

Luftfahrzeuge, Windräder und Freileitungen: Störungen und Hindernisse als Problem für Vögel?

Festvortrag anlässlich des 40-jährigen Bestehens des DAVVL e.V.

Aircraft, wind turbines and overhead power lines:
Disturbances and obstacles as problems for birds

von O. HÜPPOP, Helgoland

Zusammenfassung: Anthropogene Veränderungen der Umwelt haben die Tierwelt Europas stetig und nachhaltig verändert. Während Verluste durch direkte Verfolgung bei den meisten Vogel- und Säugetier-Arten abgenommen haben, stieg das Ausmaß der Verluste durch die Technisierung der Umwelt, einschließlich der Landwirtschaft, und durch Schadstoffe zum Teil stark an. In einem kurzen Überblick werden Verluste bei Vögeln und Säugern durch Kollisionen mit anthropogenen Strukturen im Luftraum (Luftfahrzeuge, Windräder, Gebäude und Freileitungen) sowie die von ihnen ausgehenden Störwirkungen dargestellt und bewertet. Beide, Kollisionen und Störungen, können zumindest lokal zu Rückgängen auch bestandsbedrohter Arten führen. Besonderes Gefährdungspotenzial geht von Freileitungen, Gebäuden (vor allem hoher Funktürme) und möglicherweise von den im großen Umfang geplanten (Offshore-)Windkraftanlagen aus. Luftfahrzeuge können vor allem als Störfaktor zu Problemen führen.

Summary: Anthropogenic changes of the environment have continuously and strongly influenced the fauna of Central Europe. While losses due to direct human persecution generally decreased, losses due to man made structures and due to pollutants have increased, sometimes in a dramatic manner. In this short review, threats of man made structures to birds and mammals are described and evaluated with respect to direct effects (collisions) and indirect effects (disturbances, habitat losses). Both, collisions and disturbances may cause at least local declines of species, including endangered ones. Namely power lines, buildings (especially telecommunication towers), and (offshore-) wind turbines may threaten species, whereas aircrafts rather cause problems by disturbance effects.

1. Einleitung

Durch ständige anthropogene Veränderungen der Umwelt herrscht in der heimischen Vogelwelt ein ständiges Kommen und Gehen (z.B. BEZZEL in RICHARZ et al. 2001). Etliche ehemals in Mitteleuropa fast ausgerottete Großvögel wie Schwarzstorch, Kranich, Seeadler, Wanderfalke oder Uhu sind heute dank eines intensiveren Schutzes, umfangreicher Aufklärungsmaßnahmen und reduzierter Schadstoffeinträge wieder weit verbreitet. Ihre Bestandszahlen erreichen ständig neue Rekordstände und ihr Gefährdungsstatus in den „Roten Listen“ konnte in vielen Bundesländern und auch in der Bundesliste zum Teil herabgestuft werden. Andererseits führte die Technisierung der Umwelt, einschließlich der Landwirtschaft, zum weiträumigen Verschwinden von ehemaligen Allerweltsarten wie Haus- und Feldsperling, Feldlerche und Kiebitz. Ganz ähnliches gilt für Säugerarten. Großtiere wie Elch, Steinbock, Bär und Wolf breiten sich wieder aus (wenn man sie lässt) und ihre Bestände nehmen zu, während ursprünglich häufige und verbreitete Arten wie der Feldhamster bei uns fast ausgestorben und sogar der Feldhase in die „Rote Liste der Säugetiere“ aufgenommen werden musste (BOYE et al. 1998).

Auswertungen von Wiederfunden beringter Vögel können die massiven Veränderungen der Todesursachen heimischer Vögel im Laufe des letzten Jahrhunderts eindrucksvoll belegen. Generell ist im 20. Jahrhundert in Mitteleuropa, wie zu erwarten, eine signifikante Abnahme des Anteils der aktiv vom Menschen getöteten Vögel zu beobachten. Der Anteil der Vögel, die durch technische Strukturen oder durch Schadstoffe umgekommen sind, hat jedoch in fast allen Artengruppen in erschreckender Weise zugenommen (Abb. 1).

Ich habe mich entschlossen, in diesem Beitrag nicht nur den Problemkreis „Vogel und Luftverkehr“ aufzugreifen, wie es dem Titel der Zeitschrift entspräche, sondern den Bogen weiter zu spannen und ganz allgemein Konflikte von Wildtieren mit vom Menschen im Luftraum errichteten stationären und mobilen Strukturen zu erörtern. Damit soll der Blick „über den eigenen Teller“ ermöglicht werden, also eine übergreifende Einordnung der eigenen Aktivitäten und ihrer potenziellen Folgen. Besonderes Augenmerk verdienen die „verdeckten Folgen“, also Effekte, die nicht den unmittelbaren Tod eines Tieres zur Folge haben sondern viel subtiler auf Organismen und Populationen einwirken können.

Im Zusammenhang mit Luftfahrzeugen, Windrädern, Freileitungen und anderen Strukturen im Luftraum sind vor allem folgende fünf Problemfelder zu erörtern:

- - Kollision / Vogelschlag
- - Stromschlag
- - Verlust von Lebensräumen aufgrund von Scheueffekten
- - Barrierewirkung
- - „Stress“

Die Beurteilung der Effekte, zumindest der nicht letalen, ist schwierig, gilt es doch, eine ganze Reihe äußert verschiedener visueller, akustischer, mechanischer und elektrischer Reize, die zudem oftmals synchron auftreten, zu bewerten.

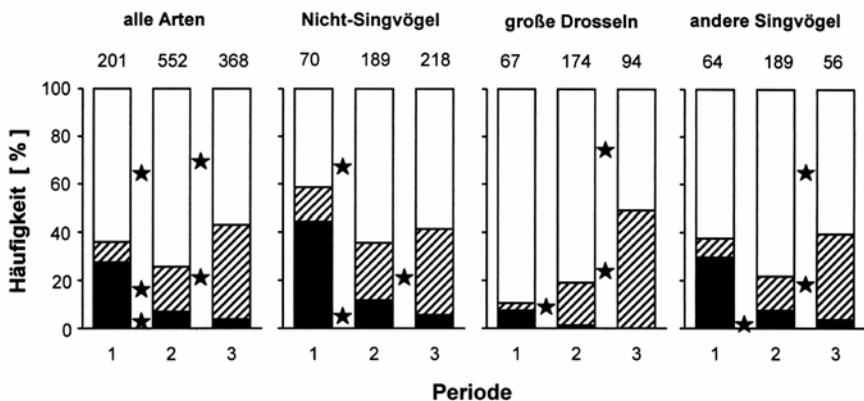


Abb. 1: Anteile der Todesursachen nach Wiederfinden auf Helgoland beringter Vögel in drei Fundperioden (P1: 1909 bis 1945, P2: 1946 bis 1979, P3: 1980 bis 1998) für alle Arten gemeinsam und für ausgewählte Gruppen in Mitteleuropa (ohne Funde auf Helgoland)

schwarz = aktive Tötung durch den Menschen

grau = passive Tötung durch den Menschen (Technik und Verschmutzung)

weiß = unbekannte und natürliche Todesursachen

Mit Sternchen markierte Werte unterscheiden sich signifikant von denen der jeweils vorhergehenden Periode (G-Test mit YATES- und BONFERONI-Korrektur). Die Zahlen über den Säulen geben den Stichprobenumfang an

(Grafik: K. HÜPPPOP, vereinfacht nach HÜPPPOP & HÜPPPOP 2002).

