

# Telemetrie in der Greifvogelforschung<sup>1</sup>

## Vorwort

Die Greifvogelforschung hat sich im Laufe der Zeit stark verändert. Zunächst wurden die Tiere nur direkt beobachtet, meist mit Hilfe optischer Geräte (Ferngläser, Spektive usw.). Hinzu kamen andere Methoden, wie z.B. die Suche nach Rupfungen und Gewöllen zur Klärung der Ernährung. Da Greifvögel extrem mobil sind und meist sehr große Strecken im Laufe eines Tages zurücklegen, war früher praktisch nur die systematische Beobachtung am Horst möglich. Diese erfolgte im vergangenen Jahrhundert in der Re-

gel von Verstecken aus, wodurch fundamentale Ergebnisse zur Brutbiologie gewonnen werden konnten. Seit neuerer Zeit können mittels Videotechnik mit viel geringeren Störungen weit umfangreichere Daten zum Verhalten im und am Horst erworben werden.

Viele Fragen zur Biologie lassen sich ohne individuelle Kennzeichnung der Tiere, wie z.B. auch durch Telemetrie-Sender (s. Abb. 1) (Telemetrie bzw. Radiotelemetrie = Fernmessung), nicht klären, ein weiterer Schritt in der Forschung. In aller Regel können allein durch

---

1 Überarbeitete und erweiterte Fassung des von B.-U. Meyburg, Weltarbeitsgruppe Greifvögel, anlässlich der Ordens-  
tagung in Meerbusch am 18. Oktober 2012 gehaltenen Festvortrags.



*Abb. 1: Da Schreiadler in aller Regel individuell nicht zu unterscheiden sind, sind Satelliten-Sender bei Untersuchungen oft sehr hilfreich. Die Tiere sind an der Antenne relativ leicht auch auf größere Entfernung zu erkennen.*

Foto: B.-U.Meyburg

direkte Feldbeobachtung ohne individuelle Markierung der Greifvögel Fragen zur Größe der Reviere, der zurückgelegten Entfernungen bei der Nahrungssuche usw. aus methodischen Gründen nicht geklärt werden. Dies gilt erst recht für den Zug in entfernte Kontinente.

Die Telemetrie wurde ab 1963 an Wildtieren einsetzbar, als WILLIAM W. COCHRAN eine Senderschaltung entwickelte, die mit einem Minimum elektronischer Komponenten und gleichzeitig mit gutem Wirkungsgrad hochfrequente Radiosignale sendete (COCHRAN & LORD 1963). Dies ermöglichte es, mit verhältnismäßig kleinen Batterien eine ausreichende Lebensdauer der Geräte zu erreichen. Seitdem haben vor allem elektronische Komponenten ständige Verbesserungen und eine ungeahnte Miniaturisierung erfahren, so daß wir heute auch sehr kleine Tierarten verfolgen und immer neue Einsichten in die Lebensweise von Tieren gewinnen können, die den üblichen Sichtbeobachtungen nicht zugänglich sind.

Die klassische Anwendung der Telemetrie war und ist die Analyse individueller Wohngebiete (= home ranges, Aufenthaltsräume, Streifgebiete) bezüglich Fläche, saisonalen Verschiebungen oder Territorialverhalten. Die groben Umrisse eines home ranges werden bereits nach relativ wenigen Ortungen (50–100) erkennbar. Solche Grundinformation erlaubt schon wesentliche Schlüsse auf Habitatwahl und Organisation der Tiere: Es wird möglich, die Größe der genutzten Gebiete zu schätzen oder zu entscheiden, ob Überlappungen der Individuen vorkommen und falls ja, wie groß sie sind.

### **Telemetrie – ein neuer Weg in der Greifvogelforschung**

Die gezielte Ortung und Verfolgung fernab vom Horst war früher bei Greifvögeln nicht möglich. Dies gelingt erst seit dem Einsatz der Telemetrie. Telemetrie bezeichnet die Übertragung von Meßwerten eines am Meßort befindlichen Meßfühlers (Sensor) zu einer räumlich getrennten

Empfangsstelle. An dieser Stelle können die Meßwerte gesammelt, aufgezeichnet und evtl. auch sofort ausgewertet werden. Die Telemetrie wird seit Ende der 1920er Jahre für die Nachrichtenübermittlung aus Wetterballonen verwendet. Sie erlebte einen großen Aufschwung mit der Entwicklung der Großraketen in den 1940er Jahren.

Die Radiotelemetrie bzw. Wildtier-Telemetrie ist eine Methode zur indirekten Beobachtung von freilebenden Tieren mittels Hochfrequenz-Sendern. Sie macht Tiere unabhängig von Sichtbedingungen für die Aufnahme von Beobachtungsdaten zugänglich. Bei Arten, die beispielsweise im Wald leben, sind regelmäßige Sichtbeobachtungen oft unmöglich. Dies wiederum verhindert es, sehr wichtige biologische Daten zu erheben, beispielsweise zur Raumnut-

zung, zur Größe der Wohngebiete, aber auch zu Wanderungen oder Überlebensraten. Mithilfe der Satelliten-Telemetrie werden Erkenntnisse über das Migrationsverhalten von wandernden Tierarten gewonnen, es können mit neueren Satelliten-Sendern aber auch Daten über die Biologie im Brutgebiet, zur Habitatnutzung und zu vielen anderen Fragen ermittelt werden (s. Tab. 1). Mit Hilfe der gewonnenen Ergebnisse können Maßnahmen zum Arten- und Naturschutz geplant werden.

Bill Cochran, Ingenieur für Radiotechnik und inzwischen im Ruhestand, gilt als Pionier der Wildtier-Telemetrie. Er hat an der University of Illinois die technischen Voraussetzungen dafür geschaffen, daß Wissenschaftler Vögel mit Mini-Sendern ausstatten und so ihre Flugrouten verfolgen können.

Tab. 1: Zu welchen Fragen sind bei Greifvögeln Ergebnisse von der Satellitentelemetrie zu erwarten?

Ergebnisse zum Zugverhalten
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verlauf der Zugrouten ziehender Arten (unterscheiden sich die Zugrouten einzelner Individuen in verschiedenen Jahren, evtl. Unterschiede zwischen Alt- und Jungvögeln)</li> <li>• Navigation und Orientierung (Unterschiede Jung- und Altvögel, Rückschlüsse auf angeborenes Verhalten und Erfahrung)</li> <li>• geographische Lage der Überwinterungsgebiete</li> <li>• Familienauflösung bzw. Familienzusammenhalt während des Zuges</li> <li>• Zur Frage des Überquerens von ökologischen Barrieren (Gewässer, Gebirge, Wüsten usw.)</li> <li>• Zur Frage, welche Strukturen als Leitlinien des Vogelzugs dienen</li> <li>• Konzentrationspunkte (bottlenecks): Ziehen alle Individuen dort durch und zu welchem Zeitpunkt? Ist eine Erfassung der Gesamtpopulation verschiedener Arten an diesen Punkten durch direkte Beobachtung möglich?</li> <li>• Zugperiode</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unterschiede adulte/immature/juvenile Vögel</li> <li>• Unterschiede Männchen/Weibchen</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zugdauer <ul style="list-style-type: none"> <li>- Unterschiede Weg- und Heimzug</li> <li>- Abhängigkeit von der Entfernung zwischen Brut- und Überwinterungsgebiet</li> <li>- Unterschiede adulte/immature/juvenile Vögel</li> <li>- Unterschiede von Jahr zu Jahr</li> </ul> </li> <li>• Zuggeschwindigkeit <ul style="list-style-type: none"> <li>- Variation während des gesamten Zuges</li> <li>- Individuelle Unterschiede</li> </ul> </li> </ul>

- Länge der Tagesstrecken
- Tatsächliche Durchschnittsgeschwindigkeiten
- Aktuelle Geschwindigkeiten
- Tagesprofil des Zugverhaltens
- Abhängigkeit vom Wetter
- Abhängigkeit vom Alter des Zugvogels (juvenil, immatur, adult)
- Abhängigkeit von der Beteiligung und Nichtbeteiligung von Altvögeln am Brutgeschäft
- Abhängigkeit von der Entfernung zwischen Überwinterungs- und Brutgebiet

#### **Rastgebiete**

- Geographische Lage, Größe und Zahl der Rastgebiete auf der Zugstrecke
- Ökologische Bedingungen in den Rastgebieten
- Aufenthaltsdauer und Verhalten in den Rastgebieten

#### **Ergebnisse zur Dispersion und Dismigration**

- bei Arten mit gering ausgeprägtem Zugverhalten

#### **Ergebnisse zum Überwinterungsverhalten**

- Geographische Lage der Überwinterungsgebiete
- Größe und Zahl der Streifgebiete (home ranges) im Überwinterungsgebiet
  - eventuelles Nomadisieren
  - Festhalten an ein und demselben Gebiet in verschiedenen Jahren (Winterortstreue)
  - Verhalten im Überwinterungsgebiet

#### **Hängen Zug und Bruterfolg voneinander ab?**

Wodurch kommt es zu verspäteter/verfrühter Frühjahrsankunft am Brutplatz (Witterungseinflüsse während des Zuges, verspäteter/verfrühter Abzug aus dem Überwinterungsgebiet, Einfluss von Klimaveränderungen)

#### **Verhalten im Brut- und Übersommerungsgebiet**

- Verhalten nichtbrütender Altvögel (Ankunft, Reviergröße, evtl. Nomadisieren)
- Verhalten von Altvögeln ohne Bruterfolg (Festhalten am Brutplatz nach Brutverlust?)
- Verhalten immat. Vögel (Größe des Aufenthaltgebietes, Nomadisieren?)

#### **Festhalten am Brutplatz (Brutplatztreue) und Ansiedlungsverhalten**

- jährliche Rückkehr zu demselben Brutplatz oder Brutplatzwechsel
- Ansiedlungsverhalten von Erstbrütern Paarzusammenhalt über mehrere Jahre hinweg
- Ortsehe? Umverpaarungen? Umsiedlungen?

#### **Verbleib immaturer Vögel bis zur Brutreife während der Brutzeit**

- Rückkehr ins Brutgebiet/Daueraufenthalt im Überwinterungsgebiet?
- Größe der Streifgebiete, Nomadisieren

#### **Verluste auf dem Zug**

- durch menschliche Verfolgung (Feststellung von Schwerpunkten der Verfolgung)
- durch Fehlnavigation
- durch sonstige Verlustursachen

#### **Schicksal ausgewilderter Individuen**

(verletzte, gepflegte Greifvögel, Wiederansiedlungsprogramme etc.)

### **VHF-Telemetrie**

Die Methoden, die verwendet werden, um Positionen eines Tieres zu ermitteln, sind heute im wesentlichen die erstmals 1967 beschriebene Funkpeilung mittels Triangulation (auch konventionelle Radiotelemetrie, „Bodentelemetrie“ oder „Radiotracking“ genannt), das Homing-In vom Flugzeug oder vom Boden aus, seit 1976 bekannt, und die Übermittlung von Sendersignalen über Satelliten (Satelliten-Telemetrie).

„Radiotracking“ wird seit Ende der 1960er Jahre eingesetzt, um Wildtiere zu erforschen. Auch in der Falknerei wird die „Bodentelemetrie“ seit vielen Jahren verwendet, insbesondere um verstoßene Beizvögel wieder zu finden.

Die konventionelle Radiotelemetrie im VHF (Very High Frequency)-Bereich ist auch heute die am weitesten verbreitete Technik. Die Sender strahlen Signale im Bereich von 120–160 MHz ab, ein Frequenzbereich, in dem Kleinstrukturen im Lebensraum der Tiere die Signalausbreitung wenig behindern und der den Einsatz handlicher Antennen für die Ortung erlaubt. Zur Ortung sind im Regelfall mindestens zwei Beobachter im Gelände erforderlich, die mit Hilfe von sog. Yagi-Antennen und Empfangsgeräten eine Winkelpeilung durchführen. Da der Fehler der Peilung mindestens 5° beträgt, sind die Ortungen entsprechend ungenau, wenn es nicht zur angestrebten direkten Beobachtung des untersuchten Vogels kommt.

Wesentlich beim Fortschritt der Telemetrie war die technische Entwicklung in der Herstellung von Bauteilen hin zu integrierten Schaltungen und der inzwischen gängigen Halbleitertechnologie. Damit war eine zunehmende Miniaturisierung der Sender möglich. Heute können selbst kleine Tiere wie Schmetterlinge mit Sendern ausgestattet werden. Ein weiterer Faktor war der zunehmend bessere Wirkungsgrad (Akku und Stromverbrauch) der Sender.

### **Satelliten-Telemetrie**

Unter den Tieren gibt es eine ganze Reihe von sogenannten „Globetrottern“. Bekannt sind große Vögel, wie unter anderem Störche, Adler und

Gänse oder Säugetiere wie Eisbären und Wale. Daneben suchen aber auch Fische, Schmetterlinge und eine Reihe weiterer Tiere im Laufe eines Jahres weit auseinander liegende Lebensräume und Nahrungsgebiete auf. Zugvögel auf ihren oft weiten Reisen in ferne Kontinente begleiten zu können, ist ein alter Menschheitstraum.

Die Fähigkeit, temporären, zyklischen Veränderungen des Lebensraumes durch Wanderungen zu begegnen, ist in der Vogelwelt besonders augenfällig ausgebildet. Es wandern 200 der rund 300 Greifvogelarten der Welt, darunter 38 Arten, die mindestens über 3000 km jährlich „pendeln“. Entsprechend der Landmassenverteilung und der klimatischen Verhältnisse sind dabei die Nord-Süd-Wanderungen auf der Nordhalbkugel besonders ausgeprägt.

Zeitgleich mit den ersten Flugkörpern, die in den Weltraum geschossen und mittels Radiotelemetrie verfolgt wurden, entstand auch die Idee, Tiere von Satelliten aus zu orten (Übersicht in BENSON 2010). Freilich mußten die Biologen rund zwei Jahrzehnte warten, bis die Technik realisierbar (und bezahlbar) war. Der entscheidende Schritt war die Entwicklung des kommerziellen Systems ARGOS (s. unten), das für die Verfolgung von Schiffen, Transportgütern oder Hochseebojen konzipiert wurde. Die dazu notwendigen Sendegeräte, die über höchste Frequenzstabilität verfügen müssen, wurden mit dem zunehmenden Aufschwung der Telekommunikationstechnik ebenfalls rasch kleiner. Zusammen mit der verbesserten Empfindlichkeit der Empfänger auf den Satelliten ermöglicht das heute, Sender mit einem Gewicht von um 5 g zu bauen. Diese beziehen ihre Energie aus kleinen Solarzellen und können etliche Jahre lang funktionieren (Übersicht in MEYBURG & FULLER 2007). Mithilfe dieser kleinen Sender konnten wir beispielsweise das Rätsel des Amurfalkenzugs lösen. Diese Kleinfalken überqueren zweimal im Jahr in einem ca. dreitägigen non-stop-Flug den Indischen Ozean zwischen Indien und Somalia in Ost-Afrika, ein einzigartiges Phänomen bei Greifvögeln.

## Weltweite Ortung – ein Meilenstein in der Greifvogelforschung

Die neue Möglichkeit der globalen Überwachung tat sich bereits 1957 mit dem sowjetischen Satelliten Sputnik I auf. Wissenschaftler der amerikanischen Johns-Hopkins-Universität bemerkten, daß sich die Frequenz der empfangenen Funksignale deutlich veränderte, je nachdem ob sich der künstliche Erdrabant einer Empfangsstation näherte oder von ihr entfernte. Diesen sogenannten Dopplereffekt nutzten sie, um die Position des Satelliten auf seiner Bahn zu berechnen. Umgekehrt mußte es auch möglich sein, daß ein umlaufender Satellit den Standort eines Senders auf der Erde ortete. Diese Idee wurde zunächst vom Militär aufgegriffen, um Kriegsschiffe auf den Weltmeeren zu orten. 1978 ging das bereits erwähnte zivile ARGOS-System in Betrieb. Es wird seitdem nicht nur zur Positionsbestimmung von Schiffen, Containern und LKWs, sondern auch zur globalen Beobachtung von Wildtieren eingesetzt. Der Ausdruck Satelliten-Telemetrie hat sich für diese Technik eingebürgert. Im englischsprachigen Schrifttum wird auch manchmal die Bezeichnung UHF-Telemetrie (UHF= Ultra High Frequency, > 300 MHz) verwendet.

Am 21. Juli 2009 feierte die Satellitentelemetrie ihr 25-jähriges Bestehen als Forschungsmethode in der Ornithologie. An diesem Tag 1984 wurde der erste Vogel, ein Weißkopfseeadler, in den USA mit einem 170g schweren Satellitensender (PTT = platform transmitter terminal) versehen, der bis zum 19. März 1985 Daten übermittelte. Seitdem nahm die Satellitentelemetrie eine stürmische Entwicklung, insbesondere seit Beginn der 1990er Jahre. Dies fand z. B. auch darin seinen Niederschlag, daß 1998 ein Symposium über die Satellitentelemetrie in der Ornithologie während des 22. Internationalen Ornithologen-Kongresses in Durban (Südafrika) von den Verfassern abgehalten werden konnte.

## Das Argos-System

Kernstück der Satellitentelemetrie ist das Argos-System. Die Sender senden auf einer Trägerfrequenz von  $401.650 \text{ MHz} \pm 30 \text{ kHz}$ , auf der sie eine Nachricht von 32 Bytes aufmodulieren. Die Übertragungszeit beträgt 360–920 ms, die Pausen zwischen der Wiederholung des Signals 45–200 s. Argos empfängt die Signale der Sender mithilfe von NASA-Satelliten, die die Erde in einer Höhe von durchschnittlich 850 km umkreisen (s. Abb. 2, 3). Die von den Satelliten empfangenen Daten werden über verschiedene, über die Erde verteilte Empfangsstationen zu zwei Zentren in Frankreich und in den USA weitergeleitet und dort jeweils parallel ausgewertet. Mithilfe dieses Systems ist es möglich, die Ortsveränderungen einzelner Individuen weltweit permanent über längere Zeiträume hinweg zu untersuchen. In neuester Zeit dienen auch Mobilfunknetze zur Datenübertragung.

