



„Hochspannung“ im Bienenvolk

Elektrische Felder spielen eine wichtige Rolle in der Kommunikation

Im wahrsten Sinne des Wortes spannende Erkenntnisse erlangten Wissenschaftler der Freien Universität Berlin. Möglicherweise wird sich dadurch die Bienenhaltung eines Tages verändern.

Wenn von elektrischen Feldern die Rede ist, denken wir zuerst an Hochspannungsleitungen und „Handy-Strahlung“. Davon ist hier nicht die Rede, vielmehr von elektrischen Feldern, die viel stärker sind und von Bienen selbst erzeugt werden. Diese elektrischen Felder können von Bienen wahrgenommen und sogar als ein Futtersignal gelernt werden. Sie spielen wahrscheinlich eine Rolle bei der sozialen Kommunikation, wie z. B. beim Schwänzeltanz.

Vom elektrischen Feld umgeben

Wenn Insekten durch die Luft fliegen, dann reibt sich ihr Körper an geladenen Luftteilchen und lädt sich dabei elektrisch auf. Auch unser Körper kann sich elektrisch aufladen, wenn sich die Kleidung an unserem Körper reibt. Wir spüren das, wenn wir eine Türklinke berühren und ein Funke sprüht. Bei Bienen kann sich aber die elektrische Aufladung nicht entladen, denn im Gegensatz zu uns haben Bienen keine elektrisch leitfähige Haut. Es fließt also kein elektrischer Strom, weder entlang des Bienenkörpers noch von ihm zu einem anderen Körper. Der Insektenkörper besteht aus einer harten Schale (Kutikula), die von einer Wachsschicht umgeben ist. Wachs ist ein elektrisch ganz schlecht leitendes Medium. Die darauf abgelegten Ladungen können sich daher nicht bewegen und bleiben stationär dort, wo sie bei der Luftreibung abgelagert wurden. So kommt es, dass am Stock ankommende Bienen ihre hohe elektrische Ladung, die bis zu 500 V erreichen kann, nicht loswerden, wenn sie am Stockeingang landen (Abbildung 1). Auf diese elektrischen Felder reagieren die Wächterinnen und kontrollieren den Ankömmling. Diese Reaktion kann auch ausgelöst werden, wenn anstelle einer ankommenden Biene ein vergleichbares elektrisches Feld über ein Kabel angeboten wird.

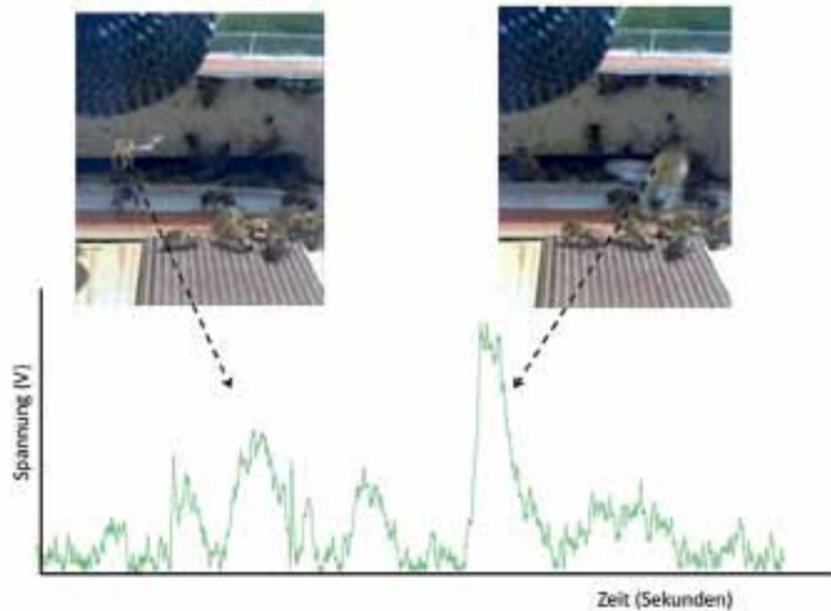


Abbildung 1: Elektrische Felder einer am Stock ankommenden Sammelbiene. Die beiden oberen Bilder zeigen einen Ausschnitt aus einem Video. Die Pfeile geben die Zeitpunkte an, zu denen in der darunter liegenden Kurve die Spannung, die von dieser Biene ausgeht, gemessen wurde. Im rechten oberen Bild sieht man, dass eine Wächterin (in der Mitte) sich aufstellt. Dies ist eine typische Reaktion auf die von der ankommenden Biene ausgehenden elektrischen Felder.

