Aus der Schweizerischen Vogelwarte Sempach

Intensität, Höhe und Richtung von Tag- und Nachtzug im Herbst über Südwestdeutschland

Bruno Bruderer und Felix Liechti

Intensity, height and directions of diurnal and nocturnal autumn migration in southwestern Germany. – The features and limitations of different radar sytems for the study of bird migration are briefly summarized and the use of an X-band tracking radar for quantitative and qualitative recording of bird migration is outlined. The results are mainly based on a short observation period at the northern edge of the Suebic Alb (near Stuttgart). The diurnal and seasonal course as well as the directions of migration are compared to data from a longer observation period in a topographically homogeneous area near Nuremberg. For the first time the variation in the altitudinal distribution of autumn migration in central Europe is shown in relation to time of day and altitudinal wind profiles.

Key words: Migration, temporal course, altitude, topography, wind, tracking radar.

Prof. Dr. Bruno Bruderer und Dr. Felix Liechti, Schweizerische Vogelwarte, CH–6204 Sempach

Die generellen Richtungsverteilungen des Nachtzuges über Süddeutschland und der Schweiz sowie deren Beeinflussung durch Wind und Topographie wurden vor allem in zwei grundlegenden Arbeiten dargestellt (Bruderer & Jenni 1990, Bruderer & Liechti 1990): Unter weitgehendem Ausschluss von Topographie- und Windeinflüssen ergibt sich im Herbstzug über Süddeutschland eine ungestörte Zugrichtung (Basisrichtung) um 230° (etwa SW) für Vögel unter 1000 m ü.B. und von 215–220° (etwa SSW) über diesem Niveau. Schwache Seitenwinde werden kompensiert, während erhöhte Windstärken zunehmende Verdriftung bewirken, da die Vögel ihre Kompensationsanstrengungen nicht entsprechend der Windgeschwindigkeit steigern. Die häufigen starken Westwinde in Mitteleuropa verdriften die ziehenden Vögel gegen die Alpen. Weil die Vögel dem Jura und den Alpen entlang ihre Richtungen mehrheitlich auf WSW oder SW korrigieren, führt dies zu einer bedeutenden Steigerung der auch bei weniger extremen Windbedingungen feststellbaren Vogelzugkonzentration im Schweizer Mittelland sowie in Alpentälern und auf Passübergängen (Bruderer 1996, Liechti et al. 1996a, b).

Zum Frühlingszug sind für das Schweizer Mittelland neben Richtungsverteilungen auch Zielfolgeradar-Daten über die Höhenverteilung von Tag- und Nachtzug sowie über die Variation der Höhenverteilung in Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren verfügbar (Bruderer 1971). Dagegen gibt es bis heute keine entsprechenden Angaben für den Herbstzug. Die vorliegende Arbeit liefert einen Überblick über die Zusammensetzung sowie die generellen tages- und jahreszeitlichen Intensitätsänderungen des Herbstzuges in einem Gebiet Süddeutschlands ohne grosse Geländeerhebungen (Raum Nürnberg). Einen zeitlich limitierten Datensatz einer Station am Nordrand der Schwäbischen Alb (Raum Stuttgart) analysieren wir im Hinblick auf (1) den Zugablauf von Nacht zu Nacht und innerhalb der einzelnen Nächte und (2) die Variation der Höhenverteilungen in Abhängigkeit von Nachtverlauf und Windsituation. Die Richtungen tag- und nachtziehender Vögel werden für beide Stationen verglichen.

Da die Radarmethodik in den meisten Arbeiten nur kurz behandelt wird, gehen wir in einem ersten methodischen Teil etwas eingehender auf Vor- und Nachteile von Radarbeobach-

tungen ein. Anschliessend erläutern wird die Funktion des Beobachtungssystems «Superfledermaus» für Vogelzugbeobachtungen sowie dessen Einsatz an zwei Orten in Süddeutschland.