2. Kollisionen / Vogelschlag mit anthropogenen Strukturen

Vögel und Säuger, können mit allen möglichen vom Menschen errichteten Strukturen zusammenstoßen. Sieht man einmal von Kollisionen großer Vögel mit Luftfahrzeugen (s. u.) und großer Säuger und Vögel mit Kraftfahrzeugen ab, gehen solche Unfälle in aller Regel für den Menschen glimpflich aus. Die „andere Seite“ hat hingegen viel höhere, in die Millionen gehende, Verluste zu verzeichnen, wie eine Zusammenstellung aus Nordamerika zeigt (Tab. 1). Dabei fällt auf, dass Vögel in erheblichem Umfang auch mit unbewegten Objekten wie Gebäuden und Funktürmen kollidieren. Entsprechende Zusammenstellungen aus Europa liegen leider nicht vor.

Tabelle 1: Geschätzte anthropogene Vogelverluste in Nordamerika (nach ERICKSON et al. 2001 und KUBE 2002)

Gebäude und Fenster:	100 Mio. – 1 Mrd.
Hauskatzen:	100 Mio.
Jagd:	???
Autoverkehr :	50 - 100 Mio.
Eisenbahnverkehr:	???
Freileitungen:	Zehntausende - 175 Mio.
Ölverschmutzung:	2 Mio.
Landwirtschaft (Pestizide, Mahd, Stacheldraht):	> 1 Mio.
Funktürme:	4 - 50 Mio.
Langleinen-Fischerei:	40.000
Stellnetz-Fischerei:	???
Windenergie-Anlagen:	10.000 – 40.000
Flugverkehr:	> 1000

Von 1912 bis 2002 wurden weltweit 42 Kollisionen von zivilen Luftfahrzeugen mit menschlichen Todesopfern bekannt. 231 Personen kamen dabei ums Leben. Darüber hinaus wurden 80 Luftfahrzeuge durch Vogelschlag vernichtet (THORPE 2003). RICHARDSON & WEST (2000) nennen für die Jahre 1950 bis 1999 aus 32 Ländern 286 schwere Unfälle von Militärflugzeugen mit Vögeln, bei denen 141 Menschen ihr Leben verloren. Die Zahl der Kollisionen, die „nur“ für die Vögel tödlich ausgehen, ist natürlich ungleich höher. Nach jüngsten Schätzungen ereignen sich in Deutschland jährlich rund 1500, weltweit etwa 10.000 Zwischenfälle (SCHMUNDT 2004), wobei die Dunkelziffer nach weit höher liegen dürfte. Dennoch ist davon auszugehen, dass keine Vogelart durch Kollisionen mit Luftfahrzeugen in ihrem Bestand gefährdet wird.

Die Forderung nach regenerierbaren Energien ist zweifelsohne sinnvoll. Nicht zuletzt zeigen uns Vögel die Folgen der zurückzuführenden Klimaveränderungen der letzten Jahrzehnte besonders deutlich auf (MØLLER et al. 2004). Manche Auswirkungen von Windenergieanlagen auf die Umwelt, sogar auf das Klima selbst (KEITH et al. 2004, KINS 2004), sind aber noch weitgehend unklar. Die Kollisionsraten von Vögeln und Fledermäusen mit Windenergieanlagen an Land sind je nach Windpark sehr unterschiedlich. Die Zahl der Kollisionen pro Jahr und Turbine schwankt bei Vögeln zwischen 0 und über 60, bei Fledermäusen zwischen 0 und 50. Windparks an Feuchtgebieten und auf Gebirgrücken sind besonders kollisionsträchtig für Vögel, Waldstandorte für Fledermäuse. Sowohl für Vögel als auch für Fledermäuse gibt es (statistisch allerdings nicht signifikante) Zusammenhänge zwischen Anlagengröße und Kollisionsrate. Unter den Opfern von Windenergieanlagen befinden sich überproportional häufig Greifvögel und Möwen. Artengruppen mit hoher Meidung von Windenergieanlagen (Gänse, Watvögel, s.u.) verunglücken hingegen nur selten. Fledermäuse kollidieren überwiegend auf dem Zug im Spätsommer und Herbst (HÖTKER et al. 2004). Selbst Kollisionen mit Windmühlen wurden bekannt.

Noch unklarer sind die Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen, also Anlagen, die weit draußen auf See errichtet werden, auf die Umwelt. Mit dem rasanten von Bund und Ländern geforderten und durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz staatlich geförderten Ausbau der Windenergienutzung ist in Deutschland der Platz für Windenergieanlagen an Land knapp geworden. Scheinbar unbegrenzte Flächen und ungleich bessere Windverhältnisse machen die Nutzung der Meere zu einer verlockenden Alternative. Erfolgreiche Versuche in den küstennahen Offshore-Regionen der Nachbarstaaten Schweden und vor allem Dänemark, wo erste Pilotanlagen bereits 1991 in Betrieb gingen, und die Entwicklung immer größerer und leistungsfähigerer Einzelanlagen haben auch in Deutschland ehrgeizigen Planungen weiteren Auftrieb gegeben. So liegen dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie als Genehmigungsbehörde derzeit Anträge für 31 Standorte in der Ausschließlichen Wirtschaftszone der Bundesrepublik Deutschland in der Nord- und Ostsee mit mehr als 12.000 Windturbinen und einem Flächenbedarf von über 13.000 km² (das entspricht mehr als einem Viertel der Fläche der Ausschließlichen Wirtschaftszone Deutschlands) vor. Sieben Pilotparks wurden inzwischen genehmigt, mit ihrer Errichtung aber noch nicht begonnen. Hinzu kommen etliche kleinere Vorhaben innerhalb der 12 Seemeilen-Zone, die in den Zuständigkeitsbereich der Länder fallen.