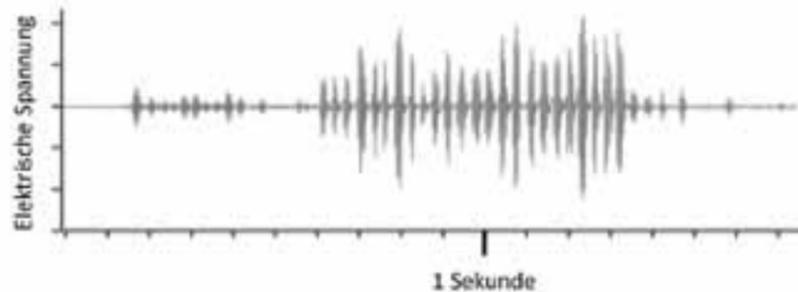


Abbildung 2: Elektrische Signale einer tanzenden Biene. Hier sind vor allem die schnellen Bewegungen der Flügel während des Schwänzellaufs zu sehen, die zu Pulsfolgen von elektrischen Feldern führen.

Geladen in den Stock

Bienen tragen also sozusagen ein elektrisches Ladungsfeld mit ihrem Körper in den Stock hinein. Um zu verstehen, was dabei passiert, bedarf es etwas Physik: Von stationären elektrischen

Ladungen geht ein stationäres elektrisches Feld aus. Wenn die Strukturen, die die elektrischen Ladungen tragen, bewegt werden, also wenn der geladene Bienenkörper bewegt wird, dann schwankt die Stärke des elektrischen Feldes in der Nähe, schwächt sich aber



Abbildung 3: Bei dieser an einer Blüte sitzenden Biene kann man sehr schön die Fühler (Antennen) erkennen, mit denen sie in die Blüte hineinreicht (weißer Pfeil). Diese Fühler enthalten auch viele Sensillen für Berührung und für Bewegung. Für das Erfühlen der elektrischen Felder ist vor allem ein bewegungsempfindliches Organ im Fühler zuständig, das die Bewegung des oberen, gegliederten Teils des Fühlers gegenüber dem unteren am Kopf verankerten Teil registriert. Die Pfeilspitze deutet auf diese Stelle. Da der Fühler elektrisch geladen ist, bewegt er sich im elektrischen Feld auf Grund der Coulomb'schen Kräfte, die an ihm ansetzen.

über die Entfernung sehr stark und in charakteristischer Weise ab.

So sendet die ankommende Biene in Abbildung 1 ein zeitlich schwankendes elektrisches Feld aus. Diese Schwankungen kommen vor allem durch die Flügelschläge zustande, aber auch durch die Bewegung ihres Körpers relativ zu den Mess-Sonden, die hier am Stockeingang platziert waren. Auch eine tanzende Biene sendet innerhalb des Stockes ein zeitlich verändertes elektrisches Feld aus. Jede Bewegung ihres Körpers führt zu einer entsprechenden Modulation des elektrischen Feldes. Das langsame Hin- und Herschwingen ihres Körpers, bei dem ihr Körper auch noch gerollt und auf und ab bewegt wird, schlägt sich in einer langsamen Modulation ihres ausgestrahlten elektrischen Feldes nieder. Dagegen führt das schnelle Flügelschwirren zu schnellen Änderungen des elektrischen Feldes (Abbildung 2). So entsteht während des Schwänzellaufs ein charakteristisches Muster des elektrischen Feldes in der näheren Umgebung der tanzenden Biene. Mit diesem Muster werden die Entfernungsangaben zur Trachtquelle beim



Abbildung 5: Nervensignale eines Nervs im Fühler der Biene, die bei Annäherung einer elektrisch geladenen Oberfläche ausgelöst werden. Hierbei wurde der Fühler durch die elektrisch geladene Oberfläche und nicht durch einen mechanischen Reiz bewegt, was wiederum zu den hier dargestellten Nervensignalen führte.

Schwänzellauf verschlüsselt. Wir wissen inzwischen, dass jedes langsame Hin- und Herschwingen zusammen mit den ca. vier hochfrequenten Pulsserien der Flügel eine Entfernung von ca. 35 m mitteilt.

