

Nicht nur das Erdmagnetfeld fest im Blick

Der Entdeckung des Magnetsinns von Vögeln gleicht einem Krimi. Doch die Natur hat längst noch nicht alle Geheimnisse preisgegeben. Mit moderner Raumfahrttechnik will man nun dem Wanderverhalten auf den Grund gehen.

Von Monika Etspüler

Ist es der Magnetsinn oder der Geruchssinn? Wie schaffen es Zugvögel, Tausende von Kilometern zurückzulegen, um dann fast auf den Punkt genau ihr Ziel zu erreichen? Mythen und Legenden haben sich jahrhundertlang um den Vogelzug gerankt. Selbst der berühmte schwedische Naturforscher und Systematiker Carl von Linné saß noch im 18. Jahrhundert dem Irrglauben auf, „das Federvieh versinke im Herbst kollektiv in Sümpfen und komme im Frühjahr wieder putzmunter daraus hervor“.

Die ersten groben Vorstellungen vom Wanderverhalten der Tiere erhielten die Ornithologen zu Beginn des vergangenen Jahrhunderts durch die Beringung der Vögel. Die Situation verbesserte sich in den siebziger Jahren, als die Wissenschaftler das internationale Satellitensystem Argos für ihre Forschungen nutzen. Bei diesem Verfahren werden die Tiere vor ihrer Reise mit Sendern ausgerüstet, die Signale zu Satelliten schicken, anhand derer sich die Position der Vögel ermitteln lässt. Inzwischen hat man auf diese Weise die Routen von fast 300 Zugvogelarten verfolgen können. Zu den Rekordhaltern zählt die Küstenseeschwalbe. Sie brütet in der Arktis, überwintert in der Antarktis und legt dafür mehr als 30 000 Kilometer zurück.

Diese Beobachtungen geben allerdings keine Antwort auf die Frage, was die Vögel zu so außergewöhnlichen Navigationsleistungen befähigt. Sicher ist, dass sie ihre Routen am Magnetfeld der Erde und an Landmarken ausrichten, dass sie Düften folgen und Sonne und Sterne als Kompass nutzen. Zu einem vollständigen Bild reichen die bekannten Puzzleteile aber bei weitem nicht aus. Ein Grund hierfür sind sicher die schwierigen Versuchsbedingungen, mit denen man den Tieren ihre Fähigkeit entlocken. Experimente im Freiland erfordern aufgrund der großen Entfernungen und topographischen Gegebenheiten einen enormen Aufwand. Die klassischen Orientierungskäfige, in denen die Tiere in die angepeilte Richtung hüpfen, wenn die Zugruhe sie packt, eignen sich zwar zum Testen einzelner sensorischer Fähigkeiten. Inwieweit aber die Spuren, die die Vögel dabei hinterlassen, die vielfältigen vernetzten Umweltreize naturnah abbilden, ist fraglich.

Die Forscher interessieren sich seit geraumer Zeit besonders für den Magnetsinn der Vögel, den man mittlerweile auch bei Amphibien, Reptilien und sogar bei Säugetieren beobachtet hat. Es war eine Sensation, als Anfang der sechziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts die zwei Zoologen Wolfgang und Roswitha Wiltschko an der Universität Frankfurt herausfanden, dass Zugvögel offenkundig auch das Magnetfeld der Erde zur Orientierung nutzen. In abgeschirmten Käfigen drehten die beiden Forscher einen Magneten in verschiedene Richtungen, und siehe da, die so getäuschten Vögel flatterten in die vermeintliche Zugrichtung. Wie sich herausstellte, funktioniert der Magnetsinn jedoch nicht wie ein technischer



Auch manche Gänsegeier sind Langstreckenzieher. Um ihre Flugrouten zu studieren, werden Vögel mit Marken und GPS-Sendern ausgestattet. Foto Roland Steiner

Kompass, sondern er reagiert auf die Form des Erdmagnetfeldes. Dessen Feldlinien stehen umso steiler auf der Erdoberfläche, je weiter man sich den Polen nähert – das gilt sowohl auf der Nord- als auch auf der Südhalbkugel. Dadurch erhält der Vogel die Information, in welche Richtung er gerade fliegt, so die These des Ehepaars Wiltschko.

