© Deutschen Ornithologen-Gesellschaft und Partner; download www.do-g.de; www.zobodat.at

Schwerpunktthema „Aerodynamik und Energetik des Vogelfluges“

• Plenarvorträge

Nachtigall W (Saarbrücken):

Zur Aerodynamik und Energetik des Vogelflugs - Saarbrücker Messungen

✉ Werner Nachtigall, Universität des Saarlandes und Außenstelle Technische Biologie und Bionik der Akademie der Wissenschaften Mainz, Saarbrücken-Scheidt; E-Mail: nachtigall.werner@t-online.de

Der Vogelflug hat Generationen von Beobachtern und Forschern beschäftigt, von Leonardo da Vinci's „Sul volo degli ucelli“ über Erich von Holsts Modellanalysen der 40-er Jahre und späteren Experimenten mit Windkanälen und Hochfrequenz-Stereoanalysen meiner Arbeitsgruppen in München und Saarbrücken, parallel zu Untersuchungen in Erling-Andechs, Großbritannien (Pennycuick) und Lund (Alerstam u. a.). Heute nehmen Fach-Aerodynamiker mit modernsten, in der Luftfahrtanalyse erprobten Methoden den Windkanalflug von Falken und Eulen wieder auf, auch als Vorbild für die Konstruktion von Kleindrohnen.

Die Schlagflügel-Aerodynamik von Vögeln ist zwar der zentrale Punkt bei der Erforschung des Vogelflugs, doch bei weitem nicht der einzige. Die Kette der Betrachtung reicht von der Funktionellen Morphologie zur Kinematik der Flügel-bewegungen, von den stationären Strömungseffekten an Rumpf und Flügeln zur instationären aerodynamischen Analyse des Flügelschlags, von Atemgas-messungen zur energetischen Analyse des Windkanalflugs, von Ansätzen zum Wasserhaushalt zu den physiologischen Grenzen des Langstreckenflugs.

Aus diesem Katalog wurden aufeinander aufbauende Beispiele gegeben, wobei der Schwerpunkt auf den Saarbrücker Analysen lag.

Gulielmo C (London/Kanada):

Treibstoff-Stoffwechsel und Wasserhaushalt bei Zugvögeln

✉ Christopher G. Guglielmo, Department of Biology, Advanced Facility for Avian Research, Western University, 1151 Richmond St. N., London, ON N6A 5B7, Canada; E-Mail: cguglie2@uwo.ca

Der Zug erzeugt den größten ausdauernden Energiebedarf im Leben eines Vogels. Ziehende Vögel können sehr hohe Beanspruchung über lange Zeit aufrecht erhalten – in einigen Fällen über mehr als eine Woche ohne Nachschub an Futter oder Wasser. Wie sind sie zu so großer physiologischer Ausdauer in der Lage? Fett stellt aufgrund seines geringen Gewichtes und hohen Energiegehaltes den wichtigsten Treibstoff für den Stoffwechsel während des Zuges dar. Allerdings ist Fett schwierig zu verstoffwechseln und Vögel müssen die Ausbildung von Schlüsselproteinen und Enzymen, die zum Transport und zur Oxidation von Fett in Muskeln benötigt werden, massiv erhöhen. Vögel beugen der Austrocknung während des Fluges dadurch vor, dass sie aus der Treibstoffoxidation Wasser gewinnen. Allerdings ist unter trockenen atmosphärischen Bedingungen die Wasserproduktion aus Fettoxidation nicht ausreichend und die Vögel müssen dann Eiweiße aus Muskeln und Organen oxidieren, was fünfmal mehr Wasser einbringt als die Oxidation von Fett. Der Abbau von Muskeln und Organen ist mit großen Kosten verbunden, weil er die Flugfähigkeit reduzieren und die Auffüllung der Treibstoffreserven nach dem Flug behindern kann. Im Vortrag wurden zuerst die speziellen biochemischen Mechanismen beschrieben, die Vögel dazu verwenden, während des Fluges Fettstoffwechsel zu betreiben. Dann wurden neue Experimente vorgestellt, die in meinem Labor durchgeführt wurden, um mittels eines hypobaren klimatisierten Windkanals die Effekte von Umweltfaktoren wie atmosphärischer Feuchte und Nahrungswahl auf die Mischung von Fett und Eiweißen, die als Treibstoff während des Zuges dienen, zu untersuchen.