Sensoren in den Fühlern

Die in der Nähe stehenden Bienen fühlen diese Veränderungen des elektrischen Feldes. Denn auch ihr Körper ist ja elektrisch aufgeladen, so auch ihre beweglichen Teile, wie zum Beispiel die Haare auf ihrem Körper und die Fühler/Antennen (Abbildung 3 u. 4). Wenn nun ein elektrisches Feld auf eine gela-

dene Oberfläche trifft, überträgt es eine mechanische Kraft: Es kann somit die Haare oder Fühler in Bewegung bringen. Die dabei auftretenden Kräfte hängen von den jeweiligen Ladungsstärken, den Vorzeichen der Felder (also + oder -) und dem Abstand der geladenen Körper ab (Coulomb'sches Gesetz). Die Bienen spüren die Bewegungen ihrer Haare und Antennen, denn diese beweglichen Körperanhänge sind mit Sinneszellen verbunden. Bienen erfühlen also elektrische Felder. Sie haben dazu keine elektrischen Organe wie etwa Fische und viele andere im Wasser lebenden Tiere, denn ein elektrischer Strom fließt dabei nicht. Sie verwenden



Abbildung 4: Die REM-Aufnahme von Stefan Diller zeigt die Fühler noch einmal im Detail.



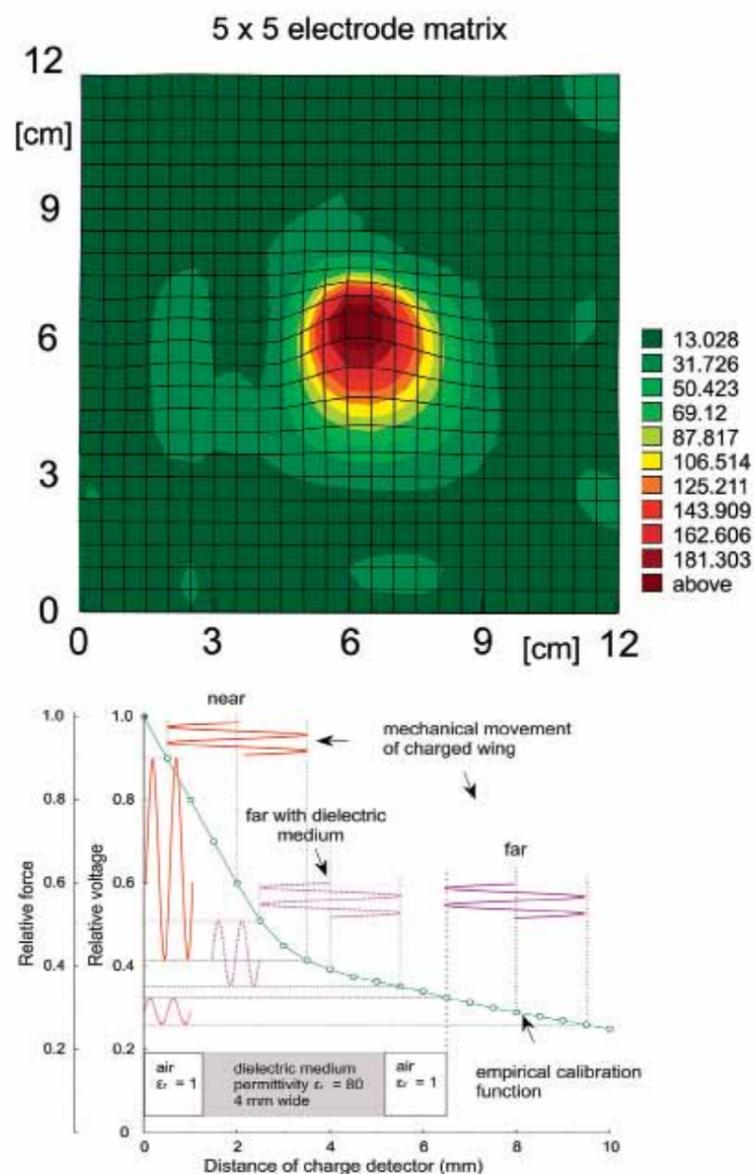
◀ Abbildung 6: Wenn eine Biene tanzt (hier die gelb markierte Biene), dann ist sie ringsherum von nachfolgenden Bienen umgeben. Auch die Bienen, die neben ihr stehen, nehmen die Information auf.