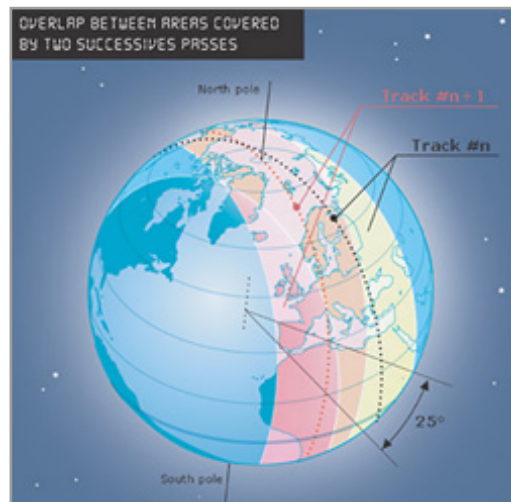


Abb. 2: Bisher basiert die Satelliten-Telemetrie ausschließlich auf dem Argos-System. Die Satelliten überfliegen den Äquator ca. 6–7 Mal, die Polarregion ca. 14 Mal am Tag, so daß eine Ortung spätestens nach vier Stunden erfolgt. Dabei werden die Signale der Sender von NASA-Satelliten in 850 km Höhe empfangen, die die Erde auf einer polaren Umlaufbahn umkreisen.

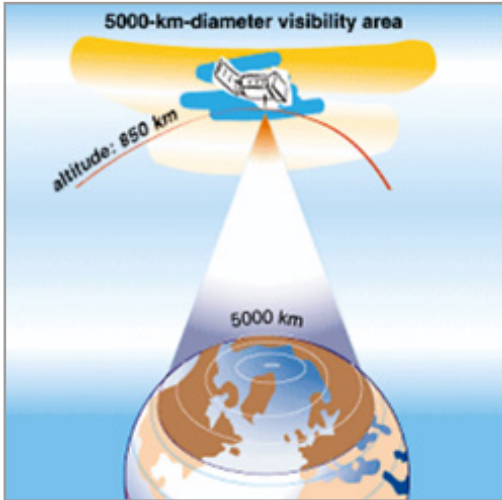


Abb. 3: Die Satelliten umkreisen die Erde auf einer polaren Flugbahn in 850 km Höhe. Ihr Footprint (der Erfassungsbereich auf dem Boden) hat einen Durchmesser von ca. 5000 km.

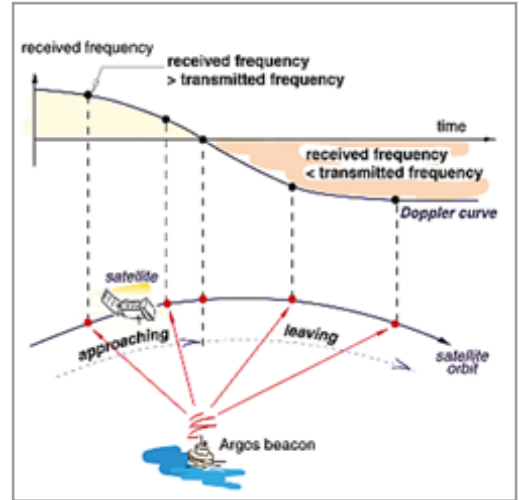


Abb. 4: Bis ca. 2003 wurden die Sender in der Ornithologie ausschließlich mithilfe des sogenannten Doppler-Phänomens durch das Argos-System geortet.

### Von der Doppler- zur GPS-Ortung – ein Quantensprung

Bis ca. 2003 wurden die Sender ausschließlich mithilfe des sogenannten Doppler-Phänomens durch das Argos-System geortet (Abb. 4). Die Frequenz der Sender ändert sich scheinbar bei der Annäherung der Satelliten an dieselben, beim Überfliegen und beim sich wieder Entfernen. Durch diese scheinbare Frequenzänderung lassen sich zwei Ortungen links und rechts der Flugbahn des Satelliten berechnen. Allerdings vermag Argos nicht festzustellen, welche der beiden Lokalisationen die richtige ist. Doppler-Ortungen haben den großen Nachteil, daß sie nur in wenigen Fällen (ca. 1 bis 5 %) auf wenige Hundert Meter genau sind. Daher muß der Forscher sehr kritisch prüfen, welche Ortungen überhaupt berücksichtigt werden können. Viele Lokalisationen sind nämlich viel zu ungenau oder sogar völlig falsch. Das Argos-System liefert zwar eine Einschätzung der einzelnen Lokalisationen und teilt die Ortungen in wahrscheinlich genaue und weniger genaue ein. Da diese Genauigkeit aber nicht von Argos garantiert werden kann, bleibt

es letztendlich dem Untersucher vorbehalten zu entscheiden, welche Ortungen er berücksichtigen will und welche er verwirft. Dabei sind Erfahrung und Kenntnis der untersuchten Art sehr wichtig. Oft lassen wir 80 bis 90 % der Ortungen unberücksichtigt. Die Doppler-Ortungen reichten aus, um die Zugwege und Überwinterungsgebiete recht präzise determinieren zu können. Kleinräumige Ortsveränderungen im Brutgebiet sind mit dieser Methode jedoch meist nicht feststellbar. Bei kleineren Greifvogelarten, wie z.B. Baumfalken, muß auch heute noch mit dieser Methode gearbeitet werden.

GPS (= Global Positioning System, deutsch: Globales Positionsbestimmungssystem) ist ein seit dem 26. Juni 1993 funktionierendes System des US-Verteidigungsministeriums bestehend aus 24 Satelliten. Das zu militärischen Zwecken aufgebaute GPS-System kann seit 2000 auch für zivile Anwendungen mit maximaler räumlicher Auflösung genutzt werden. Seitdem ermöglicht dieses System die Ortung von Tieren mit bisher unerreichter Genauigkeit (wenige Meter), und dies überall auf dem Globus.



Kurz nach der Jahrtausendwende wurden erstmals PTTs mit Solarbetrieb und GPS-Ortung verfügbar, die klein und leicht genug waren (zunächst 70 g), um damit größere Vogelarten markieren zu können.

Damit wurde eine exakte Analyse der Größe der Aufenthaltsräume im Brut- und Überwinterungsgebiet sowie in Rastgebieten möglich. Raum- und Habitatnutzung lassen sich präzise ermitteln. Die GPS-Daten zu Flughöhe, -geschwindigkeit und -richtung erlauben Aufschlüsse über das Verhalten der Tiere. Bisher war es methodisch sehr schwierig bis unmöglich, Flughöhen und -geschwindigkeiten genau zu messen. Die Datenübertragung erfolgt weiterhin über das Argos-System, so daß bei dieser Art von Telemetrie zwei verschiedene Satellitensysteme beteiligt sind (Abb. 5). Inzwischen werden diese Sender auch mit einem Gewicht von 45 g, 30 g und 22 g vertrieben. Ferner gibt es 45 g und 105 g schwere GPS-Sender mit Batteriebetrieb. Der Vorteil der GPS-Satellitentelemetrie gegenüber der bisherigen Satellitentelemetrie mit Doppler-Ortung liegt nicht nur in der viel größeren Genauigkeit, sondern die Zuverlässig-

keit der Ortungen kommt entscheidend hinzu. „Schlechte“ Lokalisationen, mit denen die Forscher bisher stets zu kämpfen hatten, gibt es hier praktisch nicht.

### **GSM-Telemetrie, ein weiterer „Quantensprung“**

Einen weiteren „Quantensprung“ stellt die Datenübertragung über das Mobiltelefonnetz dar. GSM ist die Abkürzung für „Groupe Spéciale Mobile“, ein Standard der Telekommunikation für digitale mobile Netze, entwickelt von ETSI, dem European Telecommunications Standards Institute. Es wird derzeit in über 220 Ländern der Erde genutzt.

Der Einsatz dieser Technik hat für die Telemetrie von Vögeln enorme Vorteile: Eine viel sicherere Übertragung der Daten als über die NASA-Satelliten und ungleich geringere Kosten der Datenübertragung. Es gibt inzwischen eine große, globale Abdeckung. Lokale „Funklöcher“ im GSM-Netz sind hinzunehmen, da GSM-Sender für eine bewegliche Nutzung konstruiert werden und viele Ortungen speichern können. Der Entwickler und Hersteller der ersten GSM-Sender für Vögel, Dr. Paul Howey, gab uns die Möglichkeit, 2012 einen Prototyp einzusetzen. Dieser GSM-Sender, mit dem wir ein 20-jähriges ad. Schreiadler-Männchen, genannt „Panni“, besenderten (s. unten), war so programmiert, daß er so viele Daten wie möglich lieferte, je nach Ladezustand des Akkus. Dadurch gab es Ortungen teilweise alle 3–5 Minuten. Vier weitere 2013 produzierte Sender, mit denen wir erneut ad. Schreiadler im Juli 2013 markieren konnten, können sogar alle 2 Minuten eine GPS-Ortung liefern, mehrere hundert pro Tag.

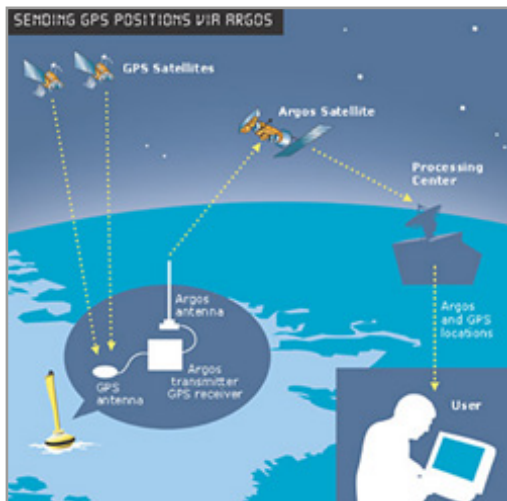


Abb. 5: Die Datenübertragung erfolgt bei den Argos-GPS-Sendern weiterhin über das Argos-System, so daß bei dieser Art von Telemetrie zwei verschiedene Satelliten-Systeme beteiligt sind.

### **Der lange Weg zum idealen Sender**

Der Schwachpunkt der Satelliten-Telemetrie generell sind die Sender, die bei Vögeln naturgemäß klein und leicht sein müssen. Das Hauptproblem bei der Telemetrie mit Vögeln ist das Sendergewicht. Die Sender sollten maximal nur ca. 3% des Körpergewichts der Tiere ausmachen. Dadurch können auch heute noch die meisten



Vogelarten nicht telemetrisch untersucht werden. Zu Beginn der Satellitentelemetrie um 1990 konnte diese nur bei sehr großen Arten, wie Adlern, Störchen usw. zum Einsatz kommen. Inzwischen konnte das Sendergewicht bis auf 5 g gesenkt werden, so daß auch relativ kleine Arten untersucht werden können.

Die Satelliten-Sender müssen 1000-mal stärkere Signale senden, um von den Satelliten empfangen zu werden, als Bodentelemetrie-Sender, bei denen in der Regel Beobachter auf der Erde mit Handantennen die Signale empfangen und den Vogel orten. Von den knapp 10 000 Vogelarten sind nur etwa 1500 groß genug, um selbst den kleinsten derzeit verfügbaren, knapp 5 g schweren Sender zu tragen. Unserer Auffassung nach sollte das Gewicht der Sender einschließlich der Befestigungsbänder 3 % des Körpergewichts der Vögel nicht überschreiten. Deshalb gibt es parallel zur Entwicklung immer kleinerer und leichter PTTs auch die sogenannten Geodatenlogger oder Geolocators (s. unten).

Fast schneller als von uns erwartet, gelang es immer kleinere Satelliten-Sender mit Solarbetrieb herzustellen und damit auch immer kleinere Arten zu untersuchen. Im Jahre 2000 wurden PTTs mit Doppler-Ortung mit einer Masse von ca. 18 g verfügbar, sodaß wir ab 2001 auch Wespenbussarde und Milane besondern konnten. Beim Verlauf der technischen Entwicklung der in der Satellitentelemetrie einsetzbaren Sen-

der lassen sich drei Zeitphasen unterscheiden (Tab. 2): der Zeitraum, in dem lediglich PTTs mit Batteriebetrieb und Doppler-Ortung zur Verfügung standen, die Phase, in der es dann Sender mit Solarbetrieb und Doppler-Ortung gab, und schließlich die letzte Phase, in der PTTs mit GPS-Ortung eingesetzt werden können. Die Zeiträume richten sich jeweils nach der Größe der Arten bzw. Sender.

Der führende Hersteller in den USA hat sich das Ziel gesetzt, dem theoretisch idealen Sender möglichst nahe zu kommen: Er soll praktisch nichts wiegen, so klein wie nur irgend möglich sein und beliebig viele Daten über einen unbegrenzt langen Zeitraum liefern können. Wenn es gelingt nur 2 g schwere PTTs herzustellen, könnte die Hälfte der Vogelarten damit telemetriert werden, ein Ziel welches bereits in greifbare Nähe gerückt ist. Derzeit gibt es alle Komponenten um 4 g oder sogar nur 3 g schwere Sender mit Doppler-Ortung zu konstruieren.

### GPS-Datenlogger – eine andere Art der Telemetrie

Mit der Erweiterung der technischen Möglichkeiten können mittlerweile auch modellierte Signale übertragen werden. Je nach technischem Aufwand können diese mit Positions-Daten eines GPS-Empfängers modelliert werden. Alternativ zur direkten Peilung können jetzt Daten per Telemetrie übertragen werden. Die technische

Tab. 2: Die drei Phasen der technischen Entwicklung der Satelliten-Telemetrie-Sender. Die Zeiträume beziehen sich auf mittelgroße Arten, wie etwa den Fischadler

Zeitraum	Art der Sender	Bemerkungen
1992–1995	Batteriebetriebene Sender mit Doppler-Ortung	Lebensdauer der Sender nur ca. 1 Jahr bei Programmierung der PTTs jeweils wenige Stunden an und mehrere Tage aus. Maximal 100–150 Ortungen
1995–2003	Sender mit Solarbetrieb und Doppler-Ortung	Lebensdauer mehrere Jahre (in einem Fall 10 Jahre), bei ausreichender Sonnenbestrahlung Tausende Doppler-Ortungen. Gut geeignet für die Erforschung des Zuges, zu ungenau für die Analyse kleinräumiger Bewegungen
ab 2003	Sender mit GPS-Ortung und Solar- und Batteriebetrieb	Ortungen auf wenige Meter genau. Hiermit auch genaue Analyse der Habitatnutzung usw. im Brutgebiet möglich. Ersetzt weitgehend die VHF-Telemetrie. Auch Daten zur Flughöhe und -geschwindigkeit

Weiterentwicklung im Bereich der Sendetechnik und Satellitenpositionsbestimmung macht es möglich, gespeicherte Positionsdaten zu senden. GPS-Datenlogger (Store-on-Board-Aufzeichnungsgerät) mit leistungsstarken zweistufigen Sendern können bis zu 260.000 Aufzeichnungen speichern und mittels VHF-Sendern die gespeicherten Daten übermitteln. Damit können sehr genaue Bewegungsprofile von Tieren erstellt werden. Obschon eine potentielle Genauigkeit von deutlich  $< 1$  m möglich ist, wird im wildbiologischen Einsatz von GPS-Einheiten in 50% der Fälle nur eine Genauigkeit von 40 m erreicht und 100 m in 95% der Fälle.

Ab 2012 stand uns diese neue Gerätevariante, sogenannte GPS-RF-Solar-Tags, zur Verfügung. Mit ihnen wurden 2012 und 2013 etliche Rot- und Schwarzmilane in Thüringen im Rahmen zweier Projekte markiert. Auch diese Sender werden von den Vögeln wie ein kleiner Rucksack auf dem Rücken getragen, besitzen einen 3D-GPS-Empfänger und werden über ein Solarpanel mit Strom versorgt. Zusätzlich enthalten sie einen Beschleunigungssensor, der Hinweise zum jeweiligen Verhalten des Milans liefert. Typische Wertemuster werden beispielsweise beim Ruderflug des Vogels gemessen. Auch Ruhephasen des Vogels lassen sich so genau bestimmen. Je nach Einstellung können die Tags die gemessenen Daten über einen längeren Zeitraum bis hin zu mehreren Monaten speichern. Ausgelesen werden diese Daten mittels eines speziellen tragbaren Empfängers, der sich zum Empfang der Daten in Sichtweite des Milans befinden muß.

### **Geodatenlogger oder Geolocators – eine neue Ortungstechnik**

Eine seit kurzem genutzte Ortungstechnik ist kein Telemetrieverfahren, doch soll sie der Vollständigkeit halber kurz erwähnt werden. In höchstem Maß miniaturisierte Uhren- und Speicherbausteine haben es möglich gemacht, eine sehr alte Ortungstechnik auch für die Datenerfassung zum Zug kleiner Vögel nutzbar zu machen. Kleine Datenlogger registrieren die

exakte Zeit von Sonnenauf- und -untergang. Aus den Daten läßt sich pro Tag eine nicht sehr exakte Ortung berechnen. Die Zeit des Sonnenhöchststands, ermittelt aus der Zeit von Sonnenauf- und -untergang, ergibt die geografische Länge (Position in Ost-West-Richtung). Die gesamte Tageslänge ergibt für ein bestimmtes Datum die geografische Breite (Position in Nord-Süd-Richtung).

