

Aus der Schweizerischen Vogelwarte Sempach

## Welcher Anteil ziehender Vögel fliegt im Höhenbereich von Windturbinen?

Bruno Bruderer und Felix Liechti

**What proportion of migrating birds flies in the height zone of wind turbines?** – This report provides information on the height distribution of bird migration in an inland area of Europe, meant for the application in environmental impact studies on wind turbines, but without discussing the applied aspects directly. A brief introduction on methodological preconditions for radar studies in this field aims at preventing oversimplified approaches with inappropriate equipment. Three examples of lowland stations in relatively flat areas of Switzerland and southern Germany provide typical height distributions of nocturnal migration with an average of 15–25 % of birds below 200 m a.g.l. (above ground level). Data on diurnal migration are less reliable due to birds flying in flocks, low number of echoes, and many diurnal migrants flying below 30 m a.g.l. in opposing winds, and thus below the reach of the radar. The recorded mean distributions show 38–53 % of the echoes below 200 m a.g.l., standard deviations reaching up to 65 %. In opposing winds, even more birds may fly in this lowest height zone. Horizontal concentrations of birds have to be expected along topographical structures crossing their intended migratory direction at a narrow angle. Steep valleys and passes induce additional vertical concentrations. For autumn migration in the western parts of central Europe such leading lines consist mainly of WSW-leading mountain ridges, valleys and passes. In spring, the western parts of the Alps and the Jura would lead to a slight northward shift of migrants approaching from SW, but would not induce important concentrations, except some local funnelling induced by north- or northeastwards leading Alpine valleys.

Key words: Bird migration, height distribution, flight altitude, wind turbine, collision, radar.

Prof. Dr. Bruno Bruderer und Dr. Felix Liechti, Schweizerische Vogelwarte, CH–6204 Sempach, e-mail [bruno.bruderer@vogelwarte.ch](mailto:bruno.bruderer@vogelwarte.ch), [felix.liechti@vogelwarte.ch](mailto:felix.liechti@vogelwarte.ch)

In vielen Ländern ist die vermehrte Nutzung erneuerbarer Energien zu einem vordringlichen Ziel geworden. Windkraftanlagen spielen hierbei eine wichtige Rolle. Zwischen Nordkap und Gibraltar waren Ende 2002 Anlagen für eine Leistung von gut 23 000 Megawatt installiert. Im Jahr 2003 kamen in Europa 5380 Megawatt dazu, 49 % davon allein in Deutschland (<http://www.wind-energie.ch>; Windenergie-trends Nr. 1, März 2004). Für die Schweiz hat das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK das Ziel gesetzt, dass bis im Jahr 2010 1 % des gesamten Energieverbrauchs durch erneuerbare Energien gedeckt werden soll, 10–20 % davon durch Windenergie (<http://www.uvek.admin.ch/d/index.htm>; Pressemitteilung vom 5. November 2001). Einer uneingeschränkten Nutzung der Windenergie stehen vor allem Forderungen des Landschaftsschutzes entgegen.

Daneben werden aber auch Naturschutzargumente angeführt, wobei grosses Gewicht auf den Vogelschutz gelegt wird (Bundesamt für Naturschutz 2000, Isselbacher & Isselbacher 2001, Technische Universität Berlin 2001). Aufgrund von Untersuchungen an landgestützten Windenergieanlagen erwähnen Exo & Hüppop (2003) folgende mögliche Auswirkungen auf Vögel: (1) Kollisionsrisiko, (2) kurzfristiger Lebensraumverlust in der Bauphase, (3) langfristiger Lebensraumverlust durch Betrieb und Unterhalt, (4) Barrierenbildung auf Zugrouten, (5) Unterbrechung von ökologischen Einheiten.

Die vorliegende Arbeit geht nicht spezifisch auf diese Risiken ein, sondern setzt sich aufgrund wiederholter Anfragen lediglich zum Ziel, an einigen Beispielen aus dem südlichen Mitteleuropa aufzuzeigen, mit welchem Prozentsatz des Gesamtzuges in den untersten

200 m über Boden, also im Bereich grosser Windturbinen, gerechnet werden muss.

## 1. Methoden

### 1.1. Methodische Voraussetzungen

Die methodischen Probleme, die sich bei der Ermittlung der Höhenverteilung und Quantifizierung des Vogelzugs mit Radar ergeben, sind an der Schweizerischen Vogelwarte bereits zu Beginn der Siebzigerjahre weitgehend erkannt und berücksichtigt worden: Eliminierung von Störechos (insbesondere Bodenechos und Insekten), Berücksichtigung des Strahlungsdiagramms der verwendeten Antenne inklusive allfällige Abschwächungen der Empfindlichkeit in den antennennahen Bereichen, Reichweite des Gerätes für verschiedene Vogelgrößen, Abschwächung der Echogrösse mit der vierten Potenz der Entfernung ( $r^4$ -Gesetz) sowie die Flugrichtung der Vögel relativ zum Radarstrahl und die damit verbundene Veränderung der reflektierenden Fläche. Messungen mit vertikalem Strahl wurden mit Messungen bei niedriger Elevation ergänzt, um einerseits die bodennahen Luftschichten zu erfassen und mit beiden Strahlen erfasste Höhenschichten bezüglich detektierter Echozahlen (bei unterschiedlicher Distanz) zu vergleichen (Bruderer 1971a). Leider wurde diesen Problemen bei vielen späteren Radarbeobachtungen zu wenig Beachtung geschenkt. Die weit verbreitete Sorglosigkeit im Umgang mit Radardaten veranlasste uns zur Feststellung, dass viele Ornithologen irrtümlicherweise annehmen, dass das Zählen von Echos direkte Informationen über die Zahl und die räumliche Verteilung der Vögel ergäbe (Bruderer et al. 1995). Vergleiche mit Daten, die mit anderen Radargeräten beschafft wurden, sind nicht ohne eine vertiefte Diskussion der methodischen Unterschiede möglich. Dies würde aber den Rahmen dieser Publikation sprengen. Generelle Übersichten zu Möglichkeiten und Grenzen des Radareinsatzes finden sich in früheren Arbeiten (Bruderer 1997, 2003).

