

## Superorganismus Bienenstaat

# Der Bien – ein Säugetier mit vielen Körpern

JÜRGEN TAUTZ

*Einige Eigenschaften, auf denen der Erfolg der Säugetiere beruht, finden sich auch im Bienenstaat. Säugetiere und die Kolonien der Honigbiene haben sich in einem Ausmaß wie nur wenige Lebewesen eine innere Welt geschaffen, die sie von einer unsicheren, sich ständig verändernden Umwelt in hohem Maße unabhängig macht.*



**ABB. 1** Ein Bienenvolk bringt im Jahr nur sehr wenige Jungköniginnen hervor. Die neuen Königinnen entstehen in besonders gebauten Zellen, den Weiselwiegen.

Nach allen gängigen Kriterien sind Honigbienen seit ihrem ersten Auftauchen vor geschätzten 30 Millionen Jahren Insekten – kein Zweifel. Im 19. Jahrhundert kam aufgrund eines drastischen Vergleiches des Imkers und Schreinermeisters Johannes Mehring (1815-1878) eine völlig neue Sichtweise hinzu: Das Bienenvolk sei ein „Einwesen“, formulierte dieser. Es entspreche einem Wirbeltier. Die Arbeitsbienen seien der Gesamtkörper, seine Erhaltungs- und Verdauungsorgane. Die Königin entspreche den weiblichen, die Drohnen den männlichen Geschlechtsorganen (Mehring zitiert von Gerstung in A. Ludwig „Unsere Bienen“, 1922).

Diese Sichtweise, eine ganze Bienenkolonie mit einem einzigen Tier gleichzusetzen, brachte den Begriff des „Bien“ hervor, womit die „organische Auffassung des Einwesens“ ausgedrückt werden sollte, die eine Bienenkolonie als ein unteilbares Ganzes, als einen einzigen lebenden Organismus betrachtet [6]. Für diese Lebensform hat der amerikanische Biologe William Morton Wheeler (1865-1937), resultierend aus seinen Arbeiten an Ameisen, dann 1911 den Begriff des „Superorganismus“ geprägt (Wortstamm: lat. super = darüber, über hinaus; griech. organon = Werkzeug) [9]. Puristische Etymologen hätten sicher alternativ den Begriff Hyperorganismus (Wortstamm: griech. hyper = darüber, über hinaus; griech. organon = Werkzeug) bevorzugt, aber sie kommen nun zu spät. „Superorganismus“ ist als Begriff etabliert.

Ich möchte diese kluge, auf einer gründlichen Naturbeobachtung durch die alten Imker basierende Vorstellung von einer Bienenkolonie als einem Superorganismus auf die Spitze treiben und behaupten: Der Staat der Honigbienen ist nicht nur „ein Wirbeltier“, er hat sogar entscheidende Eigenschaften von Säugetieren [8].

Diese Aussage, die zunächst weit hergeholt erscheinen mag, mutet nicht mehr so seltsam an, wenn man nicht vom Körperbau der Honigbienen und ihrer stammesgeschichtlichen Entstehung ausgeht, sondern die Bienen auf das Vorhandensein der wesentlichen evolutionen Schlüsselmerkmale abklopft, auf die sich die Überlegenheit der Säugetiere gegenüber anderen Wirbeltiergruppen begründet.

Säugetiere lassen sich durch die Kombination der folgenden Eigenschaften und Neuerfindungen von anderen Wirbeltieren abgrenzen:

- Sie haben eine extrem niedrige Vermehrungsrate – Honigbienen ebenfalls (Abbildung 1).
- Säugetierweibchen erzeugen in speziellen Drüsen Muttermilch – Honigbienenweibchen erzeugen in speziellen Drüsen Schwesternmilch (Gelée Royale) (Abbildung 2). Die Milch dient bei Säugetieren und Honigbienen als „design food“ zur Versorgung des Nachwuchses mit Energie und Rohstoffen und schützt außerdem vor Krankheitserregern, bis das körpereigene Immunsystem der Neugeborenen funktioniert.
- Losgelöst von einer Außenwelt mit schwankenden Eigenschaften bieten Säugetiere ihren sich entwickelnden Nachkommen eine schützende, exakt eingestellte Umwelt im Uterus der Mütter – Honigbienen bieten ihren Jugendstadien den gleichen Schutz und die gleiche konstante Umwelt im Bienenest (Abbildung 3).
- Säugetiere haben eine Körpertemperatur von etwa 36° C – Honigbienen halten ihre Puppen auf einer Körpertemperatur von etwa 35° C (Abbildung 4).
- Säugetiere besitzen mit ihren großen Gehirnen die höchste Lernfähigkeit und die ausgeprägtesten kognitiven Eigenschaften unter den Wirbeltieren. Honigbienen besitzen eine ausnehmend hoch entwickelte Veranlagung zum Lernen sowie kognitive Eigenschaften, mit denen sie sogar so manche Wirbeltiere in den Schatten stellen (Abbildung 5).