Geodatenlogger messen die Blaulichtintensität des Sonnenlichts alle zwei Minuten und speichern diese versehen mit einem Zeitstempel ab. Blaulicht hat den Vorteil, daß es zuoberst in der Atmosphäre gestreut wird, dadurch werden die Meßwerte weniger von Wolken und Schatten beeinflusst.

Der Geodatenlogger besteht aus verschiedenen Komponenten. Die Blaulichtintensität wird von einem Farbsensor gemessen. Der Zeitstempel wird von einer sehr exakten und temperaturkompensierten Echtzeituhr geliefert. Ein Microcontroller steuert den Logger und speichert die Meßwerte in einem Festwertspeicher. Die Energie liefert eine Lithium-Batterie. Die Herausforderung liegt sowohl in der Miniaturisierung als auch in der Optimierung auf einen möglichst niedrigen Energieverbrauch.

Wenn die Technik auch kein hohes Auflösungsvermögen hat, erlaubt sie doch die Ermittlung von Zugwegen, Geschwindigkeiten, Rastplätzen und Daueraufenthalten. Nach ihrer Rückkehr müssen die Vögel wieder gefangen werden. Die Daten werden danach ausgelesen und auf dem PC ausgewertet. Aus dem Kurvenverlauf des Blaulichts kann für jeden Tag der Zeitpunkt des Sonnenauf- und -untergangs bestimmt werden. Aus der Tageslänge wird anschließend die geografische Breite und aus dem Tagesmittelpunkt die geografische Länge ermittelt. Die Genauigkeit der Positionsbestimmung liegt aktuell im Bereich von 200 km. Mit neuesten arithmetischen Verfahren sollte dieser Fehler aber in Zukunft halbiert werden können.

Mit dem Geodatenlogger steht nun erstmals ein Hilfsmittel zur Verfügung, welches die Erforschung der Zugrouten und Winterquartiere selbst

von kleinen Zugvögeln ab 20g ermöglicht. Bei Greifvögeln wurden diese Instrumente bisher bei Rötelfalken auf der Iberischen Halbinsel eingesetzt. Kürzlich wurden viele Rauchschwalben im Tessin mit nur 0,6g schweren Geodatenloggern markiert.

### Eigene Untersuchungen

Wir selbst haben bisher 14 Greifvogelarten – ferner einige Schrei-Schelladler-Hybride – mittels Satelliten-Telemetrie untersucht. Die größten Arten sind der Riesenseeadler und der einheimische Europäische Seeadler, die kleinsten Arten Baum- und Amurfalke. Bei manchen Arten, wie z.B. beim Schreiadler, wurden bisher bis zu über 100 Sender eingesetzt. Die von uns in größerer Zahl untersuchten Arten sind:

- Rotmilan
- Schwarzmilan
- Wespenbussard
- Fischadler
- Seeadler
- Schreiadler
- Schelladler
- Steppenadler
- Östlicher Kaiseradler
- Baumfalke
- Amurfalke

sowie wenige Individuen von

- Wanderfalke
- Riesenseeadler
- Wahlbergsadler

### Satellitentelemetrische Studien an deutschen Greifvögeln

Seit 1992 werden im Rahmen eines Langzeitprojektes der Weltarbeitsgruppe Greifvögel e.V. (WAG) neben ausländischen Arten auch deutsche Rot- und Schwarzmilane, Wespenbussarde, Baumfalken sowie Fisch-, See- und Schreiadler untersucht. Dabei wurden von uns fast 200 Individuen besendert. Hier werden einige Ergebnisbeispiele gebracht.

Die meisten Fernzieher verlassen Deutschland in südwestlicher Richtung und überwintern von der Iberischen Halbinsel, West- und Zentralafrika bis ins südliche Afrika. Am weitesten ziehen Schreiadler und Baumfalken.

### Baumfalke *Falco subbuteo*

Infolge der geringen Größe konnte diese Art erst seit 2008 untersucht werden. Anfang August wurde der erste Vogel, ein adultes Baumfalcken-Weibchen, mit einem Prototyp eines 5g-Senders in der Nähe von Berlin von uns markiert (s. Abb. 6). Dieses Tier wurde auf vier Herbst- und Frühjahrszügen verfolgt (s. Abb. 7). Nach diesem sehr erfolgreichen Auftakt wurden die Untersuchungen fortgeführt und insgesamt 17 Altvögel besendert. Im Herbst erfolgt der Zug fächerartig in breiter Front über das Mittelmeer



Abb. 6: Am 9. August 2008 konnte erstmals ein Vogel außerhalb der USA mit einem nur 5g schweren Satelliten-Sende, ein ad. Baumfalcken-Weibchen, markiert werden. Der Sender wog nur 1.9% des Tieres und lieferte bis 2010 über 2.000 Ortungen. Foto: B.-U.Meyburg



Abb. 7: Zwei Herbst- und zwei Frühjahrszuggruppen konnten beim ersten untersuchten Baumfalken-Weibchen 2008–2010 telemetriert werden. Die Karte basiert auf über 2.000 Ortungen. Die Überwinterung erfolgte, wie auch bei den meisten der übrigen 16 später besenderten Baumfalken, überwiegend in Angola.

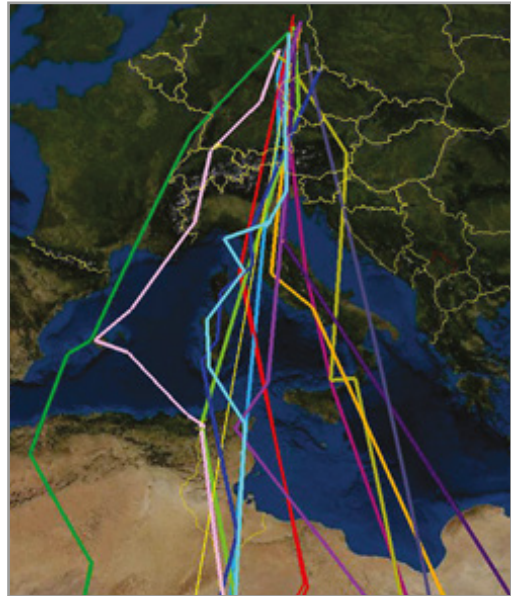


Abb. 8: Die Herbstzugrouten von 14 Baumfalken 2008–2010 über das Mittelmeer. Das Mittelmeer wurde nicht non-stop überquert, auf den Inseln wurde oft einige Tage lang gerastet.

und die Sahara (s. Abb. 8, 9). Diese Kleinstsender erlauben jedoch noch keine GPS- sondern lediglich Ortungen nach dem Doppler-Prinzip.

2009 verbrachte das erste besenderte Weibchen 65% des Jahres in Afrika und nur 35% in Europa. Der Baumfalken ist also ein überwiegend afrikanisches Tier. 49,3% des Jahres 2009 verbrachte das Tier im Überwinterungsgebiet, 7,2% auf dem Frühjahrszug 32,3% im Brutgebiet und 11,2% auf dem Herbstzug. Der Falke zog bis zu über 620 km pro Tag. Teilweise wurde auch nachts gezogen.

Die Sahara wurde jeweils in 4 bis 4 ½ Tagen überquert. Die Herbstzugrouten hatten eine Länge von 7.793 und 8.524 km, die Heimzugroute von 7.640 und 9.340 km. Durchschnittlich wurden im Herbst 174 und 185 km und im Frühjahr 218 bzw. 228 km pro Tag zurückgelegt. In einem Jahr erfolgte der Heimzug auffällig weit west-

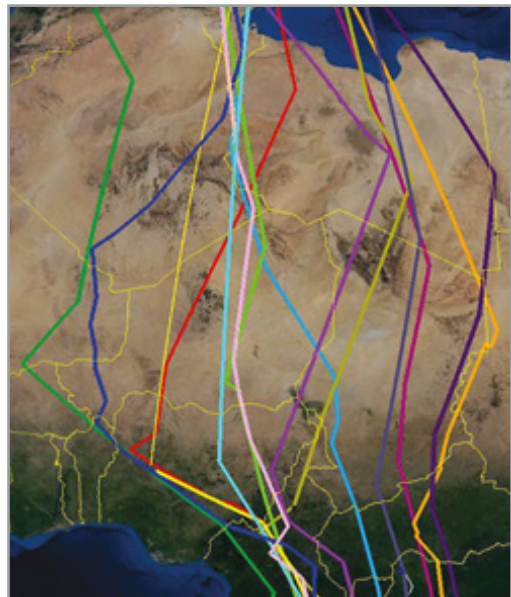


Abb. 9: Der Breitfrontzug des Baumfalken im Herbst im Bereich der Sahara und Sahelzone. Die Breite beträgt bis zu 2.800 km.

lich in Afrika, ein Schleifenzug, der auch bei den anderen Individuen oft deutlich ausgeprägt war.

### **Die Überwinterungen**

Nach der langen Zugstrecke zeigte das erste besenderte deutsche Baumfalkenweibchen erstaunliche Ortsbewegungen im Winterquartier. In den knapp 25 Wochen blieb es nie länger als eine Woche am selben Ort. Vom 16. Oktober 2008 bis zum 7. April 2009 wurden mindestens 9025 km zurückgelegt, errechnet aus den Distanzen zwischen den ermittelten Übernachtungsplätzen.

Manchmal lagen die Übernachtungsplätze über 300 km auseinander. Die Entfernungen zwischen allen aufeinanderfolgenden bekannten Schlafplätzen addierten sich im Winter 2009/2010 zu 6432 km. Die insgesamt bei der Überwinterung zurückgelegten Strecken dürften erheblich größer gewesen sein. Der Falke legte somit während der Überwinterung eine mindestens so große Strecke zurück wie auf dem Zug.

### **Drei Ergebnisse geben Rätsel auf**

Die meist weit von der kürzesten Strecke zwischen Brut- und Überwinterungsgebiet abweichenden Zugrouten, die enormen Strecken, die der Vogel insgesamt im Überwinterungsgebiet zurückgelegt hat und der Zug über den Äquatorialregenwald sind nicht leicht zu erklären. Eine Auswertung aller zugänglichen Daten meteorologischer Stationen zu Windrichtung und Niederschlag entlang der Zugrouten brachte keine Erklärung für den Zugverlauf. Die These schwedischer Ornithologen, daß diese Routen durch östliche Winde bedingt seien, ließ sich nicht erhärten. Auffällig ist, daß z. B. auch Eleonorenfalken diese Abweichung nach Westen zeigen. Wahrscheinlich erscheint uns, daß der Baumfalk ziehenden Schwalben und Mauerseglern folgte, die zu seinen wichtigsten Beutetieren zählen und die ähnlich und etwa zur gleichen Zeit ziehen. Besonders Rauchschwalben ziehen etwa gleichzeitig und mit etwa gleicher Geschwindigkeit wie Baumfalken. Die Ankunftsstermine im Überwinterungs- und Brutgebiet stimmen eben-

falls weitgehend überein. In Frankreich wurde in den Jahren 2008 bis 2010 eine starke Übereinstimmung der Zugzeiten beider Arten im Herbst festgestellt. In Sambia werden Rauchschwalben-Schwärme häufig zusammen mit Baumfalken in größerer Zahl auf dem Zug beobachtet.

Weitere Untersuchungen müssen zeigen, ob sich der auffallend zügige Zug über den Regenwald und die Wahl der kürzesten Strecke bei weiteren Individuen bestätigen lässt. Dasselbe gilt für den riesigen Aktionsraum im Winterquartier und die in diesem zurückgelegten enormen Entfernungen, beides ist schwer zu erklären. Um zu diesen und anderen Fragen mehr Daten sammeln zu können, wurden ab 2009 weitere adulte Baumfalken besendert. Die Auswertung dieser laufenden Untersuchung wird jedoch noch einige Zeit in Anspruch nehmen.

### **Lohnt sich dieser Transäquatorialzug?**

Zwei Fragen werden häufig gestellt: „Wenn der Tisch so reichlich in Afrika für die Baumfalken gedeckt ist, warum bleiben sie nicht gleich dort?“ Und: „Dieser Langstreckenzug über mehrere Klimazonen und große Entfernungen hinweg ist doch aufwendig. Der Falke muß Reserven haben oder sie immer wieder auffüllen, er muß hervorragend navigieren können, abnehmende Tageslängen beim Herbstzug, Tag-Nacht-Gleiche am Äquator, zunehmende Tageslängen bei der Ankunft im Winterquartier und umgekehrt beim Heimzug – alles richtig in seinem „Bordcomputer“ verrechnen. Warum bleibt er nicht im Brutgebiet und ernährt sich nach Sperberart von den Wintervögeln, Sperlingen und anderen Körnerfressern?“

Vergleicht man wandernde Arten und ihre nicht-wandernden Verwandten, so fallen erhebliche Unterschiede in der Reproduktionsleistung auf. Die Langstreckenzieher haben oft geringere Fortpflanzungsraten (mittlere Jungenzahl je begonnene Brut) als ihre weniger ziehenden Verwandten: z. B. der Turmfalke bei Berlin 4,15 und der Baumfalk 1,4. Schließt man von der Fortpflanzungsrate auf die Sterblichkeit, so stützen diese Befunde die Idee, daß unter vergleichba-

ren Arten das Überwintern in gemäßigten Breiten „teurer“ (verlustreicher) sein könnte als der Trans-Sahara-Zug.

### **Schwarzmilan *Milvus migrans***

Den größten Teil des Jahres verbringt der Schwarzmilan außerhalb des Brutgebietes. Zum Zug und zur Überwinterung gab es nur wenige Ringfunde, zumeist von Jungvögeln. Von 1962 bis 1967 beschäftigte sich der erste Autor mit der Brutbiologie des Schwarzmilans. Den Milanen irgendwie auf ihren Wanderungen von August bis April zu folgen blieb lange Zeit ein Traum. Erst Jahrzehnte nach den Beobachtungen im Brutgebiet wurde das genaue Studium des Zug- und Überwinterungsverhaltens möglich. 2002 gab es schließlich erstmals Satelliten-Sender, klein und leicht genug, um damit Milane besondern zu können.

Wir besenderten 2002 und 2003 die ersten sechs adulten Individuen in Brandenburg und Thüringen mit PTTs mit Argos-Doppler-Ortung. In den darauf folgenden Jahren wurden weitere Tiere mit GPS-Sendern markiert und zuletzt 2012 und 2013 mehrere Altvögel mit GPS-Datenloggern, welche Ortungen und andere Daten in bisher nicht gekannter Dichte übermitteln. Alle Schwarzmilane überwinterten in Westafrika und zogen über die Meerenge von Gibraltar.

Die bei weitem meisten Daten mit Argos/Doppler-Ortung lieferte zunächst ein Weibchen aus Thüringen sechs Jahre lang ab Juni 2002. Sechs Überwinterungen und zwölf Zugrouten konnten lückenlos dokumentiert werden.

Dieses Weibchen mit dem Sender 36231 zog überraschenderweise in allen Jahren wesentlich schneller im Herbst – der schnellste Zug erfolgte in nur 17 Tage (332 km/Tag) – als im Frühjahr, wo der schnellste Zug 33 Tage (207 km/Tag) auf der rund 6000 km weiten Strecke dauerte. Da die Zugrouten unterschiedlich waren, wichen auch die Längen voneinander ab und betrugen zwischen 5642 und 6953 km. Diese Abweichung von den meisten anderen Vogelarten, schnellerer Zug im Herbst, bestätigte sich

auch bei den anderen Schwarzmilanen. Über die Gründe für dieses abweichende Verhalten kann nur spekuliert werden.

### **Schwarzmilan-Männchen 36232/74988 aus dem nördlichen Brandenburg**

Ein Männchen aus Brandenburg wurde sogar neun Jahre lang telemetriert, der Sender wurde jedoch nach fünf Jahren ausgetauscht.

Am 26. Juni 2002 wurde dieses adulte Schwarzmilan-Männchen im nördlichen Brandenburg, 70 km vom Zentrum Berlins, mit einem Sender mit Argos-Doppler-Ortung (PTT 36232) von uns markiert. Dieser Vogel brütete in allen darauf folgenden Jahren, meist mit Erfolg, am alten Brutplatz. Dabei mußte er sich in einzelnen Jahren auch mit männlichen Rivalen auseinandersetzen. Am 8. Juni 2007 wurde der Vogel erneut am Brutplatz gefangen. Da das Tier bei der genauen Untersuchung keinerlei Beeinträchtigungen, z.B. Schürfspuren, fehlende Federn oder Ähnliches, durch den Sender aufwies, wurde dieser entfernt und der Vogel mit einem neuen, 22 g schweren GPS-Satelliten-Sender (ID 74988) mit Solarbetrieb markiert. Dieser Sender war so programmiert, daß er während der Brut- und Zugzeit versuchte, tagsüber bis zu 13 GPS-Ortungen pro Tag jeweils zur vollen Stunde (5–17 Uhr) aufzunehmen, diese speicherte und die Daten dann jeweils „gebündelt“ nach drei Tagen über die Argos-Satelliten weiterleitete.

Zu Beginn und zum Ende der Überwinterung wurden täglich bis zu 14 Ortungen von 6 bis 19 Uhr aufgenommen. Während eines Teils der Überwinterungszeit sah die Programmierung nur vier Ortungen täglich, um 7, 11, 15 und 19 Uhr vor. Durch diese Übersendung der Daten wurden zusätzlich auch Doppler-Ortungen ermittelt, die in Einzelfällen bei der Auswertung hilfreich sein können. Der Sender lieferte bis zum Abschluß der vorläufigen Auswertung im Juni 2009 und danach weiterhin Daten. Die letzten Ortungen erfolgten Anfang April 2011 kurz nach der Ankunft am Brutplatz. Danach blieb das Tier spurlos verschwunden, der Brutplatz blieb unbesetzt, auch in den darauf folgenden Jahren.





Abb. 10: Zug (Herbst = blau, Frühjahr = rot) und Überwinterung (grün) des Schwarzmilan-Männchens aus Brandenburg 2008/2009.