Die Errichtung von Offshore-Windenergieanlagen in Europa kann zum großräumigsten technischen Eingriff in marine Lebensräume werden (MERCK & VON NORDHEIM 2000). Bei Planungen und Genehmigungen solcher Anlagen muss daher neben Aspekten der Schiffssicherheit und des Verkehrs eine mögli-

che Gefährdung der Meeresumwelt bedacht werden, zählen doch Meeres- und Küstenhabitats zu den acht für die Vögel Europas wichtigsten Habitattypen (TUCKER & EVANS 1997). Die Hoheitsgewässer und die AWZ Deutschlands beherbergen mehrere Gebiete mit international bedeutsamen Konzentrationen von Brut- und Rastvögeln, die entsprechend in den Listen der Bedeutenden Vogelschutzgebiete (IBAs) aufgeführt werden (HEATH & EVANS 2000, SUDFELDT et. al. 2002). Aufgrund internationaler Abkommen trägt die Bundesrepublik Deutschland eine besondere Verantwortung für die dortigen Vogelbestände, z.B. auf der Basis der EU-Vogelschutzrichtlinie oder des „Abkommens zur Erhaltung der afrikanisch-eurasischen Wasservögel“ unter dem Dach der „Bonner Konvention zum Schutz wildlebender, wandernder Tierarten“ (ADAMS 2000, BOYE & HÜPPOP 2001).

Eine besondere Gefahr besteht für nachts ziehende Vögel. Nach eigenen Höhenmessungen mit einem vertikal rotierenden Schiffsradar ziehen über See von allen Vögeln bis in eine Höhe von 1800 m bei Helgoland mehr als 20 %, bei Rügen und Fehmarn sogar mehr als 30 % unter 200 m (Abb. 2), also deutlich mehr als über dem Festland. Die Flughöhe ist am Nachmittag am niedrigsten, steigt nach Sonnenuntergang an und erreicht zwei Stunden nach Sonnenuntergang die höchsten Werte, um dann wieder abzunehmen und in der zweiten Nachthälfte relativ niedrig zu bleiben. Während der Nacht (dann findet der Hauptzug statt) entfallen aber immer noch 16 bis 25 % der Echos auf Höhen unter 200 m. Bei Regen und Gegenwind fliegen die Vögel deutlich niedriger (HÜPPOP & EXO 2004). Kollisionen an Offshore-Anlagen (und anderen hohen beleuchteten Strukturen) sind vor allem bei schlechter Sicht, also nachts bei bedecktem Himmel und bei Nebel oder Sprühregen zu erwarten, wie auch Beobachtungen von Kollisionen mit der nördlich von Borkum gelegenen Forschungsplattform FINO-1 zeigen. Massenkollisionen kommen nur in wenigen Nächten vor, sind dann aber durch hohe Opferzahlen charakterisiert (www.fino-offshore.de, siehe generell auch SCHMIEDEL 2001). Mit dem im Jahr 2002 begonnenen Projekt „Ökologische Begleitforschung zur Windenergienutzung im Offshore Bereich“ sollen unter Offshore-Bedingungen viele Antworten auf die noch offenen Fragen gefunden werden (Details bei HÜPPOP & EXO 2004).

Extrem schwer abzuschätzen ist, wie hoch der Anteil verunglückter Vögel und Fledermäuse an der Gesamtzahl der Individuen ist, die ein Windpark-Gebiet z.B. während des Zuges durchqueren. Analysen des Verhaltens fliegender Vögel bei der Annäherung an einen Erprobungspark in den Niederlanden ergaben, dass nachts mehr Vögel in unmittelbarer Nähe der Rotorblätter auftraten als tagsüber. Von den Vögeln, welche die Anlage in Rotornähe durchflogen, kollidierten nachts deutlich mehr als tagsüber: bei Dunkelheit 14 von 51 Vögeln, bei Tageslicht aber nur 1 von 14 Vögeln. Bei Gegenwind reagierten die Vögel

häufiger mit Ausweichbewegungen als bei Rückenwind. Die unterschiedlichen Reaktionen dürften sowohl auf die unterschiedliche akustische Wahrnehmbarkeit der Anlagen als auch auf die unterschiedliche Manövrierfähigkeit bei verschiedenen Zuggeschwindigkeiten in Folge Rücken- bzw. Gegenwinds zurückzuführen sein (Quellen bei EXO et al. 2002). Theoretische Überlegungen (TUCKER) kommen zu ganz ähnlichen Kollisionsraten wie diese, bisher einzige empirische Untersuchung. Wir berechnen derzeit Kollisionswahrscheinlichkeiten für verschiedene Rotortypen und Windpark-Dimensionen auf See.

Auch an unbewegten Objekten wie Gebäuden, Funktürmen und Freileitungen können Vögel in großer Zahl verunglücken. Nach verschiedenen Schätzungen kann pro Jahr und Gebäude mit mindestens einem Todesopfer gerechnet werden. Darunter sind auch viele seltene und gefährdete Arten, wie Wanderfalke, Eisvogel und Mittelspecht. Besonders betroffen als schneller Verfolgungsjäger ist der Sperber. Selbst wenn viele Vögel zunächst unverletzt scheinen, geht etwa die Hälfte der Anflugopfer später aufgrund innerer Verletzungen ein (RICHARZ et al. 2001). RICHARZ sieht jedoch trotz der hohen Opferzahlen durch Scheibenanflüge hierin keinen „gravierenden Mortalitätsfaktor“. DUNN (1993) schätzt hingegen, dass in den USA ein Anteil von 0,5 bis 5 % des „Herbst-Vogelbestandes“ durch Scheibenanflüge umkommt.

Über Telegrafendrähte als Gefahrenquelle für Vögel wurde schon im 19. Jahrhundert berichtet. Inzwischen gibt es viele Dokumentationen und Forschungsvorhaben zum Thema Freileitungen. Bei Unglücken mit Freileitungen ist zwischen Stromschlag und Leitungsanflug zu unterscheiden. Ersterer entsteht durch Überbrückung von Spannungspotenzialen, entweder als Erdschluss zwischen spannungsführenden Bauteilen oder Kurzschluss zwischen Leiterdrähten verschiedener Spannung. Gefahr besteht vor allem an Mittelspannungsleitungen (1 bis 60 kV) durch die Kombination von Spannung und kurzen Isolationsstrecken von nur 5 bis 30 cm, die von vielen Arten leicht überbrückt werden können. Bei höheren Spannungen (110 bis 380 kV) ist hingegen der Abstand zwischen Leiterdrähten und Mast bzw. zwischen den einzelnen Drähten zu groß für eine Überbrückung. Greifvögel, die auf Traversen über Leiterseilen sitzen, können allerdings auch durch Kotstrahl einen Erdschluss bewirken. Niederspannungsleitungen (< 1kV) stellen kaum eine Gefahr für Vögel dar. Anflüge können sich prinzipiell mit jeder Art von Freileitung ereignen, da Vögel Entfernungen zu solch unnatürlichen horizontalen Strukturen schlecht abschätzen können (RICHARZ et al. 2001).