Dass Vögel über einen Magnetsinn verfügen, stellt heute niemand mehr ernsthaft in Frage. Wie sich Ende der neunziger Jahre abzeichnete, besitzen die Tiere für die Navigation vermutlich nicht nur ein Sinnesorgan, sondern zwei; eines, über das die Vögel ihren jeweiligen Standort lokalisieren können, und eines, über das sie erkunden, in welche Richtung die Reise geht.

Wo genau der innere Kompass zur Richtungsbestimmung sitzt und wie er funktioniert, hat man den gefiederten Zeitgenossen bisher nicht entlocken können. Im Verdacht stehen bestimmte Sehzellen in der Netzhaut des Auges. Bei Hühnern und Zugvögeln fanden die Forscher aus Frankfurt darin Cryptochrom, das durch kurzwelliges Licht angeregt wird. Unter Lichteinfluss entstehen in dem Molekül freie Elektronen mit zwei unterschiedlichen Drehimpulsen. Deren Verhältnis zueinander hängt von der Ausrichtung des Moleküls im umgebenden Erdmagnetfeld

ab. Wie Modelle zeigen, entsteht dadurch ein neuronales Signal, das die Richtung des Magnetfeldes wiedergibt. („Journal of the Royal Society Interface“, doi: 10.1098/rsif.2013.0638). Doch die Suche nach dem geheimnisumwitterten inneren Kompass ist damit nicht abschließend geklärt.

Ihm sind nun auch chinesische Wissenschaftler von der Universität Peking auf der Spur. Aus der Netzhaut von Tauben und aus Antennen von Monarchfaltern isolierten Can Xie und seine Kollegen ein Protein, das ein Schlüssel zum Verständnis der biologischen Grundlagen des Magnetsinns sein könnte. Die Forscher gaben dem Eiweißmolekül den Namen Magneto-Rezeptorprotein, kurz MagR. Es enthält einerseits Eisenatome, ist andererseits aber auch in der Lage, eine stabile Verbindung mit Cryptochrom einzugehen, wie die Forscher um Xie in der Zeitschrift „Nature Materials“ (doi: 10.1038/nmat4484) berichten. Ihre Untersuchungen ergaben, dass sich der MagR-Cryptochrom-Komplex in flüssigem Medium entlang magnetischer Feldlinien ausrichtet und rotierenden Magneten folgt. Wie und ob dieser Mechanismus überhaupt in den lebenden Tieren funktioniert, muss noch erforscht werden. Möglicherweise richten sich die Magneto-Rezeptorproteine entsprechend dem Verlauf der Feldlinien des Erdfeldes aus. Der Drehimpuls, der dadurch entsteht, könnte dann an benachbarte Moleküle weiterge-

geben werden, die das Signal in Richtung Gehirn weiterleiten.

Es ist aber nicht nur die Suche nach dem inneren Kompass, der die Forscher interessiert. Sie haben ihr Augenmerk auch auf die Frage gerichtet, wie Vögel ihren jeweiligen Standort lokalisieren. Zunächst glaubte man, dass die Ortsinformation durch die jeweilige Stärke des Magnetfeldes geliefert wird. Eisenmineralkristalle, die man in Nervenfortsätzen der oberen Schnabelhaut von Tauben entdeckt hatte, legten diesen Schluss nahe. Inzwischen häufen sich aber die Indizien, dass es sich dabei um Makrophagen – also Fresszellen des Immunsystems – handelt. Dafür spricht, dass bei Vögeln mit verletzten Schnäbeln die Konzentration der eisenhaltigen Zellen im Schnabelbereich um ein Vielfaches höher ist als bei gesunden Tieren. Im Fokus des Interesses steht inzwischen der Augenweig des Trigemini-nusnervs. Er soll wichtige magnetische Informationen beherbergen. Versuche mit Teichrohrsängern, die Henrik Mouritsen von der Universität Oldenburg gemeinsam mit Forschern der Universität St. Petersburg ausführte, bestätigten die Vermutung. Vögeln, denen man den Augenweig durchtrennte, verfehlten daraufhin prompt ihr angepeiltes Ziel, berichten die Biologen in der Zeitschrift „Plos One“ (doi:10.1371/journal.phone.0065847).