Im Jahre 2008, in dem das Männchen erfolgreich brütete, verbrachte es ca. 4 ½ Monate (36,4 % des Jahres) im Brutgebiet. Ca. 5 ½ Monate (46,2 %) hielt es sich im Überwinterungsgebiet auf. 17,4 % der Zeit war es auf dem Zug (s. Abb. 10). Im Jahr 2007, in dem die Brut kurz vor dem 26. Juni verloren ging, verließ der Vogel das Brutgebiet 2 ½ Wochen früher als im Jahre 2008 mit erfolgreicher Brut. Die Abzugstermine aus dem Überwinterungsgebiet wichen in beiden Jahren nur einen Tag voneinander ab.

### Der Aufenthalt im Brutgebiet

Der Aufenthalt am Brutplatz vom 2. April bis zum 14. August im vollständig erfaßten Jahr 2008 mit erfolgreicher Brut machte 36,4 % des Jahres aus. Die Flächenberechnungen der Aktionsräume in dieser Zeit sind lediglich als eine

Annäherung an die Wirklichkeit zu verstehen. Die inhomogene Struktur der Landschaft bedingt eine Vielfalt von optimalen bis pessimalen Nutzungsmöglichkeiten für den Nahrungserwerb der Schwarzmilane. Bereiche innerhalb der Aktionsräume, die von den Tieren nicht genutzt werden, gehen mit in die Analyse ein, da die Qualität einer Fläche in Bezug auf die Nahrungsverfügbarkeit in der Berechnung des MCP (Minimum-Convex-Polygon) nicht berücksichtigt wird. Die home ranges wurden mit Hilfe der Kernel-Methode (WORTON 1989) und der „minimum convex polygon“-Methode (KENWARD 2001) ermittelt.

### Der Milan-home range 2007

Die Ausdehnung und Lage des brützeitlichen Aufenthaltsraums im Juni 2007 (43 km<sup>2</sup>, 95 % MCP) war aus unbekanntem Gründen deutlich geringer als im selben Zeitraum 2008 (67 km<sup>2</sup>). Obwohl aufgrund der Umbesenderung am 8. Juni 2007 GPS-Ortungen erst danach erfolgten, wurde bereits erkennbar, daß der Milan überwiegend einen nahe gelegenen Fluß, die Havel, zur Nahrungssuche nutzte. Bis zum 26. Juni wurde das Männchen häufig in Horstnähe geortet, danach nur noch sehr selten. Im Juli erfolgte nur noch eine Ortung am 08.07.2007 am Nest und am 11. Juli letztmalig eine Lokalisation im Umkreis von 500 m um den verlassenen Horst. Die Brut dürfte am 26. Juni oder kurz davor umgekommen sein. Wenige Meter neben dem Horst verläuft eine Hochspannungsleitung, an der Reparaturmaßnahmen durchgeführt wurden, so daß die Vögel nicht mehr den Horst aufsuchen konnten. Auffällig viele Ortungen erfolgten ab diesem Zeitpunkt in einem Waldstück 900 m nördlich des Horstes, wo der Vogel im darauffolgenden Jahr brütete. Im Juli hat der Milan dann sein home range weit ausgedehnt.

### Der Milan-home range 2008

2008 wurde erstmalig ein Horst 900 m nördlich des alten Brutplatzes, der sich in einem Kiefernaltholz umgeben von Grünland befand, genutzt. Es handelte sich dabei um eine künstliche Horstplattform für Baumfalken. Der alte



Brutplatz war mindestens seit 2001 befliegen. Der 2008 genutzte Kiefernbrutwald wurde bereits 2007 ab dem 27. Juni zum Zentrum der Aktivität. Kurz vor diesem Zeitpunkt war die Brut 2007 umgekommen.

Der Aufenthaltsraum (95 % MCP) während der gesamten Fortpflanzungsperiode 2008 umfaßte eine Fläche von 60,9 km<sup>2</sup> (Abb. A). 80 % aller Ortungen entfielen auf eine Fläche von 14,6 km<sup>2</sup>. Bei der Berechnung der Kernel-Methode ergeben sich home ranges von 121,24 km<sup>2</sup> (95 % Kernel), 11,79 km<sup>2</sup> (75 %) bzw. 2,71 km<sup>2</sup> (50%) (s. Abb. 11). Der Milan wurde bis zu 20,7 km vom Horst entfernt geortet. Die Ausdehnung des home ranges war in den einzelnen Monaten sehr unterschiedlich. Im April erfolgten die meisten Ortungen in Horstnähe (home range 15,1 km<sup>2</sup>). Am häufigsten flog der Vogel bis zu 3 km nördlich des Horstes. Die weiteste Exkursion ging 12,6 km in SSE-Richtung. Im Mai (home range 40,3 km<sup>2</sup>) wurde der Milan am häufigsten bis zu 5 km nach Norden, und vereinzelt

recht weit nach Süden (11,5 km), Südwesten (16,7 km) und nach Westen (7,7 km) geortet. Zur Nahrungssuche wurde häufig ein 6 km langer Abschnitt der hier nur wenige Meter breiten Havel, manchmal auch ein See 7 km südlich des Brutplatzes aufgesucht. Die Havel fließt an der nächstgelegenen Stelle 1 km vom Horst entfernt vorbei. Im Juni (home range 83,6 km<sup>2</sup>) erfolgten die meisten Ortungen auf einem 9,5 km langen Abschnitt der Havel und nur ein mal an einem See südlich des Horstes.

Eine Ortung erfolgte 20,7 km südöstlich des Brutplatzes. Im Juli (home range 25,9 km<sup>2</sup>) hielt sich der Milan zur Nahrungssuche wiederum am meisten an einem 8,7 km langen Abschnitt entlang der Havel auf. Eine Ortung erfolgte 4,7 km nördlich des Horstes über dem Stolpsee bei Himmelpfort. Auch im August (home range 12,2 km<sup>2</sup>) wurde ganz überwiegend ein 4,1 km langer Abschnitt der Havel aufgesucht. Die Ortung mit der weitesten Entfernung vom Nest erfolgte 10,1 km südlich von diesem.



Abb. 11: Alle 821 gesicherten GPS-Ortungen des Schwarzmilan-Männchens in Brandenburg während des Aufenthalts im Brutgebiet 2008 vom 2. April bis zum 14. August.

### Der Tagesrhythmus zur Brutzeit

Um zu ermitteln, wieviel Zeit das Männchen täglich auf der Nahrungssuche verbrachte, wurde zwischen GPS-Ortungen im Umkreis von 300 m um den Horst und darüber hinaus differenziert.

Es wird nach eigenen Beobachtungen davon ausgegangen, daß im Radius von 300 m um das Nest keine Nahrungssuche stattfindet. Um 5 Uhr morgens befand sich der Milan nur in 37,5 % der Fälle bereits außerhalb des Horstbereiches, also wohl bereits auf Nahrungssuche. Dieser Prozentsatz nahm danach zu und erreichte um 13 Uhr seinen Höhepunkt, um dann bis 17 Uhr wieder abzunehmen. Insgesamt wurde er während der gesamten Zeit der Anwesenheit am Brutplatz zwischen 5 und 17 Uhr in 34,4 % der möglichen Fälle in Horstnähe geortet, verbrachte also etwa 65,6 % der Zeit auf Nahrungssuche.

Differenziert man nach einzelnen Monaten, so zeigen sich deutliche Unterschiede, abhängig von der zunehmenden und wieder abnehmenden Tageslänge und vom Nahrungsverbrauch. Männliche Schwarzmilane versorgen nicht nur die Jungen mit Beute sondern weitgehend auch die Weibchen. So war der Milan morgens um 5 Uhr von April bis Juli zunehmend unterwegs, bereits im August aber wieder seltener. Am häufigsten war der Milan offenbar um 11 Uhr im Juni auf Nahrungssuche. Zu dieser Zeit wurde er nur in 6,2 % der Fälle in Horstnähe lokalisiert. Am seltensten entfernte er sich im April aus dem Horstgebiet. Zu dieser Zeit ist der Nahrungsbedarf besonders gering, da das Männchen nur das teilweise bereits brütende Weibchen zu versorgen hat. Vom 26. bis 30. Mai 2008 wurde der Milan täglich 12 oder 13 mal geortet. Das entspricht nahezu der maximalen Zahl der möglichen Lokalisationen. Für diese Tage wurde daher die Aktivität des Milans näher analysiert. Am

häufigsten (elfmal) wurde er über Feldern südöstlich des Horstes festgestellt, die er auf einer Fläche von ca. 1,1 km<sup>2</sup> nutzte. Neunmal wurde er an einem 1 km langen Abschnitt der Havel nördlich des Horstes geortet, fast gleich häufig (achtmal) an einem 600 m langen Abschnitt dieses Flusses östlich vom Nest. Auf einem nur 0,3 km<sup>2</sup> großen Feld nordöstlich des Horstes wurde der Milan siebenmal lokalisiert, zweimal auf einem weiteren Feld nördlich des Brutplatzes. Elfmal wurde er am Horst festgestellt.

### Der Abzug vom Horstplatz und Herbstzug

Der Abzug erfolgte in beiden Jahren zunächst zögerlich (s. Abb. 12). Der Vogel begann erst jeweils Ende August ab Thüringen zügig zu ziehen. Die Zeit davor verbrachte er abweichend von der eigentlichen direkten Zugrichtung in nahrungsreichen Gebieten in Mitteldeutschland (Abb. 12).

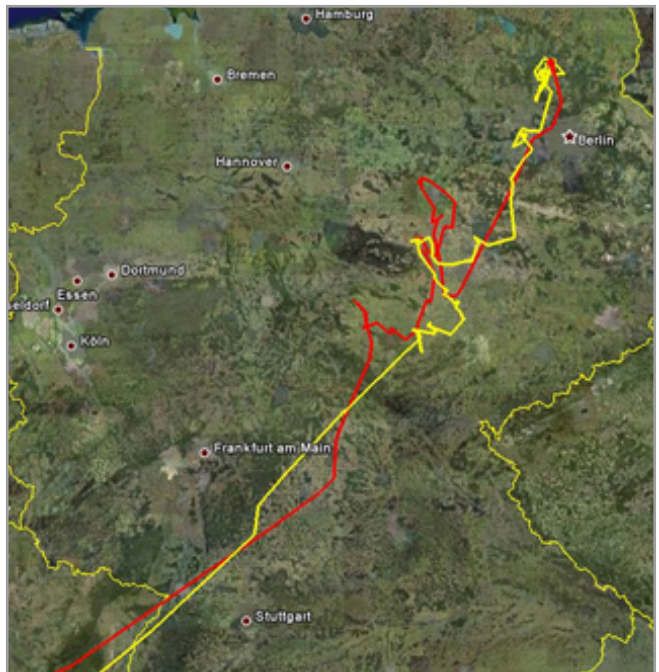


Abb. 12: Der Abzug eines Schwarzmilan-Männchens aus Brandenburg im August 2007 (gelb) und 2008 (rot) erfolgte bis zum Thüringer Becken zögerlich, offensichtlich um bis zum raschen Zug danach nach Westafrika noch „aufzutanken“.

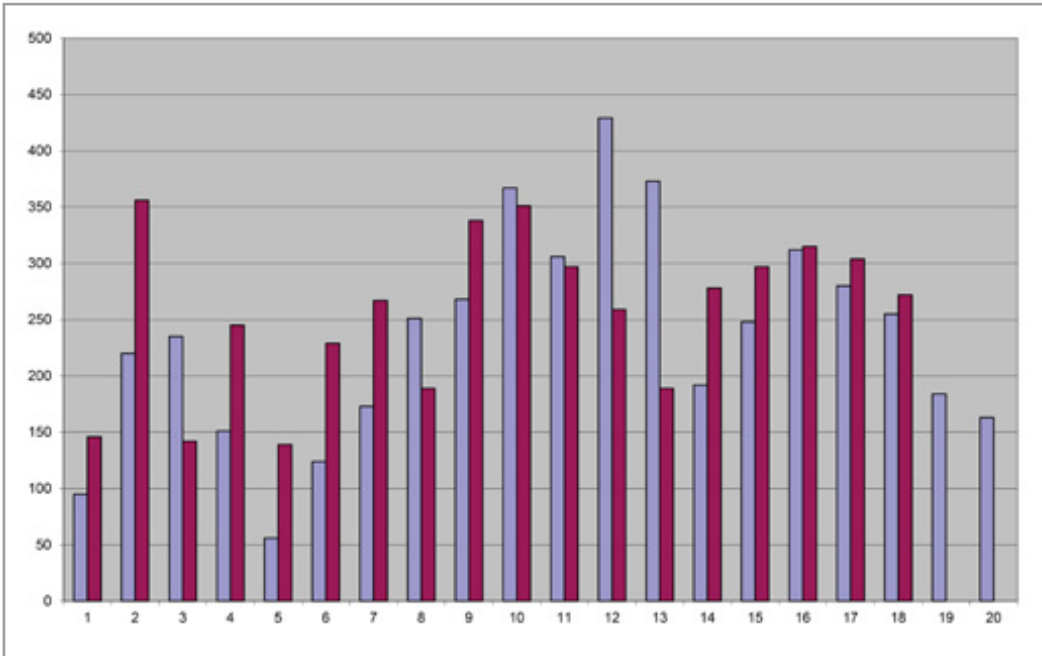


Abb. 13: Täglich zurückgelegte Strecken ab Thüringen auf dem Herbstzug 2007 (blau) und 2008 (rotbraun). 2007 dauerte der Wegzug zwei Tage länger als 2008.

Die Länge der Herbstzugrouten ab Thüringen betrug 2007 4.682 km und 2008 4.613 km. 2008 verbrachte der Milan genau fünf Monate in Deutschland. Sieht man vom Rasten in Mitteleuropa nach Verlassen des Brutplatzes ab, so zog der Schwarzmilan auf dem Wegzug schneller (2007 234 km/Tag, 2008 256 km/Tag) als auf dem Heimzug (215 km/Tag 2008 und 191 km/Tag 2009) (Abb. 13). Bei den allermeisten Vogelarten wird das Gegenteil angenommen, also schnellerer Frühjahrszug als Herbstzug.

#### Der Tagesrhythmus auf dem Herbstzug 2007

Von 14 Tagen gibt es Daten, die genaue Aussagen zum Tagesrhythmus erlauben. Zwischen 6 und 8 Uhr zog der Milan nur an wenigen Tagen, zwischen 8 und 9 Uhr bereits ganz überwiegend und zwischen 9 und 15 Uhr ohne jede Ausnahme. Auch zwischen 15 und 19 Uhr war das Tier noch in etwa  $\frac{3}{4}$  aller Fälle auf dem Zug, also oft elf Stunden lang pro Tag. Am 4. September über-

wand der Vogel mit 429 km die größte Strecke an einem Tage. Zwischen 7 und mindestens 19 Uhr legte er überwiegend mehr als 30 oder sogar 40 km pro Stunde zurück, dürfte also ununterbrochen gezogen sein. Lediglich zwischen 15 und 16 Uhr hielt er an. Am darauf folgenden Tag, mit der zweitgrößten Tagesstrecke von 373 km, zog er mindestens von 6 – 19 Uhr. Bis gegen 13 Uhr nahm die Zuggeschwindigkeit an den meisten Tagen mehr oder weniger kontinuierlich zu. Danach war das Zugverhalten an den einzelnen Tagen recht unterschiedlich. Bis wann der Milan abends zog ließ sich an den meisten Tagen nicht feststellen, weil der Sender so programmiert war, daß er um 20 Uhr keine Ortungen mehr lieferte.

#### Der Tagesrhythmus auf dem Herbstzug 2008

An 18 Tagen konnte der Tagesrhythmus genau festgestellt werden (s. Abb. 14). Zwischen 6 und 7 Uhr wurde nur an drei Tagen gezogen. Zwischen 9 und 17 Uhr gab es keinen einzigen Fall, in dem der Milan innerhalb einer vollen Stunde

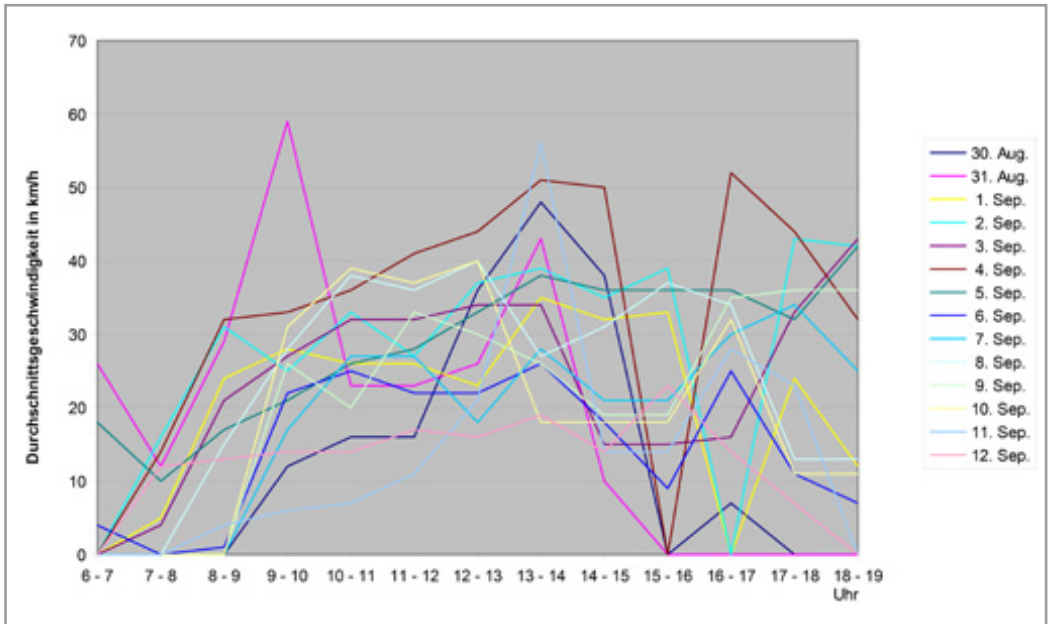


Abb. 14: Die durchschnittliche Zuggeschwindigkeit des Schwarzmilan-Männchens auf dem Herbstzug 2007 an einzelnen Tagen jeweils innerhalb einer vollen Stunde.

nicht eine mehr oder weniger lange Strecke zurücklegte. Erst zwischen 17 und 18 Uhr gab es drei Tage, an denen nicht mehr gezogen wurde. Die Tagesstrecken schwankten auf dem Herbstzug zwischen 193 und 356 km, die maximalen Durchschnittsgeschwindigkeiten je Tag im Verlauf einer vollen Stunde zwischen 19 und 64 km/h. Die höchste durchschnittliche Geschwindigkeit innerhalb einer vollen Stunde wurde am häufigsten zwischen 10 und 11 Uhr (drei mal), 13 und 14 Uhr (drei mal) und 14 und 15 Uhr (drei mal) erreicht.

