



Randolf Menzel
Matthias Eckoldt

Die Intelligenz der Bienen

Wie sie denken, planen, fühlen
und was wir daraus lernen können

Knaus

Der Verlag weist ausdrücklich darauf hin, dass im Text enthaltene externe Links nur bis zum Zeitpunkt der Buchveröffentlichung eingesehen werden konnten. Auf spätere Veränderungen hat der Verlag keinerlei Einfluss. Eine Haftung für externe Links ist stets ausgeschlossen.

Geschützte Warennamen (Warenzeichen) werden nicht besonders kenntlich gemacht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt.



Verlagsgruppe Random House FSC® No01967

1. Auflage

Copyright © der Originalausgabe 2016
beim Albrecht Knaus Verlag, München,
in der Verlagsgruppe Random House GmbH,
Neumarkter Str. 28, 81673 München
Lektorat: Susanne Warmuth
Satz: Buch-Werkstatt GmbH, Bad Aibling
Druck und Bindung: GGP Media GmbH, Pößneck
Printed in Germany
ISBN 978-3-8135-0665-5

www.knaus-verlag.de

Inhalt

Vorwort	9
1. Kapitel – Annäherung. Wie man mit Bienen ins Gespräch kommt	15
Sehen, Staunen, Fragen	16
Bienenfleiß und Stetigkeit	18
Lernen als große Herausforderung	22
Wie erkenne ich meine Gesprächspartnerin?	25
Lebenslauf einer Biene	26
Ich sehe was, was du nicht siehst	28
Das Experiment als Frage	30
Überraschende Antwort oder Fehlinterpretation?	31
Die Kunst, die richtigen Fragen zu stellen	34
Die Welt mit Bienenaugen sehen	37
Zukunftsmusik: die Robobiene als Dolmetscher	39
2. Kapitel – Einblicke ins Bienengehirn, oder der andere Weg zur Intelligenz	41
Bits und Bytes im Honigtopf	42
Die Urgroßväter des Nervensystems	44
Zwei Strategien bei der Entwicklung von Gehirnen	48
Was wir verstehen und erklären – und was wir nicht wissen können	52
Fünf Gründe für die besondere Intelligenz der Biene	54
Wie hängen Größe, Struktur und Leistungsfähigkeit von Gehirnen miteinander zusammen?	57
Unter den Talaren – der Muff von tausend Jahren	60
Endlich, eine neue experimentelle Fragetechnik!	64
Von der Einsamkeit des Elektrophysiologen	66
Können Bienen Schmerz empfinden?	68
Wie das Bienengehirn aufgebaut ist	72

3. Kapitel – Was wir über die 7 Sinne der Bienen wissen	77
Sehen: Rundumblick mit 3500 Pixeln	78
Komplexaugen und der australische Way of Life	78
Perfekte Lichtausbeute dank Filtereffekt	83
Warum Bienen schlecht sehen und doch alles erkennen	88
Polarisiertes Licht im Ofenrohr und das Sternfolienmodell	91
Heureka! Sehzellen für polarisiertes Licht	96
Abenteuer im Outback – mit und ohne Bienen	100
Blümchensex als Evolutionsfaktor?	103
Farbräume bei Bienen, Pflanzen und Menschen	107
Das Gegenfarben-Prinzip und glattes diplomatisches Parkett	110
Warum man mit einem Auge Auto fahren kann, und wie Bienen räumlich sehen	116
Riechen – auf ein Kohlenstoffatom genau	120
Am Riechen führt kein Weg vorbei	120
Ein Professor mit anrühiger Vergangenheit	122
Informationsfluss: vom Duftstoff zum Aktionspotential	125
Unruhige Zeiten in Berlin	129
Wie man Riechzellen zum Leuchten bringt	132
Eine Landkarte der Düfte	137
Materielles und Mentales: Was denkt im Gehirn?	140
Duftsignale auf ihrem Weg durchs Gehirn	143
Präzisionsarbeit im Netzwerk der Düfte	144
Ein Riechorgan mit hoher Auflösung	147
Schmecken: bittere Reize und süße Belohnung	151
Ein mechanischer Sinn, der elektrische Felder spürt	155
Mechanorezeptoren nicht nur für Hören und Tasten	155
Einladung zum Schwänzeltanz in elektrostatischen Feldern	159
Ein unredlicher Kollege	163
Neue Fragen an den neuen Sinn	165
Haben Bienen einen 7. Sinn für das Magnetfeld?	167