© Deutschen Ornithologen-Gesellschaft und Partner; download www.do-g.de; www.zobodat.at

Hedenström A (Lund/Schweden):

Erforschung des Vogelfluges: von Experimenten im Windkanal zum Langstreckenzug

✉ Anders Hedenström, Department of Biology, CanMove, Lund University, Schweden

Gegenwärtige Theorien zum Vogelzug basieren auf grundsätzlichen Beziehungen, die aus aerodynamischen Prinzipien hergeleitet wurden. Flugstrategien können aus dem Verhältnis zwischen der zum Fliegen erforderlichen Energie und der Geschwindigkeit in der Luft hergeleitet werden. Allgemeinere Zugstrategien, die auch die Aufteilung in Flugphasen und Rastphasen beinhalten, sind aus dem Verhältnis von Flugreichweiten und Treibstoffvorrat ableitbar, welches wiederum von aerodynamischen Grundregeln abhängig ist. Genaue Vorhersagen zu Flug- und Zugstrategien hängen von verlässlichen Schätzungen bestimmter aerodynamischer Parameter ab. Aktuelle technische Entwicklungen einschließlich der Möglichkeiten der Hochgeschwindigkeits-Visualisierung von Strömungen eröffnen neue Möglichkeiten, so grundlegende Eigenschaften wie Auftrieb und Luftwiderstand abzuschätzen. Solche Messungen erlauben nicht nur die Abschätzung aerodynamischer Parameter, sondern auch den Vergleich der Flugeffizienz zwischen Vogelarten und Flugweisen und sogar den Vergleich zwischen Vögeln, Fledermäusen und Insekten.

Versuche im Windkanal erlauben außerdem eine Abschätzung der Effekte, die Transmitter und Logger – weit verbreitete Hilfsmittel der Untersucher von Vogelzug - auf die mögliche Flugreichweite der Vögel haben. Die aerodynamische Theorie stellt ein nützliches Hilfsmittel dar, um neue Entdeckungen von sehr weiten Direktflügen von Vögeln zu interpretieren.

Wagner H (Aachen):

Der leise Flug der Eulen als Vorbild für bionische Anwendungen

✉ Hermann Wagner, Institut für Biologie II, Lehrstuhl für Zoologie/Tierphysiologie, RWTH Aachen; E-Mail: wagner@bio2.rwth-aachen.de

Aus der Sicht eines Forschers ist die Schleiereule (*Tyto alba*) eine Goldgrube für neue Erkenntnisse, weil sie als Nachtjäger in der Evolution einige Spezialisierungen hervorgebracht hat, welche sehr interessant sowohl aus der Sicht der Grundlagen-forschung als auch aus der Sicht der Anwendung in der Bionik sind. Im Folgenden soll der leise Flug dieser Tiere als eine dieser Anpassungen vorgestellt werden.

Die Evolution ist ein Optimierungsprozess. Nur wer an eine gegebene ökologische Nische angepasst ist, kann auf lange Sicht überleben. Dabei findet die Evolution durch Mutation und Selektion Lösungen, die nicht nur Biologen, sondern auch Ingenieure immer wieder überraschen. Besonders gute Lösungen findet man bei Tieren, die auf bestimmte Aufgaben spezialisiert sind. Deshalb lohnt es sich auch, solche Spezialisten zu untersuchen. Wer einmal eine Schleiereule beim Beuteschlagen beobachten konnte, muss ihre Präzision bewundern. Sie ist bei der Jagd so effektiv, dass sie in Brutzeiten alle 10-15 Minuten mit einer Maus zum Nest kommt, die sie in einem Revier von mehreren Quadratkilometern Größe fängt. Diese „Arbeit“ muss sie bis zu 25 Mal pro Nacht verrichten. Die Präzision beim Beutefang beruht hauptsächlich auf einem sehr empfindlichen Hörsystem und einem hochentwickelten visuellen Entfernungsmesssystem.