Die Weiterentwicklung der Beobachtungs- und Registriermethoden durch unsere Arbeitsgruppe wurde von Bruderer (1999) dargestellt.

Liechti et al. (1995) zeigten, wie mit Beobachtungen vor der Mondscheibe sowie mit Infrarot und dem Bleistiftstrahl des «Superfledermaus»-Radars eine gegenseitige Eichung der drei Methoden möglich wird. Durch Beobachtung derselben Ziele konnte die Reichweite der beiden optischen Methoden definiert werden. Die mit Radar gemessenen Distanzen ermöglichen es ausserdem, die beobachteten Silhouettengrößen bestimmten Distanzklassen zuzuordnen. Da die beiden optischen Methoden je einen klar definierten Beobachtungskonus überwachen, wurde es möglich, den wirksamen Öffnungswinkel des Radarstrahls zu bestimmen, der für Vögel (im Nahbereich) etwa doppelt so breit ist wie von der Herstellerfirma für Flugzeuge im Fernbereich angegeben.

### 1.2. Methoden und Beobachtungsorte

Die hier vorgelegten Daten aus der Schweiz und Süddeutschland wurden mit dem Radargerät «Superfledermaus» erhoben. Alle drei Radarstandorte waren gut gegen Störechos vom Boden abgeschirmt und erlaubten Messungen bis auf eine untere Grenze von etwa 30 m über Boden. Die Daten von 1987 (Bruderer & Liechti 1998) und 2000 wurden mit der von Bruderer et al. (1995) beschriebenen Methode der konischen Abtastung erhoben. Detailbeschreibungen der konischen Raumabtastung mit einem eng gebündelten Radarstrahl (Bleistiftstrahl) wie auch der aufwändigen Methoden zur Berechnungen der Zugdichten und Höhenverteilungen finden sich bei Bruderer et al. (1995). Die aus Bruderer (1971b) übernommenen Daten wurden mit feststehender, vertikal gestellter Antenne sowie ergänzenden Messungen auf niedriger Elevation, senkrecht zur Hauptzugrichtung, registriert.

Die wichtigsten Auswahlkriterien für die in der vorliegenden Arbeit berücksichtigten Radarstandorte waren: (1) Lage im zentralen Mitteleuropa, (2) optimaler Einbezug der untersten Höhenschicht aufgrund minimaler Störung durch Bodenechos, (3) rasche Verfügbarkeit der Daten. Hier wird generell mit der Zugdichte (Vögel/km<sup>3</sup>) gerechnet, während bei Bruderer (1971b) auch die entsprechenden Zugfrequenzen (Vögel, die pro Zeiteinheit eine be-

stimmte Linie über- oder eine vertikale Fläche durchqueren) angegeben sind. Da Vögel bei Gegenwind eher tief ziehen, sind die Werte für die Zugfrequenz in den unteren Luftschichten im Mittel kleiner, weiter oben grösser als die Dichten.

Die Frühlingsdaten stammen aus dem flachen Hügelland nördlich von Zürich. Im Frühling 1968 befand sich der Radar in einer ehemaligen Kiesgrube auf einem kleinen Hügel (470 m ü.M.) 1 km SSW Neerach (Kanton Zürich). Die Messungen konnten bis in sehr geringe Höhe über dem Radarniveau ausgeführt werden. Bezogen auf das Niveau des Flughafens Zürich blieben aber die untersten 65 m unberücksichtigt. Im Frühling 1969 stand eine Grube in der Flughafenebene 420 m ü.M. 1 km SW von Bachenbülach (Kanton Zürich) zur Verfügung. Das Datenmaterial umfasst in der Regel drei Messungen pro Nacht (21, 00 und 03 h) sowie eine Tagzugmessung eine halbe Stunde nach dem theoretischen Sonnenaufgang. Die Daten wurden in der Zeit vom 19. März bis zum 9. April 1968 (19 Nächte) und vom 3. bis zum 26. April 1969 (21 Nächte) mit feststehendem, senkrechtem Strahl sowie einer zusätzlichen Messung auf niedriger Elevation erhoben (Bruderer 1971b). Die damals noch visuell auf dem Distanzindikator sowie aufgrund von Filmregistrierungen ermittelten Echowerte wurden für Höhenintervalle von 250 m in Vogeldichten bzw. -frequenzen umgerechnet. Für Abb. 1 wurden direkt die Dichteangaben (ohne Streuungsmass) aus Bruderer (1971b) übernommen. Da sich die optische Messmethode wesentlich von der späteren elektronischen Registrierung unterscheidet und nicht direkt verglichen werden können, wurde für diese Daten auf die Angabe absoluter Dichtewerte verzichtet. Die Detailangaben in der Originalpublikation illustrieren, wie stark die Werte für die einzelnen Höhenbereiche unter verschiedenen Wetterbedingungen schwanken können.