Ist es nicht verblüffend, dass diese Liste an prinzipiellen Erfindungen, durch die sich die Säugetiere, uns Menschen eingeschlossen, charakterisieren lassen, auch für den Bienenstaat zutrifft?

Der „Nachweis“, dass ein Volk von Honigbienen als „Säugetier ehrenhalber“ angesehen werden kann, oder besser gesagt, dass im Superorganismus Bienenstaat entscheidende funktionelle Merkmale der Säugetiere ebenfalls vorliegen, erweckt den Verdacht, dass mehr dahinter stecken könnte als oberflächliche Ähnlichkeiten. Man könnte kritisch bemerken, dass sich auch leicht Gemeinsamkeiten von Fledermaus und Mistkäfer finden lassen: Beide können fliegen, beiden können sehen, beide werden steif, wenn es sehr kalt wird. Allerdings erhalten die beiden Organismen durch diese Kennzeichen keine Exklusivität, sie taugen nicht zur Hervorhebung *besonderer* Leistungen und der Resultate, die damit erreicht werden können.

Um in der Liste der Gemeinsamkeiten zwischen Säugetieren und Honigbienen mehr als verblüffend klingende, vielleicht bedeutungslose oder einfach nur zusammengesuchte Analogien zu sehen, beginnt man am besten mit der Frage nach dem „Wozu“ dieser gemeinsamen Eigenschaften. Am Ausgangspunkt dieser Erkundungsreise steht die Überzeugung, dass es Sinn

macht, nach wichtigen Problemen zu suchen, für die unterschiedliche Tiergruppen offenbar gleiche Lösungen gefunden haben.

Eine Organismengruppe ist Konkurrenten gegenüber um so mehr im Vorteil, je unabhängiger sie zur langfristigen Existenzsicherung von den Zufällen der Umwelt ist. Umweltfaktoren können unvorhersehbar schwanken. Wirken diese unberechenbaren Umweltfaktoren auf Eigenschaften in einer Population, bewerten sie diese Eigenschaften, indem sie als Selektionsfaktoren das Überleben und die Fortpflanzung der verschiedenen Typen bestimmen. Die Erfolgreichen und besser Angepassten werden sich ausbreiten, die weniger Erfolgreichen und weniger gut Angepassten werden verschwinden. Das ist der Kern der Darwin'schen Theorie über den Mechanismus der Evolution.

Die aufgeführten Eigenschaften gewähren den Säugetieren wie den Honigbienen eine weitgehende Unabhängigkeit von aktuellen Umweltbedingungen wie beispielsweise einem schwankenden Energieangebot der Umgebung (durch eine aktive Vorratswirtschaft), schwankender Nahrungsqualität (durch selbsterzeugte Nahrung), Schutz vor Feinden (durch die Errichtung schützender Lebensräume) und Unabhängigkeit von Witterungseinflüssen (durch die Einstellung geeigneter Klimawerte im selbst geschaffenen Lebensraum).

Diese Unabhängigkeit wird durch einen entsprechenden Aufwand an Materie und Energie sowie eine komplexe Organisation zur „Verwaltung“ des Ganzen



**ABB. 2** Die Larven der Bienen leben in einem Schlaraffenland. Sie schwimmen auf einem Futtersaft, der von Ammenbienen erzeugt worden ist.



erreicht. Eine niedrige Vermehrungsrate kann als Folge dieser kontrollierten optimalen Lebensbedingungen aufgefasst werden. Organismen mit niedriger Vermehrungsrate, die sehr konkurrenzstark sind, erreichen durch die geringe Nachkommenzahl eine stabile Populationsgröße im Rahmen der Möglichkeiten, die das Habitat bietet. Sie können sich aber bei Veränderungen der Umweltbedingungen aufgrund der geringen Nachkommenzahl schlecht anpassen. Es sei denn, dieses Problem tritt erst gar nicht auf, weil man kritische Umweltfaktoren „im Griff“ hat, weil man Teile seiner ökologischen Nische selbst erschaffen hat und ihre Aufrechterhaltung kontrollieren kann.

Ein einzelnes Insekt zeigt keine der aufgeführten säugetierartigen Eigenschaften. Offenbar sind viele Bienenindividuen nötig, um in der Gemeinschaftsleistung eines Superorganismus ein „Säugetier mit vielen Kör-

pern“ zu erstellen. Wieso haben die Honigbienen, genau wie die Zellen eines Körpers, ihre Selbständigkeit aufgegeben und sich zu Superorganismen zusammengeschlossen? Was hat sie zu diesem Schritt gebracht? Was gewinnen sie dabei?