Das empfindliche Hörsystem würde der Schleiereule allerdings nichts nützen, wenn sie während der Jagd die Geräusche einer potentiellen Beute durch eigene Fluggeräusche maskieren würde. In der Tat fliegt die Schleiereule fast lautlos. Deshalb erforschen wir neben den Hör- und Sehsystemen in einer Zusammenarbeit mit Aerodynamikern auch den lautlosen Flug der Schleiereule. Wir finden spezifische Anpassungen im Federkleid und der Flügelform. Zum Beispiel sind die vergleichsweise großen Flügel elliptisch geformt und besitzen einen gezähnelten Vorderrand. Die einzelnen Federn bilden durch haarfeine abstehende Strukturen eine samtige Oberfläche. Der Hinterrand der einzelnen Federn, aber auch des gesamten Flügels ist gefranst.

All dies gewährleistet auch bei langsamerer Fluggeschwindigkeit noch die Tragfähigkeit und vermindert gleichzeitig Geräusche verursachende Luftverwirbelungen. Es liegt nahe, diese Spezialisierungen in Sinne der Bionik in technische Lösungen umzusetzen und dort Geräuschreduzierungen zu erreichen. Im Vortrag wurde der leise Flug der Eulen als mögliches Vorbild für einen neuen Flugzeugflügel oder für leisere Rotoren, Ventilatoren sowie Stromabnehmer diskutiert

© Deutschen Ornithologen-Gesellschaft und Partner; download www.do-g.de; www.zobodat.at

• Vorträge

Eder H & Fiedler W (München, Radolfzell):

Anwendung des Zielerfassungssystems Vector IV zur Darstellung und Berechnung von Storchenflugbahnen

✉ Heinrich Eder, Max-Planck-Institut für Ornithologie, Vogelwarte Radolfzell, Radolfzell; E-Mail: eder-h@arcor.de

Das Laser-Zielerfassungssystem: Der Vector IV besteht aus einem LEICA-Fernglas 7x42 in das ein Infrarotlaser (Wellenlänge 1550 nm) sowie ein Navigationssystem – bestehend aus Trägheitssensoren und einem elektronischen Kompass - integriert sind. Die Zielerfassung liefert Simultanmessungen von Distanz (±1m), Azimut (±0,3°) und Elevation (±0,2°). Weißstörche (*Ciconia ciconia*) eignen sich wegen ihrer relativ hohen Reflektivität besonders gut für das Infrarotlaser-Tracking. Bei frontaler Projektion sind Detektionsentfernungen bis 750 m und bei lateraler Projektion bis 1200 m möglich. Die Messdaten werden seriell an einen PDA mit integrierter GPS-Einheit übertragen und können von dort auf den PC überspielt werden. Des Scanmodus (1 Messung/s) ermöglicht die Aufzeichnung der kompletten Flugbahn. Mit der Software „RangePad" werden u. a. Flughöhe und Flugstrecke berechnet.

Meteorologische Daten: Für die Auswertung wurden nur längere Gleitflüge in weitgehend ungestörter Atmosphäre berücksichtigt. Dies wurde durch Registrieren von Temperatur und Bodenwind sowie durch Auswertung der Flugbahnen hinsichtlich Abweichungen von einer stetigen Flugbahnkurve gewährleistet. Die Stetigkeit im Verlauf einer Flugbahn stellte sich als der beste Indikator für atmosphärische Störungen heraus. Die Daten von Gleitflügen mit thermischen Einflüssen konnten auf diese Weise weitgehend ausgeschaltet werden.