Die Herbstdaten aus dem Schweizer Mittelland stammen von einer Radarstation in einer kleinen Kiesgrube 710 m ü.M. und damit auf einer typischen Anhöhe des hier vorherrschenden Hügellandes, 1 km südlich des Dorfes Römerswil und etwa 5 km nordöstlich von Sempach (Kanton Luzern). Sie wurde vom 28. Au-

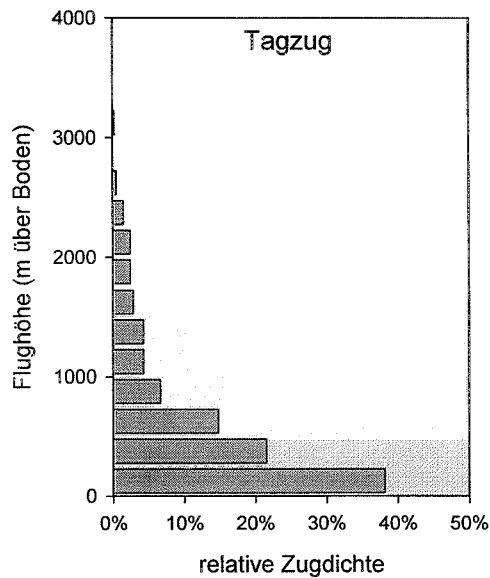
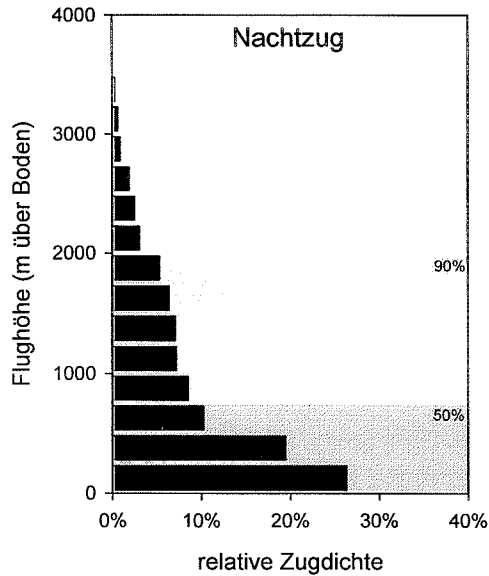
gust bis zum 12. Oktober 2000 betrieben, wobei keine permanenten Beobachtungen angestrebt wurden. Insgesamt standen 124 Dichtemessungen mit konischer Abtastung für die Zeit zwischen Sonnenuntergang und Mitternacht, 323 Messungen für die Zeit zwischen Mitternacht und Sonnenaufgang und 93 Messungen für den Tagzug zur Verfügung. Die Summe der registrierten Echos beträgt 191225.

Die Herbststation «Stuttgart» war vom 27. September bis zum 9. Oktober 1987 in einer Schiefergrube der Gemeinde Ohmden D in Betrieb. Der Ort befindet sich auf 350 m ü.M. 40 km östlich von Stuttgart, 10–15 km nördlich der Schwäbischen Alb. Hier wurden jeweils in der ersten Nachthälfte zwei (21 und 23 h) und in der zweiten Nachthälfte drei (01, 03 und 05 h) Dichtemessungen mit konischer Abtastung durchgeführt. Für die kurze Zeit vom 1. bis zum 5. Oktober 1987 standen insgesamt 16 Tagzugmessungen zur Verfügung. Um Störungen von Bodenechos auszuschliessen, musste an beiden Herbststandorten die Stichprobengrösse (überwachter Raum) unterhalb 200 m eingeschränkt werden.