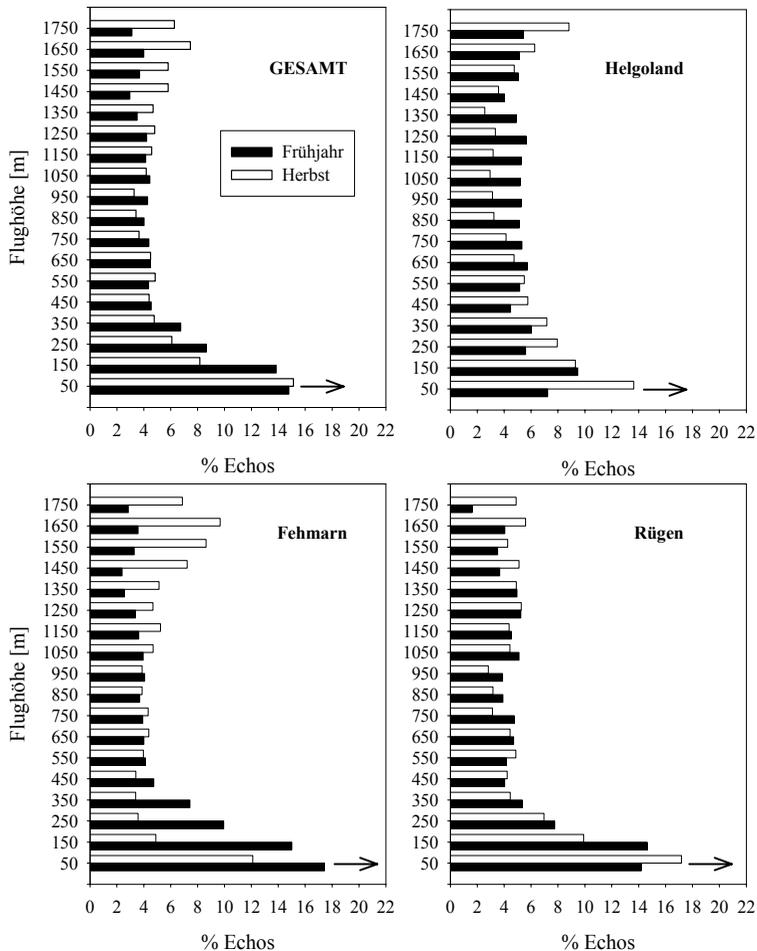


Abb. 2: Flughöhen (% aller Echos, $n = 45.857$) im Frühjahr und Herbst nach Radarmessungen auf den Inseln Helgoland, Fehmarn und Rügen sowie für alle Standorte zusammengefasst. Angegeben sind Intervallmitten. Der Pfeil verdeutlicht eine Unterschätzung niedrig über dem Wasser fliegender Vögel (Grafik H. WENDELN, aus HÜPPOP & EXO 2004)

In Europa wurden Opfer von 179 Vogelarten unter Freileitungen gefunden. In systematischen Studien dominieren Enten, Rallen, Watvögel und Tauben, ferner Weißstorch, Eulen und Großtrappe. Unter den Singvögeln sind vor allem

Feldlerche, Drosseln und Star betroffen. An Stromschlägen sterben vor allem Rabenkrähen, Weißstörche und Greifvögel (RICHARZ et al. 2001). Für Weißstörche und Kraniche ist Stromschlag oder Kollision mit Stromleitungen die weitaus häufigste Todesursache (LANGGEMACH 1997, MORITZI et al. 2001, RICHARZ et al. 2001). Der Uhu ist in vielen Gegenden durch Stromleitungen besonders gefährdet, bei der Großtrappe führten neu errichtete Freileitungen in den letzten Trappengebieten Deutschlands lokal zu erheblichen Verlusten. Leitungstrassen mit hohen Unfallraten liegen vor allem in Durchzugs- und Rastgebieten mit hohen Vogelzahlen (RICHARZ et al. 2001).

RICHARZ et al. (2001) führen eine ganze Reihe von Maßnahmen zum Schutz gegen den Vogeltod durch Freileitungen auf. Danach ist vor allem eine „vogelfreundliche“ Trassenführung und Leitungsgestaltung jeder Kompensation durch „Ausgleichslebensräume“ für Anflugverluste vorzuziehen. Vielerorts konnten schon in den siebziger und achtziger Jahren gefährliche Trassen und Traversen durch enge Zusammenarbeit von Stromversorgungsunternehmen und Vogelschützern entschärft werden.

Mit dem Ausbau der drahtlosen Kommunikation einschließlich Rundfunk und Fernsehen nimmt zwangsläufig auch die Zahl der Funktürme zu. In den USA wird erwartet, dass sich die Zahl der jetzt vorhandenen Türme mit mehr als 60 m Höhe in der nächsten Dekade verdoppeln wird. Nach Schätzungen des „US Fish and Wildlife Service“ kommen in den bis 400 m hohen Funktürmen jährlich zwischen 4 und 40 Millionen Zugvögel um. Die meisten Unfälle ereignen sich nachts, besonders bei nebligen Bedingungen, wenn die Vögel bevorzugt auf helle Objekte zusteuern und es dann zu Massenanflügen kommen kann. Eine Verminderung der Anflüge erhofft man sich aus einer für Zugvögel optimierten Beleuchtung (HOLDEN 2001). In einer 29-jährigen Studie an einem zunächst 204 m, später 308 m, noch später 90 m hohen Fernsehturm in Florida wurden 44.000 Opfer aus 186 Arten gefunden. 94 % waren neotropische Zugvögel, deren Bestände zum Teil stark rückläufig sind (CRAWFORD & ENGSTROM 2001). An einem anderen Sendemast verendeten in einer einzigen Nacht 12.000 Vögel.

3. Verlust von Lebensräumen aufgrund von Scheueffekten

Störungen aller Art können dazu führen, dass Tiere Gebiete vorübergehend oder auf Dauer verlassen. Diese gehen dadurch für sie als Lebensraum verloren.

Vögel und Säuger können grundsätzlich gegenüber allen Luftfahrzeugen reagieren und zwar je nach Situation zum Teil auf erstaunlich große Distanz. Als Reaktion von Vögeln auf Flugzeugüberflüge wird in der Literatur häufig A-