Geschwindigkeitspolare: Aus 61 validierten Messdaten wurde die Geschwindigkeitspolare mit Hilfe der Regressionsrechnung berechnet (Abb. 1). Aus der Polare kann die geringste Sinkgeschwindigkeit sowie die beste Gleitzahl wie auch die Maximalgeschwindigkeit bestimmt werden.

Morphometrische Daten: Mit Hilfe von Orthogonal-Aufnahmen wurden in verschiedenen Flugzuständen (Segelflug, Streckenflug und Schnellflug) die Parameter „Flügelfläche" und „Flügelspannweite" von 32 Störchen ermittelt. Zur Skalierung der Bilder dienten simultan durchgeführte Entfernungsmessungen. Als mittlere Spannweite im Segelflug ergab sich z. B. 1,985 m ±0,096 s.d. Die Gewichte von 36 Störchen wurden mittels einer PC-gekoppelten Außenwaage mit gleichzeitigen Ringablesungen ermittelt (mittlere Masse 3,63 kg ±0,53 s.d.)

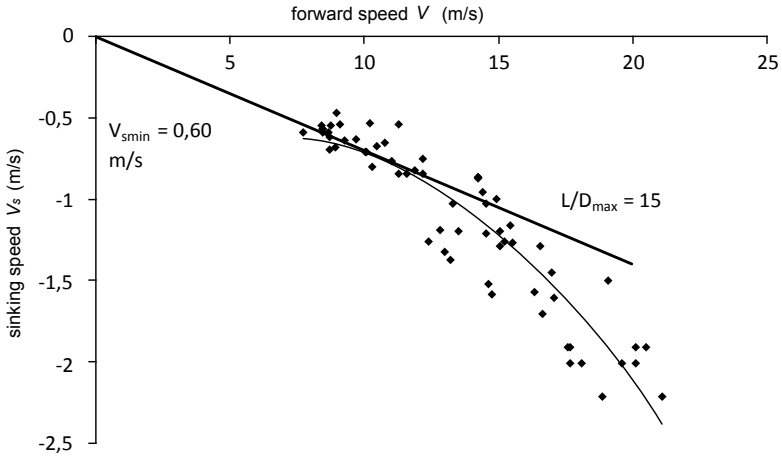

Abb. 1: Links: Laser-Zielerfassungssystem Vector IV, mit PDA/GPS-Einheit zur Verfolgung der Flugbahn von Störchen. Rechts: Geschwindigkeitspolare des Weißstorches (*forward speed V*: Streckengeschwindigkeit; *sinking speed* V_S: Sinkgeschwindigkeit).

© Deutschen Ornithologen-Gesellschaft und Partner; download www.do-g.de; www.zobodat.at

Damit wurde sichergestellt, dass nur adulte Störche erfasst wurden, die sich mindestens im 2. Kalenderjahr befanden.

Widerstandspolare: Mit Hilfe der Mittelwerte von „Flügelstreckung“, „Spannweite“ und „Masse“ konnte aus den Messdaten die Widerstandpolare berechnet werden.

Profilwiderstand: Der Profilwiderstand wurde mit Hilfe der multiplen Regression aus der Gleichung der Geschwindigkeitspolaren abgeschätzt. Dies ist möglich, da die mathematische Form der Polaren aus 2 Gliedern besteht, wobei das erste Glied hauptsächlich vom induzierten Widerstand und das zweite Glied hauptsächlich vom Profilwiderstand beeinflusst wird. Die Rechnung ergab bei niedrigen Auftriebsbeiwerten (C_L = 0,45) Profilwiderstands-Beiwerte von 0,019 und bei hohen Auftriebsbeiwerten (C_L = 1,5) Beiwerte um 0,025.

