

Neue Daten zu den Wanderungen europäischer Tiere

Martin Wikelski

Zusammenfassung

Die Erforschung von Tierwanderungen hat durch den Einsatz von Minisendern einen enormen Aufschwung genommen, in der Datenbank Movebank sind inzwischen über 500 Millionen GPS-Punkte weltweit zusammengefasst. Mit diesen Daten können zum Beispiel über individuelle Bewegungsmuster Populationsprozesse untersucht werden. Innerhalb von Amselpopulationen mit Zug-, Teilzug- oder sesshaftem Verhalten haben Tiere, die im Winter wandern, eine höhere Überlebenswahrscheinlichkeit als solche, die sesshaft sind. Daneben gibt die individuelle Nachverfolgung von Störchen Auskunft über ihren Energieverbrauch während des Flugs und am Boden, aber auch über ihre Todesursachen entlang der Zugwege. Über Populationsvergleiche können so die Hauptgefahrenquellen entlang der Zugstrecken erkannt werden, was zur Entwicklung wirkungsvoller und adäquater Schutzmaßnahmen beiträgt. Derzeit verenden z. B. fast alle der besenderten Jungstörche, die auf der sog. Ostroute nach Afrika fliegen. Bei Möwen und Tauben liefern die während des Flugs gespeicherten Daten wichtige Beiträge zur Navigation und Orientierung der Tiere.

Mit dem künftigen Projekt ICARUS wird ein globales Sendersystem für Naturereignisse und für Lebensvorgänge auf dem Planeten etabliert werden, das auch die Wanderbewegungen von Tieren einschließt. Im Gegensatz zu den herkömmlichen Minisendern, auf denen die gespeicherten Informationen von dem Datenlogger heruntergeladen werden müssen, werden die neuen Sender kontinuierlich weltweit sowohl Bewegungs- als auch z. B. meteorologische Daten in Echtzeit an die Movebank liefern. Besenderte Tiere werden dann u. a. zur Vorhersage von Naturkatastrophen, zur Erkennung bei der Ausbreitung von Krankheiten oder zu Wetterbeobachtungen beitragen.

Summary

New data on the migration of European animals

The use of miniature transmitter gave a boost to the study of animal migrations. Up to now, the databank movebank holds over 500 millions GPS points worldwide. These data sets now allow us to study population processes by using the patterns of movement of individual animals. Within blackbird populations with different migration behavior, the survival probability of migratory birds exceeds that of sessile ones. Furthermore, the individual tracking of storks gives details about the use of energy during their flight and at the ground, but also about the causes of death along their migration routes. Population analyses can then help to recognize the main risks along the migration routes, and thus contribute to the development of sustainable and adequate conservation strategies. At the moment, nearly all of the GPS tagged juvenile storks die along the eastern migration route to Africa. Finally, the data of tagged sea gulls and doves help to study navigation and orientation of birds.

Within the nascent ICARUS project, a global transmitter system to study natural events and life processes on earth will be established, which also includes migration movements of animals. While the sampled data of conventional miniature transmitters must be downloaded from the data logger, the new transmitters used in the ICARUS project will send movement data or, e.g., meteorological data worldwide continuously and in near-real time to the movebank databank. Thus, tagged animals will help to forecast natural disasters, to recognize the spread diseases via animals or to observe weather conditions.

✉ Prof. Dr. Martin Wikelski, Max-Planck-Institut für Ornithologie, Abteilung Tierwanderungen und Immunökologie, Vogelwarte Radolfzell, Am Obstberg 1, 78315 Radolfzell; wikelski@orn.mpg.de

Einführung: Warum studieren wir Tierwanderungen?

Die Erforschung von Tierwanderungen hat in den letzten Jahren aufgrund des enormen Fortschritts in der Datenerfassung über Minisender einen ganz neuen Aufschwung genommen. Mittlerweile liegt eine Fülle von Informationen vor, etwa 500 bis 600 Millionen GPS-Punkte von Tieren, die sich weltweit bewegen; auch für Deutschland ist die Datenlage sehr gut. An der Vogelwarte Radolfzell, heute eine der vier Abteilungen des Max-Planck-Instituts für Ornithologie, beschäftigen wir uns dabei nicht nur mit Tierwanderungen, sondern auch mit dem Schwarmverhalten der Vögel und anderer Tiere. In dem folgenden Beitrag möchte ich zeigen, welche faszinierende neue Methoden uns heute zur Verfügung stehen und welche Fragestellungen wir damit vorrangig untersuchen.

Das Studium von Tierwanderungen trägt einen wichtigen Teil zum fundamentalen Verständnis der Ökologie bei. Ich selber bin nicht weit von München, am Wörthsee, aufgewachsen und habe mich immer schon für Rauchschwalben und ihren Flug nach Afrika und zurück interessiert. An der Princeton University bin ich darin bestätigt worden, wie spannend dieser Vogelzug als fundamentales Thema der Ökologie ist. Um zu verstehen, wie Populationsentwicklungen bei wandernden Tieren funktionieren, muss man Tierwanderungen verstehen.

1778 stand am Anfang der quantitativen Ökologie die Beobachtung von Gilbert White, dass es in der kleinen Ortschaft Selborne in Hampshire, England, immer dieselbe Anzahl an Mauerseglern (*Apus apus*) gab, während sich die Anzahl der Rauchschwalben (*Hirundo rustica*) und Mehlschwalben (*Delichon urbicum*) jedes Jahr änderte (White 1789). Kevin Gaston und Lord Bob May haben vor etwa 30 Jahren festgestellt, dass sich an diesem Befund bis heute nichts geändert hat, obwohl sich die Ortschaft in den über 200 Jahren seitdem fundamental verändert hat. Sie stellten fest, dass wir praktisch keine Ahnung haben, welche Mechanismen hinter der Stabilität, den zyklischen Veränderungen oder den unregelmäßigen Schwankungen der Populationen stecken (Lawton & May 1983). Ich habe daraufhin Bob May vorgeschlagen, jedes der Tiere zu besondern, um herauszufinden, wo es lebt, wo

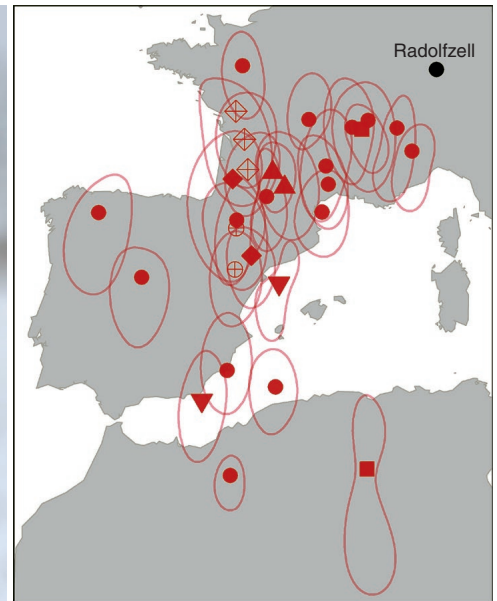
es überlebt, ob es wieder zurückkommt bzw. wo es stirbt. Diese Daten können wir dann mit den Populationsentwicklungen zusammenführen und damit das 300 Jahre alte Rätsel endlich lösen und das Verständnis der quantitativen Ökologie kleiner Tiere voranbringen.

Bewegungsmuster, Populationsanalyse und Überlebenswahrscheinlichkeit bei Amseln

Derzeit lassen sich kleine Singvögel nur über längere Zeiträume beobachten, indem wir sie mit kleinen Sendern versehen, die erst nach der Rückkehr der Tiere (bzw. nach Auffinden der Sender) ausgelesen werden können. Jesko Partecke aus unserer Arbeitsgruppe macht dies bei Amseln (*Turdus merula*; Abb. 1a), die in Deutschland ein Teilzugverhalten, in Polen und Russland ein reines Zugverhalten und in Südfrankreich und Spanien ein sesshaftes Verhalten zeigen. Mithilfe von Geolokatoren (Lichtloggern)¹ konnte er zeigen, in welche Richtungen die Amseln von ihrem Brutgebiet in Baden-Württemberg aus ziehen und wo sie überwintern (Abb. 1b) (Zúñiga et al. 2017). Um die zugrunde liegenden Mechanismen im genomischen Bereich zu untersuchen, haben wir in einer Population die Transkriptionsfaktoren der Tiere, die wandern, und der Tiere, die nicht wandern, analysiert (Franchini et al. 2017). Interessanterweise ergab sich dabei, dass sich nicht nur wandernde und nicht wandernde Amseln voneinander unterscheiden, sondern sich innerhalb der wandernden Tiere zwei Gruppen voneinander trennen lassen (Abb. 2). Das heißt, wir müssen stark ins Detail gehen, wenn wir die Mechanismen, die letztlich hinter der Wanderung stecken, herausfinden wollen.

Wir konnten auf Populationsniveau über die letzten sechs Jahre zeigen, dass die Tiere, die wandern, im Winter eine höhere Überlebenswahrscheinlichkeit haben als die Tiere, die hier bleiben (Abb. 3). Dies ist spannend, weil meist davon ausgegangen wird, dass bei Tieren, die

1 Ein Sensor auf einem Speicherchip zeichnet alle zwei Minuten einen Lichtintensitätswert auf und speichert diesen mit der genauen Zeit und dem Datum ab. Aus diesen Daten lässt sich die Position zum jeweiligen Zeitpunkt auf etwa 200 Kilometer genau bestimmen.



b ● Tiere ohne wiederholte Messung
⊕ ⊗ ◆ ◆ ◆ ▲ Tiere mit mind. 2 wiederholten Messungen

Abb. 1. Amsel (*Turdus merula*) mit Sender (a) und Überwinterungsgebiete von Amseln, die in Radolfzell brüten und besendert wurden (b). – a, Foto: Adam Fudickar; b, nach Zúñiga et al. (2017).

wandern, die Überlebenswahrscheinlichkeit geringer ist, und daraus abgeleitet wird, dass es sich möglicherweise um Individuen mit geringerer Fitness handelt. Wir konnten nun das Gegenteil zeigen und dies ist vermutlich der Grund, warum in unserer Population am Bodensee die Wanderungen nach Frankreich auch angesichts des Klimawandels, d.h. der bei uns milderen Winter, überhaupt noch stattfinden.