## 2. Ergebnisse und Diskussion

### 2.1. Frühlingszug im schweizerischen Mittelland

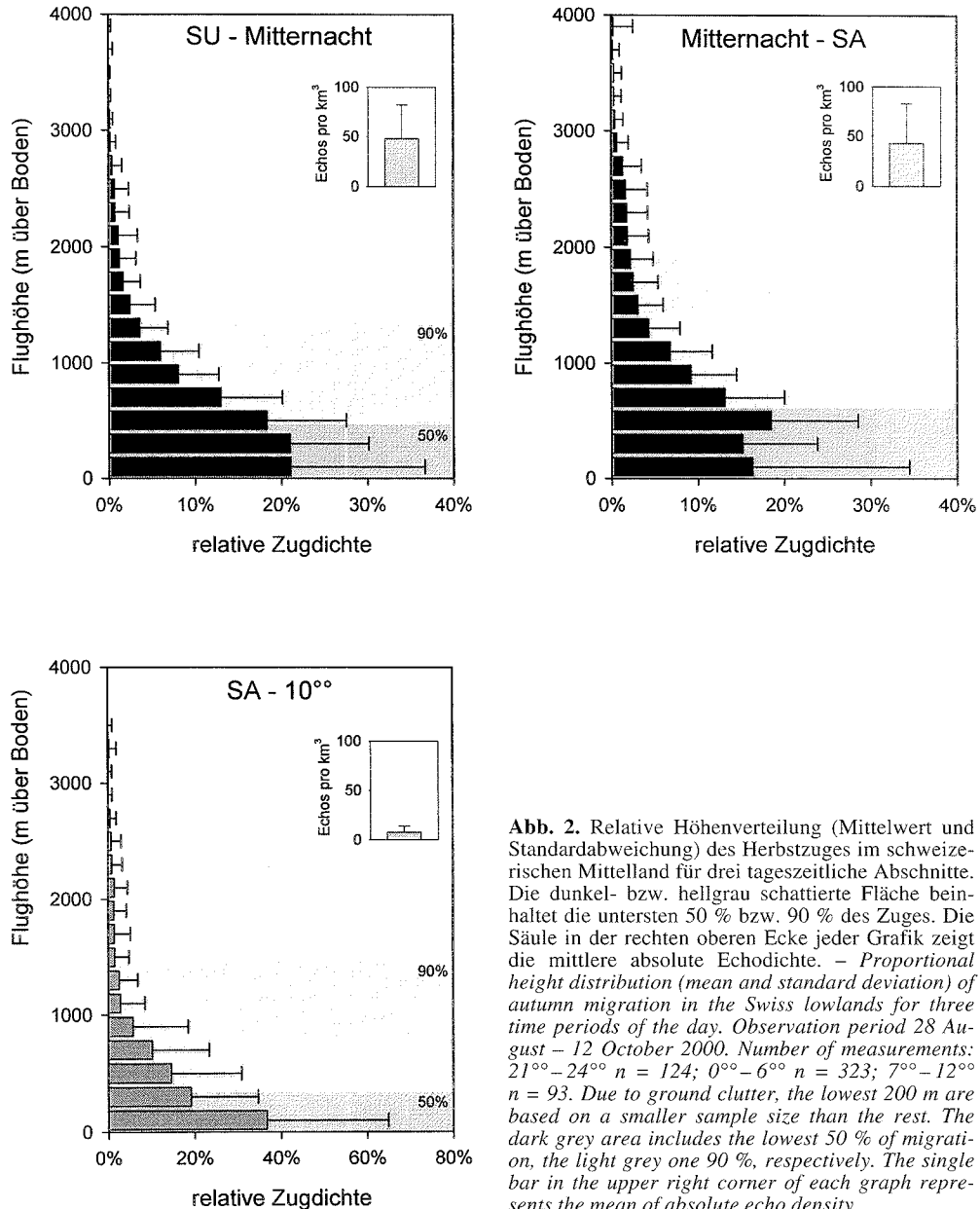
*Nachtzug:* In den Frühlingsperioden 1968 und 1969 lag die 50%-Grenze der Zugdichte (Median der Höhenverteilung der Zugdichte) über dem Zürcher Unterland bei etwa 600 m über Boden (m ü.B.); 26 % der Vögel flogen innerhalb eines Höhenbereichs von etwa 50–250 m über der Ebene (Abb. 1). Wird mit der Zugfrequenz gerechnet, verschiebt sich der Median auf 700 m ü.B., und der Anteil der im untersten Bereich fliegenden Vögel sinkt auf knapp 24 % (vgl. Abb. 18 in Bruderer 1971b). Die 90%-Obergrenze des Zuges liegt deutlich höher als im Herbstzug über Süddeutschland (Abb. 3) und über dem schweizerischen Mittelland (zumindest für die erste Nachthälfte in Abb. 2). Die relativ grosse Höhe des Frühlingszuges im Tiefland der Schweiz ist plausibel, weil ein grosser Teil der Vögel vorher Teile der Alpen oder des westlichen Jura überquert hat. Der gegenüber den Herbstmessungen erhöhte Echo-



**Abb. 1.** Relative Höhenverteilung des Frühlingszuges im schweizerischen Mittelland für den Nacht- und Tagzug (nach Bruderer 1971b, s. Methode). Die dunkel- bzw. hellgrau schattierte Fläche enthält die untersten 50 % bzw. 90 % des Zuges. Zu beachten: Der unterste Balken deckt in Abb. 1 den ganzen Höhenbereich von 250 m ab, obwohl in den untersten 65 m keine Vögel registriert werden konnten. – *Proportional height distribution of spring migration in the Swiss lowlands for nocturnal and diurnal migration (after Bruderer 1971b). Observation period 19 March – 9 April 1968 and 3 – 26 April 1969. The nocturnal distribution is based on three measurements per night (21°, 0° and 3° h) out of 40 nights. Diurnal distribution comprises one measurement half an hour after theoretical sunrise. Note that the lowest bar in these two graphs covers the complete height interval of 250 m, in spite of the fact that for technical reasons no birds could be recorded in the lowest 65 m. The dark grey area includes the lowest 50 % of migration, the light grey one 90 %, respectively. Absolute numbers are omitted due to methodological reasons.*

anteil im untersten Bereich könnte auf einer noch nicht optimalen Ausfilterung von Insektenechos beruhen und sollte deshalb nicht zu stark gewichtet werden.