Am 30. August wurde mit 356 km in Deutschland und Frankreich die größte Tagesstrecke bewältigt. Der Milan begann seinen Zug ca. 2 Stunden nach Sonnenaufgang. Zwischen 8 und 9 Uhr hatte er erst 18 km zurückgelegt, zwischen 9 und 10 Uhr erreichte er dann jedoch die größte Durchschnittsgeschwindigkeit (64 km/h). Von 12 bis 15 Uhr betrug diese jeweils 56 bzw. 57 km/h. Gegen 17 Uhr, ca. zwei Stunden vor Sonnenuntergang, hörte das Männchen auf zu ziehen. Am 7. September wurde in Spanien und

Marokko die zweitgrößte Tagesstrecke (351 km) festgestellt. Von mindestens 6 bis 19 Uhr gab es keine Stunde, in der das Männchen nicht zog, am weitesten (50 km) zwischen 8 und 9 Uhr.

### Die Überwinterung

Das Überwinterungsgebiet wurde in beiden Jahren Mitte September erreicht. In beiden Wintern umfaßte es einen erheblichen Teil Westafrikas. Es gliederte sich in drei Gebiete (A = Mauretanien und Mali, B = Ghana und Togo und C = Elfenbeinküste und Guinea), die nacheinander aufgesucht wurden und 2007/2008 ca. 1.075 bzw. 780 km voneinander entfernt lagen (s. Abb. 15). 2008 begann der Milan zunächst in einem Gebiet in Mali 350 km östlich des Gebietes A des Vorjahres zu überwintern. Von dort aus bewegte er sich jedoch weiter nach Westen und erreichte am 2. Oktober den Bereich des Vorjahres. Er verließ dieses Gesamtgebiet am 6. November 2008 gegen 14 Uhr, drei Tage früher als im Vorjahr, und zog 190 km östlich parallel zur Route des Vorjahres 798 km weit wiederum in einen



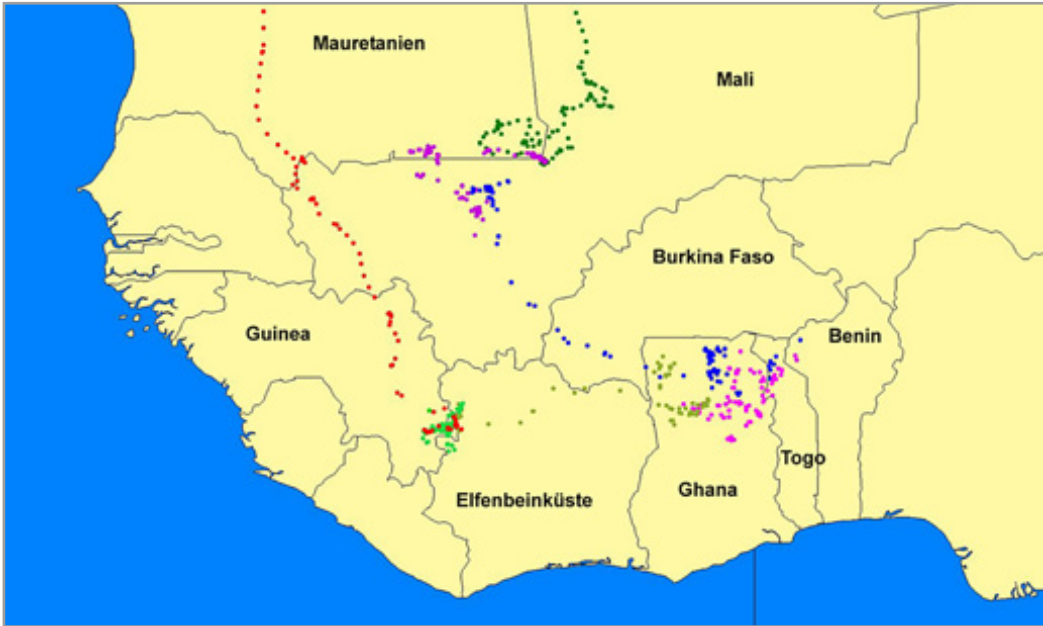


Abb. 15: Ankunft, Überwinterung und Abzug des Schwarzmilans in Westafrika 2008 – 2009. Die GPS-Ortungen in den einzelnen Monaten sind in unterschiedlichen Farben dargestellt: September 2008 dunkelgrün, Oktober violett, November blau, Dezember rosa, Januar 2009 olivgrün, Februar hellgrün und März rot.

Raum im nördlichen Ghana, nördlichen Togo und nordwestlichen Benin. Er traf dort am 11. November ein, etwa eine Woche früher als im Vorjahr. In Benin erreichte er den östlichsten Punkt bei beiden Überwinterungen. Auch 2009 begab er sich zum Abschluß in den Überwinterungsraum C wie im vorangegangenen Winter.

Das Männchen verbrachte nur sehr selten zwei Nächte hintereinander am selben Ort. Im Durchschnitt lagen 31 bis 42 km zwischen den aufeinander folgenden Übernachtungsplätzen (Abb. G ??). Der Milan legte im Winter 2007/2008 mindestens 14.000 km innerhalb seines Überwinterungsgebietes zurück, also mehr als eine Herbst- oder Frühjahrszugroute. Auffällig ist die große räumliche und zeitliche Konstanz bezüglich der drei Überwinterungsgebiete in verschiedenen Jahren. Hinsichtlich der Gründe für den Wechsel zwischen den drei Räumen lassen sich klimatische Gründe und damit unterschiedliches Nahrungsangebot annehmen.

### Die Bewegungsmuster im Überwinterungsgebiet

Es wurden die stündlich zurückgelegten Strecken für diejenigen Tage im September 2007 und 2008 addiert, für die 12 oder mehr Ortungen vorliegen. Ferner wurden die Distanzen zwischen allen aufeinanderfolgenden Übernachtungsplätzen während der Gesamtzeit beider Überwinterungen ausgemessen. Dabei zeigte sich, daß der Milan nur selten mehr als eine Nacht an einem Übernachtungsplatz verbrachte. Oft lagen beträchtlich Strecken zwischen den aufeinanderfolgenden Übernachtungsplätzen, wobei die Mittel zwischen den drei Gebieten und Jahren zwischen 20,7 und 42,6 km schwankten. Die tatsächlich an den einzelnen Tagen zurückgelegten Strecken sind jedoch wesentlich größer. Verbindet man die Ortungen in einständigem Abstand, so legte der Milan im Durchschnitt von 15 Tagen, von denen mehr als 12 Lokalisationen vorliegen, durchschnittlich

lich 123 km (maximal 277 km, minimal 29 km) zurück. Auch diese meßbaren Tagesstrecken dürften wesentlich geringer als die tatsächlichen täglichen Flugrouten gewesen sein. Vergleicht man die Distanzen zwischen den Übernachtungsplätzen mit den Flugstrecken an den jeweiligen Tagen, die sich durch Addition der stündlich zurückgelegten Entfernungen ergeben, so flog der Milan an jedem Tag mindestens das Doppelte der Entfernung von Übernachtungsplatz zu Übernachtungsplatz. Zwischen den drei Überwinterungsgebieten zog der Milan schnell. Die Tagesstrecken lagen dabei zwischen 102 und 236 km. Hochgerechnet auf die Gesamtzeit der Überwinterung 2007/2008 hat der Milan mindestens 14.000 km im Überwinterungsgebiet zurückgelegt.

### **Die Tagesaktivität im Überwinterungsgebiet**

Anhand der innerhalb einer Stunde zurückgelegten Strecken ließ sich der Tagesrhythmus des Milans im Winterquartier feststellen. Ausgewählt wurden 15 Tage im September 2007 und 2008 mit 12 oder mehr Ortungen pro Tag. Das Tier war hauptsächlich zwischen 9 und 15 Uhr, also etwa ab drei Stunden nach Sonnenaufgang bis ca. drei Stunden vor Sonnenuntergang aktiv. Die deutlich größten Flugstrecken wurden zur Zeit des höchsten Sonnenstandes ermittelt.

### **Der Frühjahrszug in den Jahren 2008 und 2009**

Die beiden Zugrouten wichen teilweise weit voneinander ab. 2008 zog der Milan auf dem Gebiet der West-Sahara an der Küste entlang, 2009 rund 400 km weiter östlich im Inland. In Marokko verhielt es sich umgekehrt. In Spanien und Frankreich bis Dijon verfolgte das Tier 2009 eine Route im Inland rund 300 km weiter westlich als 2008, wo es nahe der Mittelmeerküste zog. Dadurch bedingt war die Zugroute 2009 576 km kürzer als im Vorjahr. In beiden Jahren wichen die Termine des Abzugs und der Ankunft am Brutplatz nur minimal voneinander ab, und die Zugdauer war somit fast gleich (32 Tage 2008, davon aber drei Rasttage, 33 Tage

2009). 2009 legte der Milan im Gegensatz zum Vorjahr keine Rasttage ein.

Die durchschnittlichen Tagesstrecken waren 2009 (191 km/Tag) etwas geringer als im Vorjahr (215 bzw. 238 km/Tag, mit und ohne Rasttage gerechnet), und es wurden auch nur niedrigere Spitzenwerte erreicht. In beiden Jahren wurde durchschnittlich etwa acht Stunden lang pro Tag gezogen. Zugbeginn und Zugende waren 2009 im Durchschnitt jeweils eine Stunde früher (08:20 bzw. 16:20 Uhr GMT) als 2008, wofür sich keine Erklärung finden ließ. 2009 zog der Milan im Gegensatz zu 2008 beim Überfliegen der Sahara (8. – 11. März) deutlich am schnellsten (rund 350 – 400 km/Tag) und bis zu durchschnittlich 65 km/h.

### **Schwarzmilan mit Datenlogger**

Der erste Schwarzmilan, der mit einem Datenlogger markiert wurde, ein adultes Männchen in Thüringen, lieferte vom 20. Mai bis 12. August 2012 15.918 GPS-Ortungen, also eine extrem hohe Zahl an Ortungen, die alles Bisherige übertrifft. In dieser Zeit wurde eine maximale Flughöhe von 1920 m ü NN im Brutgebiet festgestellt, ferner eine maximale Geschwindigkeit von 133 km/h, beides Werte, die man bei Schwarzmilanen, insbesondere auch im Brutgebiet, wohl nicht erwartet hätte. Die Ausdehnung des Streifgebiets dieses Milans mit Jungen betrug rund 62 km in Nord-Süd-Richtung und 48 km in Ost-West-Richtung. Absolut überraschend ist die Größe des brutzeitlichen Aufenthaltstraums nach zwei unterschiedlichen Berechnungsmethoden: 423 qkm (Kernel 90%) bzw. 1261 qkm (MCP 95%). Die maximale Entfernung zum Horst betrug 47,5 km.

In diesem Zusammenhang stellt sich natürlich die Frage, ob dieser Milan besonders aktiv war und aus unbekanntem Gründen so weit flog oder ob einfach bei der bisherigen Technik mit viel weniger Ortungen weitere Exkursionen nicht erfaßt wurden. Dieselbe Frage stellt sich auch bei Schreiadlern, die mit GSM-Sendern markiert wurden.

Der Nachteil der Datenlogger ist die fehlende automatische Übertragung der Daten. Mit einem

speziellen Empfangsgerät muß man auf Sichtweite des Tieres kommen, um die aufgezeichneten Daten von Zeit zu Zeit herunter zu laden. Daher ist diese Technik zur Untersuchung von Jungtieren, die nicht zu vorhersehbaren Plätzen zurückkehren, nicht geeignet. Geht ein Vogel auf dem Zug oder bei der Überwinterung verloren, so wird dies in den allermeisten Fällen auch für die Daten gelten. Dafür sind die Geräte erheblich kostengünstiger als Satellitensender, und die Datenübertragung ist kostenlos. Außerdem läßt sich die Programmierung aus der Ferne verändern, was bald aber auch bei GSM-Sendern möglich sein wird.

### Wespenbussard *Pernis apivorus*

Europäische Wespenbussarde sind Weitstreckenzieher. Über den Zug deutscher Brutvögel ist wenig bekannt. Mittels Satelliten-Telemetrie lassen sich viele Fragen lösen, mit neueren GPS-Sendern, die wir ab 2009 einsetzen konnten, auch Fragen zur Habitatnutzung, home range-Größe, Flughöhe, -geschwindigkeit usw.

In den Jahren 2001 bis 2011 besenderten wir zwölf Individuen (sieben Männchen und fünf Weibchen), überwiegend in Schleswig-Holstein mit 18–22 g schweren, solarzellen-betriebenen PTTs verschiedener Bauart zweier Hersteller. In den letzten beiden Jahren wurden drei Männchen mit GPS-Sendern markiert, 2010 ein Tier mit einem 3D-Sender, der auch Daten zu Flughöhe, -geschwindigkeit und -richtung lieferte. Ein Weibchen wurde nach drei Jahren wiedergefangen und neu besendert. Ein Männchen wurde erneut nach zwei Jahren gefangen. Da der Sender noch gut funktionierte, wurde er nicht ausgetauscht.

Die Tiere konnten bis zu drei Jahre lang telemetriert werden. Bis auf die zuletzt eingesetzten Sender mit GPS-Ortung lieferten die Sender fast nur während des Zuges Daten. Wahrscheinlich hielten sich die Vögel außerhalb der Zugzeiten zu viel in dichter Vegetation auf, sodaß die Sender nicht ausreichend aufgeladen wurden. Bis zu sechs vollständige Herbst- und Frühjahrszugrouten einzelner Individuen konnten dokumentiert werden. Heimzugsrouten telemetriertes europä-

ischer Wespenbussarde wurden in der Literatur bisher nicht beschrieben. Einzelne, mehrere Jahre lang telemetrierte Altvögel nutzten in verschiedenen Jahren recht unterschiedliche Routen (s. Abb. 16).

Mehrfach konnten jeweils beide Partner eines Paares untersucht werden. Sie zogen getrennt und überwinterten weit voneinander entfernt. Alle Vögel zogen nach West- und Zentral-Afrika.

Das Männchen mit Sender 52033 überwinterte am weitesten südlich ( $2^{\circ}22'S/12^{\circ}42'$ ) in der Republik Kongo (Brazzaville), 6.274 km Luftlinie vom Brutplatz entfernt. Auf dem Herbstzug über Gibraltar 2010 legte es 8560 km in 61 Tagen zurück (durchschnittlich 140 km/Tag), auf



Abb. 16: Wespenbussarde nutzen von Jahr zu Jahr unterschiedliche Routen. Hier das Männchen mit Sender 41504 im Frühjahr (2004 violett, 2005 grün und 2006 rot).



dem darauffolgenden Frühjahrszug über Sizilien 7526 km in 29 Tagen (durchschnittlich 259,5 km/Tag). Aus den beiden Zugrouten ergibt sich ein sehr deutlicher Schleifenzug, d.h. Herbst und Frühjahrszugroute ergaben eine große Zugschleife (s. Abb. 17). Gebirge wurden nicht gemieden. Im Herbst übernachtete das Tier in 1725 m ü NN in den Pyrenäen. Im Frühjahr überquerte es die Hohen Tauern (Österreich) knapp westlich des Großvenedigers in ca. 2000 m Höhe.

Die zweitlängste Zugroute konnte beim Männchen mit Sender 57029 festgestellt werden: 7.761 km bis Gabun. Im Durchschnitt zog es 167 km pro Tag. Außer dem Männchen 52033 ist es der einzige Wespenbussard, der bisher nachweislich den Äquator überflog.

Zwei Tiere sind auf dem Zug umgekommen, jeweils beim Überqueren der Sahara und des Mittelmeeres. Soweit die Wespenbussarde bis ins Überwinterungsgebiet telemetriert werden konnten, verbrachten vier Wespenbussarde den Winter in Nigeria und je einer in Gabun, Guinea, Kamerun, im Kongo und in Liberia.

### Zug

Auf dem Herbstzug 2010 konnten erstmals Daten zu Flughöhen und –geschwindigkeiten beim Männchen 52033 gewonnen werden. Beim Überqueren der Sahara in Algerien betrug die größte festgestellte Flughöhe 1.703 m ü.NN bei 60 km/h. Hier wurden auch die höchsten Geschwindigkeiten (72 und 76 km/h) ermittelt. Flugeschwindigkeiten zwischen 60 und 70 km/h wurden siebenmal verzeichnet.

