

## ÖKOLOGIE

## Meeresvögel beschleunigen Anreicherung von Mikroplastik

**Die Belastung der Weltmeere mit Plastikmüll stellt in vielfacher Hinsicht ein ökologisches Problem dar. Ein wesentlicher Aspekt ist das Verschlucken von Plastikteilen durch Tiere wie Vögel, Säugtiere oder Schildkröten, welche die auf und im Wasser treibenden Stücke fälschlicherweise für verwertbare Nahrung halten. Der verschluckte Kunststoffmüll wird dabei nicht immer einfach durch den Verdauungstrakt hindurchgeschleust; vielmehr werden größere Teile in dem Muskelmagen mancher Vogelarten bis auf ein „verdauliches“ Maß zerkleinert. Die Folge ist, dass feinste Plastikpartikel mit hoher Adsorptionsfähigkeit in verschiedenste Ökosysteme gelangen.**

Plastik verschwindet nicht von selbst, es ist nicht biologisch abbaubar, und auch Witterungseinflüsse zersetzen es nicht, sondern lassen es nur in immer kleinere Fragmente zerfallen. Unterschreitet die Größe dieser Teilchen 5 mm, spricht man von Mikroplastik. Welche Gefahren von diesen kleinsten Kunststoffbröseln für die Umwelt ausgehen, ist erst ansatzweise erforscht, doch gelten sie keinesfalls als harmlos. So ist bei Partikeln dieser Größenordnung das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen besonders groß; sie binden daher im Vergleich zu größeren Plastikteilen deutlich mehr Schadstoffe aus dem Meerwasser. Darunter sind auch langlebige organische Verbindungen, POPs (persistent organic pollutants)

genannt, von denen viele als endokrine Disruptoren wirken. Als solche haben sie hormonähnliche Wirkungen und können zahlreiche hormonell gesteuerte Körpervorgänge stören. Andere POPs gelten als neurotoxisch oder cancerogen. Mikroplastik entsteht jedoch nicht nur auf abiotischem Wege wie durch Einwirkung von UV-Strahlung, Wind- und Wasserkraft. Manche Wasservogelarten würgen unverdauliche Nahrungsbestandteile wie z. B. Tintenfischschnäbel nicht aus, sondern zerkleinern diese in ihrem Muskelmagen so weit, dass eine Magen-Darm-Passage gefahrlos möglich ist (Abb. 1). Wie langjährige Untersuchungen des Mageninhalts von Sturmvögeln zeigen, geschieht dasselbe offenbar auch mit Plastikstücken [1, 2], welche in Härte und Festigkeit den Tintenfischschnäbeln ähneln.

Sturmvögel sind dafür bekannt, dass sie regelmäßig große Mengen Plastik schlucken. Tatsächlich tun sie dies in einem solchen Ausmaß, dass die in den Mägen angeschwemmter, toter Sturmvögel gefundene Menge Plastik als Gradmesser für die ökologische Qualität des Meerwassers herangezogen wird. Sturmvögel sind weltweit in den Polarregionen verbreitet, wobei der Eissturmvogel (*Fulmaris glacialis*) der einzige auf der Nordhalbkugel lebende Vertreter ist. Alle Arten sind Zugvögel, die die Wintermonate in gemäßigten - und stärker mit Plastikmüll belasteten - Meeresregionen verbringen, wobei sie sich ausschließlich auf dem offenen Meer aufhalten. Lediglich für die Brut und Aufzucht ihrer Jungen suchen sie in den Sommermonaten näher an den Polregionen gelegene Brutgebiete an Land auf.

Untersuchungen des Mageninhalts von Eissturmvögeln in der Nordsee werden seit den 1980er Jahren durchgeführt.

**Abb. 1.** Unverdauliche Reste aus dem Darm eines Eissturmvogels (*Fulmaris glacialis*); Fund: Normandie, 2007. In der rechten Petrischale Überreste von erbeuteten Tieren (oben links sog. Papageienschnäbel von Tintenfischen), in der linken Petrischale nach Größe und Form sortierter Plastikmüll.