larmverhalten bis hin zur Flucht beschrieben. In erster Linie sind zur Brutzeit wiesenbrütende Limikolen und Kolonien größerer Vögel betroffen, auf dem Zug und im Winter Entenvögel und Limikolen, die außerhalb der Brutzeit Schwärme bilden und sich in offenen Landschaften aufhalten. Daneben sind Beeinträchtigungen von seltenen Großvögeln möglich. Die Wirkung eines Luftfahrzeuges hängt nicht von seiner Größe ab. Flugbetrieb mit Modellflugzeugen kann Vögel verschrecken und hat mehrfach zum Erlöschen eines lokalen Brutbestandes geführt. Ebenso wurden gravierende Auswirkungen von tief fliegenden Ultraleichtflugzeugen festgestellt. Obwohl lautlos, können Hängegleiter und Gleitschirme Tiere erheblich beunruhigen, in den Alpen vor allem Gämsen und Steinböcke. In Untersuchungsgebieten in der Schweiz reagierten und flüchteten Gämsen vor Gleitschirmen auf große Distanz. In drei Gebieten im Berner Oberland lagen die Reaktions- und Fluchtdistanzen im Mittel bei 430 bis 780 m bzw. bei 460 bis 780 m. In einem Gebiet begannen die Tiere sogleich zu flüchten, wenn sie einen Gleitschirm entdeckt hatten, in den beiden andern Gebieten sicherten sie vorher kurz. Steinböcke begannen jeweils sofort zu flüchten, nachdem sie den Gleitschirm bemerkt hatten. Je nach Aufenthaltsort und Aktivität – meist waren sie in Gratnähe am Ruhen – konnten sie den Gleitschirm schon auf große, manchmal auch erst auf geringe Distanz sehen. Das ergab Fluchtdistanzen zwischen 50 und im Extremfall 1550 m. Naturschutzkonflikte durch Segelflugverkehr sind möglich, aber selten. Insgesamt gesehen gehen wohl die meisten Fluchtreaktionen von Vögeln auf die weit verbreiteten Motorflugzeuge zurück. Düsenjäger beunruhigen Vögel weniger als häufig vermutet wird. Von allen Luftfahrzeugen haben Hubschrauber im Schnitt die stärkste Störwirkung. Auch Schädigungen von Tieren durch Ballone in geringer Fahrhöhe kommen vor (KEMPF & HÜPPOP 1998, INGOLD 2004).

Insgesamt spielt der Lärm eines Luftfahrzeuges eine untergeordnete Rolle. Niedrige, langsame oder direkte Überflüge wirken auf Vögel bedrohlicher als hohe, schnelle oder seitliche. Zusätzliche andere Störfaktoren, wie Spaziergänger, erhöhen die Empfindlichkeit gegenüber Flugzeugen. Der physiologische Zustand eines Tieres, das Verhalten von Artgenossen oder auch anderer Arten, das Wetter, die Geländestruktur usw. beeinflussen ebenfalls seine Reaktion. Eine Gewöhnung an regelmäßigen Luftverkehr ist möglich, wie Brutvorkommen selbst seltener Arten auf Flugplätzen zeigen. Jedoch können empfindliche Arten vor allem zur Zugzeit und während der Überwinterung Lebensräume mit stärkerem Luftverkehr nicht nutzen (KEMPF & HÜPPOP 1998, INGOLD 2004).

Mit Ausnahme von Uferschnepfe und Rotschenkel nutzen die meisten Vögel zur Brutzeit auch die unmittelbare Umgebung von Windenergieanlagen, wobei die Minimalabstände selten mehr als 100 m betragen und die Abstände nicht von der Größe der Anlagen abhängen. Viele Singvogelarten besitzen die Tendenz, sich näher an größeren als an kleineren Anlagen anzusiedeln. Außerhalb

der Brutzeit hielten hingegen viele Vogelarten der offenen Landschaft Abstände von mehreren Hundert Metern ein. Die Abstände nahmen in den meisten Fällen mit Größe der Windenergieanlagen zu. Für den Kiebitz konnte ein signifikanter Zusammenhang gezeigt werden. Eine generelle Tendenz der Gewöhnung von Vögeln an Windkraftanlagen in den Jahren nach ihrer Errichtung bestand nicht. In etwa gleich vielen Fällen nahmen die Annäherungsentfernungen im Verlauf der Zeit ab bzw. zu (HÖTKER et al. 2004).

Für den Offshore-Bereich sind bisher kaum Ergebnisse über Scheueffekte von Windenergieanlagen publiziert worden. Im Gebiet eines dänischen Windparks vor der Westküste Jütlands gingen die Zahlen von Seetauchern, Basstölpeln, Trauerenten und Alken (Trottellumme und Tordalk) nach dem Bau der Windkraftanlagen zurück. Sie mieden den Windpark selbst und eine 2 bis 4 km breite Zone um den Park herum. Möwen und Seeschwalben wurden hingegen vom Windpark offensichtlich angezogen (PETERSEN et al. 2004). Angesichts der sehr umfangreichen Planungen (s.o.) kann es wegen der Scheuchwirkungen bei sensibleren Arten zu erheblichen Lebensraumverlusten kommen.

Auch Freileitungen können Lebensraumverluste verursachen: ALTEMÜLLER & REICH (1997) fanden in Brutgebieten der Feldlerche eine Meidung von ca. 100 m breiten Bereichen unter Freileitungen. BALLASUS (2002) beobachtete an Blässgänsen eine Habitatwertminderung durch Freileitungen und Straßen: Auf leitungsüberspannten Nahrungsflächen war die Nutzungsintensität unterhalb von 40 bis 60 m Entfernung zu den Leitungstrassen signifikant herabgesetzt, gegenüber einer Landstraße war die Nutzungsintensität unterhalb von 80 bis 160 m vermindert.

4. Barrierewirkungen

Windparks, aber auch Freileitungen können auf Flugwegen auch als Hindernisse wirken, die über- bzw. umflogen werden müssen (HOERSCHELMANN et al. 1988, ISSELBÄCHER & ISSELBÄCHER in RICHARZ et al. 2001, KAHLERT et al. 2004). Selbst Funktürme werden bei guter Sicht weiträumig umflogen (SCHMIEDEL 2001). Ausweichflüge zum Beispiel an Windenergieanlagen sind inzwischen für 81 Vogelarten bekannt (HÖTKER et al. 2004). Besonders betroffen sind Gänse, Enten, Kraniche, Watvögel und kleine Singvögel. Durch diese „Hindernisflüge“ kann es zu energetischen Engpässen kommen. Entsprechende Modellrechnungen werden derzeit am Institut für Vogelforschung durchgeführt.

5. „Stress“

Kollisionen mit anthropogenen Strukturen sind für Tiere meistens tödlich. Sieht man einmal von Problemen zum Beispiel bei der Kadaversuche ab (siehe Diskussion in HÜPPOP & HÜPPOP 2002), ist eine Quantifizierung der Verluste daher noch relativ leicht möglich. Auch Scheuchwirkungen lassen sich durch geeignete Probennahmen gut beurteilen. Indirekte Effekte zum Beispiel durch Dauerbelastungen sind hingegen kaum quantifizierbar. Akute oder chronische Belastungen ganz unterschiedlicher Art erzeugen bei Tieren wie Menschen „Stressreaktionen“. „Stress“ ist ein sehr schwammig verwendeter Begriff. Damit wird im Allgemeinen die Gesamtheit der Reaktionen eines Lebewesens auf besondere, das normale Maß überschreitende Umweltbeanspruchungen bezeichnet. Diese Belastungen bewirken im Organismus eine Reihe typischer physiologischer Änderungen, an denen das Nervensystem, aber auch verschiedene Hormone beteiligt sind. „Stress“ ist in der Regel unspezifisch, d.h. die Auslösereize können ganz verschieden sein, die Reaktionen bleiben hingegen weitgehend gleich. Dabei wird die Leistungsfähigkeit als Anpassung an belastende Bedingungen kurzfristig gesteigert. Anhaltender Stress schwächt jedoch den Körper, vermindert z. B. die immunologische Widerstandskraft und macht ihn empfindlich für Krankheiten und Parasiten. Andauernder Stress kann deshalb zum Tod führen. In einer kurzen aber sehr starken Stress-Situation können Tiere sogar plötzlich sterben, z. B. während der Jagd auf Huftiere (HÜPPOP 2004).