In Zukunft werden wir die Amseln verpaaren, z.B. Tiere aus Frankreich mit solchen aus Russland, und dann wieder aussetzen. Peter Berthold und Franz Bairlein haben vor vielen Jahren mit diesen Experimenten in Radolfzell begonnen. Wir können jetzt damit ins Freiland gehen und testen, wie sich die Amseln entscheiden und was genetisch, traditionell oder durch Imprinting² weitergegeben wird.

Wir haben jetzt also eine Möglichkeit, eine Verbindung zwischen Bewegungsmustern und Populationsprozessen herzustellen. Über die neuen Methoden in der Freilandbeobachtung können wir darüber hinaus noch sehr viel mehr über die Ontogenese, die Navigation und Orientierung sowie das Kollektivverhalten herausfinden. Ein Beispiel dafür sind Weißstörche.

Besenderung von Weißstörchen: Flugstrecken, Energieumsatz und Überlebensraten

Störche sind traditionell sehr gut untersucht. Die Weißstörchin (*Ciconia ciconia*) »Prinzesschen« wurde 1994 in einem Alter von 3–4 Jahren besendert und bis zu ihrem Tod durchgehend beobachtet. Seit 1993 verbrachte Prinzesschen das Sommerhalbjahr nahe dem Storchenhof Lohburg (Sachsen-Anhalt), im Jahr 2000 starb sie in Südafrika. Abbildung 4 zeigt den Zugweg von Prinzesschen. Zu Beginn der Aufzeichnungen wurden über Satellitentelemetrie nur 10–15 Punkte pro Jahr mit großer Ungenauigkeit erfasst. Inzwischen haben wir alle Populationen von Weißstörchen in Europa und Asien untersucht

2 Genomische Prägung (genomic/genetic imprinting): Die Genexpression hängt davon ab, von welchem Elternteil das Allel stammt; nur die von der Mutter oder nur die vom Vater stammende Genversion ist aktiv.

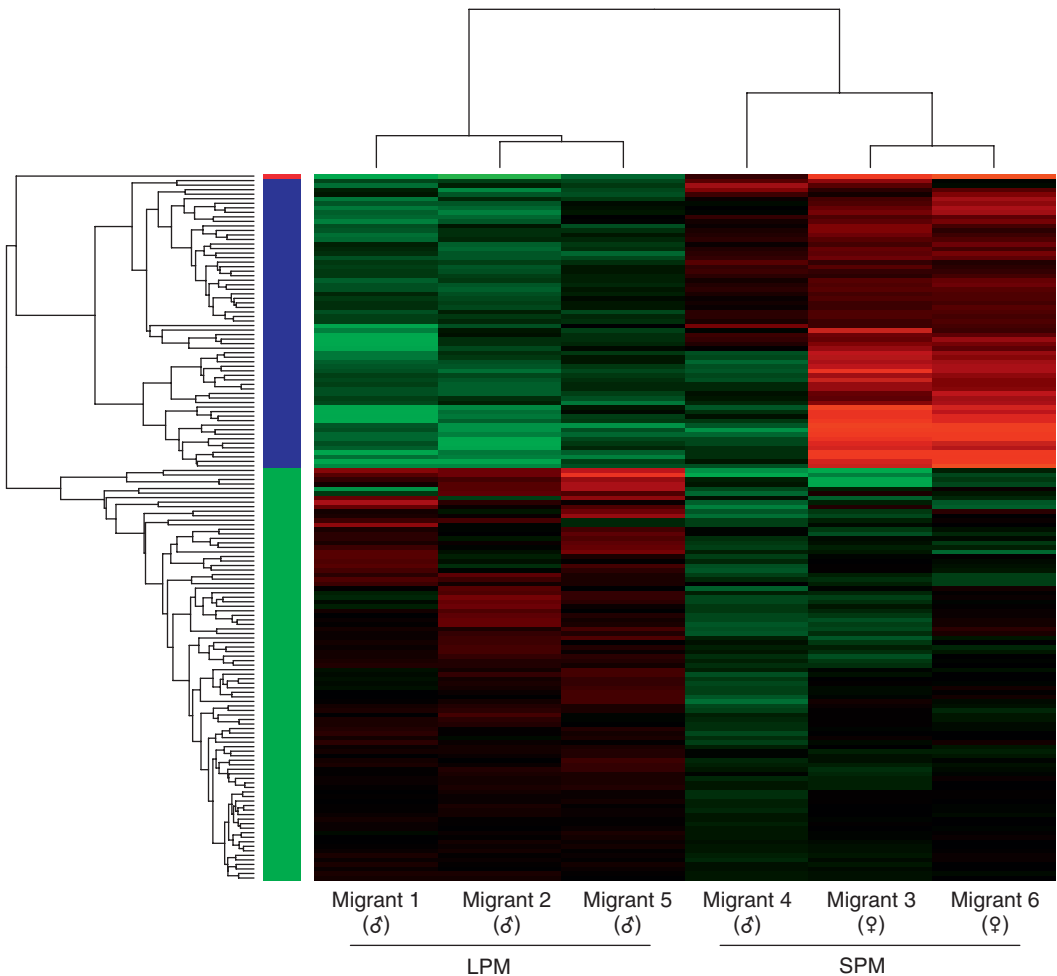


Abb. 2. Transkriptomanalyse vom Blut wandernder Amseln (heat map: rot = hohe, grün = geringe Expression von 156 Genen). Zeitraum zwischen Blutabnahme und Abflug: LPM: durchschnittlich 16 Tage, SPM: durchschnittlich 8 Tage. – Franchini et al. (2017).

und die Daten sind so gut, dass wir teilweise jede Sekunde nicht nur einen GPS-Punkt, sondern auch die Beschleunigungswerte bekommen, d. h., wir kennen auch das Verhalten der Tiere im Flug. Wir sehen uns in Spanien, in Tunesien und in Usbekistan die Nester auf den Bäumen an (Abb. 5a,b) und besonders die Störche (Abb. 5c,d), immer in Zusammenarbeit mit der lokalen Bevölkerung. Das Schöne bei den Störchen ist, dass die Menschen vor Ort und unterwegs an den Zugstrecken mit großer Begeisterung an dem Projekt teilnehmen wollen.

Jeder Storch hat also einen Sender am Rücken, mit dem er auf Reisen geht. Bei einigen

endet die Reise schon kurz nach dem Abflug, einer der Störche ist z.B. nach kurzer Strecke in ein Güllebecken gefallen und dann verendet. Ein anderer ist vermutlich vor einem Sandsturm davongeflogen und in einer Oase in Marokko gelandet. Er wird, angeblich halb blind, dort von einem Mädchen gepflegt. Wir haben ihn aus der Untersuchungspopulation genommen, weil er nicht mehr in natürlicher Weise lebt. In anderen Fällen finden wir nur noch den Logger, die »Black Box« (Abb. 5e). Es steckt sehr viel Arbeit in der Wiederfindung der Sender, aber die Information, die auf dem Logger ist, liefert wertvolle Daten zum gesamten Leben des Tieres. Manchmal erhalten

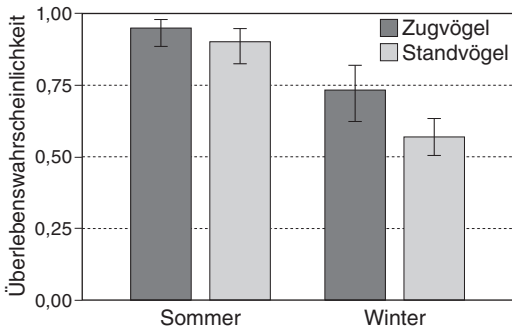


Abb. 3. Durchschnittliche saisonale Überlebenswahrscheinlichkeit (Sommer und Winter) wandernder und nicht wandernder Amseln (*Turdus merula*) über 6 Jahre am Bodanrück (Bodensee). – Zúñiga et al. (2017).

wir nur noch die Speicherkarte, weil der Logger intensiv untersucht worden ist (Abb. 5f).

Einige Störche fliegen offenbar zu spät los, werden vom Schnee überrascht und sterben dann. Oft kontaktieren wir auch die Leute vor Ort und bitten sie zu beobachten, was der Storch gerade macht. Auf diese Weise sehen wir z.B., was

er im Winter frisst. Ein anderer Storch ist ins Inntal geflogen, von dort aus aber nicht weiter über die Alpen, sondern ist dann nach Altötting zurückgefliegen, wo er sich einen Bauernhof ausgesucht hat. Von der Bäuerin wurde er täglich mit warmem Wasser versorgt und er klopfte an der Tür, wenn er Hunger hatte. Wir sind davon ausgegangen, dass aus ihm ein zahmer Storch wird, der auf dem Hof bleibt, aber das erwies sich als falsch. Im nächsten Jahr ist er in den Tschad geflogen, wo er leider verendet ist.

Andere Störche ziehen als Jungstörche zu schnell mit den Adultstörchen mit und überfordern sich. Wir haben z. B. einen Storch verfolgt, der zu schnell nach Afrika geflogen ist und zu viel Energie verbraucht hat. Er ist dann an Erschöpfung in einem Beduinencamp gestorben.