### Überwinterung

Soweit die Tiere bis ins Überwinterungsgebiet telemetriert werden konnten, verbrachten vier Wespenbussarde den Winter in Nigeria und je

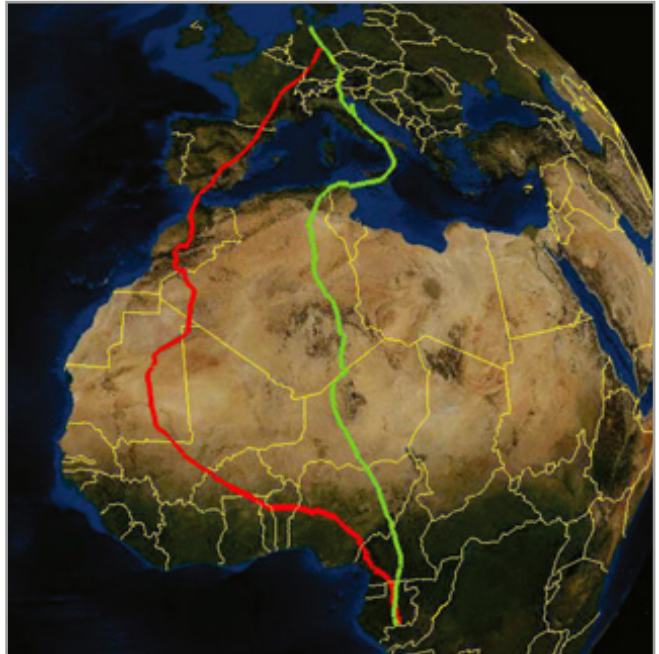


Abb. 17: Schleifenzug eines Wespenbussard-Männchens 2010–2011 (Herbstzug=rot, Frühjahrszug=grün) aus Schleswig-Holstein, welches im Kongo überwinterte.

einer in Gabun, Guinea, Kamerun, im Kongo und in Liberia. Bei den Vögeln, die mehr als ein Mal bis ins Winterquartier verfolgt werden konnten, wurde festgestellt, daß sie jeweils in dieselben Gebiete zurückkehrten.

Erstmals konnte mittels GPS-Telemetrie die Aktionsraumgröße im Überwinterungsgebiet festgestellt werden. Diese erste genaue Dokumentation eines home ranges im Überwinterungsgebiet basierend auf über 100 GPS-Ortungen: Der Aktionsraum des Männchens 95771 hatte im nordwestlichen Kamerun lediglich eine Ausdehnung von 3,1 km<sup>2</sup>.

### Verhalten im Brutgebiet

Hauptnahrung sind die Larven erdbewohnender Wespen. Sie legen ihre Nester vor allem in Wäldern, aber auch in Saumstrukturen (Hecken, Wegränder usw.) an, weniger auf freien Flächen. GPS-Ortungen waren genau genug, um eine Anzahl von ausgegrabenen Wespennestern zu finden.

Schwerpunkte der Nahrungssuche können im Lauf der Brutzeit wechseln. So suchte das Männchen 95770 ein 17 ha großes Waldstück in 3 km Entfernung vom Horst vom 19.7. bis 11.8.2009 gar nicht, vom 12.–25.8. aber täglich auf. Es konnten dort drei ausgebeutete Wespennester gefunden werden.

Das Männchen 95770 am Stadtrand von Plön (SH) lieferte im Sommer 2009 461 GPS-Ortungen. Die home range-Größe betrug 12,3 km<sup>2</sup> (MCP 95%), die maximal festgestellte Entfernung vom Horst 6,2 km. Die Hälfte der Übernachtungen erfolgte im Umkreis von maximal 250 m um den Horst, die übrigen weiter, bis zu 3,4 km entfernt.

Im Jagdgebiet übernachtete der Vogel manchmal nahe bei gefundenen Wespennestern, die vermutlich noch nicht vollständig ausgebeutet waren. Aktionsräume benachbarter Paare überlappen sich weit, Revier-Auseinandersetzungen im Luftraum sind häufig. Sie helfen geduldigen Beobachtern, die Verteilung von Wespenbussard-Revieren aufzuklären.

### **Fischadler *Pandion haliaetus***

Mitteleuropäische Fischadler sind Weitstreckenzieher. Über den Zug, insbesondere den genauen Zugablauf, die Zuggeschwindigkeit, Rastgebiete, Überwinterungshabitate usw. deutscher Brutvögel ist praktisch nichts bekannt. Satellitentelemetrische Untersuchungen an Fischadlern in Mitteleuropa wurden bisher nicht durchgeführt. Viele Ringfunde liegen hingegen von Tieren vor, die als Nestlinge markiert wurden.

Im Zeitraum 1995 bis 2011 wurden von uns 28 Fischadler markiert (25 in Mecklenburg-Vorpommern, 3 in Brandenburg), bis auf ein immat. Tier alles Altvögel. Häufiger als bei anderen



*Abb. 18: Dietrich Roepke (rechts) hat weit über dreitausend Jungadler beringt, hier mit Reinhard Prokain und einem für die Telemetrie gefangenen Fischadler-Paar.* FOTO: VERFASSER

Arten gelang es, beide Partner eines Paares zu fangen (s. Abb. 18).

Die meisten Adler brüteten auf Mittelspannungsmasten, einige auch auf Bäumen. Sie konnten bis zu fünf Jahre lang telemetriert werden. Einige Fischadler wurden wieder gefangen und teils entsendert und teils umbesendert. Seit Einsatz von Sendern mit Solarbetrieb (1996) erhielten wir von den meisten Tieren jeweils hunderte oder sogar tausende Ortungen. In keinem Falle konnte festgestellt werden, daß ein Adler einen Sender verlor oder entfernte. Lediglich bei einem Sender ging wenige Monate nach der Markierung des Vogels die Antenne verloren. Ob es sich um einen Konstruktionsmangel handelte oder das Tier die Antenne vollständig entfernt hatte, konnte nach Wiederfang nicht festgestellt werden. Bei einem anderen Adler waren nach längerer Zeit zwei Drittel der Antenne wahrscheinlich abgebissen worden.

Seit 2006 wurden 17 Sender mit GPS-Ortung eingesetzt, die auch Daten zu Flughöhe, -richtung und -geschwindigkeit übermittelten. Aufgrund der genauen Ortungen und der übrigen Daten lassen sich viele Rückschlüsse auf das Verhalten in den Brut- und Überwinterungsgebieten ziehen.

### Verhalten im Brutgebiet

Bei den Tieren mit GPS-Sendern konnten genaue Daten zu den Aktionsräumen etc. gewonnen werden. Ein 18-jähriges Männchen (PTT 06982) z.B., welches 11 km östlich der Müritz (M-V) Junge aufzog, entfernte sich zur Nahrungssuche bis zu 16 km vom Horst. Sein Aktionsraum umfaßte 102 qkm. Das dazugehörige Weibchen (PTT 64613) hatte ein viel kleineres home range (28,5 qkm), und es entfernte sich nur bis zu 5,4 km vom Nest. Bei diesem Männchen wurden im Brutgebiet Flughöhen bis zu 745 m ü NN und Fluggeschwindigkeiten bis zu 68 km/h ermittelt.

Wie auch bei Schreiadlern festgestellt wurde, entfernten sich einzelne Fischadler-Weibchen am Ende der Fortpflanzungsperiode bis zu 60 km von ihren Horsten und Jungen und besuchten fremde Nester, kehrten dann aber jeweils wieder zurück. Ein anderes Männchen entfernte sich bis zu 14 km vom Horst zur Nahrungssuche.

Ein Weibchen in Brandenburg siedelte sich um und brütete in der Schorfheide auf einem alten, seit langem verlassenen Horstbaum, wo ein neues Nest errichtet wurde, 40 km vom vorjährigen Brutplatz entfernt, der von einem neuen Weibchen besetzt wurde. Ein Weibchen in Mecklenburg, welches mehrere Jahre lang auf einem Mast gebrütet hatte, verpaarte sich mit einem anderen Männchen auf einem Baumhorst, als sein altes Männchen im Frühjahr nicht zurückkehrte.

### Zug und Überwinterung

Die Weibchen verließen stets mehrere Wochen vor den Männchen im August die Brutgebiete, wobei sie in vielen Fällen im Gegensatz zu den Männchen schon in Mitteleuropa längere Zeit rasteten. Die Männchen versorgten die Jungadler bis zu deren Abzug mit Nah-

rung. Die Männchen zogen insgesamt etwas weiter nach Westen als die Weibchen. Der Zug erfolgte überwiegend über Frankreich und Spanien. Ein großer Teil der Fischadler flog jedoch nicht bis zur Meerenge von Gibraltar, sondern überquerte das Mittelmeer vom Kap Gata östlich von Almeria (Andalusien, Spanien) aus zum Kap Viejo (Marokko), eine bisher wohl unbekannte Route, die z.B. auch von einem jungen Schreiadler eingeschlagen wurde (s. Abb. 19).

Einzelne Tiere zogen auch über die Alpen und das Mittelmeer. Bei der Mittelmeerüberquerung übernachteten die meisten Fischadler einmal auf einer der Inseln. Ein Weibchen überflog im Herbst von Südfrankreich aus diese ökologische Barriere in drei aufeinanderfolgenden Jahren non-stop bis Algerien, davon in zwei Fällen über Nacht. Der längste Non-stop-Flug ging von Bayern aus (1.582 km in 28 Stunden, durchschnittlich 56,5 km/h).

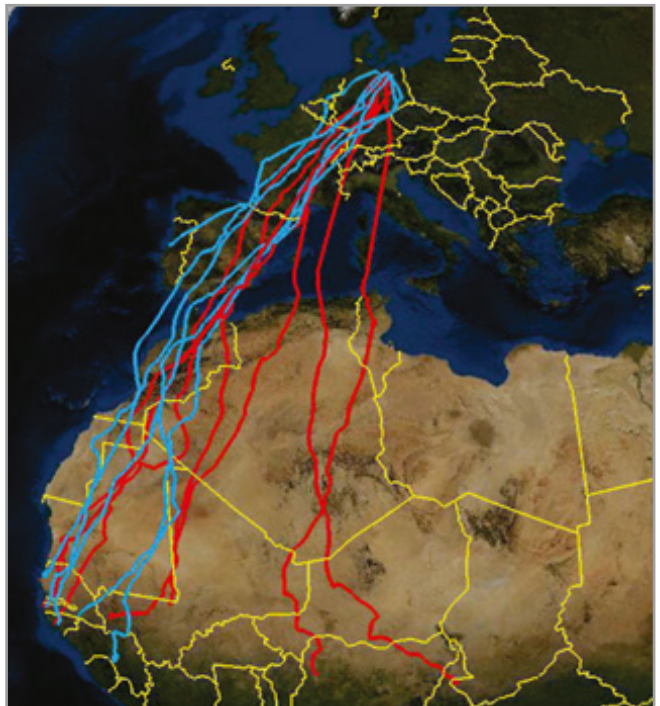


Abb. 19: Die jeweils ersten von jedem Tier dokumentierten Herbstzugrouten adulter deutscher Fischadler mit GPS-Sendern (Männchen=blau, Weibchen=rot).

Im Frühjahr konnte zwei mal die Non-stop-Überquerung des Mittelmeeres dieses Vogels von Tunesien aus nach Mittelitalien dokumentiert werden. Dabei wurden 2008 1.434 km in 31 Stunden zurückgelegt (durchschn. 46,3 km/h). Das erwähnte 18-jährige Männchen 06982 wurde auf dem Zug in Höhen bis zu 1.864 m ü NN (1.107 m über Grund), das Weibchen bis zu 1.932 m ü NN (1.100 m über Grund geortet).

Die maximal festgestellten Fluggeschwindigkeiten bei einem Paar auf dem Herbstzug betragen 90 bzw. 84 km/h. Das Weibchen überquerte das Mittelmeer auf einer 150 km langen Strecke von Almeria (Spanien) aus mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 37,4 km/h. Es flog dabei nur knapp über dem Meeresspiegel, wahrscheinlich hatte es Gegenwind. Die jeweils erste dokumentierte Herbst-Zugstrecke von 15 Fischadern mit GPS-Sendern betrug im Mittel 5.090 km (4.648 km bei sieben Männchen, 5.426 km bei acht Weibchen).

Drei Männchen überwinterten in Portugal und Spanien, alle anderen Tiere in West- und Zentralafrika. Die Überwinterungsgebiete der Männchen und Weibchen einzelner Paare lagen bis auf einen Fall in Westafrika weit voneinander entfernt. Bei der Überwinterung in Westafrika wurde eine hohe Mortalität durch menschliche Verfolgung (Abschuß) festgestellt.

### **Seeadler *Haliaeetus albicilla***

Greifvögel werden nicht selten mit schweren Verletzungen aufgefunden, die eine zum Teil sehr aufwendige operative Versorgung erfordern, wenn eine Wiederauswilderung möglich sein soll. Die Erfolgskontrolle nach der Freilassung solcher Tiere erfolgte bisher jedoch meist nur in Einzelfällen. Erst die Einführung der Satelliten-Telemetrie ermöglichte es, einzelne Individuen größerer Arten über längere Perioden weltweit zu orten und damit eine echte Erfolgskontrolle durchzuführen.

Am 26. Dezember 2009 wurde im Landkreis Elbe-Elster (EE) im Süden des Landes Brandenburg (BB) ein Seeadler mit einem schweren Anflugtrauma unter einer Mittelspannungsleitung gefunden. Es handelte sich um ein unberingtes,

nicht ganz ausgefärbtes Männchen, das Geburtsjahr dürfte 2006 gewesen sein. Es hatte eine Lungenquetschung und eine Korakoidfraktur. Dieser Knochen war außerdem ausgerenkt. Das Koracoid (Os coracoideum, Rabenschnabelbein) ist der kräftigste Knochen des Schultergürtels bei Vögeln und liegt vor dem Brustkorb (Thorax).

Diese schwere Verletzung wurde in der Kleintierklinik der Freien Universität Berlin von S. Navarra und K. Müller mit einer Platte operativ versorgt. Am 19. Februar 2010 kam der Adler in die Naturschutzstation Woblitz (BB) zur Rehabilitation. In Kooperation mit der Weltarbeitsgruppe Greifvögel e.V. (WAG) und dem Verein Aquila e. V. wurde der Adler am 12. April 2010 mit einem 30 g schweren 3D-GPS-Satelliten-Sender mit Solarbetrieb von B.-U. Meyburg markiert. Finanziert wurden der Sender und die Datenübertragung durch das Argos-Satelliten-System von der Weltarbeitsgruppe Greifvögel e.V. (WAG) und den NABU-Adlerpaten. Der Sender wog 30 g. Der Vogel wurde schließlich am 14. April 20 km östlich des ursprünglichen Fundortes frei gelassen.

Um eine erfolgreiche Rehabilitation mit anschließender Wiedereingliederung in die Natur zu bestätigen, müssen behandelte Seeadler sowie Greifvögel im allgemeinen über einen bestimmten Zeitraum in der Natur beobachtet werden. Am kostengünstigsten ist hierfür die Beringung der Vögel, jedoch liegt die Ringablesungsrate der Seeadler nur bei ca. 30 % und ist damit sehr gering. Aus diesem Grund wird eine Überwachung mittels Satelliten-Telemetrie empfohlen. Ob hierfür die Argos-Sender oder GPS-Sender genutzt werden, muß anhand der Fragestellung entschieden werden. Bei Untersuchungen zu Habitatnutzungen sind GPS-Sender aufgrund der höheren Genauigkeit notwendig.

Um über das Raumnutzungsverhalten sowie Habitatpräferenzen von Seeadlern im allgemeinen sowie von subadulten Seeadlern im Speziellen mehr Informationen zu erhalten, ist es notwendig, daß mehr Seeadler besendert werden. Aufgrund dieser Ergebnisse können die Seeadler sowie deren genutzte Habitate gezielter geschützt werden.

Der Seeadler zeigte innerhalb der untersuchten sechs Monate ein natürliches Verhalten. Dies wurde mittels GPS-Sender verfolgt, woraus ein Datensatz von 573 verwendbaren Ortungen entstand. Die Ortungen wurden zwischen 3:00 Uhr und 20:00 Uhr (GMT) übertragen. Die maximale Höhe wurde bei 922 Meter ü NN. Mitte September festgestellt. Anfang Mai flog der Seeadler mit der maximal gemessenen Geschwindigkeit von 80 km/h.

Dieser subadulte Seeadler war erst der zweite dieser Art, soweit bekannt, welcher nach einer Behandlung und Gefangenschaft mittels Satelliten-Telemetrie verfolgt werden konnte. Der männliche Seeadler nutze ein Gebiet großräumig in Westbrandenburg, Nordsachsen und Ost-Sachsen-Anhalt. Dabei legte er eine Distanz von insgesamt 1.676 km zurück. Der Aktionsraum des Seeadlers war 13.289 km<sup>2</sup> (MCP 100 %) groß.

Mit Hilfe der Überlappungsberechnungen stellte sich heraus, daß sich in dem Gebiet des Naturparadieses Grünhaus (bei Lauchhammer) der Aktivitätsschwerpunkt befand. In dieses Gebiet kehrte der Seeadler in unregelmäßigen Abständen zurück. Für die Habitatanalysen erwies sich die Verwendung einer gepufferten Punktanalyse als sinnvoll. Dabei wurde ein Pufferradius um die Ortungen gelegt und dieser Puffer als Habitatnutzung verwendet. Die Habitatnutzung von Stillgewässern, Mooren und Sümpfen sowie Mischwald wurde überwiegend präferiert. Gemieden wurden vor allem sonstige Gewässer, offene Flächen, Heide, Baumreihen sowie Grün- und Freiflächen. Bei den berechneten Habitatpräferenzen für den gesamten Aktionsraum veränderten sich die Nutzungen. Stillgewässer, Moore und Sümpfe, Baumreihen und Gebüsch wurden stark präferiert Stark gemieden wurden sonstige Gewässer sowie Grün- und Freiflächen.