Induzierter Widerstand: Der Gesamtwiderstand des Vogels setzt sich aus Profilwiderstand $C_{D,pr}$, parasitärem Widerstand $C_{D,par}$ und induziertem Widerstand C_{Di} zusammen:

$$C_D(C_L) = C_{D,pr} + C_{D,par} + C_{D,i}$$

Dabei berechnet sich der induzierte Widerstand gemäß

$$C_{D,i} = \frac{kC_L^2}{\pi AR} \quad \text{mit} \quad k = \frac{C_{D,i}}{C_{D,iell}}$$

Der Faktor k stellt das Verhältnis zwischen dem betrachteten Flügel und einem Referenzflügel mit elliptischer Auftriebsverteilung dar. k beträgt für technische Flugobjekte meist 0,97 bis 1,20.

Die Auswertung ergab für den Storch k-Werte von 0,70. bis 1,03. Den niedrigsten k-Wert erreicht der Flügel mit voll geöffneter Handschwingen-Kaskade (Segelflug). Der Wert stimmt mit theoretischen Vorhersagen und Windkanaluntersuchungen überein (z. B. Hummel 1980; Küppers 1983; Tucker 1993).

Mit Hilfe des Laser-Zielverfolgungssystems Vector IV wurden die Flugdaten von 61 Störchen gewonnen und daraus Widerstands- und Geschwindigkeitspolare eines „Standardstorches“ berechnet. Die Aufschlüsselung der einzelnen Widerstandsanteile lieferte den Profilwiderstand und den induzierten Widerstand in Abhängigkeit vom Auftriebsbeiwert. Für den Flügel mit aufgefächerter Handschwingen-Kaskade wurden von der Theorie k-Werte weit unter 1,0 vorhergesagt. Dies konnte nun erstmals durch Flugbahnvermessungen an frei fliegenden Störchen bestätigt werden.

Literatur

Hummel D 1980: The aerodynamic characteristics of slotted wing-tips in soaring birds. Acta XVII Congressus Internationalis Ornithologici, Berlin, Bd. I: 391-396. Verlag der Deutschen Ornithologen-Gesellschaft (DO-G), Berlin.

Küppers U 1983: Randwirbelteilung durch aufgefächerte Flügelenden. Fortschrittsberichte der VDI-Zeitschriften, Reihe 7, Nr. 81, VDI-Verlag Düsseldorf.

Tucker VA 1993: Gliding Birds: Reduction of induced drag by wing tip slots between the primary feathers. J. Exp. Biol. 180: 285-310.

Hüppop O, Hüppop K, Dierschke J & Hill R (Wilhelmshaven, Helgoland und Osterholz-Scharmbeck):

Vom Winde verweht: Vogelschlag an Offshore-Bauwerken

✉ Ommo Hüppop, Institut für Vogelforschung „Vogelwarte Helgoland“, An der Vogelwarte 21, D-26386 Wilhelmshaven; E-Mail: ommo.hueppop@ifv-vogelwarte.de

Nach guten Flugbedingungen in den Aufbruchsgebieten (klarer Himmel und Rückenwind) und nachfolgender Verschlechterung der Bedingungen über See (zunehmende Wolkenbedeckung mit Nebel oder Nieselregen und/oder zunehmend ungünstige Gegen- oder Seitenwinde) werden in manchen Nächten Vögel verstärkt von beleuchteten anthropogenen Strukturen auf See angezogen und wahrscheinlich geblendet. Dann besteht ein erhebliches Kollisionsrisiko (Hüppop et al. 2006). Das tatsächliche Ausmaß des Vogelschlags auf See ist bisher noch völlig unbekannt, denn es fällt ein Teil - bei Verdriftung durch Wind vermutlich ein Großteil - der verunglückten Vögel ins Wasser oder wird von Aasfressern vernichtet und entgeht einer Erfassung. Die Zahl der Kollisionsopfer nachts ziehender Vögel an anthropogenen Strukturen wird daher sicherlich wesentlich unterschätzt.