Mit unseren Daten konnten wir zeigen, dass die Jungvögel im Flug sehr viel mehr Energie verbrauchen als die Adultvögel (Abb. 6, Rotics et al. 2016). Wir können so zum ersten Mal verstehen, wie sich ein Verhalten entwickelt und was es kostet. Aus den Daten lassen sich Landkarten des Energieverbrauchs der Tiere erstellen, auch können wir Genaueres über ihre Todesursachen

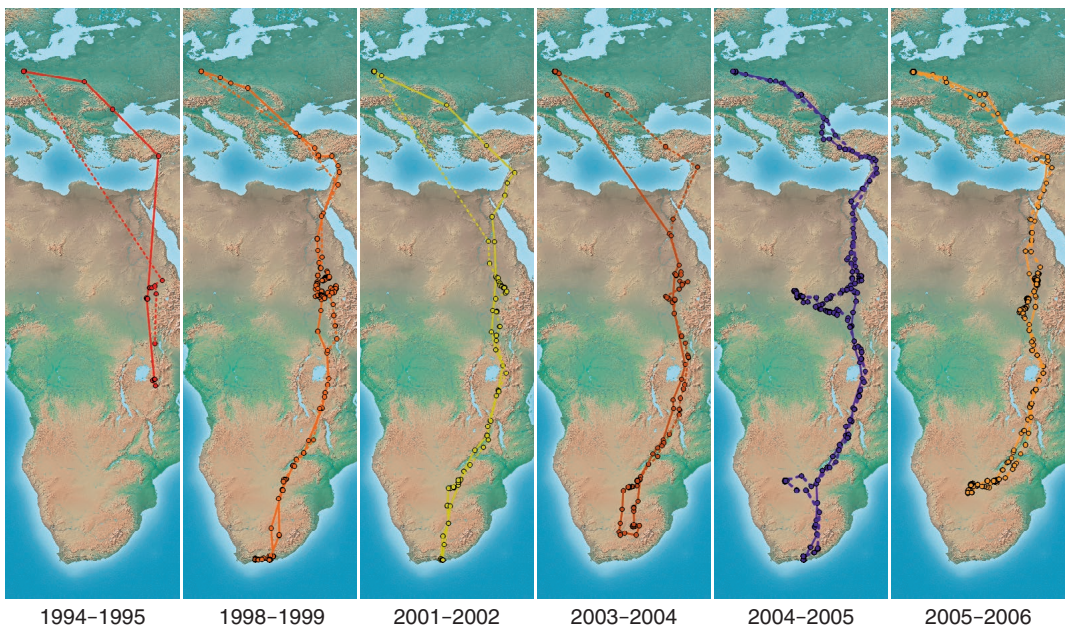


Abb. 4. Zugwege des Weißstorchs (*Ciconia ciconia*) »Prinzesschen« während 6 Überwinterungsphasen (gestrichelte Linie bis Dezember, durchgezogene Linie ab Januar) in den Jahren 1994 bis 2006. Die Punkte bezeichnen tatsächlich geortete Koordinaten, die Striche dienen lediglich als Lesehilfe zur Reihenfolge der Punkte und beinhalten keine Information über den tatsächlichen Flugweg des Vogels. – MPI Ornithologie, Radolfzell.



Abb. 5. Weißstorch (*Ciconia ciconia*): Stochennester in Sevilla/Spanien (a) und in Beja/Tunesien (b); Besenderung der Störche in Feres/Griechenland (c) und in Taschkent/Usbekistan (d); Auffinden eines Senders im Süden des Tschad (e), zerstörter Logger mit noch intakter Speicherkarte in Mali (f). – Fotos: a, c, M. Wikelski; b, H. Azafaz; d, I. Pokrovskiy; e, G. Müller; f, F. Kümmeth.

aussagen (Tab. 1). Entlang der Flugroute werden etliche Störche an den Stromleitungen, weiter im Süden dann durch Jagd oder durch Fressfeinde. Über Populationsvergleiche lassen sich daraus Rückschlüsse auf die Hauptgefahrenquellen ziehen, sodass die Daten wesentlich dazu beitragen können, vernünftige und adäquate Schutzmaßnahmen einleiten zu können.

Weiter können wir aus den Daten zeigen, dass die Störche, die auf der Ostroute (Richtung Schwarzes Meer, Ägypten, Rotes Meer, vgl. Abb. 4) nach Afrika fliegen, in den letzten Jahren praktisch alle sterben, d. h., auf der Ostroute gibt es eine sehr starke Selektion gegen die Migration nach Afrika. Auch Schwarzstörche (*Ciconia nigra*) wird es auf der Ostroute bald keine mehr geben; im Moment beobachten wir dort wohl die letzten

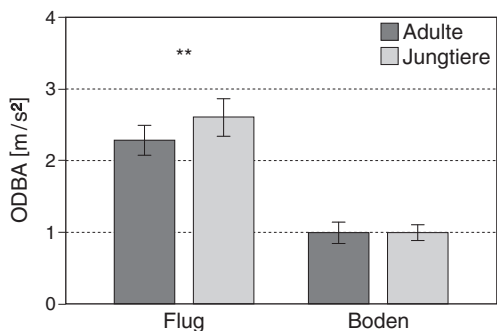


Abb. 6. Energieumsatz (dargestellt als ODBA, overall dynamic body acceleration, aus der der Energieumsatz berechnet werden kann) von adulten ($n = 40$) und juvenilen ($n = 19$) Weißstörchen (*Ciconia ciconia*) während des Flugs und am Boden. Standardabweichung des Kollektiv-Mittelwerts, $**P < 0,001$. – Aus Rotics et al. (2016).

Überlebenden. Auf der Westroute (Richtung Spanien, Marokko) scheint es dagegen so zu sein, dass die Weißstörche, die in Nordafrika überwintern, am besten überleben. Die Tiere, die

Tab. 1. Gründe für das Ausscheiden von Weißstörchen (*Ciconia ciconia*) aus den besenderten Populationen entlang der westlichen Flugroute nach Afrika (Stand 30.06.16). – Nach Daten aus der Datenbank Movebank (www.movebank.org) (Cheng et al., unveröff. Manuskript).

Ursachen für das Ausscheiden aus der Population	Status
Noch lebend	29
Tod durch Kollision	2
Tod durch Ertrinken	2
Tod durch Stromschlag	26
Tod durch andere Verletzung	6
Auf Müllkippe gefunden	11
Eventuell von Tieren erbeutet	15
Tod durch Abschuss	4
Krankheit	1
Unbekannte Todesursache	28
Verschwunden	13
Gesamt	137

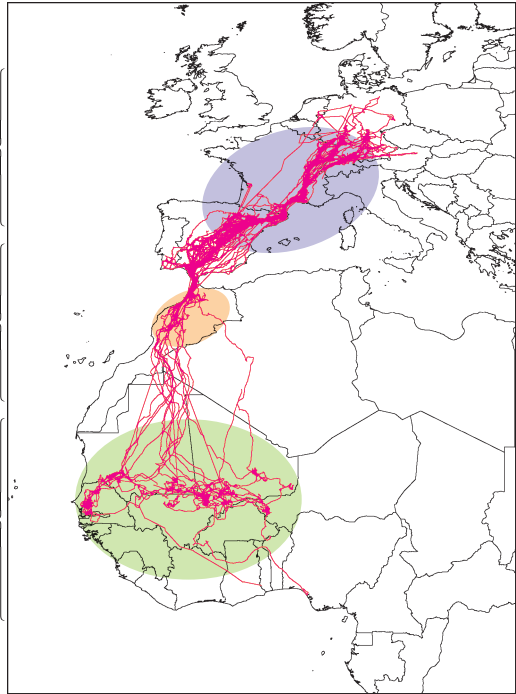
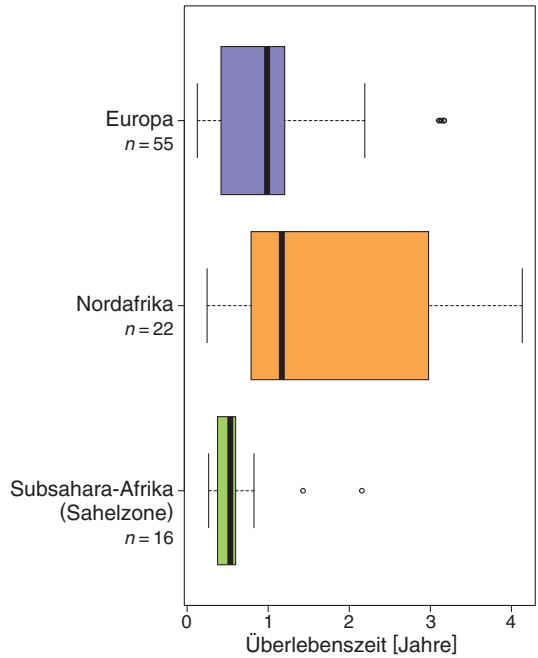


Abb. 7. Überlebenszeit von Weißstörchen (*Ciconia ciconia*) nach dem Flug in ihr Überwinterungsgebiet in Europa, Nordafrika (v.a. Marokko und angrenzende Gebiete) und westafrikanischen Ländern südlich der Sahara (Sahelzone); $**P < 0,001$. – Cheng et al., unveröff. Manuskript.