Es wurde auch das Verhalten hinsichtlich bekannter Horstbäume Brandenburgs untersucht. Der subadulte Seeadler beflog besetzte Reviere im Jahr 2010 mehrfach, so daß davon ausgegangen werden kann, daß der Adler von den Brutpaaren im Revier geduldet wurde. Um weitere Informationen über das Verhalten von subadulten Seead-

lern zu erhalten, wurden die Tagesaktivitäten mit maximalen Ortungen miteinander verglichen. Es zeigten sich deutliche Unterschiede in den Aktivitäten des Adlers, welche auf die Umwelt und den Aufenthaltsort zurückzuführen sind. An Tagen, mit einer geringen Aktivität, befand sich der Seeadler vor allem in der Nähe von Gewässern. Im Tagesverlauf, flog der Seeadler vor allem ab 10:00 Uhr, wenn er weite Distanzen überwand.

Der Untersuchungszeitraum endet am 18.10.2010, weil der Seeadler im nordöstlichen Sachsen-Anhalt aufgrund Stromtod an einer Hochspannungsleitung aufgefunden wurde.

Zwei weitere ad. Seeadler, ein Männchen und ein Weibchen, die mit schweren Bleivergiftungen gefunden worden waren, wurden nach Rekonvaleszenz ebenfalls besendet und an den Fundorten in Brandenburg freigelassen. Bei Abschluß dieses Manuskripts (September 2013) werden beide Adler noch über ein bzw. zwei Jahre telemetrisch überwacht und sind danach gesund, haben sich also wieder voll in die Natur integriert.

Mittels Satelliten-Telemetrie wurde von uns auch das Überleben dreier Schlangenadler (*Circaetus gallicus*) in Frankreich untersucht, die zuvor mit Leitungen kollidiert waren. Zwei Individuen zogen normal in die Überwinterungsgebiete in Westafrika und kehrten im Sommer nach Frankreich zurück. Beide Tiere wurden nach einem und nach sechs Jahren tot aufgefunden. Ein Adler hingegen kollidierte bereits eine Woche nach der Freilassung mit einem Fahrzeug. Andere Untersuchungen zur Feststellung der Reintegration in die Natur von in Gefangenschaft geratenen Greifvögel mittels Satelliten-Telemetrie sind uns nicht bekannt.

### **Schreiadler *Aquila pomarina***

Diese Art wurde von uns am intensivsten untersucht. Seit 1992 wurden über 100 Tiere besendet. Dabei wurde 2012 erstmalig der Prototyp eines GSM/GPS-Senders eingesetzt, der die Daten über Handy-Netze übermittelt. Auf diese Weise konnte die Zahl der empfangenen GPS-Ortungen extrem erhöht werden. Oftmals wurden alle 3–5 Minuten Lokalisationen übermittelt.



Mittels dieses Senders konnte auch erstmals in allen Fällen die tatsächliche Flughöhe gemessen werden, was bei allen bisherigen Sendern nicht möglich war. Der Adler flog auf dem Zug in Höhen bis zu über 3.500 m ü NN.

Alle bisher telemetrierten Altvögel zogen über den Bosphorus und den Nahen Osten (s. Abb. 20). Sie überwinterten überwiegend im südlichen Afrika, insbesondere in Sambia. Die Jungtiere



Abb. 20: Die Route ad. Schreiadler – Synthese der bisherigen Telemetrie-Ergebnisse. Der Zug der Altvögel erfolgt in schmaler Front auf einer „Idealroute“, bei den Tieren aus Europa ganz überwiegend über den Bosphorus und durch den Nahen Osten.

verhielten sich teilweise anders. Der Abzugswinkel war viel größer. Manche Tiere zogen über Gibraltar, Italien und das südliche Griechenland. Bei zwei Jungadlern konnte erstmals das Überwinden des Mittelmeers an breiter Stelle vom Peloponnes aus nachgewiesen werden.

### Ergebnisse der Besenderung 2012

2012 wurden von uns fünf Individuen im Rahmen eines Langzeitprojekts zur Erforschung des Schreiadlers mit Satellitensendern markiert. Alle fünf Altvögel setzten das Brutgeschäft nach der Besenderung fort und zogen erfolgreich einen Jungadler auf. Danach verließen sie zum normalen Zeitpunkt im September das Brutgebiet und zogen in die Überwinterungsgebiete im südlichen und zentralen Afrika.

Bei einem Männchen, „Panni“ genannt, wurde ein experimenteller GSM-Sender eingesetzt. Dieses Tier wurde aus verschiedenen Gründen ausgewählt: Panni war 1992 als Nestling beringt und die Aufzucht per ferngesteuerter Videokamera an einem Horst in Mecklenburg-Vorpommern aufgenommen worden.

1992 wurde ein „normaler“ Brutverlauf aufgezeichnet. Das Weibchen legte zwei Eier und zog einen Jungadler auf. Der noch im Dunenkleid befindliche 20-tägige Jungadler stürzte in der Nacht vom 2. auf den 3. Juli aus ungeklärter Ursache aus dem Horst, was nur aufgrund der Videoaufzeichnungen relativ frühzeitig bemerkt wurde. Er überlebte nicht nur den Absturz, sondern auch zwei Nächte auf dem Boden, wo er am Vormittag des 4. Juli aufgefunden wurde. Nachdem er sich in Gefangenschaft wieder erholt hatte, wurde er am Morgen des darauffolgenden Tages in seinen Horst zurückgesetzt. Die Videoanlage half ohne zusätzliche Störungen festzustellen, daß das Junge in der Nacht vom 5. auf den 6. Juli vom Weibchen wieder angenommen wurde. Anfang August, in der 9. Lebenswoche, verließ der Jungadler den Horst. 20 Jahre später gelangte er erneut in Menschenhand und wurde besendert. Der inzwischen 20 Jahre alte Adler hatte sich nur wenige Kilometer von seinem Geburtsort entfernt angesiedelt.

Vom Tag der Besenderung am 8. August bis zum Abzug aus dem Brutgebiet am 13. September 2012 erhielten wir 2665 GPS-Ortungen, weit mehr als von den anderen vier Tieren. Die Reviere der fünf Tiere waren sehr unterschiedlich groß. Panni hatte das bei weitem größte Revier (128 qkm Kernel 90%, 206 qkm MCP 95%). Diese Erkenntnis ist wahrscheinlich zum Teil der Tatsache zu verdanken, daß der neuartige GSM-Sender weit mehr Ortungen lieferte als die übrigen vier Argos-GPS-Sender.

Panni entfernte sich auch am weitesten vom Horst bei seinen Nahrungsflügen, im Frühjahr 2013 an einem Tag bis zu 17 km. Wäre das Tier nur zu jeder vollen Stunde geortet worden, so wie die anderen Adler mit den herkömmlichen GPS-Sendern, so wäre diese weiteste Exkursion vom Horst scheinbar 13,5 km kürzer gewesen. 51,3 % aller Ortungen erfolgten im Umkreis von 300 bis 3.000 m um den Horst und 48,7% in mehr als 3 km vom Nest. Dies zeigt, daß bei den bisherigen Sendern die Aktivität und Ausdehnung der home ranges nicht voll erfaßt wurde.

### Herbstzug, Überwinterung und Frühjahrszug von Panni

Panni verließ am 13. September das Brutgebiet, überquerte am 26. September den Bosphorus und am 4. Oktober den Suez-Kanal. Am 10. November erreichte er sein Überwinterungsgebiet im südlichen Simbabwe. Während des Herbstzugs gingen über 4.700 GPS-Ortungen des Adlers ein. In üblicher Weise nomadisierte er während der Überwinterung in Sambia, Simbabwe, Botswana und Südafrika. Aus dem Überwinterungsgebiet erhielten wir 5.374 Ortungen. Am 22. Februar 2013 verließ er wieder das Überwinterungsgebiet, verließ Afrika am 19. März bei Suez, überflog den Bosphorus am 29. März und erreichte am 17. April sein altes Brutgebiet in Deutschland.

### Was ist der Vorteil der GSM-Sender?

Mit diesem neuen Sender lassen sich grundsätzliche, bisher nicht klärbare Fragen des Vogelzugs lösen, wie z.B. die der Nahrungssuche auf dem Zug. Ob, wann und wo auf dem Zug Nah-



Abb. 21: Vergleich der Dichte der GPS-Ortungspunkte (rot) des Schreiadlers („Panni“) mit GSM-Sender und eines am selben Tage besenderten Weibchens („Peggi“) mit herkömmlichem GPS-Argos-Sender (gelb).



zung aufgenommen wird, ist eine Frage, die bisher bei den meisten Arten ungeklärt ist. Durch die vielen Ortungen in sehr geringem Zeitabstand (s. Abb. 21) und die Daten zur Fluggeschwindigkeit und -höhe läßt sich ableiten, ob die Tiere ziehen oder zeitweilig den Zug unterbrechen und Nahrung suchen. Ferner läßt sich erstmals die Flughöhe auf dem gesamten Zug eines Fernziehers ermitteln. Die bisherigen Sender erlaubten es nur, Flughöhen bis zu ca. 2.050 m ü NN festzustellen. Panni zog z.B. am 28. September 2012 in der Türkei dreimal in Höhen über 3000 m ü NN, davon einmal in etwas über 3500 m ü NN. Natürlich werden die Zugrouten viel präziser erfaßt also zuvor, was z.B. wichtig dafür sein kann festzustellen, ob die Tiere durch geplante oder vorhandene Windkraftanlagen auf dem Zug gefährdet sind. Schließlich lassen sich die home ranges im Brutgebiet viel genauer erfassen. Bisher wurden sie aufgrund der viel geringeren Zahl der Ortungen vielleicht oft zu klein eingeschätzt.

### **Funktionsraumanalysen zum Schutz des Schreiadlers mittels GPS-Telemetrie**

Mit der Energiewende kommt es zu einer weiteren und massiven Zunahme von Nutzungsansprüchen an die Landschaft. Seit kurzer Zeit erfolgen in diesem Kontext Funktionsraumanalysen als Hilfsmittel für Planungen, insbesondere für Windenergieanlagen (WEA). Mit Funktionsraumanalysen sollen die Raumnutzungsmuster konkreter Individuen oder Brutpaare planungsrelevanter Vogelarten mit großen Raumansprüchen untersucht werden. Die Ergebnisse solcher Analysen sind in hohem Maße von der Art der Durchführung abhängig und damit beeinflussbar. Im ungünstigsten Fall stehen sie im Widerspruch zur Realität, führen zu falschen Schlußfolgerungen und laufen damit den Forderungen für einen günstigen Erhaltungszustand von Vogelpopulationen zuwider. Daraus resultiert Bedarf an einem kritischen Hinterfragen solcher Funktionsraumanalysen und eindeutigen Vorgaben im Falle ihrer Durchführung.

Beim Schreiadler wurde von uns 2004–2006 in Nordostdeutschland mittels der Satellitentelemetrie für Männchen ein mittlerer Aktionsraum von 72,3 qkm ermittelt, wobei die Spanne bei sechs Individuen von 32,8 bis 172,3 qkm reichte.

Ein Schreiadler-Männchen mit Sender 23196 in Mecklenburg-Vorpommern konnte für die Jahre 2005–2010 mit 3.535 GPS-Satellitentelemetrie-Ortungen ausgewertet werden (s. Abb. 22). Bei der Darstellung (s. Abb. 23) des 3- und 6-km-Radius um den Horst in verschiedenen Jahren ist erkennbar, daß die Raumnutzung von Brutsaison zu Brutsaison differiert. Dies kann an unterschiedlichen Anbauverhältnissen im Rahmen der Fruchtfolge (inkl. Brachen) liegen, aber auch an anderen Faktoren, z. B. vorhandenem (2005, 2006, 2008) oder fehlendem Bruterfolg (2007, 2009) und nicht zuletzt auch der Anwesenheit benachbarter Paare und deren Bruterfolg. Männchen, die sich territorial verhalten, haben bei aktiver Brut deutlich größere Reviere als nicht brütende Individuen oder Männchen nach Brutverlust. Bei fehlendem Bruterfolg ergäbe ein einzelnes Untersuchungs-jahr die falsche Schlußfolgerung, dass viele der in den erfolgreichen Jahren genutzten Flächen keine Bedeutung für den Schreiadler haben. In den vergangenen Jahren zeigte sich zudem immer wieder die schlechte

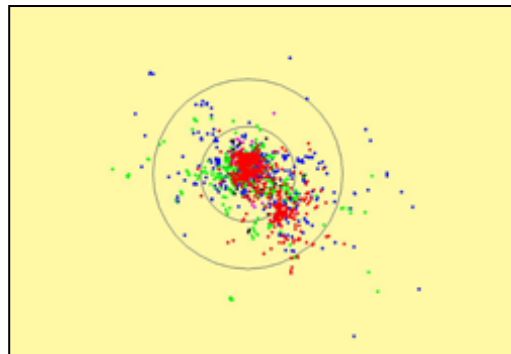


Abb. 22: 3.535 GPS-Satellitentelemetrie-Ortungen des Schreiadler-Männchens 23196 in Mecklenburg-Vorpommern 2005–2010 mit Darstellung des 3- und 6-km-Radius um den Horst.

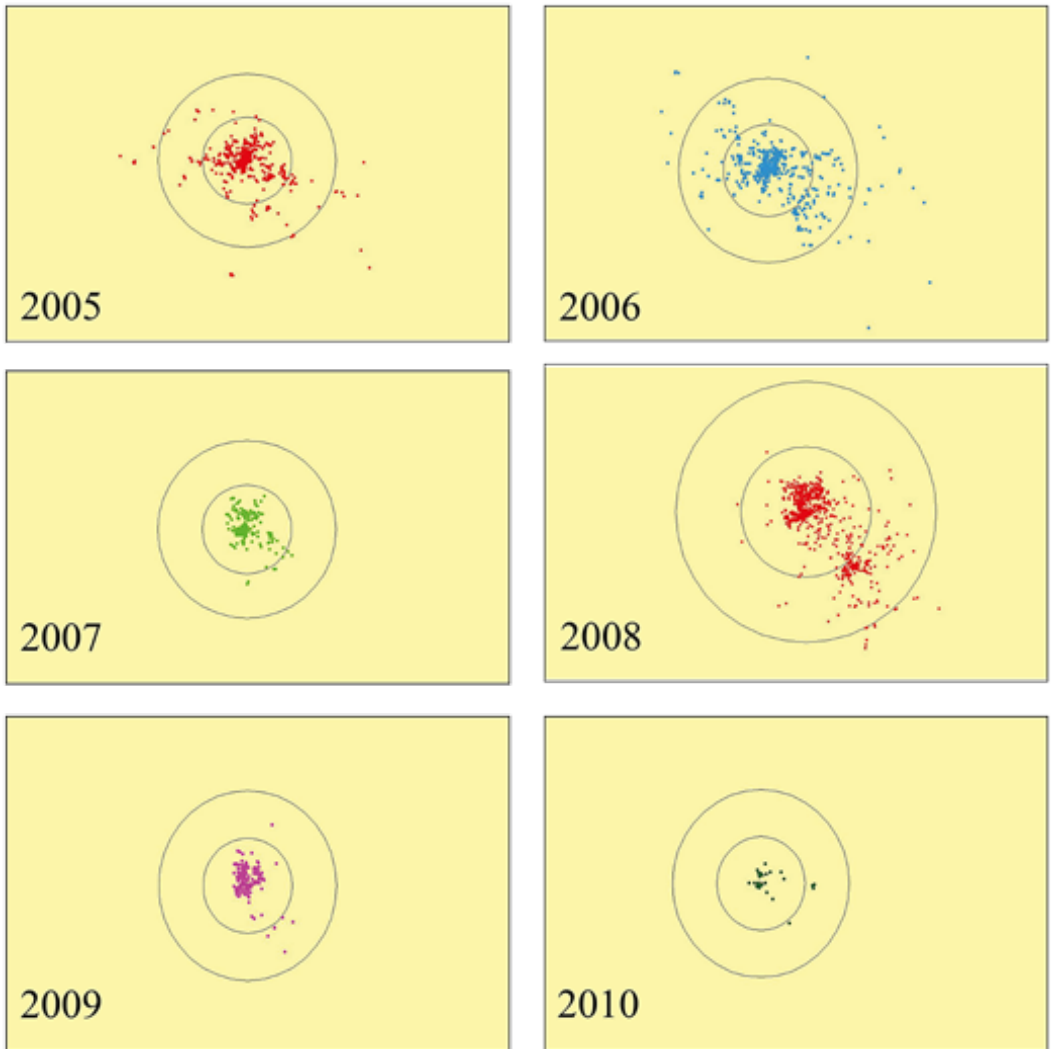


Abb. 23: GPS-Ortungen des Schreiadler-Männchens 23196 in den Jahren 2005–2010 (insgesamt 3.535 Ortungen, 2005 und 2010 unvollständig aus technischen Gründen).

Wahrnehmbarkeit nicht brütender Vögel und erfolgloser Brutadler – obwohl den Horstbetreuern regelmäßig zeitnah die Koordinaten ihrer Adler übermittelt wurden, bekamen sie die Vögel kaum zu Gesicht. Unabhängig von der Aktivitätsdynamik eines einzelnen Vogels kann sich auch der Wechsel eines Brutpartners in anderen Verhaltensweisen und / oder geänderter Raumnutzung widerspiegeln. Im vorliegenden

Beispiel wären bei einer Planung z. B. 4 km nordwestlich des Horstes lediglich in zwei von vier Jahren Aktivitäten nachgewiesen worden. Aber auch die offensichtlich bedeutsamen Flächen im Südosten, wo es regelmäßig bis 6 km und darüber hinaus Ortungen gibt, wären 2007 und 2009 kaum oder gar nicht zur Kenntnis genommen und fälschlich als bedeutungslos angesehen worden.