Abbildung 7: Die Ausbreitung des elektrischen Feldes, das von einer tanzenden Biene ausgeht, wird hier in seiner Stärke farbig dargestellt. Warme Farben zeigen hohe Feldstärken an, gelbe und dann grüne Farben abnehmende Feldstärken. Im dunkelbraunen Zentrum steht die gelb markierte Tänzerin wie in Bild 6. Auf der linken Seite oben und rechts oben, stehen die anderen Bienen weiter weg. Dies führt dazu, dass sich das elektrische Feld der tanzenden Biene nur auf die näher stehenden ausbreitet. Ohne nahestehende Bienen fällt das Feld über einen Zentimeter stark ab. Die Bienen in der zweiten Reihe (im Bild unten rechts) erfahren noch ein starkes Signal und können sich noch einreihen.

den vielmehr ihre auf Bewegung reagierenden Sinnesorgane, z. B. im Fühler. Es ist eine noch ungeklärte Frage, ob sie dennoch zwischen der Registrierung von mechanischen Reizen (also z. B. Berührung, Luftbewegung) und elektrischen Feldreizen unterscheiden können. Dies erscheint durchaus möglich, denn elektrische Felder haben andere dynamische Eigenschaften als mechanische Reize.

Nachweis mittels Futterdressur

Den Nachweis, dass Bienen elektrische Felder fühlen, haben wir auf folgende Weise geführt: Zuerst haben wir gezeigt, dass die erwarteten Coulomb'schen Kräfte auf die Antennen wirken und sie bewegen. Dieser Nachweis gelang in Zusammenarbeit mit Prof. Martin C. Göpfert und seinem Mitarbeiter David Piepenbrock von der Universität Göttingen mit dem Einsatz eines Laser Vibrometers. Damit kann man sehr genaue Messungen von Bewegungen vornehmen. Wir haben auch gezeigt, dass die Coulomb'schen Kräfte stärker sind als die von der Bewegung einer tanzenden Biene ausgehenden Luftströmungen. Dann haben wir solche elektrischen Felder dazu genutzt, die Antennen zu stimulieren und die Nervenströme in den Sinneszellen der Antenne zu messen (Abbildung 5). Wieder fanden wir, dass tatsächlich dem Nervensystem der Biene die durch die elektrischen Felder vermittelte Antennenbewegung mitgeteilt wird.



In einem weiteren Schritt haben wir dann Bienen auf elektrische Felder dressiert. Bienen lernen schnell und sicher, darauf zu reagieren. Diese Test-situation kann man dann dazu nutzen zu fragen, ob denn die Fühler das einzige Sinnesorgan sind, das die Felder aufnimmt. Es zeigte sich, dass tatsächlich die Fühler besonders wichtig sind, aber wohl nicht die einzigen „Feldfühler“ darstellen.

Beim Schwänzeltanz

Der Nachweis, dass das „elektrische Fühlen“ auch im sozialen Kontext (z. B. beim Schwänzeltanz) eine Rolle spielt, ist sehr viel schwieriger zu führen, und daran arbeiten wir noch. Wir müssen zeigen, dass die Folgebienen nicht nur durch die Luftströmungen, die von der tanzenden Biene ausgehen, stimuliert werden, sondern auch und vielleicht besonders durch die elektrischen Felder. Für einen solchen Zusammenhang sprechen einige besondere Eigenschaften des elektrischen Feldes tanzender Bienen.

1. Das elektrische Feld ist meist über 10-fach stärker und weniger von Störungen abhängig als die Luftströmungen.
2. Es wirkt in alle Richtungen und nicht nur an den Flügelspitzen der Tänzerin.
3. Es kann sogar durch umstehende Bienen verstärkt werden.

Diese Zusammenhänge zeigen die Abbildungen 6 und 7. Die Tänzerin ist im typischen Falle ringsherum von Folgebienen umgeben (Abbildung 6). Würden nur die Luftströmungen wirken, die durch die Flügelbewegung der Tänzerin ausgelöst werden, dann erhielten nur die wenigen Bienen am hinteren Ende der Tänzerin die entsprechende Information. Das ist aber nicht der Fall. Vielmehr wird die Information über die Richtung und Entfernung einer Futterstelle auch von Bienen aufgenommen, die an der Seite der Tänzerin stehen. Dies wird verständlich, wenn man sich die Eigenschaften des von der Tänzerin ausgehenden elektrischen Feldes klar macht. Wie Abbildung 7 zeigt, wirkt das elektrische Feld in alle Richtungen um eine Tänzerin, und es wird sogar weniger stark über die Entfernung hin abgeschwächt, wenn eine andere Biene dazwischen steht.