*Fulmarus glacialis* NMD-2007-066



**Abb. 2.** Plastikmüll und organische unverdauliche Reste enthaltender Darmtrakt eines Eissturmvogels mit Drüsenmagen (Proventriculus, oben rechts) und anschließendem Muskelmagen; Fund: Normandie, 2007. [Photos Jan van Franeker, IMARES, Texel/Niederlande]

Fand man in den Anfangsjahren durchschnittlich 15 Plastikteile je Vogel, so stieg die Zahl in den folgenden Jahren deutlich an: Von insgesamt 1295 im Zeitraum von 2003 bis 2007 an der Nordseeküste angetriebenen Vögeln hatte 95% Plastik geschluckt; durchschnittlich waren es 35 Stücke, entsprechend 0,31 g [1]. Die Ergebnisse für 227 Funde an der holländischen Küste im Zeitraum von 2005 bis 2009 liegen ähnlich: In 95% der Fälle fand sich Plastik im Magen, der Durchschnitt lag bei  $27,3 \pm 2,5$  Stücken mit einem Gewicht von  $0,9 \pm 0,03$  g [2]. Dabei änderte sich im Laufe der Jahrzehnte nicht nur die Zahl der Plastikteile, sondern auch deren Zusammensetzung: Während anfangs Kunststoffpellets überwogen, die als Rohstoff zur Weiterverarbeitung dienen, sind es mittlerweile vornehmlich Überreste der Endprodukte. Dies ist von besonderer Relevanz, da dem Rohmaterial während des Produktionsprozesses zahlreiche Substanzen wie Weichmacher, Flammschutzmittel, Farbstoffe und ähnliches zugesetzt werden, so dass die Schadstoffbelastung des Enderzeugnisses ungleich höher ist.

Im Rahmen ihrer Untersuchungen machten die Forscher noch eine weitere wichtige Entdeckung: Der Zerkleinerungsprozess in den Vogelmägen geht offenbar weit schneller vonstatten als zunächst angenommen. Während Veröffentlichungen aus den Jahren 1985 und 1987 die durchschnittliche Verweildauer verschluckter Plastikteile in Seevogelmägen mit über sechs Monaten bzw. mindestens einem Jahr veranschlagten, belegen neuere Untersuchungen an Kapsturmvögeln (*Daption capense*), dass diese gerade einmal 4 Wochen brauchen, um 80 bis 90% des Plastikmülls über den Ver-

dauungstrakt auszuscheiden. Wie ihre Verwandten sind auch Kapsturmvögel Zugvögel, die den Winter in den verschmutzten Gewässern um Neuseeland verbringen, um gegen Anfang November zu ihren Brutgebieten auf den Inseln des Windmill-Archipels im Indisch-Antarktischen Becken zurückzukehren, dessen Gewässer noch weitgehend unverschmutzt sind. Ein Einzelexemplar eines Kapsturmvogels, der gegen Ende Oktober nahe der Forschungsstation Casey, Ardery Island, mit einem Forschungsschiff kollidierte, enthielt 11 Plastikteile; von 9 im Dezember tot an der dortigen Küste aufgefundenen Vögeln hatte gut die Hälfte Plastik im Magen, durchschnittlich waren es 1,67 Teile. Bis Mitte Januar sank diese Zahl weiter drastisch ab: In 20 Funden zu diesem Zeitpunkt ließ sich nur noch bei 20% Plastik nachweisen, durchschnittlich waren es 0,25 Plastikteile (Supplement in [1]).

Entsprechende Zahlen gibt es auch für in der hohen Arktis gesammelte Eissturmvögel (*Fulmaris glacialis*): Diese verbringen die Wintermonate im Nordatlantik und kehren im Frühjahr zu ihren Brutkolonien im nordkanadischen Nunavut-Territorium zurück. Bei verendeten Vögeln, die im Zeitraum Mai bis August der Jahre 2003 und 2004 untersucht wurden, lag die durchschnittliche Zahl der Plastikpartikel im Mai bei 8,6, im Juni bei 3,2, im Juli bei 1,2 und im August bei 0,8. Bezeichnenderweise befanden sich in Mai und Juni 70% der Kunststoffteile im Proventriculus, während in Juli und August 94% davon im Muskelmagen gefunden wurden (Abb. 2) [3]. Obwohl der Prozentsatz an Vögeln, die Plastik geschluckt hatten, mit 31% vergleichsweise niedrig ist (bei Sturmvögeln in der Nordsee lag der Anteil bei 95% [1]), belegt das Ergebnis einen deutlichen Anstieg der Verschmutzung der Ozeane durch Plastikmüll: Bei Untersuchungen in derselben Region in den 1970er Jahren wurde gar kein Plastik in den Vogelmägen gefunden [3].