### Der Bien, ein komplexes adaptives System

Die Verhältnisse und Vorgänge in einem Bienenvolk sind hochkomplex, da ständig gleichzeitig von tausenden Bienen kleine Verhaltensbausteine beigetragen werden, die sich zum Gesamtverhalten der Kolonie zusammenschließen.

Komplexe biologische Systeme passen sich in kurzen Zeiträumen durch ihre Plastizität und in langen Zeiträumen durch die Evolution an relevante Aspekte der Umwelt an, sie besitzen die Fähigkeit zur Adaptation.

Unter einem komplexen adaptiven System versteht man, wenn man der sehr technischen Definition von John H. Holland (geb. 1929) folgt: „... ein dynamisches Netzwerk mit vielen Akteuren (sie können Zellen, Spezies, Individuen, Firmen oder auch Nationen repräsentieren), die parallel und ständig agieren und reagieren auf das, was die anderen Akteure machen. Die Kontrolle eines komplexen adaptiven Systems tendiert dazu, verstreut und dezentralisiert zu sein. Wenn es ein zusammenhängendes Verhalten im System geben soll, muss dies aus dem Wettbewerb und der Kooperation der Akteure kommen. Das Verhalten des gesamten Systems ist das Resultat einer großen Anzahl von Entscheidungen, die von vielen einzelnen Agenten getroffen werden.“

Als Bienenforscher ist man begeistert, wenn man diese zugegebenermaßen trockene Festlegung vor sich hat, die man mehrmals durchlesen muss, um alle Facetten zu erfassen. Denn sie gibt einen theoretischen Rahmen für die Einordnung des „Phänomens Honigbiene“ unter allen vorstellbaren Systemen und sie bestätigt Eindrücke, die man bei der Beschäftigung mit Honigbienen intuitiv bekommt. Würde ein Bienenforscher versuchen, die besonderen Eigenschaften des Superorganismus Bienenstaat herauszukristallisieren, könnte die folgende Charakterisierung zu Stande kommen, die sich Punkt für Punkt mit der abstrakten Definition Hollands decken würde:

„Der Superorganismus Bienenstaat ist eine anpassungsfähige komplexe Tiergemeinschaft, bestehend aus vielen tausend Einzeltieren, die ständig aktiv sind und in ihren Handlungen auf Gegebenheiten ihrer Umwelt und die Aktivitäten ihrer Nestgenossinnen reagieren. Eine übergeordnete Kontrollinstanz ist nicht vorhanden, sondern das Gesamtverhalten der Kolonie entsteht aus Kooperation und Konkurrenz der Bienen untereinander.“

Ein komplexes adaptives System, wie der Superorganismus Bienenstaat, zeigt die Fähigkeit zur Selbstorganisation und zur Emergenzbildung. Emergenzen sind



**ABB. 3** Das Brutnest wird von den erwachsenen Bienen in seinen mikroklimatischen Eigenschaften eindrucksvoll kontrolliert.

Eigenschaften, die wir auf dem Niveau der einzelnen Bausteine des komplexen Systems nicht finden und die erst in der Wechselwirkung zwischen Bausteinen entstehen [1]. Um sich als Bien emergent wie ein „Säugetier“ darzustellen, müssen sich viele Bienenindividuen zusammenschließen.

### Was brachte den Bien zusammen?

Der große Evolutionsbiologe Charles Darwin (1809-1882) hat in der Existenz der Honigbienen ein Problem gesehen, das seine gesamte Evolutionstheorie in Bedrängnis bringen könnte. Nach seiner Auffassung zum Ablauf der Evolution ist deren erste Voraussetzung eine Anzahl an Nachkommen, die größer ist, als zur Bestandserhaltung unbedingt erforderlich. Nur wenn es entsprechend viele Nachkommen gibt und wenn diese unterschiedlich ausfallen, kann der nächste Schritt, die Selektion, erfolgen. Mit den Honigbienen war er aber mit einem Organismus konfrontiert, bei dem bis auf die einzige Ausnahme in Form der Königin alle Weibchen eines Volkes keine eigene Nachkommen haben. So schrieb Darwin in seinem großen Werk „Die Entstehung von Arten“, dass die Honigbienenarbeiterinnen sehr schwierig in seiner Theorie unterzubringen seien. Sie unterscheiden sich in Verhalten und Gestalt von den sich fortpflanzenden Bienenmännchen (Drohnen) und Bienenweibchen (Königinnen), können aber diese abweichenden Eigenschaften, da sie ja steril sind, gar nicht weitergeben. Aber sie tun es offenbar doch... Nur wie tun sie es?