4. Kapitel – Lernen und Gedächtnis – zwei Seiten einer Medaille	171
Lernen – Hauptsache, neu	172
Ein wissenschaftliches Großprojekt kommt ins Rollen	172
Wissenschaft ist Teamwork – die Arbeitsgruppen	176
»Nicht ansprechen! Ich forsche gerade!«	181
Leistungszentren im Gehirn: Großhirnrinde vs. Pilzkörper	183
Plastizität und Differenzierung: das Gehirn den Bedürfnissen anpassen	186
Was Störungen über den Normalzustand verraten	188
Der Hammer! Ein Belohnungsneuron in Aktion	192
Gemeinsamkeiten im Belohnungssystem von Affen und Bienen	198
Von Reizen und Erwartungen	203
PE1, ein individuelles Neuron lernt	205
Woher Bienen wissen, was sie schon wissen	208
Gedächtnis – Hauptsache, oft	211
Die Gedächtnisse der Bienen und ein besorgter Spaziergänger	211
Wie das Gelernte ins Gedächtnis kommt	215
Wenn Bienen schlafen und träumen	218
Gedächtnisbildung auf Molekül- und Zellebene	220
mRNA in doppelter Mission	224
Wiederholen zum Erinnern, Verlernen zum Vergessen	226
Matrix, ein Speicher für Aktivitätsmuster	230
Es geht auch abstrakter: Regeln, Kategorien, Kontext	234
Lernen komplexer Reize	237
Gesicht oder nicht? – Alles eine Frage der Aufmerksamkeitssteuerung	239
Strafadressur: Lernen aus negativen Erfahrungen	241
5. Kapitel – Superorganismus Bienenvolk: Wie sich Bienen verständigen, orientieren und organisieren	245
Navigation: Wie kommen Bienen ans Ziel?	246
Entfernungsmessung absolut und relativ	248

Von Landmarken und Abkürzungen	251
Kontroversen um die kognitive Karte	257
Kommunikation: Kann denn Tanzen Sprache sein?	264
Sonne und Schwerkraft als Wegweiser	267
Getanzte Entfernungen und der Fehler im Auge des Betrachters	270
Irrungen und Wirrungen über private und soziale Kommunikation	273
Die Rolle von Erfahrung und Veranlagung	276
Nächtliche Tänze und symbolische Sprache	281
Organisation: Wie koordinieren sich 50 000 Individuen?	289
Staatslenkung, hormongesteuert mit Rückkopplung	290
Wenn eine Königin ins Schwärmen kommt	293
Die Schwarmintelligenz und das Konsensprinzip	298
Monarchie, Demokratie oder kognitive Einheit?	302
Ist im Superorganismus Bien alles vorprogrammiert?	305
Haben Bienen ein Was-wann-wo-Wissen?	309
6. Kapitel – Biene und Umwelt	317
Nervengifte im Pflanzenschutz	318
Navigationsprobleme, oder: Wenn die Chemie nicht stimmt	320
Freie Forschung mit frei verkäuflichen Giften	323
Vom Umweltopfer zum Umweltpäher	325
Anhang	329
Anmerkungen	330
Bildnachweis	350
Dank	354
Register	355

Vorwort

Den eifrigen Honigsammlerinnen, die dem Menschen seit grauer Vorzeit als Nutztiere dienen, wurden in den letzten Jahren einige Bücher gewidmet. Bienenhaltung, Honigerzeugung und die unersetzliche Tätigkeit der Bienen als Bestäuberinnen sind zweifellos interessante und wichtige Themen, doch noch viel spannender ist die Frage: Wie machen sie das eigentlich? – Wie finden und erkennen Bienen ihre Futterquellen? Wie merken sie sich, wo es etwas zu ernten gibt, und wie stimmen sie sich mit ihren Schwestern ab, welche Blüten angeflogen werden sollen? Auf welche Weise orientieren sie sich im Gelände, und wie können sie tanzend den Weg beschreiben? Ist das alles Instinkt, oder kann man Bienen Intelligenz zusprechen? Im Mittelpunkt dieses Buches stehen daher die vielfältigen Sinnesorgane und die kleinen Hochleistungsgehirne, mit denen Bienen ihre so überaus wichtigen Aufgaben in der Natur wahrnehmen.