Unter Erregung wird der Puls erhöht und verschiedene „Stress“-Hormone vor allem aus der Nebenniere ausgeschüttet. Diese Hormone greifen auch massiv in den Zellstoffwechsel ein und können so den Energieumsatz beeinflussen. Adrenalin steigert z.B. den Energieumsatz beim Menschen um bis zu 30 %, bei Huftieren sogar um 25 bis 50 %. Bei Waldmäusen kann noch zwei Stunden nach dem Anfassen der Energieumsatz um bis zu 65 % erhöht sein. Zweck dieser Stoffwechsel-Erhöhung ist, den Körper auf einen plötzlichen hohen Energiebedarf für Kampf oder Flucht vorzubereiten. Der erhöhte Puls bereitet den Körper zudem auf eine zu erwartenden Erhöhung des Sauerstoffbedarfs, falls es "brenzlig" werden sollte (weitere Details bei HÜPPOP 1995, 1999 und 2004).

6. Ausblick: Was sind die Folgen?

Die durchaus massiven Veränderungen der beobachteten Todesursachen (siehe Einleitung) sind mit Bestandsveränderungen kaum in Zusammenhang zu bringen. Ein Einfluss von Jagdintensität und / oder zunehmender Technisierung der Umwelt auf die Überlebensraten wurde bei drei Arten mit genügend großer

Stichprobe geprüft. Danach lässt sich eine Zunahme der Mortalität bei Amsel und Singdrossel, eine Abnahme der Mortalität beim Sperber vermuten (HÜPPOP & HÜPPOP 2002). TUCKER & HEATH (1994) nennen Anflüge an Freileitungen als besondere Bedrohung z.B. für den Weißstorch. In wie weit Kollisionen von (Zug-)Vögeln mit Windenergieanlagen Bestände von Arten gefährden können, ist schwer zu prognostizieren, da Populationen sehr komplexen Regulationsmechanismen unterliegen (Abb. 3). Die Größe einer Population wird durch eine ganze Reihe von Faktoren bestimmt, deren Kenntnis für eine Prognose essenziell ist. Erschwerend kommt hinzu, dass diese Faktoren durch Veränderungen der Umwelt aber auch durch die momentane Populationsgröße selbst (dichteabhängige Regulation) beeinflusst werden können. Somit ist letztlich für jede Art und für jedes Szenario eine gesonderte Abschätzung vorzunehmen (DIERSCHKE et al. 2003). Entsprechende Rechnungen werden derzeit von uns an ausgewählten „Modellarten“ durchgeführt.

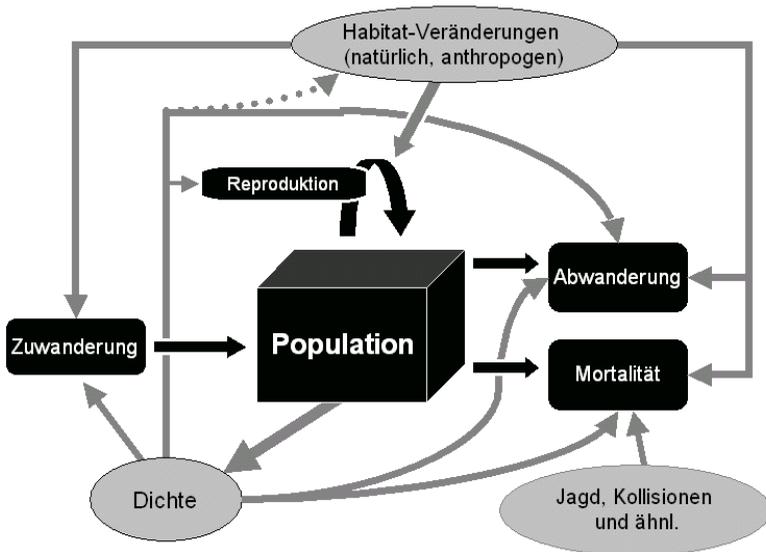


Abb. 3: Vereinfachtes Populationsmodell

(mit freundlicher Genehmigung des „Verein Jordsand zum Schutze der Seevögel und der Natur e.V.“ aus DIERSCHKE et al. 2003)

Noch viel schwieriger sind indirekte Effekte festzustellen und zu bewerten. Die Auswirkungen von Störungen durch Luftfahrzeuge auf Vögel lassen sich z.B. als Energie-, Zeit- oder Gebietsverluste zusammenfassen. Auch Beeinträchtigungen des Bruterfolgs sind nachgewiesen worden (KEMPF & HÜPPOP 1998).

Letztlich ist jedes Tier vor allem durch zwei Ressourcen in seiner Lebenserwartung oder in seiner Fortpflanzung beschränkt: Zeit und Energie.

Jede körperliche Aktivität erhöht den Energieumsatz. Dies gilt ganz besonders für Fliegen und Laufen. Bei extrem viel und gut fliegenden Arten steigt der Energieumsatz während des Fluges zwar nur auf das Dreifache des Grundumsatzes, bei schlechten Fliegern (z. B. Raufußhühnern) oder hohen Geschwindigkeiten aber teilweise auf mehr als das Zwanzigfache. Bei Huftieren im Gebirge gilt: je schwerer, desto höher die energetischen Kosten für das Steigen. Eine Flucht ist also stets sehr energieaufwendig. Je nach den Bedingungen können bereits wenige Störungen den aktivitätsbedingten Energiehaushalt eines Tieres stark beeinflussen, wie folgende Überlegung zeigt: Gämsen wiegen etwa 17 bis 50 kg, Alpensteinböcke 50 bis 125 kg. Für je ein 25, 50 und 100 kg schweres „Modellsäugetier“ hat HÜPPOP (1999) grob die energetischen Kosten abgeschätzt, die auftreten, wenn diese Tiere über 500 m flüchten müssen, zusätzlich 100 m Steigung überwinden oder die Flucht gar durch brusthohen Schnee erfolgt. Die schwersten Exemplare sind am stärksten betroffen. Bei ihnen macht eine einzige Fluchtreaktion dieser Größenordnung bis zu 2,5 %, bei Schnee sogar 5,4 % des täglichen Gesamt-Energiebedarfs aus. Untersuchungen im Berner Oberland erlauben eine praktische Anwendung dieser Überlegungen. Auf den alpinen Matten grasende Steinböcke flüchten nach der Sichtung von Gleitschirmen über Entfernungen von 30 bis 1200 m und über Höhen von 20 bis 500 m, bevorzugt in niedrigere Bereiche. Daraus ergibt sich für einen männlichen Steinbock (95 kg) ein geschätzter Energiebedarf von 0,1 bis über 4 % (Mittel ca. 1,5 %) des täglichen Energiebedarfs pro Fluchtreaktion. Rechnet man den für die schweren Böcke Kräfte zehrenden Wiederaufstieg auf die Weideflächen hinzu, kommt man sogar auf bis zu 11 % (Mittel: 5 %).