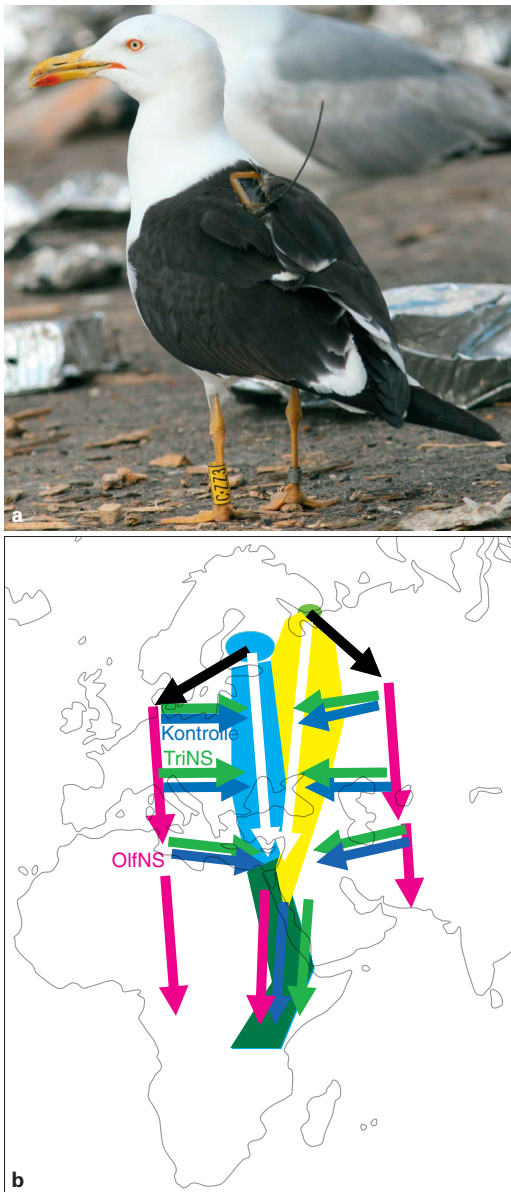


Abb. 8. Heringsmöwe (*Larus fuscus*, a) und vorhergesagte Flugstrecken von Heringsmöwen (b), die von Finnland nach Helgoland transloziert wurden (schwarzer Pfeil); TriNS: Tiere mit (zeitweise) ausgeschaltetem Inklinationssinn (trigeminal nerve sectioned birds); OlfNS: Tiere mit (zeitweise) ausgeschaltetem olfaktorischen Sinn (olfactory nerve sectioned birds). Weitere Erläuterungen s. Text. – a, Foto: M. Kangasniemi; b, aus Wikelski et al. (2015).

über die Sahara hinwegziehen, sterben hingegen fast alle (Abb. 7; Rotics et al. 2017). Durch diese Daten können wir also die Überlebensraten und ontogenetische Veränderungen bestimmen und damit auch zum Artenschutz beitragen.

Navigation und Orientierung bei Möwen und Tauben

Die Daten aus der Besenderung erlauben es uns, die Navigation und Orientierung von Tieren wissenschaftlich zu untersuchen. Die Heringsmöwen (*Larus fuscus*, Abb. 8a) ziehen von Finnland aus nach Afrika an den Lake Victoria (Pütz et al. 2007). Wir haben uns näher angesehen, an welchen Faktoren sich die Tiere orientieren, damit sie auf ihrer »inneren Karte« wissen, wo sie sich befinden. Dafür haben wir die Tiere von Finnland aus westlich nach Helgoland bzw. von den Solowezki-Inseln im Weißen Meer aus östlich nach Kasan an der Wolga verfrachtet und beobachtet, wie sie zu dem ursprünglichen Migrationskorridor zurückfinden, der ziemlich genau nach Süden geht (Wikelski et al. 2015). Wir haben auch die Sensorik der Möwen manipuliert, indem wir ihren olfaktorischen bzw. ihren möglichen Magnet-Inklinationssinn für eine bestimmte Zeit ausgeschaltet haben.

Unser Ansatz war folgender (Abb. 8b, linker Teil): Wenn nur der olfaktorische Sinn für die Navigation wichtig ist, würden die Möwen, bei denen wir ihn zeitweise ausschalten, von Helgoland aus direkt nach Süden fliegen (rosa Pfeile; OlfNS). Nicht manipulierte Kontrolltiere (blaue Pfeile) sowie Möwen, bei denen der Inklinationssinn ausgeschaltet ist (grüne Pfeile; TriNS), würden dagegen zurück zu ihrem populationsspezifischen Korridor (hellblau markiert, weißer Pfeil) fliegen. Wenn nur der Inklinationssinn wichtig ist, würden die TriNS-Tiere direkt nach Süden fliegen, die OlfNS- und die Kontrolltiere würden dagegen ihre Route korrigieren.

In Abbildung 9 sind die Flugrouten dargestellt. Es gibt verschiedene Plätze, an denen sich die Tiere ansammeln (schwarze Ovale): am Schwarzen Meer, am Nildelta, entlang des Nils und am Lake Victoria. Diejenigen Möwen, die von Helgoland aus direkt nach Süden fliegen (rote Linien) sind v.a. diejenigen, die zeitweise keinen olfaktorischen Sinn hatten. Daraus können wir schließen, dass der olfaktorische Sinn

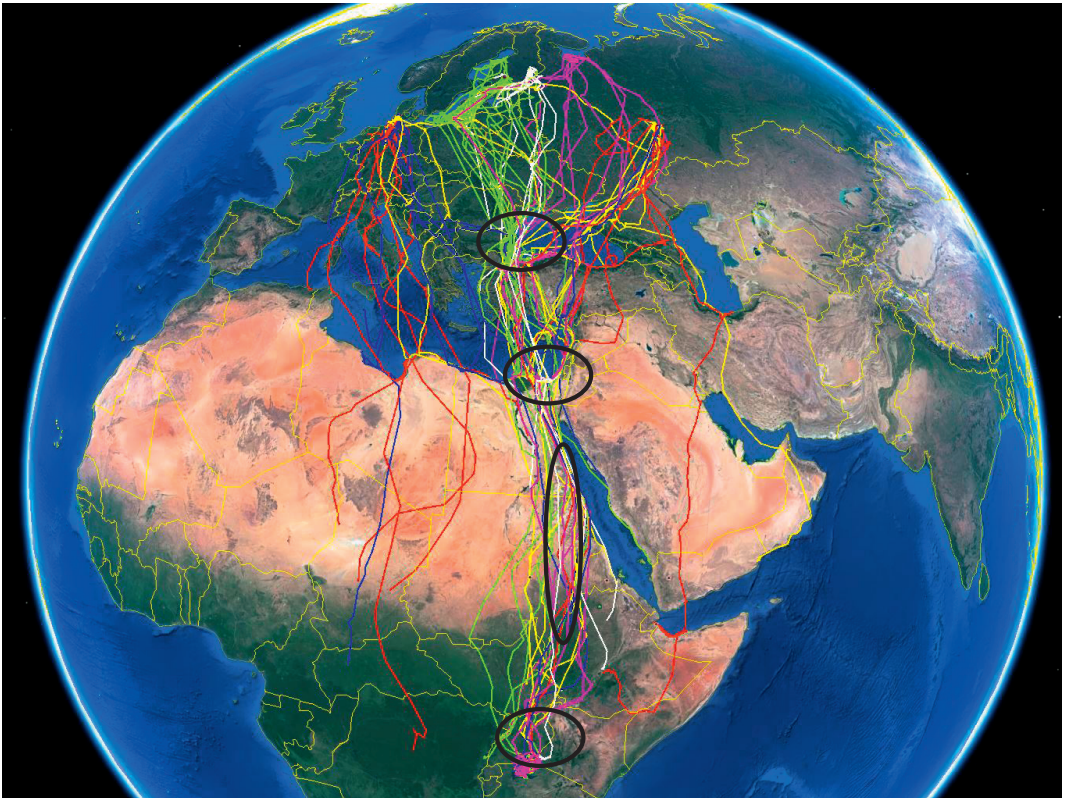


Abb. 9. Flugrouten von Möwen von ihrem natürlichen Habitat in Finnland bzw. den Solowezki-Inseln (weiße, grüne und lila Linien) sowie von nach Helgoland bzw. Kasan translozierten Möwen (gelbe Linien) mit manipuliertem olfaktorischem Sinn (rote Linien) oder manipuliertem Inklinationsinn (blaue Linien); schwarze Ovale: Sammelregionen. Weitere Erläuterungen s. Text. – Daten aus www.movebank.org.

für das Wissen der Tiere, wo sie sich auf einer Karte befinden, wesentlich ist. Von den Möwen, deren Inklinationsinn manipuliert worden ist (blaue Linien), finden diejenigen, die ganz weit im Westen fliegen, den Korridor teilweise ebenfalls nicht, aber diejenigen, die weiter östlich fliegen, finden ihn wieder. Zum Teil biegen sie fast im 90°-Winkel nach Osten ab, um ans Schwarze Meer zu gelangen. Anhand eines sog. Invertierten Wind-Tracer-Modells können wir zeigen, wo der Wind in den letzten zwei Tagen herkommt, der die Flugrichtung des spezifischen Individuums beeinflusst. Die Möwen fliegen zunächst mit dem Wind nach Süden, dann gegen den Wind nach Osten und schließlich ab dem Schwarzen Meer wieder mit dem Wind nach Süden. Wir können also, indem wir die Tiere individuell während des Flugs begleiten und ihre Entscheidungen

mitverfolgen, Fragen zur Navigation und zur Orientierung beantworten.

In einem anderen Ansatz haben wir untersucht, wie wichtig weit entfernte Landmarken für die Orientierung von Tauben sind. Der Bodensee hat im Winter oft eine Nebeldecke, über die an manchen Tagen die Alpen herausragen. Wir können Brieftauben (*Columba livia*) darauf trainieren, aus einem Flugzeug heraus heimzuflogen, und dann die Flugstrecken der Tiere vergleichen, die entweder mit Blick auf die Berge oder ohne Blick auf jegliche weit entfernten Landmarken geflogen sind. Es zeigt sich ganz klar, dass die Tiere, wenn sie keine Landmarken sehen, den Weg nicht finden (Abb. 10a) und dann durch den Nebel nach unten fliegen. Mit Blick auf die Alpen fliegen sie über dem Nebel direkt heim zum Taubenschlag (Abb. 10b).