Aus den Ergebnissen der Studien sowie vergleichenden Untersuchungen zur Eliminationszeit von Tintenfischschnäbeln ermittelten die Forscher eine durchschnittliche Ausscheidungsrate von mindestens 75% pro Monat. Für Weichplastikteile wie Folien oder Schaumstoffe dürfte dieser Wert noch deutlich höher liegen. Eine Hochrechnung auf die geschätzte Gesamtpopulation von rund 2 Millionen Sturmvö-

gel in der Nordsee ergibt demnach, dass diese etwa 630 Millionen Plastikpartikel (6 Tonnen Kunststoff) jährlich in ihren Muskelmägen kleinmahlen und so den Zerkleinerungsprozess größerer Stücke Plastikmüll zu Mikroplastik vorantreiben, das kaum mehr aus den Ozeanen zu entfernen ist [4]. Hinzu kommt der Umstand, dass dieses Material von den Vögeln in Gegenden verbracht wird, die derzeit noch als relativ unverschmutzt gelten, und dass sie Plastik aus dem Meer auch in terrestrischen Habitaten verteilen.

Wie erwähnt, nehmen die Vögel heute überwiegend Plastikreste von Gebrauchsgegenständen auf, denen unterschiedlichste Substanzen zugesetzt wurden. Unter normalen Umwelt- und Ernährungsbedingungen in Leber- und Fettgewebe eingelagert, werden diese Substanzen bei Nahrungsknappheit durch den Abbau von Fettreserven freigesetzt – mit möglicherweise gravierenden Folgen für die Vögel. So kam es im Frühjahr 2004 zu einem Massensterben von Tausenden von Eissturmvögeln in der südlichen Nordsee. Untersuchungen an den verendeten Tieren offenbarten eine Reihe von Auffälligkeiten gegenüber früheren Vogelsterben. Insbesondere war in den meisten Fällen die Mauser der Schwung- und Schwanzfedern verzögert oder unterbrochen; Daunen fehlten häufig ganz. Außerdem waren mit über 67% weit überwiegend ausgewachsene, weibliche Vögel betroffen. Alle aufgefundenen Vögel waren extrem abgemagert. Der ersten Welle folgte im Frühsommer 2004 eine weitere, bei der wiederum vor allem weibliche Tiere betroffen waren, von denen fast die Hälfte kurz zuvor Eier gelegt hatten; vier Tiere trugen sogar voll entwickelte Eier. Dies ist äußerst ungewöhnlich, denn normalerweise entfällt bei Nahrungsknappheit das Brutgeschäft bei langlebigen Seevögeln.

Da Mauser und Reproduktionsverhalten hormonell gesteuert werden, ist ein Zusammenhang mit dem aufgenommenen Plastikmüll und den damit assoziierten POPs wahrscheinlich, auch wenn ein endgültiger Beweis aussteht [5].

[1] J. A. van Franeker et al., *Environmental pollution* **159**, 2609 (2001); (online supplement: Monitoring Fulmar Plastic Ingestion). – [2] J. A. van Franeker and The SNS Fulmar Study Group. IMARES Report Nr C037/11 (2011). – [3] M. L. Mallory, *Marine Pollution Bulletin* **56**, 1486 (2008). – [4] 5th International Marine Debris Conference, 2011.

www.5imdc.org. – [5] J. A. van Franeker: Chemicals in marine plastics and potential risks for a seabird like the Northern Fulmar, in [4].  
 Dipl.-Biol. Angela Wüstenhagen, Stuttgart