An der Forschungsplattform FINO 1 in der südwestlichen Nordsee 45 km nördlich von Borkum wird seit 2003, neben verschiedenen Wetterparametern, insbesondere die Vogelflugintensität mittels Radar-, Wärmebild-, Video- und Rufaufzeichnung erfasst (Hüppop

© Deutschen Ornithologen-Gesellschaft und Partner; download www.do-g.de; www.zobodat.at

Abb. 1: Vermessen von Kollisionsopfern auf der Forschungsplattform FINO 1. Foto: R. Hill

2010). Bei 160 Besuchen der Plattform wurden von 2003 bis 2007 insgesamt 769 tote Vögel aus 34 Vogelarten, vor allem Drosseln (76 %) und Stare (9 %), gesammelt, von denen die weit überwiegende Zahl nachweislich durch Kollision ums Leben kam.

Unter Berücksichtigung der aerodynamischen Eigenschaften toter Vögel beim Fallen, der Windgeschwindigkeit und -richtung sowie den Höhen und Flächen der Forschungsplattform simulierten wir das Fallen der mit der Forschungsplattform kollidierenden Vögel und ihre Verdriftung durch Wind für Beispielnächte mit hoher plattformnaher Rufaktivität (als Maß für die zeitliche Verteilung der möglichen Kollisionen, Hüppop et al. 2012). Demnach fielen in den ausgewählten Nächten mit hohem Kollisionsrisiko ein Viertel bis über 90 % aller Vögel ins Wasser.

Unsere Daten belegen die Vermutung, dass die tatsächliche Zahl der Vogelschlagopfer deutlich, in ungünstigen Fällen sogar um mehr als das Zehnfache, höher ist als die Zahl der gefundenen Kadaver. Hochrechnungen für die absolute Zahl der in der Nordsee an anthropogenen Strukturen verunglückenden Vögel sind zurzeit aber nicht möglich. Derartige Berechnungen müssten für jede Nacht und jede Offshore-Struktur, von denen es derzeit rund 1.000 allein in der Nordsee gibt, gesondert erfolgen. Außerdem wären tägliche Kadaveraufsammlungen erforderlich, um zwischenzeitliches Verschwinden durch Wind und Aasfresser (Möwen) zu minimieren.

Literatur

Hüppop K, Dierschke J, Hill R & Hüppop O 2012: Jahres- und tageszeitliche Phänologie der Vogelrufaktivität über der Deutschen Bucht. Vogelwarte 50: 87-108.

Hüppop O 2010: Offshore-Windenergieanlagen und Vogelzug. Jber. Institut Vogelforschung 9: 19-20.

Hüppop O, Dierschke J, Exo K-M, Fredrich E & Hill R 2006: Bird migration studies and potential collision risk with offshore wind turbines. Ibis 148: 90-109.

• Poster

Bayer J & Heynen I (Ludwigshafen, Köthen):

Federn - Knochen - Flügelspitze
Analyse funktioneller morphologischer Daten der Flügel von Teichrohrsänger *Acrocephalus scirpaceus* und Rohrammer *Emberiza schoeniclus*

✉ Julia Bayer; E-Mail: juliab_ms@yahoo.de

Ausgewählte Maße der Flügelfedern und Flügelknochen von Teichrohrsänger und Rohrammer wurden miteinander korreliert, um Aussagen über den Zusammenhang zwischen den internen und externen morphologischen Daten und der Zugstrecke treffen zu können.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Vogelwarte - Zeitschrift für Vogelkunde

Jahr/Year: 2012

Band/Volume: 50_2012

Autor(en)/Author(s): diverse

Artikel/Article: Schwerpunktthema "Aerodynamik und Energetik des Vogelfluges" 235-239