

Die Sinne der Tiere

Stephan Frings

Die Sinne der Tiere

Lehrbuch der vergleichenden Sinnesphysiologie

Illustriert von Helga Pohlen und Matt Jan Gerhard Maassen-Pohlen

Stephan Frings
Centre for Organismal Studies
Universität Heidelberg
Heidelberg, Deutschland

ISBN 978-3-662-63232-1 ISBN 978-3-662-63233-8 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-63233-8>

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 2021

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: © Matt J. G. Maassen-Pohlen

Illustrationen: © Matt J. G. Maassen-Pohlen, Helga Pohlen 2021. Alle Rechte vorbehalten

Tierfotos: © Erik Leist 2021. Alle Rechte vorbehalten

Planung/Lektorat: Stefanie Wolf

Springer Spektrum 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 – Die Sinne der Tiere

Für die meisten Menschen sind Tiere ein selbstverständlicher Teil des Lebens. Dabei sind die Umstände unserer Begegnungen mit Tieren vielfältig: Sei es die Freude an der belebten Natur, die Sorge um Wild- oder Nutztiere, der Umgang mit Haustieren oder auch die Furcht vor gefährlichen Tieren. Da Tiere faszinierende Wesen sind mit eigenartigen Fähigkeiten und oft rätselhaftem Verhalten, ist der Wunsch, mehr über sie zu erfahren, ein fester Bestandteil der menschlichen Neugier. Wenn wir unsere Umwelt erkunden und versuchen, unsere eigene Rolle in das natürliche Geschehen auf der Erde einzuordnen, ist die Frage nach den Tieren nie weit. Oft fragen wir uns, warum ein Tier ein bestimmtes Verhalten zeigt. Wie aber können wir sein Verhalten interpretieren, wieviel davon verstehen, was ein Tier bewegt und motiviert? Unser Interesse an Tieren führt stets zu einem schwer lösbaren Konflikt: Sind Tiere so vollständig anders als Menschen, dass es für uns unmöglich ist zu verstehen, was in ihnen vorgeht? Oder bietet die Kontinuität der Evolution – und die daraus resultierenden Ähnlichkeiten zwischen Tieren und Menschen – eine Möglichkeit, das Verhalten von Tieren nachzuvollziehen? Fremdheit oder Verständnis; wie können wir den Tieren begegnen?

Die Sinnesphysiologie will diesen Konflikt lösen, indem sie auf Verständnis setzt. Ihr Ansatzpunkt ist die Frage, welche Informationen ein Tier über seine Umwelt einammelt und wie es diese Informationen auswertet. Was kann ein Tier sehen, hören, riechen; welche anderen Informationen sind ihm zugänglich? Und wie nutzt es die sensorischen Daten, um Nahrung zu finden, um Gefahren aus dem Weg zu gehen und um sich mit Artgenossen zu treffen? Sinnesphysiologen beschäftigen sich mit Sinnesorganen und Gehirnen, denn die einen erfassen die Umwelt des Tieres, die anderen steuern auf der Grundlage der aktuellen Informationslage sinnvolle Verhaltensmuster. Die Aufklärung dieser beiden Prozesse hilft dem Verhaltensforscher zu verstehen, welche Bedeutung unterschiedliche Aspekte des Verhaltens für eine Tierart haben. Und der Evolutionsbiologe kann die physiologischen Funktionsweisen der Sinne zurückverfolgen bis zu frühen Vorgängern der heute lebenden Tiere. Dabei kann deutlich werden, auf welche Sinnesleistungen es immer besonders angekommen ist, welche Strukturen in Sinnesorganen und Gehirnen entscheidend waren für die Entstehung der Tiere, die wir heute verstehen möchten. Die Sinne sind damit ein Schlüssel zum Wesen der Tiere, zu ihrer Entstehungsgeschichte und zu ihrem heutigen Auftreten in der Natur.

Das vorliegende Lehrbuch der vergleichenden Sinnesphysiologie ist aus einer Vorlesung an der Universität Heidelberg hervorgegangen und richtet sich an Studierende aller Studiengänge und Doktorandenprogramme, in denen Tierphysiologie Thema der akademischen Ausbildung ist. Um den didaktischen Anforderungen gerecht zu werden, enthält das Buch eine große Anzahl von Infografiken, Illustrationen und Tierfotos. Zusätzlich werden am Ende eines jeden Kapitels Hinweise zur Vertiefung des jeweiligen Themas aufgeführt. In einem ausführlichen Glossar werden sinnesphysiologische Fachbegriffe erklärt, sodass das Buch als selbstständiges Lehrmedium genutzt werden kann.