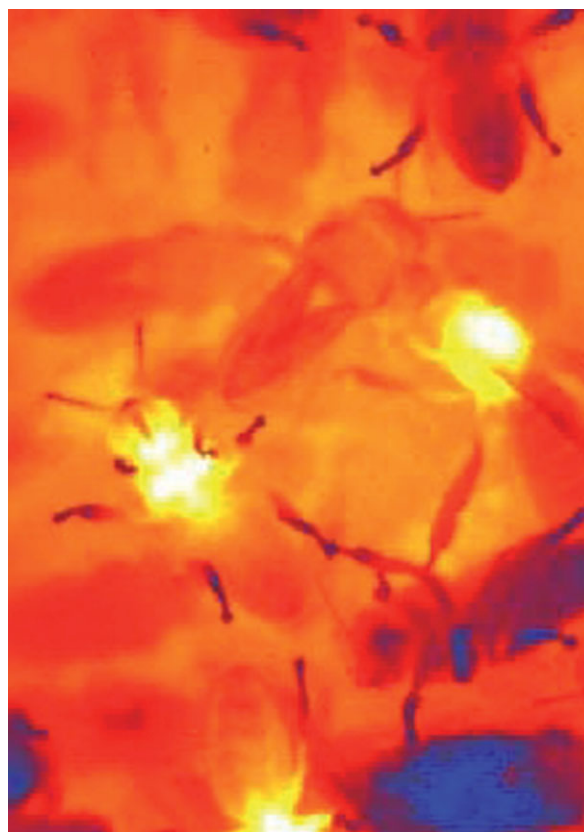
Darwin hat für diese Überlegungen eine kluge und ihn beruhigende Lösung gefunden. Man kann gut begründet vermuten, dass er von der „ganzheitlichen“ Auffassung, insbesondere der deutschen Imker, von einer Bienenkolonie als einem zusammenhängenden Wesen („ein Säugetier mit vielen Körpern“) wusste. Die oben geschilderten konzeptionellen Probleme werden deutlich kleiner, wenn man nun davon ausgeht, dass die Selektion ja nicht nur an Individuen, sondern auch an der ganzen Kolonie angreifen könnte. So gesehen wären es laut Darwin die kompletten Kolonien, die untereinander um die größte Anzahl an Nachkommen konkurrieren und nicht jede Einzelbiene für sich. Die Kolonie wäre die Einheit der Evolution und nicht die Einzelbiene. Die moderne Evolutionsbiologie bezeichnet die Vorstellung einer Evolution von Kolonien als geschlossene Einheiten als Gruppenselektion.

Es blieb auch nach Darwin eine Unsicherheit darüber, wieso ausgerechnet bei den Bienen und deren Verwandten wie Hummeln, Wespen und Ameisen die einzelnen Arbeiterinnen darauf verzichten, innerhalb der Kolonie über die Anzahl eigener Nachkommen mit anderen Einzeltieren der Kolonie zu konkurrieren. Der Verzicht auf eigene Nachkommen erscheint doch geradezu als eine totale Aufgabe der eigenen Interessen.

Überraschenderweise ist es gerade der Verzicht auf eigene Nachkommen, der bei den Honigbienen eine erfolgreiche Maßnahme zur Verbreitung der eigenen Gene darstellt. Im Verständnis dieser seltsamen Situation kommt man weiter, wenn man sich in eine sehr elegante Betrachtungsweise vertieft, die vor allem durch beiden britischen Biologen John Maynard Smith (1920-2004) und William D. Hamilton (1936-2000) populär gemacht worden ist.

Die Kernüberlegung dazu lautet wie folgt: Einander entsprechende Gene, die an gleicher Stelle auf den beiden homologen Chromosomen der diploiden Organismen sitzen, heißen Allele. Diese können in unterschiedlicher Form auftreten und bilden die Basis für die Variabilität der Gene. Allele werden nicht nur direkt von Eltern zu Kindern weitergegeben, sondern Kopien von ihnen existieren auch in leiblichen Geschwistern und deren Kindern, in Cousins und Cousinen, in Onkeln und Tanten, in der gesamten leiblichen Verwandtschaft. Also könnte ein Verhalten, das Verwandte in der Erzeugung und Aufzucht von Jungen unterstützt, durchaus auch für den Unterstützer vorteilhaft sein, selbst wenn er dabei auf eigene Nachkommen verzichtet. Ein solcher Verzicht ist dann nicht von Nachteil, wenn seine Allele entsprechend häufig in der Verwandtschaft auftreten.