Mit siebentausend Punktaugen scannen die Bienen die Welt um sie herum ab. Blüten, Bäume, Felder und der Himmel sehen für sie aber ganz anders aus als für uns Menschen, weil sie ultraviolette Licht verarbeiten können. Zudem nehmen sie die Polarisation des Lichts wahr, so dass sich ihnen der Himmel in einem kontrastreichen Muster darstellt, das ihnen die Orientierung ermöglicht. Fast noch erstaunlicher als ihr Sehsinn ist ihr Geruchsvermögen: Bienen können Substanzen auseinanderhalten, die sich chemisch in einem einzigen Kohlenstoffatom unterscheiden! Ebenso bemerkenswert ist ihre Kommunikationsweise: Sie verständigen sich – auch mithilfe elektrostatischer Felder – im dunklen Bienenstock über Orte, die kilometerweit entfernt sind.

Koordiniert werden all diese staunenswerten Fähigkeiten von

einem Organ, das kaum größer ist als ein Sandkorn. Wie ist das möglich?, fragt sich der Hirnforscher Randolph Menzel seit über fünfzig Jahren. Das vorliegende Buch berichtet aus seiner bewegten Forscherkarriere, in deren Verlauf er den Bienen einige Antworten auf die verschiedenen Wie-Fragen entlocken konnte. Von spektakulären experimentellen Durchbrüchen wird ebenso die Rede sein wie von nervenaufreibenden Durststrecken ohne erkennbaren Fortschritt, von kuriosen Begebenheiten am Rande und unerfreulichen Reibereien inmitten des Wissenschaftsbetriebs. Für die allgemeinverständliche Darstellung zeichnet der Autor und Philosoph Matthias Eckoldt verantwortlich, mit dem Randolph Menzel die Intelligenz der Bienen über anderthalb Jahre von immer neuen Seiten betrachtete. Im Zentrum standen dabei die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse über die kleinen Insekten, während im Hintergrund der Vergleich zum Menschen, seinem Gehirn, seinem Denken, seinem Verhalten und Gewordensein mitlief.

Aus der Beschäftigung mit Bienen können wir einiges lernen, wenn uns auch ihr facettenreiches Verhalten zunächst einmal viele Rätsel aufgibt. Forscher haben das große Privileg, die Neugier, einen Trieb, der wohl in jedem Menschen mehr oder weniger stark ausgeprägt vorhanden ist, unter professionellen Bedingungen ausleben zu dürfen. Dafür sind Bienen besonders geeignete Partner, weil sie nicht nur hochintelligent sind, sondern ihre Fähigkeiten auch unter experimentellen Bedingungen auf beeindruckende Weise zeigen. Für die Neurowissenschaft heißt das konkret: Sie lernen selbst dann unvermindert intensiv, wenn ihr Gehirn gleichzeitig untersucht wird. Das Anliegen des vorliegenden Buches besteht darin, die Labortüren zu öffnen und zum einen die Prozesse, die sich im Bienenorganismus abspielen, wie in einem Vergrößerungsglas sichtbar zu machen. Zum anderen ergeben sich aus den Schilderungen auch tiefe Einblicke in die Vorgehensweise der Naturwissenschaft, in ihre Fragestellungen, in auftretende methodische Probleme und die kreativen

Wege, zu Lösungen zu kommen. Solche kreativen Wege werden zumeist in der Gruppe gefunden. Forschung ist ein interaktiver Vorgang, in dem Höhen und Tiefen gemeinsam erlebt, gefeiert und durchlitten werden. Dieses Buch ist daher auch ein hohes Lied auf die vielen beteiligten Mitforscher.

Die grandiose Idee, Bienen individuell zu kennzeichnen, eröffnete die Möglichkeit, Lernvorgänge und Verhalten bei einzelnen Tieren zu beobachten und aufzuzeichnen. Denn erst wenn sie als Individuen erkennbar sind, kann der wissenschaftliche Dialog im eigentlichen Sinne beginnen, weil der Forscher nun über Experimente konkrete Fragen an bestimmte Bienen mit ihren unterschiedlichen Erfahrungen stellen kann. Dass es unter Umständen eine Herausforderung sein kann, die Antwort, die man erhält, korrekt zu interpretieren, gehört ebenfalls zu den Erfahrungen eines langen Forscherlebens.