NEUROPHYSIOLOGIE

# Magnetfeldwahrnehmung bei Tauben

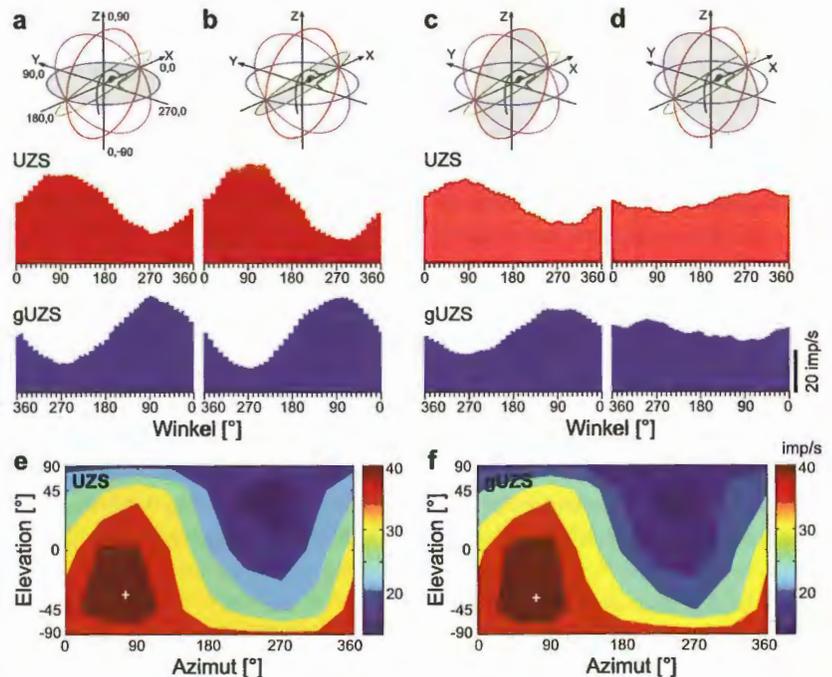
**Tierarten, die bei Wanderungen große Strecken zurücklegen, benötigen geeignete Mechanismen zur Orientierung und Navigation. So benutzen Tauben Geruchs- und Magnetfeld-Informationen, um auch aus großen Entfernungen den heimischen Schlag zu finden. Auf welche Weise Tauben und andere Vögel das Erdmagnetfeld wahrnehmen können, ist jedoch nur unvollständig geklärt. Neben Magnetfeld-Sensoren im Auge wurden bisher auch Magnetfeld-empfindliche Neurone im Schnabel angenommen. Während der retinale Signalweg unumstritten ist, muss nach neuesten Erkenntnissen die Existenz von Magnetfeld-Sensoren im Schnabel bezweifelt werden. Stattdessen scheinen spezialisierte sensorische Neurone im Innenohr Informationen über Orientierung und Intensität des Erdmagnetfeldes zu liefern, die in nachgeschalteten Strukturen zur Bestimmung der Position und der Flugrichtung genutzt werden können.**

An ihnen unbekanntenen Orten aufgelassene Tauben können mühelos und mit erstaunlicher Präzision über Hunderte von Kilometern zum heimischen Schlag navigieren. Diese Orientierungsleistung erfolgt mit Hilfe verschiedener Sinnessysteme, unter anderem auch mit dem Geruchssinn (siehe NR 4/2011, S. 200). Besonders wichtig bei der Navigation über große Entfernungen ist die Perception des Erdmagnetfeldes. Allerdings kann für dessen Wahrnehmung bis heute keine befriedigende Erklärung gegeben werden. Die bisher gültige Modellvorstellung geht davon aus, dass zwei unabhängige Wahrnehmungssysteme bestehen. Eines davon befindet sich in der Netzhaut und beruht auf der Bildung von Radikal-Paaren des Photopigments Cryptochrom 1a, die durch das Erdmagnetfeld beeinflusst wird.

Cryptochrom wird auch bei Invertebraten mit Magnetfeldorientierung in Verbindung gebracht (NR 2/2009, S. 86). Als chemischer Magnetfeldsensor könnten Cryptochrom-Radikal-Paare Informationen über die Richtung der Magnetfeldlinien liefern, die in einer spezialisierten Region des Vorderhirns für die Bestimmung der Flugrichtung genutzt werden, dem sogenannten „Cluster N“.