Der Befund legt den Schluss nahe, dass die Tiere für ihre Navigationskünste einen intakten Trigemini-nus-Nerv benötigen. Zu einem ganz anderen Ergebnis hat allerdings ein Freilandversuch mit Heringsmöwen geführt. Martin Wikelski vom Max-Planck-Institut für Ornithologie in Radolfzell untersuchte gemeinsam mit Forschern aus Russland und Finnland, inwieweit Vögel ihren Geruchssinn zur Posi-

tionsbestimmung nutzen. Mit Hilfe des Satelliten-Navigationssystems GPS verfolgten die Forscher 120 Heringsmöwen, deren Flugroute normalerweise über 7000 Kilometer von Finnland bis zum Victoria-see in Afrika führt. Einem Teil der Tiere wurde der Geruchsnerv durchtrennt, einem anderen der Trigemini-nusnerv, der magnetische Informationen enthalten soll. Eine dritte Gruppe ließ man unverehrt. Der Startpunkt des Experiments lag etwa 1000 Kilometer westlich von den angestammten Brutgebieten und somit außerhalb des gewohnten Flugkorridors der Tiere. Das Ergebnis: Die Vögel mit durchtrenntem Trigemini-nusnerv erreichten wie die Kontrollgruppe ohne Schwierigkeiten ihr Ziel. Ganz anders dagegen die Tiere ohne Geruchssinn. Sie kamen von ihrem eigentlichen Ziel ab und landete westlich des Victoria-sees („Scientific Reports“, doi: 10.1038/srep17061). „Die Möwen korrigierten immer dann ihre Flugroute, wenn sie einen Duft wahrnehmen konnten“, folgert Martin Wikelski aus den Beobachtungen. Der Wissenschaftler ist deshalb überzeugt, dass Heringsmöwen überwiegend ihre Nase zur Navigation nutzen. Magnetische Informationen zur Positionsbestimmung sind seiner Meinung nach von untergeordneter Bedeutung.

Das internationale Großprojekt „Icarus“ soll die widersprüchlichen Forschungsergebnisse nun eindeutig klären und damit zu einem besseren Verständnis des Vogelzugs beitragen. Icarus – der Name steht für „International Cooperation for Animal Research Using Space“ – an dem das Max-Planck-Institut für Ornithologie, das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und die russische Raumfahrtorganisation Roskosmos beteiligt sind, wird voraussichtlich im Sommer dieses Jahres starten (<http://icarusinitiative.org>). Ziel ist es zunächst, die Flug- und Rastgewohnheiten der gefiederten Zeitgenossen auf Langstrecken zu verfolgen. Eingebunden in dieses Projekt ist die Internationale Raumstation ISS, die mit einem Empfangsgerät ausgestattet wird, mit dem man in kurzer Zeit die gesamte Erdoberfläche abscannen kann. Vom All aus werden die aufgezeichneten Signale über die ISS-Bodenstation an die Icarus-Zentrale in Radolfzell weitergeleitet. Auf die dort gespeicherten Daten sollen Forscher weltweit zugreifen können.

Die gefiederten Probanden selbst werden mit winzigen, nur fünf Gramm schweren GPS-Beobachtungseinheiten ausgestattet. Ein so geringes Gewicht ist möglich, weil die ISS, anders als Satelliten, die Erde in nur 400 Kilometer Höhe umkreist. Entsprechend kleiner fallen die Sender aus, die außer einem GPS-Sender mit einem Beschleunigungsmesser ausgestattet sind, um den Flügelschlag und das Verhalten der Tiere zu verfolgen. Weitere Sensoren, mit denen die Beobachtungseinheiten bestückt werden können, erfassen Puls und Temperatur. „Mit Icarus können wir endlich Freilandversuche in großem Maßstab durchführen. Wir können Magnetsinn, Geruchssinn oder Sehsinn testen und die Tiere dabei in ihrer natürlichen Umgebung beobachten“, so Martin Wikelski. Zunächst sollen 2000 Vögel, dann 20000 Vögel mit entsprechenden Sendern ausgestattet werden. Die Kapazitäten des Systems sind so groß, dass sie ausreichen würden, auch Millionen Tieren endlich ihr streng gehütetes Geheimnis zu entlocken.