

Gewusst wohin

Orientierung und Navigation – Ein Wissenschaftsreport, Teil 2

Ein Wissenschaftsreport von Dieter E. Zimmer

SEIT DER Jahrhundertwende werden Vögel von Ornithologen beringt: eingefangen, mit einem kleinen gekennzeichneten Metallring um ein Bein versehen, wieder freigelassen. Einige von ihnen werden später, tot oder lebendig, irgendwo wiedergefunden. Indem man alle solche Wiederfunde sorgfältig protokolliert, erhält man langsam Aufschluß darüber, in welchem Gebiet sich diese Vögel bewegen.

So kam auch ans Licht, wohin die Zugvögel eigentlich ziehen. Manche europäischen Arten ziehen mit Einbruch der Herbstwitterung nur innerhalb des Kontinents um und überwintern in Westfrankreich oder auf der iberischen Halbinsel; andere ziehen weiter nach Nordafrika, wieder andere bis nach Äquatorial- oder gar Südafrika. Die normale Zugroute führt nicht direkt über das Mittelmeer, sondern entweder über Gibraltar oder Kleinasien. Auch große Vögel wie Störche wählen diesen Umweg, da ihr Flug aus Gründen der Energieeinsparung zu einem Großteil Segelflug ist und es über dem Meer keine Thermik gäbe, die sie ausnützen könnten. Eilig haben sie es auf ihren Zügen nicht. Sie trödeln, machen unterwegs bis zu drei Wochen Rast, um neue Energie zu tanken (das heißt, sie fressen sich dick), und brauchen bis zu zwei Monaten, bis sie ihr jeweiliges Überwinterungsgebiet erreichen. Der Rückflug im Frühjahr geht meist etwas schneller.

Das Erstaunlichste daran ist, daß viele punktgenau in ihr Brutgebiet zurückkehren, auch Jungvögel auf ihrem ersten Flug nach Norden, jedenfalls dann, wenn sie vor dem Abflug im Herbst Gelegenheit hatten, dort mindestens zwei Wochen lang frei umherzufliegen (und man könnte versucht sein hinzuzusetzen: sich dabei einen günstigen Nistplatz auszusuchen; oder: die Koordinaten dieses Orts zu erfassen). Auch ihr Überwinte-

* Dieser 1990/91 geschriebene dreiteilige «Wissenschaftsreport» wurde vom ZEITmagazin erst nach langem Zögern und stark gekürzt in zwei Folgen veröffentlicht: «Immer dem Schnabel nach?» (DIE ZEIT/ZEITmagazin, Nr.42, 15.10.1993, S.52-58, 60, 62) und «Die Karten im Kopf» (DIE ZEIT/ZEITmagazin, Nr.43, 22.10.1993, S.48-55).

rungsquartier erreichen sie in den folgenden Jahren punktgenau, und vermutlich sogar die Rastplätze auf dem Weg dorthin.

Bald nach dem letzten Weltkrieg unternahm der niederländische Ornithologe A.C. Perdeck ein Experiment, das unter anderem eines klarmachte: Es ist eine Sache, eine bestimmte Richtung einzuhalten, aber eine ganz andere, ein bestimmtes Ziel punktgenau zu erreichen. Er ließ fast zehn Jahre lang Stare einfangen, alles in allem über elftausend, die im Oktober/November auf ihrem Zug aus den Ostseeländern nach Westfrankreich und Südengland in der Nähe von den Haag Rast machten. Die Vögel wurden beringt, mit Mehlwürmern gefüttert, in Bambuskäfigen per Flugzeug in die Schweiz geschafft und dort spätestens vierundzwanzig Stunden später wieder freigelassen. Und dann blieb nur übrig abzuwarten, ob von irgendwoher Wiederfunde gemeldet wurden. Tatsächlich fanden sich über drei Prozent dieser Stare wieder an. Ihre Verfrachtung hatte sie etwa 600 Kilometer aus der normalen Zugroute versetzt. Zogen sie trotzdem in ihr Überwinterungsgebiet am Ärmelkanal? Oder zogen sie einfach in dieselbe Richtung weiter, in die sie aus Holland gezogen wären? Beides: Jungvögel auf ihrem ersten Zug zogen auf Südwestkurs weiter nach Spanien, erwachsene korrigierten die Zugrichtung auf Nordwest und zogen in das traditionelle Überwinterungsgebiet. In den folgenden Jahren kehrten die Jungstare, die auf ihrem ersten Zug nach Spanien geraten waren, auch wieder dorthin zurück.