Weitere Magnetfeldsensoren wurden in der Epidermis des Schnabels angenommen. Dort finden sich Einschlüsse magnetischer Kristalle (Magnetit,  $Fe_3O_4$ , und Maghemit,  $Fe_2O_3$ ) in sensorischen Nervenfasern im Oberschnabel, die ebenfalls der Detektion der Feldlinien dienen sollen. Diese Annahme wird bestärkt durch Verhaltensbeobachtungen, die zeigten, dass nach Durchtrennen des Astes des Trigemini-Nervs, der den Oberschnabel innerviert, die Magnetfeldwahrnehmung partiell verloren geht. Ein sicherer Nachweis, dass die magnetithaltigen Strukturen im Oberschnabel

von Tauben tatsächlich Fortsätze spezialisierter Neurone des Trigemini sind, konnte bisher allerdings nicht geliefert werden. Im Gegenteil, neueste Untersuchungen zur Struktur und zur zellulären Identifikation lassen es sehr unwahrscheinlich erscheinen, dass in der Epidermis des Oberschnabels tatsächlich neuronale „Magnetfeldsensoren“ vorhanden sind [1]. Um die Frage nach der Identität der eisenhaltigen Zellen zu klären, wurden Serienschnitte durch den Schnabel von Tauben histologisch analysiert. Dabei stellte sich zunächst heraus, dass entgegen früherer Berichte Zellen, die Eisenoxide enthalten, nicht nur in wenigen lokal eingrenzenden Bereichen vorkommen, sondern entlang der gesamten rostro-caudalen Ausdehnung des Schnabels. Außerdem enthielten die eisenoxidhaltigen Zellen keine Neuronen-typischen Proteine wie Neurofilament-Untereinheiten oder das mit Mikrotubuli assoziierte Protein MAP1B. Stattdessen exprimierten die



**Abb. 1.** Orientierungsselektivität eines vestibulären Neurons der Taube auf Magnetfelddeflexion. – a–d. Zur Reizung wurden Magnetfelder verwendet, deren Feldlinien in den vier Hauptebenen (a: horizontal, c: vertikal, b und d: jeweils 45° geneigt, grau hervorgehoben) um den Kopf der Tiere rotiert wurden. Im Verlauf der Rotation des Magnetfeldes im Uhrzeigersinn (UZS, rote Histogramme) und gegen den Uhrzeigersinn (gUZS, blaue Histogramme) variierte die Impulsrate regelmäßig und zeigte ein eindeutiges Maximum für eine bestimmte, dreidimensionale Orientierung der magnetischen Feldlinien. – e, – f. Aus den Antwortmustern auf die Rotation des Magnetfeldes in den vier Hauptrichtungen lässt sich die Abhängigkeit der neuronalen Aktivität von der Raumorientierung des Magnetfeldes berechnen (hohe Impulsrate: rot, geringe Impulsrate: blau), die unabhängig von der Rotationsrichtung (e: im UZS, f: gegen den UZS) eine eindeutige bevorzugte Orientierung dieses Neurons liefert (mit weißem „+“ gekennzeichnet). Die Neurone sind also auf eine charakteristische Raumorientierung magnetischer Feldlinien „abgestimmt“. Verändert nach [2]



### Intranasale Verabreichung von Medikamenten

### SOFIA und der kosmische Materiekreislauf

### Rundschau

Merkur – ein dynamischer Planet  
Gezielte Funktionalisierung von Kohlenstoff-Wasserstoff-Bindungen  
Fehlerhaft Interpretation von präkambrischen Fossilien · Symbiose mit Muscheln und Bakterien schützt Seegraswiesen vor Sulfidvergiftung  
Meeresvögel beschleunigen Anreicherung von Mikroplastik · Magnetfeldwahrnehmung bei Tauben  
Männliche Maiskeimzellen werden

durch Sauerstoffmangel induziert.  
Okologische und ökonomische Vorteile des Anbaus transgener Baumwolle · Infektionsmechanismus bei der Reisbräune-Krankheit · Woher stammt die Bäckerhefe? · Aerogene Übertragung von Vogelgrippeviren beim Frettchen · Sequenzierung des kindlichen Genoms aus mütterlichem Blut

### Buchbesprechungen

### Personalia

### Service

Stichwort: Kunststoffe

### GEOMAX 19

Klima im Spiegel der Zeit – Monsunforschung auf dem Dach der Welt

# 10

Oktober 2012  
65. Jahrgang  
€ 16,00  
E 9981

# Naturwissenschaftliche Rundschau

Organ der  
Gesellschaft Deutscher  
Naturforscher und Ärzte

**NR**

772