Inzwischen ist bei vielen Vogelarten die plausible Annahme belegt, dass der Bruterfolg auch von den Energiereserven zur Brutzeit abhängt. Störungsbedingte Konditionseinbußen sollten sich also in der Nachkommenzahl niederschlagen. In ungestörten Gebieten Norwegens bilden Kurzschnabelgänse vor der Brutzeit rasch Fettdepots. Dies unterbleibt, wenn die Gänse durch Landwirtschaft gestört werden. Als Folge hiervon brüteten 46 % der „ungestörten“ Gänsepäare erfolgreich, aber nur 17 % der „gestörten“. Auch der störungsbedingte Konditionsnachteil von Ringelgänsen gegen Ende des Winters im nordfriesischen Wattenmeer, über den bereits berichtet wurde, beeinflusst sehr wahrscheinlich den Bruterfolg, denn dieser hängt maßgeblich von der Kondition der Gänse zur Zeit des Abflugs aus den Winterquartieren ab. Höchstwahrscheinlich beeinflusst auch die Kondition von Caribou-Weibchen unmittelbar vor der Geburt stark die Überlebensrate der neugeborenen Kälber. Im Frühjahr befinden sich trüchtige und säugende Caribou-Weibchen in einem ständigen Energiedefizit. Sie sind dann besonders sensibel gegenüber menschlichen Störungen.

gen. Auch Vögel scheinen bei schlechterer Körperkondition besonders stressanfällig zu sein. Freilebende Vögel und Säuger können über längere Zeiträume einen Energieumsatzes aufrechterhalten, der je nach Art maximal bei 7,0 x Ruheumsatz liegt. Tatsächlich leben aber die meisten Vogelarten im Freiland auf weit „kleinerer Flamme“. Bei Mehlschwalben haben Individuen mit einem mittleren Energieumsatz die höchste „Nachkommenzahl pro Leben“ (lifetime reproduction). Ferner scheint auch ein Einfluss des Energieumsatzes auf die Überlebensrate zu bestehen. Ganz offensichtlich sind der Lebenserwartung und / oder der „lifetime reproduction“ durch den Energiehaushalt Grenzen gesetzt (Quellen bei HÜPPOP 1995, 1999 und 2004).

Andererseits gibt es aber offensichtlich auch zahlreiche Fälle, in denen keine Störungseffekte nachgewiesen wurden. Eine objektive Wichtung anhand der Literatur ist aber unmöglich, weil Effekte ungleich häufiger als Nicht-Effekte publiziert werden (vgl. auch KEMPF & HÜPPOP 1998). Außerdem sind die Reaktionen oftmals sehr situationsspezifisch. Dies ist bei der Interpretation von Beobachtungen unbedingt zu berücksichtigen. Jedenfalls ist prinzipiell weit mehr als die „direkt sichtbaren Todesopfer“ zu betrachten. Einen möglichen Ansatz zur Gebietsbewertung hinsichtlich möglicher Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf Rastvögel haben jüngst GARTHE & HÜPPOP (2004) entwickelt: Aus Angaben zur Verbreitung, zum Verhalten, zur Gefährdung und zur Populationsdynamik häufiger Seevogelarten wurde ein Sensitivitätsindex für die Deutsche Bucht erstellt.

Dem DAVVL e.V. danke ich sehr für die Einladung zu einem Festvortrag nach Dresden, dessen Inhalte hier in leicht veränderter und aktualisierter Form abgedruckt werden. Ich gratuliere herzlich zum vierzigjährigen Bestehen und wünsche dem „Geburtsstagskind“ weiterhin erfolgreiche Arbeit gleichermaßen zum Wohle von Mensch und Natur.

7. Literatur

ADAMS, G. (2000): AEWa-Umsetzung in Deutschland: Handlungsbedarf, Aufgabenverteilung und mögliche Überlappung mit der Ramsar-Konvention und der EG-Vogelschutzrichtlinie. In: HAUPT, H.; LUTZ, K.; BOYE, P. (Hrsg.): Internationale Impulse für den Schutz von Wasservögeln in Deutschland. Schriftenr. Landschaftspflege Naturschutz 60: 21 - 29.

ALTEMÜLLER, Martin; REICH, Michael (1997): Einfluß von Hochspannungsleitungen auf Brutvögel des Grünlandes. Vogel Umwelt 9, Sonderh.: 111-127.

BALLASUS, Hauke (2002): Habitatwertminderung für überwinternde Blässgänse *Anser albifrons* durch Mittelspannungs-Freileitungen (25 kV). *Vogelwelt* 123: 327-336.

BOYE, Peter; HÜPPOP, Ommo (2001): Vogelschutz im Offshore-Bereich der Deutschen Bucht. In: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Tagungsbd. "Offshore-Windenergienutzung und Umweltschutz", Berlin, 14./15. Juni 2001: IV-13 - IV-18. (www.vogelwarte-helgoland.de/boye-hue.pdf)

BOYE, Peter; HUTTERER, Rainer; BENKE, Harald (1998): Rote Liste der Säugetiere (Mammalia). *Schriftenr. Landschaftspflege Naturschutz* 55: 33-39.

CRAWFORD, Robert L.; ENGSTROM, R. Todd (2001): Characteristics of avian mortality at a North Florida Television Tower: a 29-year study. *J. Field Ornithol.* 72: 380-388.

DIERSCHKE, Volker; HÜPPOP, Ommo; GARTHE, Stefan (2003): Populationsbiologische Schwellen der Unzulässigkeit für Beeinträchtigungen der Meeresumwelt am Beispiel der in der deutschen Nord- und Ostsee vorkommenden Vogelarten. *Seevögel, Zeitschrift Verein Jordsand* 24: 61-71.

DUNN, Erica H. (1993): Bird mortality from striking residential windows in winter. *J. Field Ornithol.* 64: 302-309.