Abb. 10. Flugstrecken von Tauben (*Columba livia*) über dem Nebel, ohne (a, rosa) bzw. mit (b, blau) Blick auf über dem Nebel herausragende Berge. – Daten aus www.movebank.org; Karte: © 2008 GeoBasis-DE/BKG, © 2016 Google.

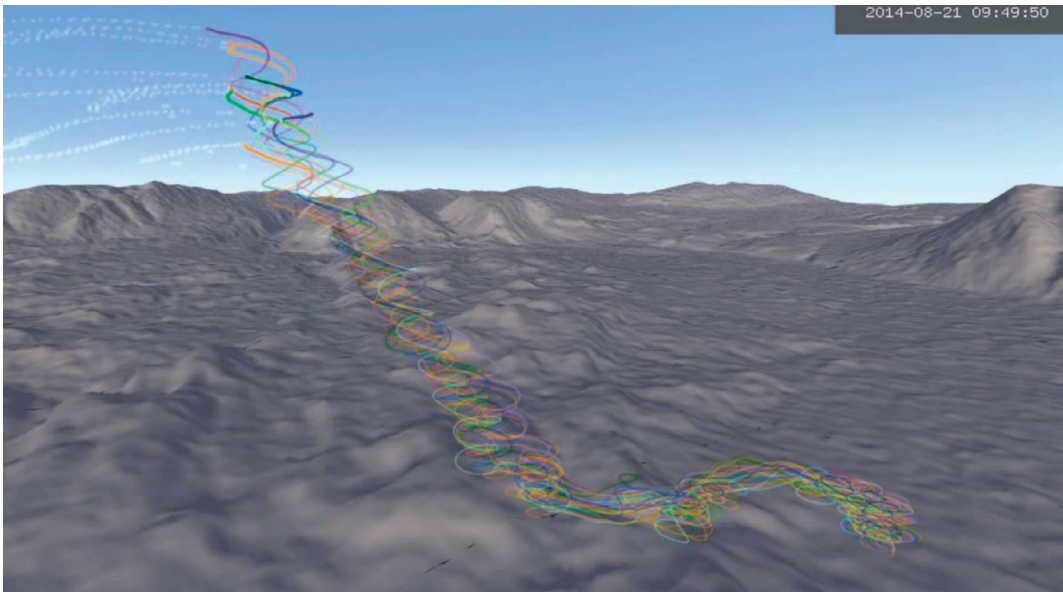


Abb. 11. Flugstrecken von Weißstörchen (*Ciconia ciconia*) in der Thermik; die weißen Punkte zeigen Windrichtung und -geschwindigkeit an. – Daten aus www.movebank.org eingefügt.

Kollektivverhalten und Schwarmintelligenz

Ein besseres Verständnis des Schwarmverhaltens ist deshalb so wichtig, weil wir inzwischen vermuten, dass praktisch jede Entscheidung eines Individuums im Kollektiv getroffen wird, bisher aber nur rudimentäre Informationen z. B. bei Störchen darüber vorliegen. Mithilfe der Datenlogger können wir nun den Flug der einzelnen Störche in einem Schwarm analysieren und z. B. die Windrichtung und -geschwindigkeit sowie die thermische Stärke daraus ableiten (Abb. 11; Weinzierl et al. 2016). Wir sehen, wie die Tiere in der Thermik interagieren, und können zum ersten Mal verstehen, wie sie voneinander lernen, aber auch, welches Individuum wie gut im Schwarm fliegt. Wir wissen inzwischen, dass das Lernen des Flugs in der Thermik für das Überleben der Störche ein wesentlicher Faktor ist.

Zukünftige globale Tierbeobachtung: Das System ICARUS

Für die globale Tierbeobachtung der Zukunft haben wir zusammen mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) e. V. ein neues Tierbeobachtungssystem aufgebaut, das ICARUS-

System.³ ICARUS beruht auf einer Experimentalstation, die auf der Internationalen Raumstation ISS installiert wird.⁴ Wir verwenden Sender mit extrem kleiner Masse und Größe (unter 5 Gramm, Abb. 12), die in ein paar Jahren voraussichtlich sogar noch sehr viel kleiner werden. Mit ICARUS können wir viele Tiere gleichzeitig beobachten, da es sich um ein CDMA-System (Code Division Multiple Access) handelt, das im Prinzip wie ein einfaches Mobilfunksystem funktioniert, und wir

- 3 ICARUS (International Cooperation for Animal Research Using Space) ist ein internationales Konsortium von Wissenschaftlern, das unter Leitung des Max-Planck-Instituts für Ornithologie seit März 2012 vom DLR-Raumfahrtmanagement gefördert wird und von der russischen Raumfahrtagentur Roskosmos mit großem Engagement unterstützt wird. Parallel zu den Fördermaßnahmen des DLR finanziert die Max-Planck-Gesellschaft seit Dezember 2013 die Miniaturisierung des Funkchips.
- 4 Aktueller Stand bei Drucklegung: Der Computer ging im Oktober 2017 zur ISS, die Antenne wird im Februar 2018 dorthin gebracht, der Space Walk zu ihrer Anbringung, Entfaltung und Justierung erfolgt Anfang Mai 2018 durch russische Kosmonauten der ISS. Näheres unter www.icarusinitiative.org [zuletzt aufgerufen am 25.10.17].

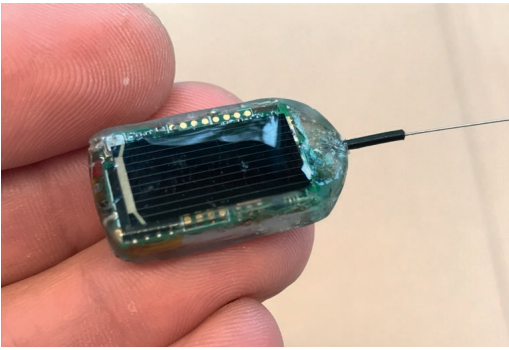


Abb. 12. Am MPI für Ornithologie entwickelter Miniatursender aus dem ICARUS-System (< 5 Gramm).

können sie über die ISS global beobachten, also auch dort, wo es kein Mobilfunknetz gibt.

Das System wird im Mai 2018 von den Kosmonauten auf der Internationalen Raumstation (ISS) etabliert werden und von dort Daten aufnehmen und verarbeiten. Die Sender (tags) lassen sich programmieren und weltweit auslesen. Die Raumstation umkreist die Erde und »saugt« dabei die Daten von überall her auf; mit Ausnahme der nördlichsten und südlichsten Breitengrade wird etwa ein- bis viermal täglich jeder Winkel der Erde abgedeckt. Auf den Sendern können wir verschiedene Sensoren installieren und so neben der Positionsbestimmung (GPS) z.B. Daten zu Temperatur, Magnetfeld und Beschleunigung erhalten. Damit können wir verschiedenste Fragestellungen angehen, nicht nur zum Stoffwechsel der Tiere, sondern auch allgemein zur Umwelt und zum lokalen Wetter und zur Ausbreitung von Krankheiten bis hin zum sog. Wildlife Crime.

Über Pop-up-tags, die mit den Tieren mitschwimmen und Daten senden, wenn sie an die Oberfläche kommen, sind auch Beobachtungen in den Weltmeeren möglich. Wir erproben derzeit die Besenderung von Aalen (*Anguilla anguilla*), zum einen für deren Schutz, zum anderen generell für die zum Verständnis ihrer Lebensweise benötigte genaue Kenntnis ihrer Wanderwege. Die Sender an ihrer Oberfläche stören die Tiere bei ihren Wanderungen nicht, sie zeichnen die Daten kontinuierlich auf, lösen sich nach ca. einem Jahr ab und steigen zur Oberfläche auf, wo sie die Daten über Satellit zu uns senden.

Gesellschaftliche Relevanz

Mit dem Projekt ICARUS werden über die Sender sog. »ehrliche Informationen« über die Welt gesammelt und zusammengeschaltet und stehen dann als weltweites intelligentes Sensor-Netzwerk zur Verfügung.

Wir können damit möglicherweise **Naturkatastrophen vorhersagen**. Am Ätna gibt es Ziegen, die zwar Bauern gehören, aber im Jahresverlauf quer über den Ätna frei wandern und dabei ein charakteristisches Verhalten zeigen. Wir beobachten z. B. nachts eine regelmäßige, geringe Aktivität, die aber bisweilen von Aktivitätssprüngen durchbrochen wird. Diese Sprünge fanden immer 4–6 Stunden vor einem großen Vulkanausbruch des Ätnas statt, insgesamt haben wir dieses Phänomen sieben Mal beobachtet. Kommt es tagsüber zu Aktivitätssprüngen, muss man überprüfen, wo sich die Tiere jeweils aufhalten und ob die plötzliche Aktivität z. B. von Wanderern oder anderen Tieren verursacht wurde, aber auch aus diesen Daten lassen sich Vorhersagen treffen. Wir haben die Daten der Tiere am Ätna retrospektiv für zwei Jahre ausgewertet (Abb. 13). Um ein tatsächliches Vorwarnsystem zu entwickeln, muss die Auswertung ausgebaut und intensiv getestet werden. Bei dem Erdbeben in Italien im Oktober 2016 haben wir das System eher durch Zufall getestet. Auf einer Farm in den Abruzzen bei Capriglia waren von uns nach einem kleineren Beben 20 Tiere besendert worden, u. a. Kühe, Ziegen, Hunde und Kaninchen. Diese Erdbebenserie war dann zwar zu Ende, aber nach zwei Tagen begann eine neue Serie, mit einem massiven Beben von 6,1 auf der Richterskala. Wir konnten aus den Aktivitätsdaten der Tiere berechnen, dass wir bei einem Epizentrum in 5 km Entfernung etwa 14 Stunden Vorwarnzeit hätten, bei einem Epizentrum in etwa 30 km Entfernung etwa 2–3 Stunden. Aber auch hier handelt es sich um eine retrospektive Vorhersage und es ist nicht klar, ob diese Art von Frühwarnsystem bei jedem Erdbeben und überall auf der Welt funktioniert. Aber die vorliegenden Befunde sind zumindest ein klarer Hinweis dafür, dass Tiere Erdbeben in irgendeiner Weise im Vorfeld spüren können.