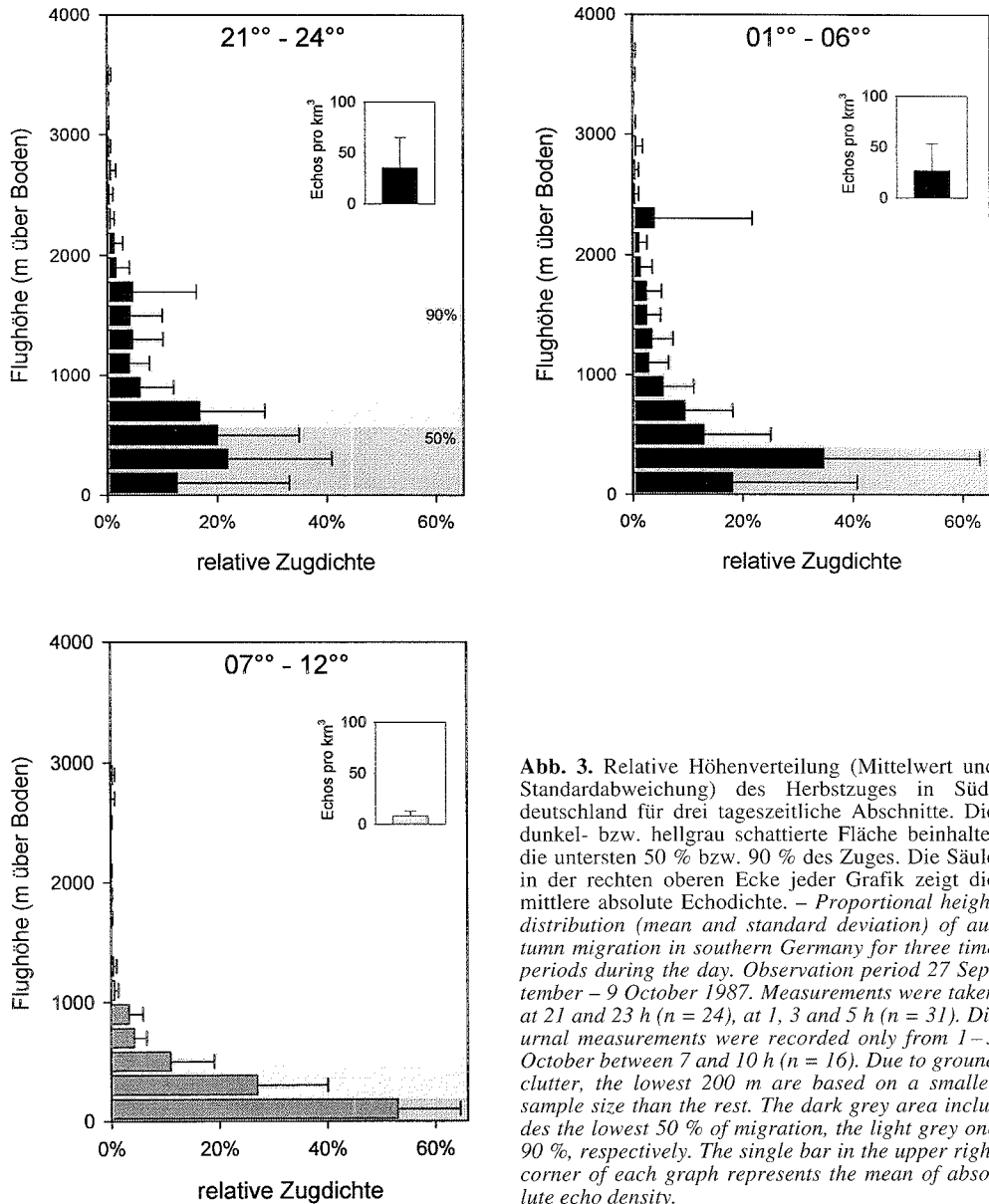
Aus Abb. 24 in Bruderer (1971b) lässt sich eine durchschnittliche Gesamtdichte des Frühlingszuges von 1000 Vögeln in einem Raum von 50 km<sup>2</sup> Grundfläche und 4 km Höhe her-



**Abb. 2.** Relative Höhenverteilung (Mittelwert und Standardabweichung) des Herbstzuges im schweizerischen Mittelland für drei tageszeitliche Abschnitte. Die dunkel- bzw. hellgrau schattierte Fläche beinhaltet die untersten 50 % bzw. 90 % des Zuges. Die Säule in der rechten oberen Ecke jeder Grafik zeigt die mittlere absolute Echodichte. – *Proportional height distribution (mean and standard deviation) of autumn migration in the Swiss lowlands for three time periods of the day. Observation period 28 August – 12 October 2000. Number of measurements: 21°–24° n = 124; 0°–6° n = 323; 7°–12° n = 93. Due to ground clutter, the lowest 200 m are based on a smaller sample size than the rest. The dark grey area includes the lowest 50 % of migration, the light grey one 90 %, respectively. The single bar in the upper right corner of each graph represents the mean of absolute echo density.*

auslesen. Dies ergibt in heute gebräuchlichen Masseneinheiten eine Dichte von 5 Vögeln/km<sup>3</sup> und entspricht etwa einem Fünftel oder Sechstel der Werte für den Herbstzug in Süddeutsch-

land und einem Achtel bis einem Zehntel der Herbstwerte im schweizerischen Mittelland. Die Zahlen scheinen unter folgenden Annahmen plausibel, auch wenn die Berechnungsme-