Was geht daraus hervor? Daß für den ersten Zug ausreicht, was in der Wissenschaft ein Vektor genannt wird: eine Linie von einer bestimmten Richtung und Länge. Die Jungvögel müssen nur wissen, wann sie wie lange in welche Richtung fliegen müssen. Über den richtigen Moment für Aufbruch und Beendigung des Zugs informiert sie eine innere hormonelle Uhr, die von der Photoperiode gesteuert wird; wenn die Tage eine bestimmte Kürze erreicht haben, gibt sie das Abflugsignal. Was sie außer der Uhr brauchen, ist nur noch ein Kompaß – ein Organ, mit dem sie die richtige, *ihre* Richtung erkennen.

Bei denen, die weiter bis ins innere Afrikas ziehen, sind allerdings zwei Vektoren nötig: soundsolange nach Südwest, dann soundsolange nach Südost (bei jenen, deren Route über Gibraltar führt). Solche Vektoren sind in der Regel für jede Art genetisch programmiert. Der Heidelberger Biologe A.J. Helbig hat mitteleuropäische Mönchsgrasmücken mit verschiedenen Überwinterungsgebieten (Kenia oder Marokko) und entsprechend verschiedener Zugrichtung (Südost oder Südwest) gekreuzt. Die Resultante waren Vögel, die schnurgerade nach Süden ziehen wollten. Ein solcher der Spezies sozusagen eingebauter Vektor reicht fürs Grobe, nämlich um ungefähr in ein größeres Gebiet zu gelangen. Für die punktgenaue Rückkehr aber genügte es schon nicht mehr, einfach den gleichen Vektor in umgekehrter Richtung abzufliegen. Auch in der Luft gibt es ja Hindernisse, die umflogen werden müssen, Bergkämme etwa; vor allem aber ist die Luft ständig in Bewegung und verdriftet den Vogel auf unvor-

hersehbare Weise. Irgendwo im Ostseeraum zwar käme der Star mit einigem Glück an, nie und nimmer aber genau an seinem alten Nest.

Schon Darwin hat darauf aufmerksam gemacht, daß ein bloßer Kompaß in solchen Fällen herzlich wenig nützt. Der Pfadfinder, der mit verbundenen Augen irgendwohin in einen unbekanntem Wald gebracht worden ist, kann seinen Kompaß noch so lange studieren – wo Norden ist, weiß er dann zwar, aber nicht, wolang es nach Hause geht. Der Kompaß hilft ihm erst dann aus der Patsche, wenn er außerdem auch eine Landkarte hat. Und auch eine Karte allein nützte ihm noch nichts; er muß wissen, wo auf ihr Norden ist, und er muß seinen Ausgangspunkt und sein Ziel lokalisieren können. Erst dann weiß er, welche Himmelsrichtung er einschlagen muß, erst dann lohnt es, den Kompaß hervorzuholen. Genau das ist, was man unter Navigation versteht, im Unterschied zur bloßen Kompaßorientierung: nicht nur Himmelsrichtungen zu erkennen und zu verfolgen, sondern die eigene Position relativ zu einem Ziel zu bestimmen und dann mithilfe eines Kompasses von A nach B zu finden.

Welche raffinierten Kompassvögel benutzen, darüber weiß man heute eine Menge; über ihre Methoden der Positionsbestimmung nur wenig. Eigentlich ist der Zoologe in einer wenigversprechenden Lage, wenn ihm seine Probanden immer gleich wieder auf und davon fliegen und er sie wahrscheinlich nie wiedersieht; wenn er gerade herausbekommen möchte, auf welche Weise sie das Weite suchen. Daß er sie heute manchmal per Radar beobachtet oder mit winzigen Sendern bestückt und mit dem Kleinflugzeug verfolgt, gibt ihm nur genaueren Aufschluß über Flugrouten, nicht aber über die Methoden der Kompaßorientierung und Navigation, die da im Spiele sind.

