die in ihnen strömende Hämolymphe sich im Sonnenschein erwärmt und dann mit erhöhter Temperatur in den Thorax zurückströmt. Die Flügel der Insekten könnten also durchaus zunächst im Funktionskreis der Thermoregulation optimiert – d. h. verlängert – worden sein. Ab einer bestimmten Flügellänge nimmt die Hämolymphe nicht mehr Wärme auf, als sie während des Zurückfließens wieder ab-

gibt. Dann waren die Flächen sicher groß genug, um aerodynamisch effektiv zu sein, d. h., als Tragflächen zu wirken. Einen solchen Vorgang nennt man Funktionswechsel (▣ Abb. 2.14). Er ist in der Evolution der Organismen sicher häufig vorgekommen. Das Flügelgrundgelenk wäre unter dieser Annahme erst später entstanden. Es ist auch ganz anders gebaut als die Gelenke der Beine und der anderen Körperanhänge.

Insektenflügel können mehr oder weniger transparent sein, häufig zeigen sie aber Farbmuster, die entweder durch Pigmenteinlagerung in die Cuticula oder durch strukturelle Modifikationen ihrer Oberfläche erzeugt werden. Bei vielen Schmetterlingen beispielsweise tragen die Flügel Schuppen, die einfallendes Licht so reflektieren, dass durch Interferenz Schillerfarben entstehen. Bei Käfern sind die Flügel des Mesothorax, die Vorderflügel, kräftig sklerotisiert und dunkel oder farbig. Sie wirken als mechanischer Schutz der häutigen Hinterflügel, die in Ruhe unter den Vorderflügeln gefaltet getragen und nur zum Flug entfaltet werden. Solche harten Vorderflügel nennt man Elytren (Singular: Elytre<sup>#</sup>), wir