**Abb. 3.** Relative Höhenverteilung (Mittelwert und Standardabweichung) des Herbstzuges in Süd-deutschland für drei tageszeitliche Abschnitte. Die dunkel- bzw. hellgrau schattierte Fläche beinhaltet die untersten 50 % bzw. 90 % des Zuges. Die Säule in der rechten oberen Ecke jeder Grafik zeigt die mittlere absolute Echodichte. – *Proportional height distribution (mean and standard deviation) of autumn migration in southern Germany for three time periods during the day. Observation period 27 September – 9 October 1987. Measurements were taken at 21 and 23 h (n = 24), at 1, 3 and 5 h (n = 31). Diurnal measurements were recorded only from 1–5 October between 7 and 10 h (n = 16). Due to ground clutter, the lowest 200 m are based on a smaller sample size than the rest. The dark grey area includes the lowest 50 % of migration, the light grey one 90 %, respectively. The single bar in the upper right corner of each graph represents the mean of absolute echo density.*

thoden zu Beginn der Siebzigerjahre noch weit weniger entwickelt waren als heute: (1) Aufgrund erheblicher Sterblichkeit von Jungvögeln während des Winterhalbjahrs kehren im

Frühling nur etwa  $1/2$  bis  $2/3$  der Vögel aus dem Winterquartier zurück. (2) Aufgrund der ablenkenden Wirkung von Jura und Alpen fliegen im Frühling nur relativ wenige Vögel von SW

her ins Mittelland ein, während sich (3) im Herbst eine deutliche Konzentration im Alpenvorland ergibt.

*Tagzug:* Da Tagzieher im Gegensatz zu Nachtziehern mehrheitlich in Schwärmen unterwegs sind, ist die Zahl der registrierten Echos stets deutlich kleiner als im Nachtzug; die Ergebnisse sind entsprechend unsicherer. Ausserdem erfolgt bei schlechtem Wetter und/oder Gegenwind ein erheblicher Teil des Tagzuges in Bodennähe und damit unter dem vom Radar überwachten Bereich. Der tatsächlich im untersten Höhenintervall fliegende Anteil des Tagzuges kann deshalb erheblich grösser sein als in Abb. 1 dargestellt. Die Messwerte zeigen für den erfassten Zug eine Höhe der 50%-Grenze von gut 400 m ü.B.; 38 % der Echos befanden sich im untersten Höhenintervall. Die Höhenverteilung kann von Tag zu Tag und je nach beteiligten Arten stark variieren.

## 2.2. Herbstzug im schweizerischen Mittelland

*Nachtzug:* Der Datensatz aus dem Hügelland im Raum Sempach/Römerswil umfasst nicht nur eine grosse Zahl von Einzelmessungen, sondern auch einen repräsentativen Teil einer Herbstzugperiode (Ende August bis Mitte Oktober; Abb. 2). Der Anteil der in den untersten 200 m ü.B. fliegenden Vögel machte in der ersten Nachthälfte 21 %, in der zweiten Nachthälfte gut 16 % aus und liegt damit in einem ähnlichen Bereich wie über Süddeutschland (Abb. 3). Die 50%-Grenze liegt mit 500 bzw. 600 m gleich wie in Süddeutschland. Die 90%-Grenze liegt für den Herbstzug an beiden Standorten tiefer als beim durch Alpen- und Juraüberquerer geprägten Frühlingszug im schweizerischen Mittelland.

*Tagzug:* Der Datensatz Sempach/Römerswil liefert auch für den Tagzug im Herbst ein relativ breit abgestütztes Bild. Der Anteil im untersten Höhenbereich zeigt einen Mittelwert von 38 % und ist damit etwas tiefer als der entsprechende Wert von Süddeutschland, aber die Standardabweichung reicht in beiden Fällen bis 65 %. Die 50%-Grenze liegt auf gut 300 m Höhe, die 90%-Grenze auf 1200 m.

## 2.3. Herbstzug über Süddeutschland

*Nachtzug:* Im Raum Stuttgart/Ohmden flogen in der ersten Nachthälfte 13 % der Zugvögel, in der zweiten Nachthälfte 18 % in den untersten 200 m ü.B. (Abb. 3). Die 50%-Grenze des Zuges lag auf knapp 600 bzw. 500 m ü.B. Die Stichprobe aus Süddeutschland umfasst nur ein enges Zeitintervall aus der späten Herbstzugperiode. Die relativ geringen Anteile in den untersten 200 m sind geprägt durch drei Nächte mit sehr starkem Zug in einer Hochdruckphase mit nordöstlichen Winden (27.–30. September 1987). In den folgenden Nächten (30. September bis zum 5. Oktober 1987) waren die Bedingungen nur wenig schlechter, aber der Anteil der im untersten Intervall fliegenden Vögel stieg auf 24 %. Bei schlechtem Wetter und Gegenwind im Zeitabschnitt 5.–9. Oktober 1987 flogen bei schwachem Zug 35 % der Vögel in den untersten 200 m (Bruderer & Liechti 1998). Dies widerspiegelt die wetterbedingte Variation, mit der überall gerechnet werden muss.

*Tagzug:* Die Tagzugdaten in Abb. 3 stammen aus der Periode vom 1. bis 5. Oktober 1987, die gekennzeichnet war durch schwache ESE-Winde bis etwa 1200 m ü.B. und schwache variable Winde darüber; eine über West- und später über Südeuropa liegende Warmfront wurde im Beobachtungsgebiet kaum wetterwirksam. Trotz dieser mässig guten Wetterbedingungen war der Tagzug mit 53 % der Vögel im untersten Höhenbereich relativ tief; der Median lag damit unter 200 m ü.B., die 90%-Grenze auf rund 600 m. Bei schlechtem Wetter und/oder Gegenwind konzentriert sich der Zug noch stärker in den bodennahen Luftschichten.