Wenn man trotzdem manches ermittelt hat, so lag das an zwei glücklichen Zufällen. Zum einen gibt es einen Vogel, der sich als eine Art Haustier halten läßt und nicht nur wegfliegt, sondern von selber zurückkommt (meistens jedenfalls), punktgenau, und zwar auch von sehr weit her, mit einiger Erfahrung aus vielen hundert Kilometern. Es ist die Brieftaube, eine Zuchtform der Haustaube, die ihrerseits von der wilden Feltaube der Mittelmeerländer abstammt. Zum anderen machte der Ornithologe Gustav Kramer am Institut für Meeresbiologie in Wilhelmshaven um 1950 eine Beobachtung, die einen ganzen Forschungszweig begründen sollte: Sie erlaubte, Zugrichtungen im Labor (das in diesem Fall ein Stall oder Schlag ist) experimentell zu untersuchen und kontrolliert zu manipulieren.

Daß Zugvögel zur Zeit des Aufbruchs unruhig werden, besonders deutlich die Nachtzieher, die sonst nachts zu schlafen pflegen – das wußte man seit langem. Kramer aber fiel auf, daß seine kleinen Grasmücken im Herbst, wenn Zugunruhe sie befiel, nicht einfach nur wegwohnten, egal wohin, sondern daß sie in ihren Käfigen in eine bestimmte Richtung wgstrebten und daß diese ihre normale Zugrichtung war. Bald brauchte sich

auch kein Verhaltensforscher mehr unter den Käfig zu legen und stundenlang die schnellen Bewegungen der Vögel zu verfolgen. Vielmehr wurden sie in Rundkäfige gesetzt, in denen sie Kratzspuren auf weißem Korrekturpapier hinterließen, die der Forscher dann auszählen konnte. Oder sie hüpfen auf sinnreich verteilte Sitzstangen, die einen Schalter niederdrückten und so automatisch registrierten, welche Seite seines Käfigs der Vogel zur Zeit am liebsten frequentierte. Vor allem aber war nun das Verhaltensexperiment möglich. Ohne sich von der Stelle zu rühren, konnte man die Vögel in eine Welt des *make believe* versetzen und in Ruhe studieren, wie sich einzelne Manipulationen der Umweltbedingungen auf ihr Verhalten auswirkten. Man konnte mit Hilfe von Spiegeln künstliche Sonnen auf- und untergehen lassen, konnte einen künstlichen Sternenhimmel über dem Käfig anbringen und die Konfiguration der Gestirne und ihre Bewegungen variieren, konnte natürlichen Wind wehen lassen oder ihn ablenken, konnte das natürliche Magnetfeld aufheben oder künstliche Magnetfelder um den Käfig erzeugen, konnte Tag und Nacht verschieben, so daß der Tag für sie zu einer anderen Stunde begann und endete. Was über die Orientierung bei Vögeln heute bekannt ist, weiß man in der Hauptsache von Brieftauben und aus solchen Experimenten.

Gustav Kramer selber entdeckte als erstes den Sonnenkompaß, etwa zur gleichen Zeit, als Karl von Frisch ihn ganz ähnlich bei seinen Honigbienen beschrieb. Vögel und Bienen (und sicher viele andere Tiere) richten sich – im Wortsinn – nach der Sonne. Wie hoch die Sonne steht, ist ihnen dabei schnuppe. Auch wenn sie, im Laborexperiment, mittags am Horizont steht und abends am höchsten, irritiert sie das nicht im mindesten. Es interessiert sie nur, in welcher Richtung die Sonne steht: der Azimut der Sonne also (der genau genommen der Winkel ist, den eine gedachte Vertikalebene der Sonne mit der Richtung Süden bildet). Ihr Sonnenkompaß ist also ein Sonnenazimutkompaß. Er zeigt ihnen die Himmelsrichtung auf plusminus drei bis fünf Grad genau an.

Aber wie können sie sich nach einem Himmelskörper richten, der nicht feststeht, sondern dessen Azimut unablässig wandert? Stunde um Stunde rückt der Sonnenazimut ja um 15 Bogengrade weiter. Die Sonne funktioniert als Richtungsweiserin nur, weil Vögel und Bienen deren Bewegung von vornherein in Rechnung stellen. Wollen sie zum Beispiel mit Hilfe der Sonne eine bestimmte Flugrichtung einhalten, so korrigieren sie ihren Winkel zum Sonnenazimut ständig, mit jeder Stunde um 15 Grad. Ihr Sonnenazimutkompaß ist «zeitkompensiert», wie man es ausdrückt.