Eine andere Anwendung mit gesellschaftlich hoher Relevanz betrifft die **Ausbreitung von Krankheiten**. Wir können z. B. Flughunde in Afrika dazu nutzen, um den Aufenthalt des Wirtes von

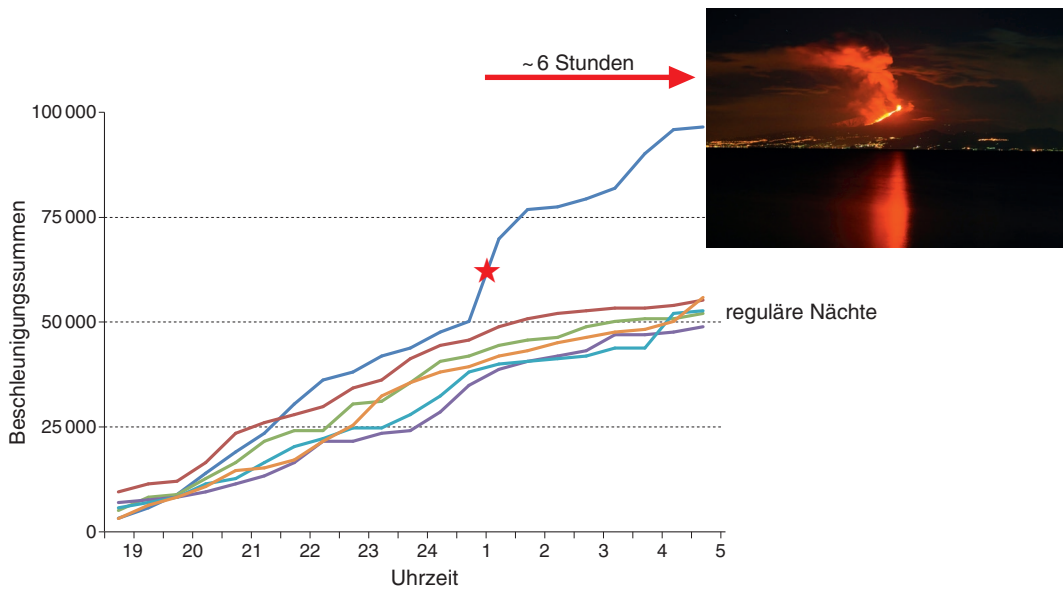


Abb. 13. Aktivität (akkumulierte durchschnittliche Beschleunigung über jeweils 30 Minuten) von 12 Ziegen an den Hängen des Ätna (Sizilien) über die Nacht. Der Stern markiert den Aktivitätssprung ca. 6 Stunden vor Vulkanausbruch. – Wikelski (2014); Foto: Cirimbillo, CC BY-SA 3.0.

Ebola oder anderer Krankheiten zu finden. Im Rahmen eines großen Projektes werden wir 2018 beginnen, Enten (Stockente, *Anas platyrhynchos*) in ganz Eurasien zu besondern, um herauszufinden, ob wir das Auftreten von Vogelgrippe vorhersagen können.

Enten, die wir in Schweden in einer Voliere ausgesetzt hatten und die dort mit frei lebenden Enten interagierten und sich bei diesen mit niedrig pathogener Vogelgrippe infizierten, hatten während der Zeit ihrer Infektion eine um etwa 0,1 °C erhöhte Körpertemperatur. Mit dieser Information sind wir zum Poyang-See in der Provinz Jiangxi in Ostchina gereist, von wo aus sich die Viren hauptsächlich ausbreiten, und haben dort in einem Projekt mit den chinesischen Behörden GPS-Logger so an Mastenten angebracht, dass sie von außen nicht unmittelbar sichtbar waren. Wir konnten dann beobachten, wohin die Enten transportiert wurden (Choi et al. 2016). Möglicherweise lassen sich daraus Vorhersagemodelle formulieren, wie sich die Vogelgrippe ausbreiten könnte, nicht nur über Wildvögel, sondern auch über die Transportwege der Vögel in Gefangenschaft.

Ein weiteres Anwendungsfeld sind **Wetterbeobachtungen**. In einem Tal in den Südwestalpen in Frankreich konnten wir über die Besenderung von Gänsegeiern (*Gyps fulvus*) ein schier unglaubliches Netzwerk von Flugwegen erstellen. Für bestimmte, besonders intensiv beflogene Strecken, an denen die Tiere die gute Thermik nutzten, wurde ein 3D-Windfeld aus den Daten berechnet. Dies lässt sich auch bei Gänsen (Graugans, *Anser anser*) durchführen, die wir mit einem hochauflösenden Logger besendert haben. Die Gänse sind trainiert und können neben einem Ultraleichtflugzeug herfliegen. Auch hier hat sich bestätigt, dass die Beschleunigung des Loggers auf der Gans und die Turbulenz der Luft stark korreliert sind, d. h., wir können umgekehrt über die Messung der Beschleunigung (genauer gesagt über die Varianz in der Beschleunigung der Tiere), des Flügelschlags und der Körperbewegung der Gans Rückschlüsse auf den 3D-Windvektor und die Windturbulenz ziehen. Für Meteorologen sind diese Daten sehr spannend, weil wir auch gleichzeitig Druck, Temperatur und Feuchte erfassen. Jedes flügelschlagende Tier weltweit kann diese Messungen in Zukunft machen und wir können z. B. Gänse über dem Grönlandeis oder im Himalaya dafür benutzen,

um auf diese Weise Daten für die Meteorologen zu sammeln. Das funktioniert auch im Wasser, z.B. könnten Schildkröten im Indischen Ozean, die mit den Strömungen schwimmen, für uns die Salinität, die Temperatur und die Geschwindigkeit der Strömung messen.

Für die **Nahrungsverfügbarkeit** sind z.B. Messungen an Wanderheuschrecken wichtig. Die Störche aus Europa treffen sich bei ihrem Zug nach Süden in den Gegenden, in denen die Wanderheuschrecken, z.B. die Wüstenheuschrecke (*Schistocerca gregaria*), ihre Eier abgelegt haben und sich dann vom Larvenstadium zum Adultstadium entwickeln. Der Zusammenhang muss noch im Detail validiert werden, aber wir wissen zumindest über qualitative, anekdotische Beobachtungen, dass sich die Störche in Gegenden, in denen die Heuschrecken aus dem Wüstenboden herauskommen, in Massen zusammenrotten. Allerdings haben anscheinend in einem Jahr die Wanderheuschrecken und im anderen Jahr die Geckos einen großen Populationsausbruch, von daher sind diese Vorhersagemodelle nicht ganz trivial. In der näheren Zukunft werden wir die Wanderheuschrecken über Mini-Sender auch direkt beobachten können.

Sensibilisierung der Öffentlichkeit zum **Schutz der Tiere**: Die Bevölkerung kann an diesen Daten teilhaben und als Citizen Scientists zu ihrer Erhebung beitragen. Wir sind darauf angewiesen, dass Leute weltweit die besenderten Tiere beobachten und haben dafür zusammen mit dem Waldrappteams⁵ eine Animal Tracking App geschaffen⁶. Darüber hinaus suchen wir mit dem Besucherzentrum MaxCine (Zentrum für Kommunikation und Austausch) bewusst den Dialog mit der Öffentlichkeit und fordern dabei insbesondere Kinder und Jugendliche zum Mitmachen auf. Wir sind überzeugt, dass wir durch diese Beobachtungen auch zum Schutz der Tiere beitragen können. Dadurch, dass z.B. Zugvögel besendet sind, können wir sie nachverfolgen,

wenn sie in Netzen landen und dort sterben, und die Menschen vor Ort, die die Tiere mitverfolgen, können sich entsprechend sehr gezielt engagieren. Wir wissen von den Mitarbeitern des Waldrappteams, dass die Beobachtungen beim Waldrapp (*Geronticus eremita*) sehr gut laufen und inzwischen sehr viele Daten vorliegen und zum Schutz dieser seltenen Tiere beitragen.

Die globale Datenbank Movebank

Alle diese Daten werden in der globalen Datenbank Movebank gesammelt.⁷ Derzeit hat sie ihren Sitz noch in Deutschland und wir müssen sehen, wie lange wir sie noch halten können; der Aufbau und Betrieb der Datenbank ist nicht trivial und nicht billig. Mit dieser Datenbank können wir die gesamte Information von ziehenden Tieren weltweit zusammenschließen. Inzwischen sind wir bei über 500 Millionen GPS-Punkten angelangt, die Zahl steigt rasant an, und über das Beobachtungssystem ICARUS werden wir aufgrund der Vervielfachung der Sender auf den Tieren und der besseren Technologie noch viel mehr Daten, auch aus dem marinen Bereich, erhalten. Um diese Daten auch in Zukunft weltweit zusammenfassen zu können, haben wir die Internationale Biologging Society gegründet (www.bio-logging.net), die sich Ende September 2017 in Konstanz getroffen und dort die »Bio-Logging Dekade 2018–2028« ausgerufen hat.