ERICKSON, Wallace P.; JOHNSON, Gregory D.; STRICKLAND, M. Dale; YOUNG, David P.; SERNKA, Karyn J.; GOOD, Rhett E. (2001): Avian collisions with wind turbines: A summary of existing studies and comparisons to other sources of avian collision mortality in the United States. National Wind Coordinating Committee (NWCC) Resource Document. Washington, D.C. (http://www.nationalwind.org/pubs/avian_collisions.pdf)

EXO, Klaus-Michael; HÜPPOP, Ommo; GARTHE, Stefan (2002): Offshore-Windenergieanlagen und Vogelschutz. *Seevögel, Zeitschrift Verein Jordsand* 23: 83-94.

GARTHE, Stefan; HÜPPOP, Ommo (2004): Scaling possible adverse effects of marine wind farms on seabirds: developing and applying a vulnerability index. *J. Appl. Ecol.* 41: 724-734.

HEATH, Melanie F.; EVANS, Michael I. (2000): Important Bird Areas in Europe: Priority sites for conservation. Vol. 1: Northern Europe. BirdLife International (BirdLife Conserv. Ser. 8), Cambridge, U.K.

HOERSCHELMANN, Heinrich; HAACK, H.; WOHLGEMUTH, F. (1988): Verluste und Verhalten von Vögeln an einer 380kV-Freileitung. *Ökol. Vögel* 10: 85-103.

HOLDEN, Constance (2001): Curbing tower kill. *Science* 291: 2081.

HÖTKER, Hermann; THOMSEN, Kai-Michael; KÖSTER, Heike (2004): Auswirkungen regenerativer Energiegewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel – Fakten, Wissenslücken, Anforderungen an die Forschung, ornithologische Kriterien zum Ausbau von regenerativen Energiegewinnungsformen. Michael-Otto-Institut im NABU.

HÜPPOP, Kathrin; HÜPPOP, Ommo (2002): Atlas zur Vogelberingung auf Helgoland. Teil 1: Zeitliche und regionale Veränderungen der Wiederfundraten und Todesursachen auf Helgoland beringter Vögel (1909 bis 1998). *Vogelwarte* 41: 161 – 180.

HÜPPOP, Ommo (1995): Störungsbewertung anhand physiologischer Parameter. *Ornithol. Beob.* 92: 257-268.

HÜPPOP, Ommo (1999): Auswirkungen menschlicher Aktivitäten auf die Physiologie von Wildtieren. *Mitt. Naturforsch. Ges. Bern NF* 56: 89 - 96.

HÜPPOP, Ommo (2004): Physiologische Grundlagen. In: INGOLD, Paul (Hrsg.): Freizeitaktivitäten im Lebensraum der Alpentiere. Haupt, Bern.

HÜPPOP, Ommo; EXO, Klaus-Michael (2004): Offshore-Windenergieanlagen und Vögel in Nord- und Ostsee. *Jber. Inst. Vogelforsch.* 6: 19-20.

INGOLD, Paul (2004): Freizeitaktivitäten im Lebensraum der Alpentiere. Haupt, Bern. 516 S.

KAHLERT, Johnny; PETERSEN, Ib Krag; FOX, Anthony D.; DESHOLM, Mark; CLAUSAGER, Ib (2004): Investigations of birds during construction and operation of Nysted offshore wind farm at Rødsand. Annual status report 2003. National Environmental Research Institute, Ministry of the Environment . Denmark

KEITH, David W.; DECAROLIS, Joseph F.; DENKENBERGER, David C.; LENSCHOW, Donald H.; MALYSHEV, Sergey L.; PACALA, Stephen; RASCH, Philip J. (2004): The influence of large-scale wind power on global climate. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 101: 16115–16120.

KEMPF, Norbert; HÜPPOP, Ommo (1998): Wie wirken Flugzeuge auf Vögel? - Eine bewertende Übersicht. *Naturschutz Landschaftsplanung* 30: 17-28.

KINS, Lucia (2004): Verändern große Windkraftwerke das Klima? *Naturwiss. Rundsch.* 57: 505-508.

LANGGEMACH, Torsten (1997): Stromschlag oder Leitungsanflug? Erfahrungen mit Großvogelopfern in Brandenburg. *Vogel Umwelt* 9, Sonderh.: 167-176.

MERCK, Thomas; VON NORDHEIM, Henning (2000): Technische Eingriffe in marine Lebensräume. Tagungsband. *BfN-Skripten* 29: 182 S.

MØLLER Anders Pape; FIEDLER, Wolfgang; BERTHOLD, Peter (2004): Birds and Climate Change. *Advances Ecol. Res.* 35. Elsevier.

KUBE, Jan (2002): Vogelschutz: Kollisionen von Zugvögeln mit anthropogenen Strukturen. *Vogelwelt* 123: 165-167.

MORITZI, Martin; SPAAR, Reto; BIBER, Olivier (2001): Todesursachen in der Schweiz beringter Weißstörche (*Ciconia ciconia*) von 1947-1997. *Vogelwarte* 41: 44-52.

PETERSEN, Ib Krag; CLAUSAGER, Ib; CHRISTENSEN, Thomas Kjær (2004): Bird numbers and distribution in the Horns Rev offshore wind farm area. Annual status report 2003. National Environmental Research Institute Ministry of the Environment . Denmark.

RICHARDSON, W. John; WEST, Tim (2000): Serious birdstrike accidents to military aircraft: updated list and summary. *IBSC25/WP-SA1*. Amsterdam, 17-21 April 2000: 67-87.

RICHARZ, Klaus; BEZZEL, Einhard; HORMANN, Martin (2001): Taschenbuch für Vogelschutz. Aula, Wiebelsheim.

SCHMIEDEL, Jörg (2001): Auswirkungen künstlicher Beleuchtung auf die Tierwelt – ein Überblick. *Schriftenr. Landschaftspflege Naturschutz* 67: 19-51.

SCHMUNDT, Hilmar (2004): Schwärme auf Crash-Kurs. Spiegel 49/2004: 172.

SUDFELDT, Christoph, D. DOER, H. HÖTKER, C. MAYR, C. UNSELT, A. VON LINDEINER & H.-G. BAUER (2002): Important Bird Areas (Bedeutende Vogelschutzgebiete) in Deutschland – überarbeitete und aktualisierte Gesamtliste (Stand 01.07.2002). Ber. Vogelschutz 38: 17-109.

THORPE, John (2003): Fatalities and destroyed civil aircraft due to bird strikes, 1912-2002. IBSC26/WP-SA1, Warsaw, 5-9 May 2003: 1-28.

TUCKER, Graham M.; EVANS, Michael I. (1997): Habitats for birds in Europe: a conservation strategy for the wider environment. BirdLife International (BirdLife Conserv. Ser. 6), Cambridge, U.K.

TUCKER, Graham M.; HEATH, Melanie F. (1994): Birds in Europe: their conservation status. BirdLife Conserv. Ser. 3. Cambridge.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Ommo Hüppop
Institut für Vogelforschung „Vogelwarte Helgoland“
Inselstation
Postfach 1220
D-27494 Helgoland
hueppop@vogelwarte-helgoland.de