Vielleicht als Teil ihres Sonnenkompaß, vielleicht als eigenständiges Orientierungssystem haben Nachtzieher auch einen Sonnenuntergangskompaß. Wenn sie kurz vorm Dunkelwerden starten, zeigt ihnen der Feuerball am Horizont, wo ungefähr Westen ist, und sie richten sich danach.

Möglicherweise müssen die Vögel die Sonne selbst gar nicht sehen, um deren Azimut bestimmen zu können: nämlich dann, wenn sie erkennen, was Bienen und andere Insekten mit Sicherheit erkennen, der

Mensch aber nicht, jedenfalls nicht mit bloßem Auge: das Polarisationsmuster des Himmels. Es kommt dadurch zustande, daß das Sonnenlicht, welches uns direkt erreicht, in allen Winkeln senkrecht zu seiner Ausbreitungsrichtung schwingt; je stärker es aber von der Erdatmosphäre gestreut wird, desto stärker werden seine Schwingungen in einer Ebene ausgerichtet («polarisiert»). Das führt dazu, daß sich in einem Winkel von 90 Grad zur Sonne ein Art Reifen der größten Polarisation über die Himmelskuppel spannt. Wenn die Sonne aufgeht, zieht er sich durch den Zenit; je höher sie steigt, desto weiter klappt er nach Westen; steht sie selber im Zenit, zieht er sich um den ganzen Horizont. Das Auge, das den Polarisationsgrad des Lichtes wahrnimmt, braucht nur einen Teil des Himmels zu sehen, um dem zu entnehmen, in welcher Richtung die Sonne gerade steht. Bis vor kurzem meinte man, auch Vögel hätten ein Auge für den Polarisationsgrad des Lichts; seit ein paar Jahren steht das wieder in Frage.

Der zweite Kompaß der Zugvögel wurde 1967 von dem amerikanischen Zoologen S.T. Emlen am Indigofinken nachgewiesen. Es ist der Sternkompaß. Nachtzieher, denen der Sonnenkompaß nichts nützt, ziehen den Sternenhimmel zu Rate, um ihre Richtung einzuhalten. Erst dachte man, sie täten es wie der menschliche Navigator, der ein bestimmtes Gestirn (wie den Polarstern) oder ein Sternbild (wie das Kreuz des Südens) anpeilt. Sie haben ein besseres Verfahren. Immer kann es ja vorkommen, daß bestimmte Sterne gerade verdeckt sind. Sie sind nicht auf sie angewiesen, denn sie achten gar nicht auf einzelne Sterne, sondern nur darauf, um welche Achse sich der gesamte Sternenhimmel dreht, und an dieser richten sie sich aus. Überm Äquator bewegen sich die Sterne am meisten beziehungsweise am schnellsten, zu den Polen immer weniger, und ein Stern genau am Pol würde sich nicht von der Stelle rühren. Es ist dieser Punkt, den die Vögel an der Drehung des ganzen Himmels erkennen. Der Kompaß heißt deswegen Himmelsrotationskompaß.

Nur Raubvögel haben ein schärferes Auge als der Mensch; das der Körnerfresser ist meistens schlechter. Aber bei den meisten Vögeln ist die zeitliche Auflösung des Auges größer. Die 60 statischen Einzelbilder pro Sekunde, die der Mensch im Fernseher sieht, verschmilzt sein Auge zu einem fortlaufenden bewegten Bild. Der Vogel sähe sie als lauter einzelne Bilder, denn seine «Flimmerverschmelzungsfrequenz» liegt über 100. So hat er das feinere Auge für Bewegungen; auch wenn er sich im Sturzflug auf eine Beute stürzt, verschwimmt ihm nicht alles vor Augen. Und vielleicht, sagt der amerikanische Biologe Jerry Waldvogel, sind die Vögel imstande, tatsächlich zu *sehen*, wie sich der ganze Himmel um seine Pole dreht.