## 3. Folgerungen

Der Anteil des Nachtzuges im für Windturbinen relevanten Bereich von etwa 200 m ü.B. liegt im flachen Hügelland Süddeutschlands und der Schweiz im Mittel bei etwa 15–25 %. Die zugehörigen Standardabweichungen reichen bis etwa 35 %.

Die entsprechenden Werte für den Tagzug sind aufgrund kleinerer Messreihen, infolge

der durch Schwarmbildung bedingten geringeren Echozahl und zum Teil wegen des unter dem Erfassungsbereich der Radaranlagen erfolgenden bodennahen Zuges weniger zuverlässig als die Nachtzugwerte. Die mittleren Anteile der im Höhenbereich unter 200 m ü.B. registrierten Echozahlen liegen bei 38–53 %; die zugehörigen Standardabweichungen erreichen 65 %. Aufgrund der methodischen Einschränkungen muss damit gerechnet werden, dass die Anteile zumindest in Schlechtwetterphasen oder bei starkem Gegenwind noch höher liegen.

Wenn ein Fünftel des Nachtzuges und nahezu die Hälfte des Tagzuges in Höhenbereichen fliegen, die von Windenergieanlagen tangiert werden, ist dies nicht vernachlässigbar. Allerdings darf damit gerechnet werden, dass die meisten Zugvögel zumindest bei guten Sichtverhältnissen in der Lage sind, den Windenergieanlagen als Ganzes oder sogar den einzelnen Rotorblättern auszuweichen (Isselbacher & Isselbacher 2001, Winkelmann 1985). Buurma & van Gasteren (1989) schätzten, dass etwa 1–2 % (oder unter strengeren Annahmen 2–6 %) der Vögel, welche nachts die Netto-Fangfläche von Hochspannungsleitungen in Holland durchqueren, tatsächlich mit Drähten kollidieren. Mit Hilfe von an den Drähten befestigten Plastikspiralen («pig-tails») konnte die Kollisionsrate erheblich reduziert werden (Koops & de Jong 1982). Rotorblätter von Windturbinen sind noch besser sichtbar als solche Plastikspiralen. Dies könnte allenfalls Ausweichbewegungen im letzten Moment erleichtern, während die sehr rasche Bewegung der Rotorblätter das Ausweichen erheblich erschweren dürfte. Die in dieser Arbeit präsentierten Daten entsprechen unseres Erachtens dem durchschnittlichen Zug über dem westlichen Mitteleuropa. In topografisch stark strukturiertem Gelände sind aber erhebliche lokale Konzentrationen des Zuges möglich, was zu einer massiv erhöhten Kollisionsgefahr mit potenziellen Windturbinen führen kann.

Leitlinien sind bekannt dafür, dass sie den Zugstrom besonders bei seitlichen Gegenwinden im Sinne einer Auffanglinie ablenken und verdichten. Dies kann zu erheblich grösseren Zuganteilen in den untersten 200 m ü.B.

führen. Am ausgeprägtesten sind Zugverdichtungen in den untersten Luftschichten, wenn Bergkämme die unter der Kammlinie fliegenden Vögel ablenken. Im Jura und in den Schweizer Alpen ist dieser Effekt besonders im Herbst ausgeprägt, wenn die mit Richtungen um 220° gegen die Berge anfliegenden Vögel auf Talflanken treffen, die Richtung W oder WSW verlaufen und damit gleichsam als «Prallhang» wirken. Höchste lokale Konzentrationen sind im Herbst auf nach W bis SW führenden Passübergängen zu erwarten, da sich der Zug dort zusätzlich auch in vertikaler Richtung verdichtet (Bruderer 1996). Für die im Frühling nordostwärts strebenden Vögel bildet der Jura nördlich von Genf eine solche Leitlinie. Da die Talflanken aber nicht im Sinne eines «Prallhanges» wirken, sind bedeutend geringere Konzentrationen zu erwarten als im Herbst. Weil die meisten Vögel durch die Leitlinienwirkung des Juras vom Einflug ins Schweizer Mittelland abgehalten werden, während viele ins Mittelland einfliegende Vögel die Jurakämme überqueren, ergeben sich über dem Mittelland zumindest im Nachtzug recht grossen Flughöhen bei eher geringen Zugdichten.

**Dank.** Unser ganz spezieller Dank geht an all die vielen Mitarbeiter, die bei der Feldarbeit mitgemacht haben. In den ersten Jahren hat die Firma Oerlikon-Contraves AG die «Superfledermaus»-Radaranlagen leihweise zur Verfügung gestellt, später die schweizerische Armee. Nach der Ausmusterung der Geräte haben wir von beiden Seiten Geräte und Reparaturmaterial geschenkt erhalten. Der Schweizerische Nationalfonds hat die Feldarbeiten im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte finanziell unterstützt. Für kritische Durchsicht des Manuskripts und wesentliche Verbesserungsvorschläge danken wir Verena Keller und Hans Schmid, den Reviewern Ommo Hüppop und Peter Südbeck sowie den Redaktoren Christian Marti und Peter Knaus.