Wir werden mit ICARUS ein globales Sendersystem für Naturereignisse und für Lebensvorgänge auf dem Planeten etablieren. Wenn wir die Tierwanderungen, d.h. die Bewegungen der Tiere in Echtzeit oder nahezu Echtzeit erhalten und sie entsprechend interpretieren können, bekommen wir eine Art »Internet der Tiere« oder, wie es der Economist bezeichnet hat, »Internet of Wings«,⁸ und damit eine sehr gute neue Information über die Lebensvorgänge auf dem Planeten.

5 Das Waldrappteams: www.waldrapp.eu.

6 Die App (www.orn.mpg.de/animaltracker [zuletzt aufgerufen am 25.10.17] wurde vom Max-Planck-Institut für Ornithologie Radolfzell in Zusammenarbeit mit dem Waldrappteams und mit der Unterstützung des Finanzierungsinstruments LIFE der Europäischen Union (LIFE+12-BIO_AT_000143, LIFE Northern Bald Ibis) entwickelt.

7 In der Online-Datenbank »Movebank« des MPI für Ornithologie (www.movebank.org) werden weltweit die Daten besonderer Tiere gesammelt, aufbereitet und (je nach Freigabegenehmigung durch die beteiligten Wissenschaftler) kostenlos zur Verfügung gestellt.

8 <http://www.theworldin.com/edition/2017/article/12778/internet-wings> [zuletzt aufgerufen am 25.10.17].

Danksagung

Ich bedanke mich herzlichst bei meinen hoch engagierten Mitarbeitern am Max-Planck-Institut für Ornithologie, Vogelwarte Radolfzell, sowie allen Mitgliedern und Förderern des ICARUS-Projekts.

Literatur

- Choi, C.-Y., J. Y. Takekawa, X. Yue, L. Ying, M. Wikelski, G. Heine, D. J. Prosser, S. H. Newman, J. Edwards, F. Guo & X. Xiangming. 2016. Tracking domestic ducks: a novel approach for documenting poultry market chains in the context of avian influenza transmission. – *Journal of Integrative Agriculture*, 15 (7): 1584–1594.
- Franchini, P., I. Irisarri, A. Fudickar, A. Schmidt, A. Meyer, M. Wikelski & J. Partecke. 2017. Animal tracking meets migration genomics: transcriptomic analysis of a partially migratory bird species. – *Molecular Ecology*, 26 (12): 3204–3216.
- Fudickar, A. M., M. Wikelski & J. Partecke. 2012. Tracking migratory songbirds: accuracy of light-level loggers (geolocators) in forest habitats. – *Methods in Ecology and Evolution*, 3 (1): 47–52; doi:10.1111/j.2041-210X.2011.00136.x.
- Lawton, J. H. & R. M. May. 1983. Ecology: The birds of Selborne. – *Nature*, 306 (5945): 732–733.
- Pütz, K., C. Rahbek, P. Saurola, K. T. Pedersen, R. Juvaste & A. J. Helbig. 2007. Satellite tracking of the migratory pathways of first year Lesser Black-backed Gulls (*Larus fuscus*) departing from different subspecies' breeding grounds. – *Vogelwelt*, 128: 141–148.
- Rotics, S., M. Kaatz, Y. S. Resheff, S. F. Turjeman, D. Zurell, N. Sapir, U. Eggers, A. Flack, W. Fiedler, F. Jeltsch, M. Wikelski & N. Ran. 2016. The challenges of the first migration: Movement and behaviour of juvenile vs. adult white storks with insights regarding juvenile mortality. – *Journal of Animal Ecology*, 85 (4): 938–947.
- Rotics, S., S. Turjeman, M. Kaatz, Y. S. Resheff, D. Zurell, N. Sapir, U. Eggers, W. Fiedler, A. Flack, M. Wikelski & N. Ran. 2017. Wintering in Europe instead of Africa enhances juvenile survival in a long-distance migrant. – *Animal Behaviour*, 126 (2017): 79–88.
- Weinzierl, R., G. Bohrer, B. Kranstauber, W. Fiedler, M. Wikelski & A. Flack. 2016. Wind estimation based on thermal soaring of birds. – *Ecology and Evolution*, 6 (24): 8706–8718.
- White, G. 1789. The Natural History and Antiquities of Selborne in the County of Southampton. – Publ. B. White, Ausgabe 1813 (London): www.biodiversitylibrary.org/item/80773#page/10/mode/1up [zuletzt aufgerufen am 25.05.17].
- Wikelski, M. 2014. A Four-Legged Early-Warning System. – *MaxPlanckResearch*, 2: 58–63.
- Wikelski, M., E. Arriero, A. Gagliardo, R. A. Holland, M. J. Huttunen, R. Juvaste, I. Mueller, G. Tertitski, K. Thorup, M. Wild, M. Alanko, F. Bairlein, A. Cherenkov, A. Cameron, R. Flatz, J. Hannila, O. Hüppop, M. Kangasniemi, B. Kranstauber, M.-L. Penttinen, K. Safi, V. Semashko, H. Schmid & R. Wistbacka. 2015. True navigation in migrating gulls requires intact olfactory nerves. – *Scientific Reports*, 5: 17061, doi: 10.1038/srep17061.
- Zúñiga, D., Y. Gager, H. Kokko, A. M. Fudickar, A. Schmidt, B. Naef-Daenzer, M. Wikelski & J. Partecke. 2017. Migration confers winter survival benefits in a partially migratory songbird. – *eLife*.

Diskussion

M. Matern: Vor etwa zehn Jahren war ich Ende Mai/Anfang Juni im Rahmen einer Informationsreise des Internationalen Presseclubs in Weißrussland, um krebsskranke Kinder zu besuchen, und konnte dort keinen einzigen Vogel beobachten. Gibt es dort inzwischen wieder Störche?

M. Wikelski: So weit ich weiß, sind die Populationen in Weißrussland relativ groß und stabil.

K. Freier: Sie hatten eingangs erwähnt, dass die Weiß- und Schwarzstorchpopulationen, die auf der Ostroute nach Afrika ziehen, große Probleme haben. In dem Film über die Zugrouten der Störche zu den Gebieten, in denen die Wanderheuschrecken auftreten, war zu sehen, dass das eine große Menge an Störchen betrifft. Was ist genau das Problem auf der Ostroute und wie dramatisch ist die Situation tatsächlich?

M. Wikelski: Bei den Weißstörchen gibt es noch etliche, die zurückkehren, bei den Schwarzstörchen ist die Situation aber absolut dramatisch. Hier kehren praktisch keine mehr im Brutalter zurück. Es scheint so zu sein, dass sehr viele Tiere in den Bürgerkriegsgebieten im Nahen Osten und im Sudan und Südsudan geschossen werden. Einige schaffen es vielleicht nach Süden und wieder zurück, vielleicht auch über zwei Jahre, aber die Störche brauchen drei Jahre, bis sie brüten.

C. Fischer: Hängt die Olfaktorik direkt mit dem Wind zusammen? Ist darüber Genaueres bekannt?

M. Wikelski: Ja, die Olfaktorik hängt mit dem Wind zusammen. Wir können zeigen, dass die Windbewegungen den Tieren offensichtlich Plätze anzeigen, die sie entweder schon von früher her kennen oder die sie »instinktiv« kennen – das wissen wir nicht genau. Wir sind aktuell dabei, mit den Kollegen vom Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz, die sich mit der Atmosphärenchemie beschäftigen, Messungen durchzuführen. Die Analytik in der Atmosphärenchemie ist inzwischen so gut, dass man einzelne Inhaltsstoffe

messen kann. Damit können wir zumindest anfangen mit dem Versuch, herauszufinden, an was sich die Störche orientieren könnten. Über wie viele Kilometer sie sich an diesen olfaktorisch wirksamen Stoffen orientieren können, wissen wir noch nicht.

A. Fischer: Sie haben gezeigt, dass man messen kann, dass Tiere sich vor einem Erdbeben anders verhalten als wenn kein Beben bevorsteht, aber nicht erläutert, wie man das ursächlich verstehen könnte. Ist das möglicherweise nur eine Scheinkorrelation, wie bei dem berühmten Beispiel von der Anzahl der Störche und der Anzahl der Geburten? Gibt es einen Weg herauszufinden, ob dahinter tatsächlich eine ursächliche Korrelation steckt?

M. Wikelski: Das ist eine ganz wesentliche Frage. Wir wissen es tatsächlich noch nicht wirklich. Es gibt Hypothesen, wie man sich so etwas vorstellen kann. Die wahrscheinlichste ist, dass es durch das Gleiten der aufeinanderliegenden tektonischen Platten zu Ausgasungen von Ionen aus den Gesteinen kommt. Bei Laboruntersuchungen im USGS, dem United States Geological Survey, ist dies so simuliert worden. Wie die Ionen von den Tieren genau wahrgenommen werden können, ist aber nicht wirklich klar, möglicherweise geschieht dies über die Haare oder Federn auf der Haut der Tiere. Wir sehen die Situation im Moment eher so, dass wir feststellen, es gibt eine Korrelation, und untersuchen müssen, ob sie immer wieder zutrifft. Wir wissen zum Beispiel auch aus Anekdoten, von Plinius und aus China, wo durch Tiere offenbar schon einmal eine ganze Stadt gerettet worden ist, dass Tiere möglicherweise die Beben im Vorfeld wahrnehmen können. Umgekehrt wissen wir ja auch nicht ganz genau, warum ein Spürhund am Flughafen im Koffer etwas findet, aber wir wissen, dass es funktioniert und nutzen es entsprechend. Im Moment ist daher unser Ansatz, zu untersuchen, ob die Korrelation so gut ist, dass wir eine Kausalität vermuten können, und dann erst können wir weitermachen, die Einzelheiten herauszufinden.