Das dritte Kompaßsystem, das 1965 von F.W. Merkel am Rotkehlchen entdeckt und dann vor allem von dem Frankfurter Biologen Wolfgang Wiltschko erforscht wurde, ist tatsächlich ein Magnetkompaß. Man war wohl darum nicht eher darauf gekommen, weil der ganze Magnetismus in der Biologie lange als irgendwie unseriös galt. Wenn auch die Vögel sich

am Magnetfeld der Erde orientieren, so unterscheidet sich ihr Kompaß doch wiederum von dem des Menschen, und zwar vorteilhaft. Der Kompass des Menschen ist ein Polaritätskompaß. Er zeigt, in welche Richtung die (gedachten) Linien des Magnetfeldes verlaufen, das die Erde um sich trägt, also polwärts. Aber wie schon mancher Seefahrer zu seinem Leidwesen feststellen mußte, ist der magnetische Nordpol nicht identisch mit dem geographischen; je näher man ihm rückt, desto stärker macht sich die Mißweisung bemerkbar. Außerdem krankt er an vielen bloß lokalen Unregelmäßigkeiten.

Der Magnetkompaß, den die Vögel benutzen, ist von anderer Art. Er ist ein Inklinationskompaß, nämlich einer, der nicht die Richtung der Feldlinien mißt, sondern den Winkel, in dem diese in die Erde eintauchen. Aus dem Südpol entspringen sie senkrecht, über dem Äquator verlaufen sie waagrecht, dann vergrößert sich ihr Neigungswinkel langsam wieder, und am Nordpol verschwinden sie wiederum senkrecht in der Erde. Die Richtung, in die hin dieser Winkel steiler wird, ist also «polwärts»; jene, in der er sich abflacht, ist «äquatorwärts».

Mit diesen drei Kompassen ist das Orientierungsvermögen der Vögel so redundant ausgelegt, wie man es einer Hochleistungskreatur auch nur wünschen kann. Liefert der eine zur Zeit keine brauchbare Information, ist immer noch ein anderer da, der einspringen kann. Es gibt Anzeichen dafür, daß sie im Vitalischen Organ des Innenohrs als weiteres «Instrument» noch eine Art Barometer besitzen, welches sie über Luftdruckverhältnisse unterrichtet und somit einen Höhenmesser und vielleicht sogar einen Wetterpropheten abgibt. Tauben jedenfalls registrieren Luftdruckschwankungen von 1 Millibar, entsprechend 10 Metern Höhenunterschied; sie können so auch in Wolken ihre Flughöhe einhalten.

Wolfgang Wiltschko beschreibt das ganze etwa folgendermaßen. Junge Vögel (Tauben) betreiben auf ihren ersten Flügen noch «Wegintegration» (wie es zum Beispiel auch manche Ameisenarten tun): Auf dem Transport zur Auflassungsstelle «berechnen» sie ständig, und zwar anhand des Magnetfeldes, in welcher Richtung der heimatliche Schlag liegt, und diese schlagen sie ein, sobald sie aufgelassen werden. Werden sie in einem verzerrten künstlichen Magnetfeld transportiert, so können sie sich nicht orientieren. Nach etwa drei Monaten aber etabliert sich bei ihnen der Sonnenkompaß; er wird am Magnetkompaß geeicht. Von da an dominiert er; bei bedecktem Wetter aber übernimmt wieder der Magnetkompaß.

«Diese Tiere sind schließlich keine Automaten», sagt Wiltschko: Sie wählen das System, mit dem sie bisher die besten Erfahrungen gemacht haben und das ihnen momentan die sichersten Weisungen liefert.

Die geringste Rolle spielt dabei das, was man als Mensch für das Naheliegendste halten möchte: die Sichtpeilung. Früher glaubte man, die Tauben flögen einfach von Landmarke zu Landmarke, von Kirchturm zu Kirchturm. Genau das tun sie nicht. Sie finden sicher auch aus Gebieten heim, wo sie noch nie waren und keinen einzigen Turm kennen. Und wenn man einen

ihrer Kompass verstellt hat, ignorieren sie auch Landmarken, die sie von Dutzenden von Heimflügen kennen, und halten sich an ihre (in diesem Fall falsche) Kompaßrichtung. «Auf Sicht» fliegen sie erst in der Nähe ihres Schlags; und auch da noch verlassen sie sich manchmal lieber auf einen Kompaß.