Diese so genannte Verwandtenselektion hat eindeutig Konsequenzen insbesondere für Überlegungen



**ABB. 4** Ihre Puppen halten Heizerbienen auf einer Körpertemperatur, die von der Körpertemperatur der Säugetiere im Idealfall um nicht mehr als 1° C abweicht. Die Falschfarbendarstellung durch die Wärmekamera zeigt die wärmeerzeugende Flugmuskulatur in weißer Farbe.



zur Entstehung von kooperativem oder im Extrem „altruistischem“ Verhalten der Tiere. Sie bietet auch die Erklärungsbasis für das Überschreiten einer Schwelle vom „Einzelkämpfer“ zum sozialen Wesen in der Evolution der Honigbienen.

Diejenigen Allele, die sich im verzweigten Verwandtennetz am erfolgreichsten ausbreiten, wirken „egoistisch“ auf Kosten der unterlegenen Allele. Die Sichtweise, dass sich Allele „egoistisch verhalten“, ist in dem sehr einflussreichen Buch „Das egoistische Gen“ des britischen Biologen Richard Dawkins (geb. 1941) plakativ dargestellt: Diejenigen Allele, die die meisten Kopien von sich anfertigen können, sind erfolgreich auf Kosten der Verlierer. Sie erscheinen einem Betrachter wie sich egoistisch verhaltende Einheiten [2].

Betrachten wir unter dem Gesichtspunkt der „Verbreitungssucht der Allele“ die Honigbienen.

Honigbienen zeigen wie alle Hautflügler, auch die nicht-staatenbildenden, einen ungewöhnlichen Mechanismus zur Festlegung des Geschlechts eines sich entwickelnden Organismus. Bienen aus unbefruchteten Eiern haben einen einzigen Chromosomensatz, sind also haploid. Bienen aus befruchteten Eiern haben zwei Chromosomensätze, sind also diploid. Honigbienen besitzen ein einziges Gen zur Geschlechtsbestimmung, das in unterschiedlichen Allelen auftreten kann. Hat eine Biene dieses Gen nur einmal, wie es für die haploiden Drohnen gilt, so entwickelt sich – gleichgültig welches Allel vorliegt – ein männlicher Organismus. Ist eine diploide Biene für dieses Gen heterozygot, entwickelt sich ein Weibchen. Ist ein diploides Bienenei

durch zufällige Genkombination für das Sexgen homozygot, was nicht mal selten geschehen kann, entsteht ein diploider Drohn, der von den Arbeiterinnen meistens bereits als Larve getötet wird.

Diese Art der Geschlechtsbestimmung über die Anzahl der Sätze an Chromosomen hat seltsame Konsequenzen: Männchen haben keine Väter, da sie aus unbefruchteten Eiern entstehen. Demnach haben Männchen keine Söhne, sondern höchstens Enkelsöhne. Bekommen ein Vater und eine Mutter Töchter, so haben diese Töchter untereinander mehr Allele gemeinsam, als sie mit ihren eigenen Kindern hätten.

Honigbienenschwestern besitzen im statistischen Mittel dreiviertel ihrer Allele gemeinsam. In der Realität schwanken diese Werte zwischen 50 % gemeinsamer Allele (nur die väterlich vererbten Allele sind gleich) und 100 % (väterlich und mütterlich vererbte Allele sind gleich). Zur Verbreitung der eigenen Gene ist es für ein Bienenweibchen also sinnvoll, auf eigene Kinder zu verzichten und stattdessen der Mutter zu helfen, so viele Schwestern wie möglich auf die Welt zu bringen.

Die sterilen Arbeiterinnen sollten sich untereinander zur Verbreitung ihrer Allele kooperativ unterstützen. Und es hat ja den Anschein, dass dies in Bienenkolonien der Fall ist.

Weitere Detailkenntnisse der Realität im Leben der Honigbienen bringen jedoch diese glatte Überlegung in Nöte.

Eine Königin paart sich auf dem Hochzeitsflug im Mittel mit zwölf Drohnen. Deren Spermien befruchten die Eier der Königin, die sich zu Weibchen entwickeln. Die Arbeiterinnen eines Bienenvolkes haben demnach alle dieselbe Mutter, aber viele Väter. Alle Arbeiterinnen, die mit dem Sperma desselben Drohns gezeugt worden sind, sind Schwestern. Zu den Weibchen mit anderen Vätern sind sie Halbschwestern. Und da man ja mit Schwestern mehr gemeinsame Allele besitzt als mit Halbschwestern, sollte man seine Halbschwestern auch weniger unterstützen als seine Schwestern. Es ist demnach ein komplexes Spiel von Kooperation innerhalb der Schwestergruppen und Konflikt zwischen den unterschiedlichen Schwestergruppen zu erwarten. In Dressurexperimenten lässt sich zeigen, dass die Bienen am Geruch der dünnen Wachsschicht, die als Verdunstungsschutz die Körperoberfläche jedes Insekts versiegelt, Vollschwestern von Halbschwestern unterscheiden sollten [4].