Im zweiten Kapitel geht es um die Frage, wie sich das Bienenhirn entwickelt hat. Sie wird in einem grundsätzlichen Sinn gestellt: Auf welche Weise konnten sich informationsübertragende Zellen überhaupt zu Nervennetzen verdichten, aus denen letztlich Gehirne entstanden? Schon relativ weit unten im Stammbaum des Lebens teilte die Evolution die Tiere in zwei verschiedene, große Entwicklungslinien auf: Am Ende der einen steht heute der Mensch, am Ende der anderen die Biene. Trotz gewaltiger Unterschiede in Gestalt und Komplexität verbindet alle Tiere dasselbe Prinzip der Informationsverarbeitung. Mit einer einzigen Ausnahme, den Schwämmen. Kleine Ironie der Wissenschaftsgeschichte: Ausgerechnet mit denen beschäftigte sich ein gewisser Robert von Lendenfeld – Menzels Urgroßvater.

Das dritte Kapitel widmet sich den Sinnesorganen der Bienen. Wie verschaffen sie sich einen Eindruck davon, was in der Welt los ist? Wie sie riecht und schmeckt, wie sie aussieht und wie sie sich anfühlt? Es wird deutlich, dass die Sinnesorgane als Filter wirken. Sie leiten jeweils nur bestimmte spezifische Aspekte an

das Gehirn weiter, wo dann erst das Bild der Welt entsteht. Deswegen kann kein Organismus – nicht der Mensch und nicht einmal die Biene – sagen, wie die Welt an sich ist. Die Bienen verfügen beim Sehen und Riechen über ein anderes Spektrum als wir Menschen. Darüber hinaus können sie sich zweier Sinne bedienen, die uns kaum zugänglich sind: Sie nehmen das Erdmagnetfeld wahr und nutzen es zur Orientierung. Und mithilfe elektrostatischer Felder verständigen sie sich innerhalb des Stocks.

Im vierten Kapitel geht es ins Herz der Hirnforschung. Während wir Lernen gemeinhin als eine herausragende Fähigkeit höherer Säugetiere betrachten, belehren uns die Bienen darüber, dass man auch mit einem gerade einmal einen Kubikmillimeter kleinen Gehirn phantastisch denken kann. An dieser Stelle ist der findige Experimentator gefragt, der es versteht, die Bienen in ihrem Bewegungsspielraum einzuschränken, ohne dabei ihr Lernvermögen zu mindern. In der Arbeitsgruppe von Randolph Menzel gelang es, das für alle Lernprozesse zentrale Belohnungszentrum im Bienenhirn zu identifizieren. Ein einziges Neuron genügt! Die Wiederholung von Lernvorgängen ermöglicht die Festschreibung von Erfahrungen im Gedächtnis. Eine entscheidende Rolle dabei spielt der Schlaf, den sich die sprichwörtlich so fleißigen Bienen überraschend häufig genehmigen. So führt die Erforschung der Gedächtnisvorgänge in logischer Konsequenz ins Bienenschlaflabor.

Bienen leben in Völkern von mehreren Tausend Individuen. Das erfordert ein hohes Maß an Abstimmung und Koordination untereinander. Die wichtigste Kommunikationstechnik im Bienenstock ist der Schwänzeltanz, um den es im fünften Kapitel geht. Dieses seit fast 2500 Jahren bekannte, aber erst seit 100 Jahren untersuchte Phänomen ist noch längst nicht vollständig verstanden. Im Gegenteil tun sich immer neue Aspekte auf, nachdem es 2014 mit einer am Institut von Randolph Menzel entwickelten Methode gelang, die Bienen beim Schwänzeln zu belauschen. Die Bienen tauschen auf diese Weise nicht nur Infor-

mationen über den Nektar und Pollen aus, sondern auch über Wasserquellen und Harzstellen. Und nicht zuletzt nutzen die Bienen den Schwänzeltanz für die Abstimmung über einen neuen Nistplatz.

Aber den Bienen droht Gefahr. Wir Menschen scheinen manchmal zu vergessen, wie sehr wir von ihnen und ihren Aktivitäten profitieren und wie sehr wir auf Bienen als Bestäuberinnen angewiesen sind – gerade in der Erzeugung von Nahrungsmitteln. Das letzte Kapitel beschreibt, auf welche Weise die industrielle, chemielastige Landwirtschaft den Bienen zusetzt. Eine neue Generation von Pflanzenschutzmitteln, die in erster Linie Insektenvernichtungsmittel sind, machen bestimmte Neurone der Bienen funktionsunfähig. Möglicherweise aber lässt sich hier der Spieß umdrehen, denn die Bienen geben Hinweise auf die Quelle der von solchen Pestiziden verursachten Störungen ihrer Gehirne. So könnten die Bienen bald schon zu Umweltpähern werden, mit deren Hilfe man einen Gifteinsatz punktgenau feststellen kann.