Bei nachziehenden Vögeln dominiert in der Jugend und zu Beginn des Zuges der Sternkompaß, der ihnen ebenso wie der Magnetkompaß genetisch vorgegeben ist, in Form einer Instruktion, die etwa lauten müßte: «Achte darauf, um welchen Punkt sich der Nachthimmel dreht, und halte einen bestimmten Winkel dazu ein.» Aber je weiter sie nach Süden vordringen, desto mehr entschwinden die Sterne der Jugend ihrem Blick; überm Äquator sehen sie den ruhenden Pol schließlich gar nicht mehr. Darum dominiert auf dem Zug der Magnetkompaß; an ihm werden auch die neu auftauchenden Sternenhimmel geeicht. Dort, wo der Magnetkompaß aussetzt, in einer Zone von etwa 150 Kilometern über dem Äquator, in dem die Feldlinien waagrecht über die Erdoberfläche verlaufen und keine Inklination meßbar ist, müssen sie sich wiederum ganz auf den Sternkompaß verlassen. Und auf der anderen Seite des Äquators muß der Magnetkompaß umgepolt werden. Im Frankfurter Labor wurden zugunruhige Gartengrasmücken für eine Weile in ein waagrechtes Magnetfeld gesetzt, das diese Äquatortaufe simulierte: Prompt änderten sie darauf ihre Zugrichtung von Süd nach Nord. Es ist eben High Tech, worüber diese kleinen Viecher verfügen, wie Konrad Lorenz sie anerkennend genannt hätte.

Soweit aber erlaubt das ganze High Tech nur die Richtungs-, nicht aber die Positionsbestimmung in Relation zu einem Ziel, also auch keine wirkliche Navigation. Dazu braucht der Vogel, wie Gustav Kramer schon 1953 klar erkannte, auch noch eine «Karte» seiner Umgebung und die Fähigkeit, sich selber innerhalb dieser Karte zu «verorten».

Das Wort «Karte» ist natürlich nicht wörtlich zu verstehen. Die Karte eines Tiers muß nicht aussehen wie eine menschliche Landkarte; sie muß überhaupt nicht *aussehen*. «Karte» ist nur eine Metapher. Was gemeint ist, ist eine innere Vorstellung des umgebenden Raumes, und zwar eine, die in einer Kompaßrichtung ausgerichtet ist (denn eine Karte, auf der man nicht weiß, wo Norden ist, ist für Zwecke der Orientierung nutzlos). Diese Vorstellung kann visueller Natur sein, muß es aber keineswegs. Auch Magnet- oder Elektro- oder Geruchs- oder Schall- oder Trägheitskarten wären denkbar – und solche, die mehrere solche Modalitäten miteinander verbinden.

Eine Karte darf nicht mit einer Folge von Fährten verwechselt werden. Wer mit seinem Ziel durch eine direkte Spur verbunden ist, so wie Theseus durch Ariadnes Leitfaden mit dem Ausgang des Labyrinths verbunden war oder Hänsel und Gretel durch die auf dem Weg heimlich weggeworfenen Kiesel mit dem Haus des Vaters oder manche Ameisen durch eine selbstgelegte Duftstraße mit ihrem Bau, der braucht überhaupt keine

Karte und noch nicht einmal einen Kompaß. Er muß nur immer der Spur folgen, und wo sie abbricht, ist er verloren. Zugvögel aber und vermutlich auch Brieftauben finden ihr Ziel von überallher gerade ohne jede gelegte Spur.

Jede «Karte» muß zwei Koordinaten aufweisen, denn um einen beliebigen Punkt auf einer Fläche zu lokalisieren, sind mindestens zwei Koordinaten nötig, die möglichst senkrecht aufeinander stehen sollten. Wer nur wüßte, daß er sich soundsoweit nördlich von seinem Ziel befindet, fände den Weg dorthin noch nicht; er müßte auch noch wissen, wie weit er von ihm in Ostwestrichtung entfernt ist. Was die Tiere brauchten, wäre also die Wahrnehmung von zwei Gradienten irgendwelcher Art: zwei Dingen ihrer Umwelt, die sich in einer bestimmten Kompaßrichtung auf eine stetige Weise verändern. Wüßten sie dann zum Beispiel: «Dort, wo ich gerade bin, ist X schwächer als zu Hause, und stärker wird X immer in Richtung Pol, also da lang, wo der magnetische Inklinationswinkel größer wird», so hätten sie die eine Koordinate und wüßten, daß sie nach Norden fliegen müssen. Wüßten sie außerdem: «Hier ist Y stärker als am Nest, und schwächer wird es immer in Richtung Sonnenuntergang», hätten sie auch die andere. Sie kennten die Ist-Werte der beiden Gradienten am Start und erinnerten sich an deren Soll-Werte am Schlag – und flögen «einfach» in jene Richtung, in der sich die beiden Parameter den zu Hause gewohnten Werten nach und nach annähern.