Die Realität der heute lebenden Superorganismen Bienenkolonie „bringt Sand in das Getriebe der Theorie“, wenn man alleine die Verwandtschaftsverhältnisse als Erklärung für die aktuelle Bienenbiologie heranziehen möchte. Nur wenn eine Mutter und ein Vater alle Bienen eines Volkes zeugen, trifft Hamiltons quantitative Überlegung zu. Da aber in einem Bienenvolk viele Väter ihre Spuren hinterlassen, trifft das für Bienenvölker, wie wir sie heute vorfinden, nicht mehr zu.



**ABB. 5** Bienen lernen sehr rasch, wo und wann welche Blüte Nektar liefert und wie sie zur optimalen Ausbeutung behandelt werden muss.

Haben wir hier für die Anwendung der Theorie der Verwandtenselektion auf die heutigen Honigbienen also eine Situation getreu der Feststellung, die T. H. Huxley (1825-1895) vor langer Zeit einmal getroffen hat? „*The great tragedy of science is the slaying of a beautiful hypothesis by an ugly fact*“? So dramatisch verhält es sich hier nicht. „Hamilton“ war notwendig, um im Verlauf der Evolution die Bienen auf den Weg eines Superorganismus zu bringen. Die Existenz haploider Männchen war das Substrat, auf dem sich die Hautflügler-Superorganismen entwickeln konnten. So ist es gut vorstellbar, dass sich Schwestern bei der Nestgründung und der Jungenaufzucht gegenseitig geholfen haben, so wie wir es bei einigen unserer heutigen Wespen finden.

Aber wieso fliegt eine Honigbienenkolonie nicht auseinander? Die genetische Situation müsste Zentrifugalkräfte erzeugen, die den Superorganismus sprengen würden. Was hält die Honigbienen noch heute auf diesem Niveau, wenn die Verwandtenselektion keine eindeutige Basis mehr hat?

### Was hält den Bienen zusammen?

Verwandtenselektion hat offenbar zur Bildung von Superorganismen geführt. Die Mehrfachpaarung der Bienenköniginnen passt nicht in dieses Erklärungsschema. Worin besteht also der Vorteil, wenn die Arbeiterinnen einer Honigbienenkolonie verschiedene Väter haben?

Da es offenbar nicht eine enge genetische Verwandtschaft unter allen Mitgliedern der Kolonie ist, die einen „Rückfall“ in das Leben von Einzelkämpfern verhindert, müssen andere Aspekte in die Blickrichtung der Aufmerksamkeit rücken, die ein Auseinanderbrechen des Superorganismus verhindern.

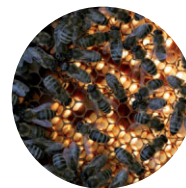
In seinem Buch „*The wisdom of the body*“ prägte W. B. Cannon 1939 für geregelte Körperparameter den Begriff der *Homöostase*. Das Teilgebiet der Biologie, das die Grundlagen derartiger geregelter Vorgänge in Organismen untersucht, ist die Physiologie. Übertragen auf die Analyse geregelter Zustände in einer Bienenkolonie untersucht die Soziophysiologie, ob und welche Regelgrößen in einer Bienenkolonie homöostatisch eingestellt werden (soziale Homöostase; [3, 10]), wie dies von den Bienen im Detail bewerkstelligt wird und wozu das Ganze dienen soll.

In einem funktionierenden Organismus sind Lebensfunktionen im Gleichgewicht. Da äußere und innere Faktoren dieses Gleichgewicht stören können, laufen Prozesse ab, mit denen das Gleichgewicht aktiv neu eingestellt werden kann. Diese Prozesse sollten Folgendes leisten: Fallen Werte unter eine bestimmte Größe, werden sie aktiv erhöht, sind sie zu hoch, werden sie herabgesetzt. Derartige Regelvorgänge finden über Rückkopplungen statt. Rückkopplungen stellen Verbindungen zwischen verschiedenen Teilen des Systems und mit der Außenwelt her und sorgen für die Aufrechterhaltung der Homöostase. Homöostase in einem bio-

logisch-organismischen System, wie einer Bienenkolonie, ist die Selbstregulation eines Gleichgewichtszustandes.

Der Begriff „Gleichgewicht“ mag Ruhe und Stillstand suggerieren. Die geregelten Zustände in einem Bienenvolk sind jedoch alles andere als „eingefroren“. Die Zielgrößen ändern sich laufend und sind nur durch hohe Daueraktivität des Volkes zu erreichen. Man könnte den beiden chilenischen Vordenkern Francisco Varela (1946-2001) und Humberto Maturana (geb. 1928) folgen und bei solchen hochdynamischen Fällen eher von einer Homöodynamik als von einer Homöostase sprechen.