An der Biene lernt die Neurowissenschaft nachzuvollziehen, wie ein – wenn auch kleines – Gehirn Entscheidungen trifft, wie es plant, indem es Regeln erkennt, anwendet und kombiniert, wie es unterscheidet und wie sich angeborene sowie erlernte Mechanismen verschränken. So wird die Biene zum Modellorganismus für den Menschen. Das Bienengehirn spiegelt uns universelle Prinzipien der Hirnfunktionen und hilft uns, sie an und in uns schärfer zu sehen. Lehrreich ist dabei jedoch nicht nur das Maß an Übereinstimmung, sondern auch das Nachdenken über die Grenzen der Übertragbarkeit und die Grenzen unseres Erkenntnisvermögens überhaupt.

Viele der in diesem Buch beschriebenen Experimente hätten nicht ohne Unterstützung durchgeführt werden können. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft stattete Randolph Menzel und seine Arbeitsgruppen über fast 50 Jahre großzügig mit finanziellen Mitteln aus. Bienen fliegen allerdings über Äcker und Wiesen, die Bauern gehören. Einige von ihnen haben Randolph Menzel

und seinen Mitarbeitern erlaubt, Versuche auf ihrem Grund und Boden durchzuführen. Dafür sei ihnen an dieser Stelle besonders gedankt, da diese Experimente eine unabdingbare Ergänzung der Forschung im Labor darstellen.

Randolf Menzel & Matthias Eckoldt,
Berlin im Herbst 2015



**ERSTES
KAPITEL**

**Annäherung. Wie man mit Bienen
ins Gespräch kommt**

Sehen, Staunen, Fragen – Bienenfleiß und Stetigkeit –
Lernen als große Herausforderung – Wie erkenne
ich meine Gesprächspartnerin? – Lebenslauf einer Biene –
Das Experiment als Frage – Die Kunst, die richtigen
Fragen zu stellen – Die Welt mit Bienenaugen sehen

Sehen, Staunen, Fragen

Ich erinnere mich noch sehr genau an den Sommer 1952 in Rheinhessen. Ich war 12 Jahre alt und hatte mir in den Kopf gesetzt, einen Teich zu bauen. Nicht zum Baden. Auch nicht, um Goldfische zu halten. Sondern aus purer Neugier. Ich wollte beobachten, welche Lebensformen sich scheinbar aus dem Nichts dort entwickeln würden. Wie ich bereits wusste, lassen sich in einem Einweckglas Pantoffeltierchen züchten, wenn man Wasser aus einem Tümpel und etwas Stroh hineingibt. Welche Ausbeute an Lebewesen wäre dann erst in einem eigenen Teich zu erwarten? Bei meiner Buddlei war ich allerdings ganz auf mich allein gestellt. Keines meiner fünf Geschwister hatte auch nur das geringste Interesse an Biologie, und meine Eltern ließen mich zum Glück kopfschüttelnd gewähren.

Nach ein paar schweißtreibenden Wochen und einigen Rückschlägen – bis der Teich dank praktischer Ratschläge aus der Nachbarschaft mit einem speziellen Glatzstrich einigermaßen dicht war – konnte ich endlich Wasser einlassen. Um der Natur ein wenig unter die Arme zu greifen, holte ich ein paar Wasserpflanzen von einem nahegelegenen Tümpel. Dann hieß es abwarten. Neugierig ging ich jeden Tag zu meinem Teich. Eines Morgens bot sich mir ein ungeheuerlicher Anblick: Der Teich hatte sich über Nacht blutrot gefärbt. Wie war das möglich? Ein Streich eines Nachbarjungen oder ein Wunder der Natur? Ich war außer mir, als ich den blutroten Teich sah. Rasch holte ich eine Flasche, füllte etwas von dem Wasser ab und rannte zu meinem Biologielehrer. Als ich dort ankam, unterschied sich meine Gesichtsfarbe nur unwesentlich von der Probe in meiner Flasche. Meine Euphorie übertrug sich allerdings nicht. Der Biologielehrer zuckte nur mit den Schultern: »Vielleicht hat jemand Farbe reingegossen?!«