Merkwürdigerweise nehmen Tauben (und auch Wildvögel) nach der Auflassung zunächst regelmäßig einen falschen Kurs, wenn auch keinen völlig verkehrten. Vielleicht hängt es damit zusammen, daß sie zuerst nur einen einzigen Gradienten wahrnehmen und den zweiten dann erst im Laufe ihres Flugs erspüren.

Welches diese beiden Gradienten sind, an denen sich die Vögel orientieren, weiß man nicht. Zumindest ein Kandidat für die Bestimmung der geographischen Breite aber wurde gefunden. Es ist ein zweiter Magnet-sinn, einer, der nicht reagiert, wenn sich die Neigung der Feldlinien ändert, sondern wenn die Gesamtintensität des Magnetfeldes zu- oder abnimmt.

Dieses hat, versteckt unter allerlei lokalen Anomalien und regelmäßigen tagtäglichen Schwankungen, ein deutliches Nord-Süd-Gefälle: stärker an den Polen, schwächer am Äquator. «Wo ich gerade bin, fühlt es sich es viel 'magnetischer' an als zu Hause», hieße auf der Nordhalbkugel also: «Ich muß eine weite Strecke nach Süden fliegen, wenn ich meinen Schlag erreichen will.»

Daß Tiere für winzige Veränderungen des sowieso nur schwachen irdischen Magnetfelds empfindlich sein sollen, mutet viele noch an wie Spuk. Das Spukhafte wird sich erst dann ganz verlieren, wenn der Sensor gefunden und seine Funktionsweise beschrieben ist. Seit einigen Jahren wird intensiv nach ihm gesucht, bisher ohne Erfolg. Zweierlei immerhin wurde gefunden. Zum einen hat ein Forscherteam in Kalifornien bei vielen Tieren

Magnetitpartikel im Nervengewebe aufgespürt, vor kurzem übrigens auch beim Menschen. Sie könnten sozusagen die Antenne für die magnetischen Verhältnisse der Umwelt darstellen. Zum anderen haben Peter Semm in Frankfurt und Robert Beason in New York beim amerikanischen Reisstärling, der aus dem Süden Kanadas über den Äquator zieht, einzelne Nervenfasern gefunden, die «feuern», wenn sich das umgebende Magnetfeld ändert. Manche, hochempfindliche im Oberschnabel, reagieren nur auf Intensitätsänderungen und könnten also Information über die geographische Breite liefern. Andere, die sich in der Retina befinden und nur reagieren, wenn der Vogel gleichzeitig etwas sieht, registrieren Richtungsänderungen des umgebenden Magnetfeldes, könnten also Teil eines Kompasses sein. Der Befund gibt zu denken.

Sehen diese Vögel vielleicht die Richtung des Magnetfeldes, so wie wir den Regen eines nahenden Gewitters sehen?

Aber welches ist die zweite Koordinate der Karte? Sie bleibt noch zu entdecken. Entdeckt wurde, daß die Vögel, zumindest die Tauben und zumindest manchmal, auch noch ganz andere Orientierungshilfen zu Rate ziehen, die einen Beitrag zu der Karte liefern könnten.

Die eine ist Infraschall: Schall von weniger als 10 Hertz (Schwingungen pro Sekunde), Geräusche also, die so tief sind, daß das menschliche Ohr sie nicht vernimmt. Er breitet sich bis zu tausend Kilometer ohne merkliche Abschwächung aus. Die Erde ist voll von Infraschallgeräuschen, erzeugt von der Brandung oder dem Wind, der über Gebirgskämme streicht, oder auch von Industrieanlagen. Es wurde nachgewiesen, daß Tauben, Perlhühner und andere Vögel (und im Meer der Kabeljau) tatsächlich ein Ohr für Infraschall haben. Tauben hören Töne bis hinab zu 0,5 Hertz, und sie hören sie wirklich und nehmen sie nicht auf irgendeine andere Weise wahr. Möglicherweise hören die Vögel also etwa ein unvorstellbar tiefes Rumpeln aus Nordwest, das ihnen anzeigt: Von Schottland her kommt jetzt ein Schlechtwettergebiet, bleib lieber zu Hause. Zur Orientierung aber scheinen die Tauben ihr Gehör für tiefe Töne nur manchmal und hilfsweise einzusetzen.