Die strukturellen Gegebenheiten eines geregelten biologischen Systems haben zwei Konsequenzen, die zu den Fundamenten der Organismischen Biologie gehören:



**ABB. 6** Die Abwehr von Krankheiten und Parasiten spielt sich im Superorganismus Bienenstaat auf allen Ebenen ab. Eine intakte soziale Homöostase hält das Bienenvolk gesund. Adaptive Verhaltensweisen, wie hier das Entfernen als krank erkannter Puppen, sind wichtiger Bestandteil der Nesthygiene.



**ABB. 7** Die Errichtung der Waben als „dem größten Organ“ des „Säugetiers mit vielen Körpern“ ist eine emergente Gemeinschaftsleistung des Superorganismus. Die Funktion der Bauketten, gebildet aus aneinanderhängenden Bienen, ist noch vollkommen unverstanden.

Erstens: Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile. Es entstehen emergente Eigenschaften, die auf dem Niveau der Bausteine nicht vorhanden sind.

Zweitens: Das Ganze bestimmt umgekehrt das Verhalten seiner Teile.

Ein Superorganismus besitzt genau wie jeder solitäre Organismus eine „Superphysiologie“ (ich benutze die Begriffe Hyperphysiologie oder Soziophysio- logie), die aus den Eigenschaften und den Interaktio-



**ABB. 8** Moderne Technologie erlaubt ein tiefes Eindringen in den Superorganismus Bienenstaat. Mikrochips, die den Bienen bei ihrer Geburt auf dem Rücken geklebt werden, ermöglichen die Identifizierung der individuellen Bienen und deren lückenlose Verhaltensregistrierung.

nen der Koloniemitglieder hervorgeht. Es ist diese Soziophysio- logie eines Superorganismus (Abbildungen 6-8), die als mächtige Klammer die Koloniemitglieder beisammen hält und deren Eigenschaften von der Selektion im Wettlauf der Superorganismen untereinander bewertet werden. Die Eigenschaften der gesamten Gruppe sind der Phänotyp, an dem die Selektion wirksam wird. Gehört ein Tier einer gut angepassten Gruppe an, ist es auf der Gewinnerseite. Solche Arbeitsbienen überleben und können Allele aus ihrem Erbgut vermehren – wenn auch nur indirekt durch ihre Mutter und ihre Brüder.

Eine wesentliche Ursache für den massiven genetischen Konflikt innerhalb einer Bienenkolonie ist die Mehrfachpaarung der Königin. Was also gewinnt der Superorganismus durch diese Mehrfachpaarungen der Königin, wenn er sich dadurch interne Konflikte einhandelt?

Viele Väter bedeuten viele unterschiedliche Allele und das bedeutet Arbeiterinnen mit entsprechend vielen unterschiedlichen Merkmalen.

Solche Unterschiede zwischen den Bienen betreffen unter anderem die Empfindlichkeit gegenüber Umweltreizen. Manche Väter zeugen reizempfindliche, andere zeugen reizunempfindliche Arbeiterinnen. Die konkreten Folgen dieser großen Spannweite an Empfindlichkeiten betreffen die Intensität, mit der eine Kolonie gegen äußere oder innere Störungen vorgeht. Wird es im Brutnest zu kalt, beginnen bestimmte Tiere schon bei einem sehr geringen Temperaturabfall zu heizen. Eine andere Biengruppe schließt sich erst an, wenn die Temperatur noch weiter abgefallen ist, wieder andere bei noch tieferen Temperaturen. Es ist leicht einzusehen, dass eine Kolonie als Ganzes auf diese abgestufte Weise immer optimal auf Störungen reagiert, da genau so viele Kräfte mobilisiert werden, wie es der Stärke der Störung angemessen ist. Ein breites Spektrum von hochempfindlichen bis sehr unempfindlichen Bienen führt automatisch immer zur richtigen Reaktion der Kolonie.

Aber es sind nicht nur die gemeinschaftlich eingestellten klimatischen Lebensbedingungen im Nest, für die viele Väterlinien innerhalb einer Kolonie von Vorteil sind. Der Vorteil von Vielvaterschaft im Bienenstock und damit eine „bunte“ Zusammensetzung der Eigenschaften ihrer Mitglieder betreffen jeden Aspekt im Leben eines Bienenvolkes, der bisher daraufhin untersucht worden ist [5]. So steigt die Fähigkeit, sich als Kolonie gegen Pathogene zu wehren und gesund zu halten mit der Anzahl der Vaterlinien in Volk [7].