Ich bedanke mich herzlich bei denjenigen Menschen, die zur Entstehung dieses Buches beigetragen haben, insbesondere bei den Illustratoren Helga Pohlen und Matt J. G. Maassen-Pohlen sowie dem Tierfotografen Erik Leist. Bei meiner Arbeitsgruppe bedanke ich mich ebenso herzlich, denn sie haben mir für die Arbeit an diesem Buch Freiräume verschafft, ohne die das Projekt nicht möglich gewesen wäre. So haben Frank Möhrlein, Gabriele Günter, Anne Hahn, Franziska Neureither, Friederike Auer und Nunzia Papotto unsere Forschungsarbeit selbstständig und produktiv weitergeführt, während ich an dem Buch arbeiten konnte. Meinen Kollegen Werner Müller, Volker Storch und Thomas Braunbeck danke ich für viele Anregungen zur Konzeption von Lehrbüchern mit zoologischen und physiologischen Themen. Dem Team vom Springer Spektrum-Verlag, insbesondere Frau Meike Barth und Frau Stefanie Wolf gilt mein Dank für die reibungslose Organisation des Produktionsprozesses, und ganz besonders dankbar bin ich Herrn Andreas Held für sein engagiertes und fachkundiges Lektorat.

Inhaltsverzeichnis

1	Sinne und Wahrnehmung – Abgrenzung des Themas	1
1.1	Sinnesinformation und Wirklichkeit	3
1.2	Selektionsdruck und die Evolution der Sinne	5
1.3	Die Wahrnehmung von Zeit und Raum	8
1.4	Anthropomorphe Chancen und Missverständnisse.....	14
1.5	Wahrnehmung durch die Filter der Sinnesorgane	15
1.6	Sinnesphysiologie, sensorische Ökologie, kognitive Ethologie.....	17
	Literatur	19
2	Sinne und Kommunikation	21
2.1	Signale ermöglichen das Zusammenleben	23
2.2	Koevolution von Sinnesleistungen	27
2.3	Kommunikation als Motor der Evolution.....	29
	Literatur	30
3	Sinne und Gehirnevolution	33
3.1	Optimierung von Sensoren	35
3.2	Entwicklung von Verstärkungsprozessen.....	36
3.3	Strukturelle Perfektion in Auge, Nase und Ohr.....	37
3.4	Sensorik treibt die Evolution des Gehirns	39
	Literatur	42
4	Der Tastsinn	43
4.1	Der Tastsinn der Fadenwürmer.....	45
4.2	Arthropoden: Tasthaare mit steifen und weichen Gelenken	47
4.3	Das empfindliche Fell der Säugetiere	52
4.4	Der Tastsinn der unbehaarten Haut.....	62
4.5	Tasten und Greifen.....	65
4.6	Der spinale und der trigeminale Weg zum Gehirn	73
4.7	Somatotopie	76
	Literatur	80
5	Vibrationssinn und Gleichgewichtssinn	81
5.1	Anklopfen am Spinnennetz.....	83
5.2	Die Ausbreitung von Vibrationen.....	86
5.3	Vibrationsdetektoren.....	93
5.4	Die Entdeckung der Musik durch die Insekten	95
5.5	Haarzellen – bis zum Äußersten optimiert.....	97
5.6	Die Seitenlinienorgane der Fische.....	99
5.7	Statocysten und Otolithenorgane.....	103
5.8	Die Bogengänge des Innenohres	106
5.9	Gleichgewicht und Bewegung.....	112
	Literatur	116
6	Das Hören	119
6.1	Geräusche, Signale, Rufe und Gesänge	121
6.2	Vokalisation.....	123
6.3	Schallausbreitung	125
6.4	Fische und andere Wassertiere: Hören mit Ohrsteinchen.....	129
6.5	Die Ohren der Insekten	138
6.6	Landwirbeltiere: Mittelohren und Innenohren.....	144
6.7	Die Außenohren der Säugetiere	158