C. Fischer: Können Sie bei den Tierarten unterschiedliche Spezifitäten benennen?

M. Wikelski: Die Untersuchungen fangen jetzt erst so richtig an. Wir wissen aber von verschiedenen Tierarten, dass sie eine unterschiedliche Sensorik und unterschiedliche Fähigkeiten haben, Plätze oder entsprechende Nahrungsflächen zu finden. Es scheint aber auch so zu sein, dass die Individuen, auch z. B. innerhalb einer Rasse, unterschiedlich empfindlich reagieren.

S. Renner: Wie ist die Finanzierung der Movebank derzeit geregelt?

M. Wikelski: Das Problem ist, dass die Finanzierung des wissenschaftlichen Aufbaus einer solchen Datenbank in der Regel relativ einfach, aber ihre spätere Aufrechterhaltung ganz schwierig ist. Es gibt im Moment keine wirklichen digitalen Museen, das heißt keine Datenbanken, die von normalen Museen kuriert werden, zumindest nicht in diesem Bereich. Wir sehen aber auch, dass ein sehr großes kommerzielles Interesse an den Datenprodukten besteht, weil man daraus in Zukunft sehr viel machen können wird; entsprechende Anfragen liegen schon vor. Die Schwierigkeit ist im Moment, dass es in Deutschland im Vergleich zu den Vereinigten Staaten und anderen Gegenden der Welt sehr wenig Risikokapital gibt. Wir werden daher möglicherweise irgendwann nicht anders können, als zu sagen, es ist nicht unsere Kernaufgabe, eine solch große Datenbank zu erhalten. Wer immer die Movebank dann für die Wissenschaft erhalten will, der bekommt sie dann wohl.

A. Menzel: Meine Frage bezieht sich auch auf die Move-Datenbank. Sie haben das kommerzielle Interesse daran erwähnt. Aber damit beginnen doch sofort Probleme. Es kann durchaus sein, dass jemand die Daten nutzen will, um zum Beispiel Eier von Falken leichter aufzuspüren. Wie ist da das Konzept, um den Schutz der Tiere weiter zu gewährleisten?

M. Wikelski: Bei der Movebank kann im Moment jeder, der Daten einstellt, festlegen, welche Daten öffentlich und welche gesperrt sein sollen, und es lassen sich auch bestimmte Teile der Daten sperren. Es ist ganz wesentlich, dass in Zukunft die Datenübertragung vom Tier in die Datenbank

ebenfalls geschützt ist. Bei dem neuen globalen Beobachtungssystem, dem ICARUS-System, ist dies der Fall, dort kann man nicht an die verschlüsselten Daten heran. Da der Sender nur etwa zwei Sekunden am Tag sendet, kann man ihn auch nicht irgendwo abpassen. Es gibt einen »Handshake«, das heißt, der Sender sendet nur zu dem Empfänger, der mit ihm Daten austauschen darf. Bei der normalen, »alten« Tier telemetrie ist das etwas schwieriger, da sie auf »Ping«-Signalen beruht und man diese abhören kann. Im Gespräch mit dem Waldrappteam und anderen Gruppen, die am Naturschutz stark interessiert sind und Tiere vor allem zum Artenschutz besondern, haben wir festgestellt, dass die Besenderung für den Schutz wichtig ist, weil sich damit wesentlich mehr Leute um den Schutz der Tiere kümmern. Es ist natürlich ein großes Problem, dass die Daten missbraucht werden könnten, aber ich denke, das haben wir auf diese Weise gelöst.

H.-J. Leppelsack: Wir haben in letzter Zeit verschiedene Überlegungen gehört, wie sich Vogelgrippe ausbreitet. Vor allem wird intensiv berichtet, wir würden die Viren über Futter aus China importieren, was zu lokalen Infektionen führt, die sich dann lokal ausbreiten. Sie stellen dem als Modell entgegen, dass die infizierten Tiere von China auf unterschiedlichen Wegen hierher wandern. Haben Sie eine Meinung dazu, welcher Weg für die Verbreitung der Vogelgrippe der wahrscheinlichere ist?

M. Wikelski: Ich denke, es gilt beides und es sollte auch beides intensiv untersucht werden. Die Evidenz dafür, dass Vögel bestimmte Vogelgrippetypen direkt bringen, ist ziemlich eindeutig, auch von Seiten des Friedrich-Loeffler-Instituts (Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit). Ich denke, dass man über die genaue Analyse der Wanderbewegungen der Tiere sehr viel weiterkommen wird, um genau zu verstehen, wie sich die Krankheiten auch innerhalb einer Vogelpopulation ausbreiten können.

N. Schäffer: Ich möchte noch einmal auf die Weiß- und Schwarzstörche zurückkommen, die entlang der Ostroute ziehen. Habe ich es richtig verstanden, dass von den Weißstörchen nur sehr wenige und von den Schwarzstörchen so gut wie keine aus den Winterquartieren zurückkommen? Wenn die Angaben belastbar sind, wäre das eine

Katastrophe für alle ostziehenden Populationen. Wir haben sehr große Bestände in Polen und in Weißrussland, die dann alle gefährdet wären. Kann man diese Aussage wirklich so drastisch stehen lassen?

M. Wikelski: Wir können nur einen kleinen Teil aller ziehenden Störche beobachten. Für diesen Teil können wir diese Aussage für die Schwarzstörche wirklich treffen und das zeigt sich inzwischen auch schon bei den Populationsentwicklungen. Zu den Weißstörchen würde ich auf Wolfgang Fiedler verweisen, der sich da besser auskennt. Soweit ich weiß, sieht man die Bestandsveränderung noch nicht massiv in der Population, wir sehen sie aber schon sehr stark bei den besenderten Jungtieren, die in Teilen Afrikas massiv bejagt werden.

W. Fiedler: Im Moment ist das krasse Bild dadurch gekennzeichnet, dass unsere Stichprobe noch nicht sehr groß ist. Es ist aber tatsächlich so: Vergleicht man Ost- und Westzieher, so ist die Überlebenswahrscheinlichkeit der Ostzieher bei den Weißstörchen wesentlich kleiner als die der Westzieher. Bei den Schwarzstörchen haben wir nur Ostzieher besendert, aus der Population aus Lettland, und hier hat tatsächlich kein einziger die Brutreife erreicht. Bei anderen Studien auf der Westroute mit der gleichen Technik haben dagegen etliche Tiere überlebt. Bei den Todesursachen im Osten Afrikas ist die Bejagung eindeutig die wichtigste.

S. Renner: Wie schnell kann sich das Zugverhalten ändern? Lässt sich hier etwas zur Evolutionsgeschwindigkeit sagen?

M. Wikelski: Wir wissen, dass sich das Zugverhalten sehr schnell ändern kann. Wir wissen auch, dass es eine angeborene Komponente über wenige Generationen geben kann, das zeigen zumindest Laboruntersuchungen von Peter Berthold, Franz Bairlein und anderen.¹ Wir wissen nicht sicher, ob es sich um eine evolutionäre Veränderung handelt, weil im Moment unklar

ist, wie das Zugverhalten kodiert ist. Es könnte also auch epigenetisch sein. Wir verstehen immer mehr, wie wichtig die Epigenetik ist. Ob man das Zugverhalten dann als angeboren oder als genetisch bezeichnen will, ist jedem selber überlassen. Zumindest kann sich das Verhalten sehr schnell ändern, wahrscheinlich auch über Kollektivverhaltensänderungen in einer Gruppe von Störchen, aber wie sich das im evolutionären Zeitraum durchsetzt, wissen wir noch nicht.

G. Haszprunar: Bei den Amseln haben Sie darauf verwiesen, dass es durchaus größere Unterschiede gibt zwischen den nördlichen Populationen und denen in Süddeutschland und dass die Amseln, die wandern, bessere Überlebenschancen haben als die, die hierbleiben. Soweit mir bekannt ist, gibt es eine deutliche Differenzierung bei den Geschlechtern: Die Männchen, die nicht ziehen, überleben vielleicht schlechter bei uns, aber sie haben im Frühjahr den großen Vorteil, dass sie die Brutreviere wesentlich schneller besetzen können als die Männchen, die erst heimkehren müssen. Gibt es dazu belastbare Daten?

M. Wikelski: Es sieht tatsächlich so aus, dass sich die Männchen, die über den Winter hierbleiben, früher fortpflanzen können und damit den Vorteil der ziehenden Männchen ausgleichen können.² Es ist aber sehr schwierig, die Reproduktionsdaten auf dem Niveau des Individuums zu bekommen. Wenn man die Tiere beobachtet, stört man das Nest u.s.w. In Zukunft wird es durch die elektronischen Beobachtungsmöglichkeiten sehr einfach werden, weil man anhand des Bewegungsmusters genau erkennen kann, wer wann brütet. Wir können dann auch sehen, ob Jungen großgezogen werden oder nicht. Wir haben dann aber immer noch das Problem der »extra-pair fertilization«, also der Nachkommen, die nicht von dem Vater in der Familie gezeugt worden sind. Wir wissen aber zumindest, wie groß der Vorteil des frühen Brütens sein muss, um den Nachteil auszugleichen, im Winter daheim zu bleiben.

1 Pulido, F. & F. Berthold. 2010. Current selection for lower migratory activity will drive the evolution of residency in a migratory bird population. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 107(16): 7341–7346.

2 Zúñiga, D., Y. Gager, H. Kokko, A. M. Fudickar, A. Schmidt, B. Naef-Daenzer, M. Wikelski & J. Partecke. 2017. Migration confers winter survival benefits in a partially migratory songbird. – *eLife*.