### Schlussbetrachtung

Die Entwicklung und Verbreitung des Lebens auf unserer Erde spielt sich seit den ersten Anfängen vor geschätzten viereinhalb Milliarden Jahren nach unveränderten Prinzipien ab. Sucht man nach Phänomenen, die

mit der Evolution von der anfänglich nackten, sich selbst kopierenden Erbsubstanz bis zu heutigen Lebensformen einhergehen, so fällt auf:

- Es entstehen mit der Zeit immer komplexere Strukturen.
- Die entstehenden Strukturen leisten mehr als die Summe ihrer Teile.
- Die Strukturen können das Verhalten ihrer Teile bestimmen.

Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile, so hat schon Aristoteles formuliert.

Es bleibt festzustellen, dass die Säugetiere und die koloniebildenden Honigbienen unabhängig voneinander eine Reihe von Erfindungen gemacht haben, die sie in ihrer Summe zu hochkomplexen Systemen machen. Auf diese Weise konnten sie sich eine Unabhängigkeit und Überlegenheit schaffen, die ihresgleichen sucht.

### Zusammenfassung

*Die Kooperation tausender von Individuen in den Kolonien der Honigbienen ermöglicht diesen Superorganismen eine soziale Homöostase, die auf funktionellen Merkmalen beruht, die in dieser Kombination auch bei der ebenfalls sehr erfolgreichen Gruppe der Säugetiere zu finden sind. Dieses Paket an Eigenschaften führt bei den Säugetieren und dem Superorganismus Bienenstaat zu einer hohen Unabhängigkeit von direkten Umwelteinflüssen und erlaubt diesen Organismen, in wenige, aber dafür bestens ausgestattete Nachkommen zu investieren.*

### Literatur

- [1] S. Camazine, J. L. Deneubourg, N. R. Franks, J. Sneyd, G. Theraulaz, E. Bonabeau, Self-organization in biological systems, Princeton university press, Princeton and Oxford, 2001.
- [2] R. Dawkins, Das egoistische Gen, Spektrum Heidelberg 2006.
- [3] A. E. Emerson, Regenerative behaviour and social homeostasis in termites, Ecology 1956, 37, 248-258.
- [4] B. Fröhlich, M. Riederer, J. Tautz, Honeybees discriminate cuticular waxes based on esters and polar components, Apidologie 2001, 32, 265-274.
- [5] S. Fuchs, Selection for behavioral diversity within honeybee colonies. In: C. K. Hemelrijk (Hrsg.) Self-Organization and Evolution of Social Behaviour. AI Lab, University of Zurich, Switzerland, 2002.
- [6] F. Gerstung, Das Grundgesetz der Brut- und Volksentwicklung des Biens, Bremen 1890.
- [7] H. R. Mattila, T. D. Seeley, Genetic Diversity in Honey Bee Colonies Enhances Productivity and Fitness, Science 2007, 317, 362 – 364.
- [8] J. Tautz, Phänomen Honigbiene, Spektrum Heidelberg 2007.
- [9] W. M. Wheeler, The Ant Colony as an Organism, Journal of Morphology 1911, 22, 307–325.
- [10] E. O. Wilson, The insect societies, Harvard university press, Cambridge Mass., 1971.

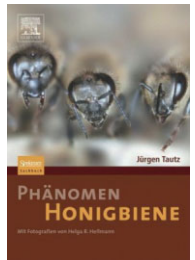
### Der Autor



Jürgen Tautz, geboren am 6. Oktober 1949 in Heppenheim. 1968 bis 1973 Studium an der Technischen Universität Darmstadt (Fächer: Biologie, Geographie, Physik). 1977 Promotion. 1979 DFG-Stipendiat an der Australian National University in Canberra/Australien. 1981/82 DFG-Stipendiat an der Stanford University/USA. Im Anschluss wissenschaftlicher Angestellter an der Universität Konstanz. 1986 Habilitation in Zoologie. Derzeit Professor am Biozentrum der Universität Würzburg. Bis dato mehr als 300 Fachpublikationen. 2004 Gründer und Vorsitzender von Bienenforschung Würzburg e.V. Vielfältige Aktivitäten, um das Interesse einer breiten Öffentlichkeit an der Organismischen Biologie und speziell der Honigbiene und ihrer enormen Bedeutung für den Menschen zu wecken. In den Jahren 2005 und 2007 von EMBO als einer der besten Wissenschaftskommunikatoren Europas bezeichnet. Bild: Theismann.

#### Korrespondenz:

Prof. Dr. Jürgen Tautz  
BEEgroup  
Biozentrum Universität Würzburg  
Am Hubland  
97074 Würzburg  
Email: tautz@biozentrum.uni-wuerzburg.de



*Alle Bienen-Fotos stammen aus dem Buch „Phänomen Honigbiene“ von Jürgen Tautz und Helga R. Heilmann. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2007. 280 S., € 24,95. ISBN 978-3827418456.*