### Zusammenfassung

Im Hinblick auf die praktische Anwendung bei Studien zur Umweltverträglichkeit von Windenergieanlagen werden einige typische Höhenverteilungen des Vogelzuges aus Süddeutschland und dem schweizerischen Mittelland vorgestellt. Im Mittel finden 15–25 % des Nachtzuges in den untersten 200 m über Boden statt, also im Bereich von Windenergie-



anlagen. Die Angaben für den Tagzug sind weniger gut quantifizierbar, weil Tagzieher mehrheitlich in Schwärmen fliegen und damit weniger Echos ergeben. Ausserdem können bei Gegenwinden nennenswerte Anteile des Tagzuges unterhalb des vom Radar erfassten Bereiches (d.h. unterhalb von ca. 30 m ü.B.) fliegen. In den vorliegenden Daten wurden 38–53 % der Tagzugechos in den untersten 200 m registriert. Bei Gegenwind muss mit einem noch höheren Anteil an Vögeln in diesem untersten Bereich gerechnet werden. Horizontale Konzentrationen von Zugvögeln sind an lang gestreckten topografischen Strukturen zu erwarten, die nur wenig von der Basisrichtung der Vögel abweichen. In steil aufsteigenden Tälern und an Pässen entstehen zusätzliche vertikale Konzentrationen. Für den Herbstzug im westlichen Teil des zentralen Mitteleuropas ergeben sich solche Leitlinien vor allem bei nach WSW führenden Bergkämmen, Tälern und Passübergängen. Im Frühling dürften die westlichen Alpen und der Jura den von SW herannahenden Zug wohl etwas ablenken, aber abgesehen von einzelnen N- bis NE-wärts führenden Alpentälern nicht wesentlich konzentrieren.

## Literatur

- BRUDERER, B. (1971a): Bird/weather/radar work in Switzerland. Bird Strike Committee Europe 6, WP2.13 Copenhagen, Denmark; 15–17 June, 1971. – (1971b): Radarbeobachtungen über den Frühlingszug im Schweizerischen Mittelland. (Ein Beitrag zum Problem der Witterungsabhängigkeit des Vogelzugs). Ornithol. Beob. 68: 89–158. – (1996): Vogelzugforschung im Bereich der Alpen 1980–1995. Ornithol. Beob. 93: 119–130. – (1997): The study of bird migration by radar. Part 1: The technical basis. Naturwissenschaften 84: 1–8. – (1999): Three decades of tracking radar studies on bird migration in Europe and the Middle East. S. 107–141 in Y. LESHEM, Y. MANDELIK & J. SHAMOUN-BARANES (eds): Migrating birds know no boundaries. Proceedings of the international seminar on birds and flight safety in the Middle East, Israel, April 25–29, 1999. International Center for the Study of Bird Migration, Latrun, Israel. – (2003): The radar window to bird migration. S. 347–358 in P. BERTHOLD, E. GWINNER & E. SONNENSCHNEIN (eds): Avian Migration. Berlin, Heidelberg, New York.
- BRUDERER, B. & F. LIECHTI (1998): Intensität, Höhe und Richtung von Tag- und Nachtzug im Herbst über Südwestdeutschland. Ornithol. Beob. 95: 113–128.
- BRUDERER, B., T. STEURI & M. BAUMGARTNER (1995): Short-range high-precision surveillance of nocturnal migration and tracking of single targets. Isr. J. Zool. 41: 207–220.
- Bundesamt für Naturschutz (2000): Empfehlungen des Bundesamtes für Naturschutz zu naturschutzverträglichen Windkraftanlagen. 64 S. Bundesamt für Naturschutz, Berlin.
- BUURMA, L. S. & H. VAN GASTEREN (1989): Migratory birds and obstacles along the coast of the Dutch province Zuid Holland (Niederl. mit engl. Summary). Report from Royal Dutch Airforce to Province Zuid Holland, Dienst Welzijn, Economie en Bestuur. 117 S. Royal Dutch Airforce, den Haag.
- EXO, K. M. & K. HÜPPOP (2003): Birds and offshore wind farms: Conflict potential and perspectives. Vogelwarte 42: 16.
- ISSELBÄCHER, K. & T. ISSELBÄCHER (2001): Vogelschutz und Windenergie in Rheinland-Pfalz. Hrsg. Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz. Universitätsdruckerei Schmidt, Mainz.
- KOOPS, F. B. J. & J. DE JONG (1982): Verminderung van draadslachtoffers door markering van hoogspanningsleidingen in de omgeving van Heerenveen. Vogeljaar 30: 308–316.
- LIECHTI, F., B. BRUDERER & H. PAPROTH (1995): Quantification of nocturnal bird migration by moonwatching: comparison with radar and infrared observations. J. Field Ornithol. 66: 457–468.
- Technische Universität Berlin (2001): Windenergie und Vögel – Ausmass und Bewältigung eines Konflikts. Hrsg. Technische Universität Berlin, Institut für Landschaftsentwicklung und Umweltforschung, Berlin.
- WINKELMAN, J. E. (1985): Bird impact at middle-sized wind turbines on flight behavior, victims a disturbance. Limosa 58: 117–121.

*Manuskript eingegangen 22. Juli 2004*

*Bereinigte Fassung angenommen 11. Oktober 2004*