Anders ist es mit ihrem Geruchssinn, der unwahrscheinlicherweise sehr scharf ist. Floriano Papi von der Universität Pisa und in Deutschland Hans G. Wallraff vom Institut für Verhaltensphysiologie in Seewiesen haben seit Anfang der siebziger Jahre manches zur Aufklärung des täubischen Geruchssinns beigetragen und setzen auf ihn: Geruchskarten könnten die wundersamen Heimfindeleistungen zu einem großen Teil erklären. Tatsächlich scheinen die Tauben imstande, die Gerüche, die sie erreichen, nicht nur zu identifizieren, sondern auch mit der herrschenden Windrichtung zu verrechnen («Wenn T der Terpenteruch des Waldes im Nordwesten ist und mich an meinem Schlag bei Westwind die Duftkombination TXY erreicht, weiß ich auch dann, wenn ein Südwestwind die Duftkombination XYZ heranweht, wolang es zu T geht.»)

Es scheint jedenfalls, daß Papis italienische Tauben sich stark an Gerüchen orientieren, vielleicht weil in Italien mehr ortsgebundene Düfte in der Luft liegen, die deutschen aber weniger. «Das ist überhaupt manchmal zum Verzweifeln», sagt Wolfgang Wiltschko. «Als ich mich auf Tauben verlegt habe, dachte ich, das ist nun endlich einmal ein einfaches Modell, um herauszufinden, wie ein Zugvogel in der letzten Phase seines Heimkehrflugs navigiert. Und dann zeigt sich: Sie machen es heute so, morgen so; oder die eine so, die andere aber ganz anders.» Daß Spurengase Vögel auf ihren weiten Zügen leiten könnten, ist indessen so gut wie ausgeschlossen; nach spätestens ein paar hundert Kilometern wären auch die stärksten Gerüche verweht.

Wozu Vögel mit ihrem komplexen Orientierungssystem imstande sind, das zeigt eine Art wie die Küstenseeschwalbe, die Weltmeisterin der Langstreckenmigration.

Schwalbe heißt sie eigentlich zu Unrecht. Sie ist eine kleinere weiße Möwe mit schwarzer Haube, aber ihr gedrungener, schnittiger, eleganter Körper hat tatsächlich etwas Schwalbenhaftes. Im Frühsommer brütet sie an den Küsten des Nordens, von Friesland bis weit hinauf in die Polarregion. Geht der arktische Sommer zu Ende und sind die Jungen flugfähig, verlassen sie die Brutstätten. In der Gegend der Biskaya treffen sich die Ströme aus Europa und die aus Grönland und Nordostamerika. Gemeinsam fliegen sie zum Kap Verde vor der Westspitze Afrikas. Dann teilen sie sich in drei Züge: Einer fliegt entlang der südamerikanischen Küste, einer mitten über den Südatlantik und einer über das Kap der Guten Hoffnung bis an die Antarktis, wo es gerade Sommer wird. Hier, am Rand des Packeises, über dem sauer- und nährstoffhaltigen Wasser, das vor den Küsten des antarktischen Kontinents aufsteigt, verbringen sie eine nomadische Saison, die meisten im äußersten Süden des Indischen Ozeans. Sobald sich aber der Winter ankündigt, verlassen sie die üppigen Futtergründe wieder, so eilig und zielbewußt wie auf dem Hinweg, und kehren an ihre jeweiligen Brutplätze in den Frühling der Arktis zurück – punktgenau. In Norwegen fand man einmal eine Küstenseeschwalbe, siebenundzwanzig Jahre nach ihrer Beringung neben ihrem alten Nest an Altersschwäche gestorben. Auf ihrem jährlichen Hin und Her fast von Pol zu Pol legen diese Vögel eine Strecke von 20 bis 30 Tausend Kilometern zurück. Es ist eine Leistung, die dem Menschen mit all seinem hochtechnischen Hilfsgerät schwer fiele.

Ein Literaturverzeichnis zu diesem dreiteiligen Wissenschaftsreport findet sich am Ende von Teil 3.