6.8	Der untere Abschnitt der Hörbahn: Richtungshören bei Eulen	161
6.9	Der obere Abschnitt der Hörbahn: Echoortung bei Fledermäusen	171
6.10	Infraschall: Ferngespräche unter Elefanten und Walen	178
	Literatur	188
7	Das Sehen	191
7.1	Die Perspektiven der Tiere	193
7.2	Lichtphysik	195
7.3	Wechselwirkungen von Licht mit Rhodopsin	200
7.4	Photorezeptoren und Pigmentzellen	202
7.5	Netzhäute und Bilder	211
7.6	Augen	215
7.7	Optimierung der räumlichen Auflösung	232
7.8	Sehen bei Tag, Sehen bei Nacht	239
7.9	Vorverarbeitung visueller Signale in der Wirbeltiernetzhaut	250
7.10	Bewegungssehen	260
7.11	Entfernungssehen	268
7.12	Farbsehen	273
7.13	Sehen der Lichtpolarisation	283
7.14	Zentrale Verarbeitung von visueller Information	290
7.15	Sehen und Wahrnehmung	299
7.16	Blinde Tiere	307
7.17	Biolumineszenz	309
	Literatur	313
8	Pheromone	317
8.1	Chemie und Befruchtung	319
8.2	Pheromone und der Flug der Falter	321
8.3	Chemische Signale im Ameisenstaat	324
8.4	Pheromone, Signalmischungen und Territorialverhalten	328
8.5	Das vomeronasale System der Landwirbeltiere	333
	Literatur	338
9	Das Schmecken	339
9.1	Eine lebenswichtige Entscheidung	341
9.2	Wer schmeckt was bei Wirbeltieren?	345
9.3	Die Geschmacksknospen der Säugetiere	364
9.4	Zentrale Verarbeitung von Geschmacksinformation	367
	Literatur	368
10	Das Riechen	371
10.1	Wie folgt man einer Geruchsfährte?	373
10.2	Eigenschaften und Ausbreitung von Gerüchen	373
10.3	Generalisten und Spezialisten der Riechwelt	375
10.4	Das Riechsystem der Fadenwürmer	377
10.5	Gemeinsame Merkmale von Riechsystemen	380
10.6	Riechen bei Insekten	384
10.7	Das Riechhirn der Insekten	388
10.8	Die Geruchswelt der Insekten	393
10.9	Die Nasen der Fische	396
10.10	Amphibische Kombinationsnasen	400
10.11	Reptiliennasen	401
10.12	Vogelnasen	404
10.13	Die Nasen der Säugetiere	409
10.14	Detektieren: Riehzellen und ihre Rezeptoren	418

10.15	Ordnen des Riechraumes: Der Riechkolben	429
10.16	Einordnen und Bewerten: Das Riechhirn	435
10.17	Das Geruchsgedächtnis	439
10.18	Plastizität in der Riechbahn	441
	Literatur.....	444
11	Der Wärmesinn	447
11.1	Körperwärme und ihre Regulation.....	449
11.2	Thermorezeptoren der Insekten und Spinnen.....	451
11.3	Infrarotrezeptoren pyrophiler Käfer.....	453
11.4	Die Grubenorgane der Schlangen.....	454
11.5	Thermostatische Brutpflege.....	458
11.6	Der Wärmesinn der Säugetiere.....	462
11.7	Wärmesinn, Temperaturregulation und Winterschlaf.....	466
	Literatur.....	469
12	Der Elektrosinn	471
12.1	Der Elektrosinn der Bienen.....	473
12.2	Passive Elektroortung bei Knorpelfischen.....	474
12.3	Der aktive Elektrosinn der Nilhechte und Messeraale.....	478
12.4	Zittertiere.....	485
12.5	Der Elektrosinn der Ursäuger.....	489
	Literatur.....	492
13	Der Magnetsinn	495
13.1	Orientierung am Magnetfeld der Erde.....	497
13.2	Hinweise auf Magnetorientierung bei Tieren.....	500
13.3	Tiere im Magnetfeldlabor der Sinnesphysiologen.....	503
13.4	Der Kartensinn: Landkarten und Seekarten.....	506
13.5	Die Suche nach Magnetsinnesorganen.....	512
	Literatur.....	517
14	Der Schmerzsin	519
14.1	Alarmsignale schützen den Körper.....	521
14.2	Besonderheiten des Schmerzsystems.....	522
14.3	Schmerzsinneszellen und ihre Sensoren.....	524
14.4	Schmerz und das Immunsystem.....	527
14.5	Die zentralen Schmerzbahnen.....	529
14.6	Schmerzunterdrückung und Schmerzlinderung.....	533
14.7	Der Schmerzsin der Tiere.....	535
	Literatur.....	540
15	Die Nervensysteme der Tiere	541
15.1	Sensorische Information in neuronalen Netzen.....	543
15.2	Nervensysteme wirbelloser Tiere.....	544
15.3	Somatische Nervensysteme von Wirbeltieren.....	549
15.4	Vegetative Nervensysteme von Wirbeltieren.....	552
	Literatur.....	557
16	Experimentelle Sinnesphysiologie	559
16.1	<i>Bottom-up</i> oder <i>top-down</i> ?.....	561
16.2	Elektrophysiologie von Sinneszellen.....	562
16.3	Messung afferenter Signale.....	565
16.4	Die Sinne in der Verhaltensbiologie.....	566
16.5	Das Perzept im sinnesphysiologischen Experiment.....	569
	Literatur.....	572

17	Modellorganismen in der Sinnesphysiologie	575
17.1	Die Vergleichbarkeit der Sinne	577
17.2	Modellorganismen für sensorische Funktionen.....	582
	Literatur	585
18	Tiere und Menschen	589
18.1	Mein Hund versteht mich	591
18.2	Angeborene Verhaltensmuster	593
18.3	Konditionierung und Dressur	595
18.4	Wahrnehmung, Emotion und Intelligenz	596
18.5	Wissenschaftliches Interesse und das Gefühl der Zusammengehörigkeit.....	601
	Literatur	606
	Serviceteil	
	Glossar sinnesphysiologischer Fachbegriffe	608
	Stichwortverzeichnis	627