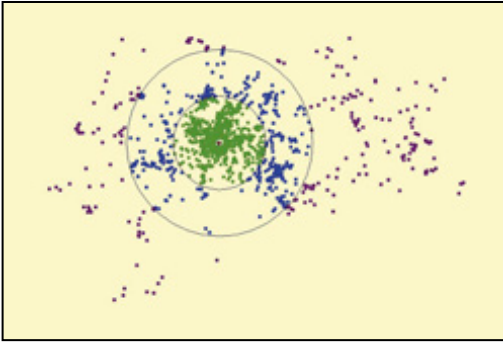


Abb. 24: Ortungen des Schreiadler-Männchens Panni mit GSM-Sender 0024 im Sommer 2012. Die Kreise verlaufen in einem Abstand von 3 und 6 km um den Horst.

Im positiven Fall ist der Beleg der Nutzung einer bestimmten Fläche eindeutig, während das Fehlen von Nachweisen einer Nutzung auch an der Methode oder an zu geringer Datendichte liegen kann. Ein für den Schreiadler als Nahrungsfläche völlig bedeutungsloser Maisschlag kann im Folgejahr als Roggenfeld oder Brache regelmäßig genutzt werden. Nicht nur von einem Jahr zum nächsten ändert sich die Raumnutzung, sondern auch innerhalb einer Brutsaison.

Beim Schreiadler sprechen Seltenheit, Gefährdung, Raumnutzung und die Habitatansprüche dafür, bei raumbedeutsamen Planungen einen Radius von mindestens 6 km um die Horstbereiche besonders zu berücksichtigen (s. Abb. 24). Dies wird durch die Auswertung eines über sechs Jahre telemetrierten Schreiadler-Männchens bekräftigt. Für Windkraftanlagen, die derzeit besonders maßiv die Lebensräume von Großvogelarten verändern und zudem Direktverluste verursachen, sollte ein Radius von 6 km um die Brutplätze von Schreiadlern als Tabubereich gelten.

### Schreiadler- und Fischadler-Weibchen besuchen weit entfernte fremde Nester

Es gibt kaum Informationen über die soziale Organisation von Schreiadler-Brutpopulationen, die turnover-Rate der Altvögel und deren

Partner- und Brutplatztreue. Nach bisheriger Kenntnis verhalten sich brütende Schreiadler territorial und verteidigen mindestens den engeren Nestbereich gegen Artgenossen. Von den Weibchen, die einen Jungvogel zu versorgen haben, wurde bisher angenommen, daß sie sich – wie auch andere Greifvogelweibchen mit Nachwuchs – in einem Umkreis von wenigen Kilometern um das Nest aufhalten. Diese Hypothese wird durch Untersuchungen mit Hilfe der GPS-Satelliten-Telemetrie und von DNA-Analysen widerlegt. Ein 2004 in NE-Brandenburg besendertes Weibchen entfernte sich mindestens 50 km in zwei entgegengesetzten Richtungen von seinem Horst (D) und besuchte dabei ein fremdes besetztes Nest (T). Mindestens zwei fremde Weibchen besuchten den Horst D mit Jungvogel des besenderten Weibchens und hielten sich dort wahrscheinlich längere Zeit auf, wobei der eine fremde Vogel (E) von seinem Brutplatz aus 57 km Entfernung kam. Besuche fremder Altvögel an diesem Horst wurden auch visuell festgestellt. Es ist daher anzunehmen, daß Männchen nur untereinander Territorialverhalten zeigen, nicht aber gegenüber fremden Weibchen. Nach den getroffenen Feststellungen ist ferner zu vermuten, daß sich Weibchen untereinander nicht territorial verhalten. Bei weiteren Schreiadler- und auch Fischadler-Weibchen konnte dieses Verhalten bestätigt werden. Eine nähere Verwandtschaft der sich besuchenden Weibchen (Geschwister oder Halb-Geschwister) konnte bei den DNA-Analysen bei den Schreiadlern ausgeschlossen werden. Inzwischen konnte bei einem dreijährigen und einem vierjährigen Schreiadler festgestellt werden, daß auch diese viele Horstbereiche von Brutpaaren besuchen.

### Danksagung

Wir danken einer Vielzahl von Helfern im In- und Ausland, ohne die die Untersuchungen nicht möglich gewesen wären. Leider erlaubt es der zur Verfügung stehende Druckraum nicht, alle Namen einzeln zu nennen.

**ALLGEMEINE ÜBERSICHTSLITERATUR ZUR VOGEL-TELEMETRIE:**

- BENSON, E. (2010): Wired wilderness. Technologies of tracking and the making of modern wildlife. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- COCHRAN, W. W. & R. D. LORD (1963): A radio-tracking system for wild animals. *J. Wildl. Manage.* 27: 9–24.
- KENWARD, R. (2001): A manual for wildlife radio tagging. Academic Press, London.
- MEYBURG, B.-U. & M. R. FULLER (2007): Satellite tracking. S. 242–248 in: D. M. BIRD & L. BILDSTEIN (eds): Raptor research and management techniques. Hancock House Publishers, Surrey.
- NAEF-DAENZER, B. (2013): Entwicklungen in der Telemetrie und ihre Bedeutung für die ornithologische Forschung. *Orn. Beob.* 110: 307–318.
- TOMKIEWICZ, S. M., M. R. FULLER, J. G. KIE & K. K. BATES (2010): Global positioning system and associated technologies in animal behaviour and ecological research. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 365: 2163–2176.
- WORTON, B. J. (1989): Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. *Ecology* 70: 164–168.

**EIGENE PUBLIKATIONEN ZUR GREIFVOGEL-TELEMETRIE IN CHRONOLOGISCHER REIHENFOLGE:**

- MEYBURG, B.-U., W. SCHELLER & C. MEYBURG (1993): Satelliten-Telemetrie bei einem juvenilen Schreiadler (*Aquila pomarina*) auf dem Herbstzug. *J. Ornithol.* 134: 173–179.
- MEYBURG, B.-U. & E. G. LOBKOV (1994): Satellite tracking of a juvenile Stellers Sea Eagle *Haliaeetus pelagicus*. *Ibis* 136: 105–106.
- MEYBURG, B.-U., T. BLOHM, C. MEYBURG, I. BÖRNER & P. SÖMMER (1994) Satelliten- und Bodentelemetrie bei einem jungen Seeadler *Haliaeetus albicilla* in der Uckermark: Wiedereingliederung in den Familienverband, Bettelflug, Familienauflösung, Dispersion und Überwinterung. *Vogelwelt* 115: 115–120.

- MEYBURG, B.-U., L. HARASZTHY, C. MEYBURG & I. VISZLO (1995): Satelliten- und Bodentelemetrie bei einem jungen Kaiseradler *Aquila heliaca*: Familienauflösung und Dispersion. *Vogelwelt* 116: 153–157.
- MEYBURG, B.-U., W. SCHELLER & C. MEYBURG (1995): Zug und Überwinterung des Schreiadlers *Aquila pomarina*: Satellitentelemetrische Untersuchungen. *J. Ornithol.* 136: 401–422.
- MEYBURG, B.-U., J. M. MENDELSON, D. H. ELLIS, D. G. SMITH, C. MEYBURG & A. C. KEMP (1995): Year-round movements of a Wahlbergs Eagle *Aquila wahlbergi* tracked by satellite. *Ostrich* 66: 135–140.
- MEYBURG, B.-U., X. EICHAKER, C. MEYBURG & P. PAILLAT (1995): Migrations of an adult Spotted Eagle tracked by satellite. *Brit. Birds* 88: 357–361.
- MEYBURG, B.-U. & C. MEYBURG (1996): Satelliten-Telemetrie – ein neues Hilfsmittel in der Erforschung von Vogelwanderungen. *Ornithologen-Kalender* 10: 165–176.
- MEYBURG, B.-U., C. MEYBURG & C. PACTEAU (1996): Migration automnale d' un Circaète Jean-Le-Blanc *Circaetus gallicus* suivi par satellite. *Alauda* 64: 339–344.
- MEYBURG, B.-U., C. MEYBURG, W. SCHELLER & P. PAILLAT (1996): Satellite tracking of eagles: Method, technical progress and first personal experiences. p. 529–549. In: MEYBURG, B.-U. & R. D. CHANCELLOR (Eds.): *Eagle Studies*. Berlin, London & Paris: World Working Group on Birds of Prey and Owls.
- MEYBURG, B.-U., W. SCHELLER, C. MEYBURG & K. GRASZYNSKI (1996): Satelliten-Telemetrie als neues Hilfsmittel der Greifvogelforschung: Derzeitiger Stand der Technik und Ergebnisbeispiele der Zugforschung. *Populationsökologie Greifvogel- und Eulenarten* 3: 167–176.
- MEYBURG, B.-U. & C. MEYBURG (1998): Satellite tracking of Eurasian raptors. *Torgos* 28: 33–48.
- MEYBURG, B.-U. & C. MEYBURG (1998): The study of raptor migration using satellite telemetry: some goals, achievements and limita-

- tions. *Biotelemetry XIV*: 415–420. Tectum Verlag, Marburg.
- MEYBURG, B.-U., C. MEYBURG & J.-C. BARBRAUD (1998): Migration strategies of an adult Short-toed Eagle *Circus gallicus* tracked by satellite. *Alauda* 66: 39–48.
- MEYBURG, B.-U., C. MEYBURG, T. MIZERA, G. MACIOROWSKI & J. KOWALSKI (1998): Greater Spotted Eagle wintering in Zambia. *Africa – Birds & Birding* 3: 62–68.
- SCHMIDT, D. & B.-U. MEYBURG (1998): Forschung an Fischadlern (*Pandion haliaetus*) im Strelitzer Land. *Labus – Naturschutz im Strelitzer Land, Neue Reihe*, 8: 22–27.
- MEYBURG, B.-U. & C. MEYBURG (1999): NASA-Satelliten im Dienste der Vogelforschung: Mit dem Schlangenadler nach Westafrika. *Falke* 46: 164–171.
- MEYBURG, B.-U. & C. MEYBURG (1999): The study of raptor migration in the Old World using satellite telemetry. In: ADAMS, N.J. & R.H. SLOTOW (eds.): *Proc. 22 Int. Ornithol. Congr.*, Durban: 2992–3006. Johannesburg: BirdLife South Africa.
- MEYBURG, B.-U. & C. MEYBURG (2000): Greifvogel-Monitoring mittels Satelliten-Telemetrie. *Populationsökologie Greifvogel- und Eulenarten* 4: 33–49.
- MEYBURG, B.-U., W. SCHELLER & C. MEYBURG (2000): Migration and wintering of the Lesser Spotted Eagle *Aquila pomarina*: A study by means of satellite telemetry. *Global Environ. Res.* 4: 183–193.
- MEYBURG, B.-U., D.H. ELLIS, C. MEYBURG, J.M. MENDELSON & W. SCHELLER (2001): Satellite tracking of two Lesser Spotted Eagles, *Aquila pomarina*, migrating from Namibia. *Ostrich* 72: 35–40.
- SCHELLER, W., U. BERGMANIS, B.-U. MEYBURG, B. FURKERT, A. KNACK & S. RÖPER (2001): Raum-Zeit-Verhalten des Schreiadlers (*Aquila pomarina*). *Acta ornithoecologica* 4: 75–236.
- MEYBURG, B.-U., J. MATTHES & C. MEYBURG (2002): Satellite-tracked Lesser Spotted Eagle avoids crossing water at the Gulf of Suez. *Brit. Birds* 95: 372–376.
- MEYBURG, B.-U. & C. MEYBURG (2002): Monitoring Raptors by means of Satellite Telemetry. Pp. 22–32 in: YOSEF, R., M.L. MILLER & D. PEPLER (eds.): *Raptors in the New Millennium*. Eilat: Intern. Birding & Research Center.
- MEYBURG, B.-U., P. PAILLAT & C. MEYBURG (2003): Migration routes of Steppe Eagles between Asia and Africa: A study by means of satellite telemetry. *Condor* 105: 219–227.
- MEYBURG, B.-U., C. MEYBURG, T. BELKA, O. SREIBR & J. VRANA (2004): Migration, wintering and breeding of a Lesser Spotted Eagle (*Aquila pomarina*) from Slovakia tracked by Satellite. *J. Ornithol.* 145: 1–7.
- MEYBURG, B.-U., M. GALLARDO, C. MEYBURG & E. DIMITROVA (2004): Migrations and sojourn in Africa of Egyptian vultures (*Neophron percnopterus*) tracked by satellite. *J. Ornithol.* 145: 273–280.
- MEYBURG, B.-U., P. PAILLAT, C. MEYBURG & K. GRASZYNSKI (2005): Der Zug des Steppenadlers. *Falke* 52: 12–17.
- MEYBURG, B.-U. & C. MEYBURG (2005): Tracking the Endangered Greater Spotted Eagle. *Tracker News* 6 (2): 4
- MEYBURG, B.-U., C. MEYBURG, T. MIZERA, G. MACIOROWSKI & J. KOWALSKI (2005): Family break up, departure, and autumn migration in Europe of a family of Greater Spotted Eagles (*Aquila clanga*) as reported by satellite telemetry. *J. Raptor Res.* 39: 462–466.
- MEYBURG, B.-U. & C. MEYBURG (2006): Fortschritte der Satelliten-Telemetrie: Technische Neuerungen beim Monitoring von Greifvögeln und einige Ergebnisbeispiele. *Populationsökologie Greifvogel- u. Eulenarten* 5: 75–94.
- MEYBURG, B.-U., C. MEYBURG, J. MATTHES & H. MATTHES (2006): GPS-Satelliten-Telemetrie beim Schreiadler (*Aquila pomarina*): Aktionsraum und Territorialverhalten. *Vogelwelt* 127: 127–144.

- MEYBURG, B.-U., C. MEYBURG & F. FRANCK-NEUMANN (2007): Why do female Lesser Spotted Eagles (*Aquila pomarina*) visit strange nests remote from their own? *J. Ornithol.* 148: 157–166.
- MEYBURG, B.-U., C. MEYBURG, J. MATTHES & H. MATTHES (2007): Heimzug, verspätete Frühjahrsankunft, vorübergehender Partnerwechsel und Bruterfolg beim Schreiadler *Aquila pomarina*. *Vogelwelt* 128: 21–31.
- MEYBURG, B.-U. & C. MEYBURG (2007): Post-fledging behavior and outward migration of a hybrid Greater x Lesser Spotted Eagle (*Aquila clanga* x *A. pomarina*). *J. Raptor Res.* 41: 165–170.
- MEYBURG, B.-U. & C. MEYBURG (2007): Quinze années de suivi de rapaces par satellite. *Alauda* 75: 265–286.
- MEYBURG B.-U. & M. R. FULLER (2007): Satellite tracking. Pp. 242–248 in: BIRD, D. M. & K. L. BILDSTEIN (eds.): *Raptor Research and Management Techniques*. Hancock House Publishers, Surrey, Canada.
- MEYBURG, B.-U. & C. MEYBURG (2008): Satellite tracking of raptors – How PTTs changed our lives. *Tracker News* 9: 2–5.
- MEYBURG, B.-U., K. GRASZYNSKI, T. LANGGEMACH, P. SÖMMER & U. BERGMANIS (2008): Cainism, nestling management in Germany in 2004–2007 and satellite tracking of juveniles in the Lesser Spotted Eagle (*Aquila pomarina*). *Slovak Raptor J.* 2: 53–72.
- MEYBURG, B.-U. & C. MEYBURG (2009): Wanderung mit Rucksack: Satellitentelemetrie bei Vögeln. *Falke* 56: 256–263.
- PFEIFFER, T. & B.-U. MEYBURG (2009): Satellitentelemetrische Untersuchungen zum Zug- und Überwinterungsverhalten thüringischer Rotmilane *Milvus milvus*. *Vogelwarte* 47: 171–187.
- MEYBURG, B.-U. & C. MEYBURG (2009): Satelliten-Telemetrie beim Schreiadler (*Aquila pomarina*). *Labus, Naturschutz im Landkreis Mecklenburg-Strelitz, Sonderheft* 13: 16–44.
- GERKMANN, B. & B.-U. MEYBURG (2009): Habitats used by Lesser Spotted Eagles (*Aquila pomarina*) during migration and wintering as revealed by Satellite tracking and remote sensing. *Populationsökologie Greifvogel- und Eulenarten* 6, 87–102.
- MEYBURG, B.-U. & C. MEYBURG (2009): Annual cycle, timing and speed of migration of a pair of Lesser Spotted Eagles (*Aquila pomarina*) – a study by means of satellite telemetry. *Populationsökologie Greifvogel- und Eulenarten* 6, 63–85.
- MEYBURG, B.-U. & C. MEYBURG (2009): GPS-Satelliten-Telemetrie bei einem adulten Schwarzmilan (*Milvus migrans*): Aufenthaltsraum während der Brutzeit, Zug und Überwinterung. *Populationsökologie Greifvogel- und Eulenarten* 6, 243–284.
- MEYBURG, B.-U., P. W. HOWEY, C. MEYBURG & K. D. FIUCZYNSKI (2011): Two complete migration cycles of an adult Hobby tracked by satellite. *Brit. Birds* 104: 2–15
- MEYBURG, B.-U., C. MEYBURG, K. D. FIUCZYNSKI & A. HALLAU (2011): Forschung mithilfe des kleinsten Satellitensenders: Baumfalken – Wanderer zwischen den Kontinenten. *Falke* 58: 52–59.
- LANGGEMACH, T. & B.-U. MEYBURG (2011): Funktionsraumanalysen – ein Zauberwort der Landschaftsplanung mit Auswirkungen auf den Schutz von Schreiadlern (*Aquila pomarina*) und anderen Großvögeln. *Ber. Vogelschutz* 47/48: 167–181
- MEYBURG, B.-U., C. MEYBURG & P. PAILLAT (2012): Steppe Eagle migration strategies – revealed by satellite telemetry. *Brit. Birds* 105: 506–519.