Es ist wichtig sich klar zu machen, dass die Eigenschaften der elektrischen Felder, die zwischen Bienen wirken, nichts Mystisches sind, sondern präzise auf der Grundlage physikalischer Gesetze beschrieben werden können. Wichtig ist auch daran zu denken, dass die Wahrnehmung dieser elektrischen Felder mit Sensoren erfolgt, die auch für die Wahrnehmung mechanischer Reize zuständig sind. Es gibt also kein besonderes Sinnesorgan für Elektrowahrnehmung bei Bienen. Die akustische Komponente, also der Schalldruck, welche bisher immer im Vordergrund der Erklärungen stand, muss jetzt als der schwächere Anteil angesehen werden und ist möglicherweise nur ein Nebenprodukt. Von großer Bedeutung bleibt natürlich der direkte mechanische Berührungskontakt zwischen der Nachläuferin und der Tänzerin, der aber selten beobachtet wird.

Gefahr von außen?

Mitunter wird vermutet, dass die elektrischen Felder von verschiedenen elektrischen Spannungsquellen auf Bienen wirken. Hier muss man streng unterscheiden zwischen sehr hohen Spannungen, wie sie etwa in Hochspannungsleitungen vorkommen, und den üblichen Spannungsquellen. Feldstärken, die von 30 KV-Hochspannungsleitungen in 10 m Höhe ausgehen, liegen durchaus in der Größenordnung der von den Bienen selbst abgegebenen Feldstärken und damit im Bereich dessen, was sie wahrnehmen. Es ist daher durchaus möglich, dass Hochspannungsleitungen die soziale Kommunikation stören, insbesondere, wenn das Volk direkt unter der Leitung steht und wenn die Luftfeuchtigkeit sehr hoch ist (Regen!). Normale Wechselstromleitungen von 220 V haben dagegen keine Wirkung auf Bienen, wenn sie nicht näher als ca. 1 cm an sie herankommen, und dies ist ja praktisch nie der Fall. Die Feldstärken, die von Radio- oder Fernsehsendern oder von Handys ausgehen, sind dagegen so schwach, dass von ihnen keine Wirkungen auf die Bienen ausgehen können. Weiterhin ist es in diesem Zusammenhang wichtig sich daran zu erinnern, dass solche elektromagnetischen Felder nur über induzierte Ströme wirken können, und solche treten weder im Bienenkörper noch in anderen Tierkörpern auf.

Bald ein Anruf aus dem Volk?

Das genaue Muster von Feldänderungen in einem Stock liefert ein sehr schönes und leicht messbares Signal über den Zustand des Volkes. Die Tänze lassen sich nicht nur in ihrer Zahl messen und hinsichtlich ihrer Entfernungangaben auswerten, sie geben uns auch ein Maß für die Genauigkeit, mit der solche Entfernungangaben mitgeteilt werden. Pflanzenschutzmittel wirken bevorzugt auf das Nervensystem der Bienen. Sie verändern die fein abgestimmten Nervensignale, die die Bewegungsmuster der Bienen steuern. Es ist also möglich, durch Verfolgen der elektrischen Feldmuster Einwirkungen auf das Bienenvolk fortlaufend und mit großer Genauigkeit zu verfolgen. Auch Infektionen und Parasiten werden sich auf das Verhalten des ganzen Volkes auswirken und zu Änderungen dieser Feldmuster führen. Auf diese Weise wird die geeignete Auswertung dieser Signale Messgrößen für die Beurteilung des Gesundheitszustandes eines Volkes liefern. Wie alle Imker wissen, schlägt sich auch die Schwarmstimmung in einer Veränderung des Bienenvolkes nieder. Die Muster der damit einhergehenden elektrischen Felder liefern uns sehr sensible Signale. Vielleicht werden wir in Kürze unsere Bienenvölker mit einem Handy ausstatten, das uns anruft, wenn das Volk in Schwarmstimmung gerät oder etwas nicht in Ordnung ist (zum Beispiel, weil Pflanzenschutzmittel aufgenommen wurden oder auch eine Krankheit ausgebrochen ist)? Wer uns dabei helfen will, ein solches Warnsystem zu entwickeln, ist herzlich eingeladen, mit uns Kontakt aufzunehmen.

Original-Veröffentlichung: Greggers, U., Koch, G., Schmidt, V., Dürr, A., Floriou-Servou, A., Piepenbrock, D., Göpfert, MC., Menzel, R., 2013: Reception and Learning of Electric Fields in Honeybees. Proc R Soc Lond B 20130528.

*Uwe Greggers und Randolph Menzel
Institut für Biologie, Neurobiologie
Freie Universität Berlin
Königin Luisestraße 28/30
14195 Berlin*