1. Methoden

1.1. Zweckorientierte Radartypen

Radar (**R**adio **A**ircraft **D**etection **a**nd **R**anging = Funkortung) ist eine elektronische Fernbeobachtungsmethode, bei der Radiowellen über eine Richtantenne in einem zweckmässig gebündelten Strahl ausgesendet werden, um damit Objekte im Raum anzustrahlen und die reflektierte elektromagnetische Energie meist mit derselben Antenne wieder zu empfangen. Aus der Laufzeit der mit Lichtgeschwindigkeit wandernden Pulse berechnet sich die Entfernung des Zieles. Aus der Stellung der Antenne ergeben sich die zwei restlichen Raumkoordinaten, nämlich Azimut und Elevationswinkel. Die Genauigkeit dieser Winkel hängt vom Öffnungswinkel des Radarstrahles, d. h. vom Antennendiagramm der Anlage ab. Die Form des Strahls wird auf den Zweck einer Radaranlage ausgerichtet (weitere Einzelheiten bei Bruderer 1997a).

Ein *Überwachungsradar* eines Flughafens (airtraffic control radar, surveillance radar) hat einen Strahl, der in der Vertikalebene weit (z.B. 30°) gefächert, in der Horizontalebene dagegen eng gebündelt ist (z.B. 1°). Eine solche Anlage liefert gute Angaben über die horizontale Verteilung der Ziele und ist dank der in der Regel hohen Sendeenergie geeignet, Verteilung und Richtungen des Vogelzuges in einem grossen Raum zu zeigen. Sie erlaubt aber nur vage Schlüsse auf die Höhenverteilung der Vögel. Zudem ist die auf dem Radarschirm erscheinende Zugdichte stark von der Flughöhe der Vögel beeinflusst, da die Empfindlichkeit des Strahles in der Vertikalebene variiert. Moderne militärische Radaranlagen überwinden diese Probleme, indem sie mehrere eng gebündelte Strahlen übereinander staffeln.

Der Strahl eines *Höhensuchradars* (z.B. Landeradar = precision approach radar) liefert dank einem in der Vertikalebene eng gebündelten Strahl gute Höheninformationen, aber keine Angaben über die horizontale Verteilung der Ziele.

Ein *Bleistiftstrahl,* der in zwei Dimensionen eng gebündelt ist, liefert Angaben über vertikale und horizontale Verteilungen zugleich. In der Meteorologie werden derartige Strahlen verwendet, um die Dimensionen von Regenzonen auszumessen. Den Meteorologen sind dabei vor allem grosse Reichweiten wichtig, nicht aber sehr exakte Koordinaten. Dies bedeutet für Ornithologen, die solche Geräte einsetzen möchten, dass die Pulsvolumina (Länge des Pulses im Raum × Strahlquerschnitt) in der Regel sehr gross sind und somit oft viele Vögel zu einem einzigen Echo zusammengefasst werden, auch wenn sie einige hundert Meter von einander entfernt fliegen.

Zielfolgeradar-Anlagen sind darauf ausgerichtet, einzelne Ziele automatisch zu verfolgen und in allen drei Dimensionen genau zu lokalisieren. Bei der Zielverfolgung liefern sie genaue Angaben über die Position und Positionsänderungen des verfolgten Vogels im Raum. Einzelne Anlagen bieten auch die Möglichkeit, mit demselben Bleistiftstrahl ein Überwachungsprogramm durchzuführen, das die räumliche Verteilung der Vögel im überwachten Raum zeigt (Bruderer et al. 1995). Flugrichtungen lassen sich mit konischer Raumabtastung durch einen Bleistiftstrahl aber kaum ermitteln. Zudem sind die meisten Zielfolge-Anlagen in ihrer Reichweite stark eingeschränkt und deshalb einem Überwachungsradar in der grossräumigen Beobachtung von Zugrichtungen unterlegen.

1.2. Der Zielfolgeradar «Superfledermaus»

Der Zielfolgeradar «Superfledermaus» wurde bei seiner Konstruktion auf militärische Kriterien ausgerichtet. Das Gerät musste robust sowie wartungs- und bedienungsfreundlich sein, hohe Genauigkeit erreichen, transportabel sein und Überwachung und Zielverfolgung mit demselben Sende-Empfangs-System erreichen. Die Forderung nach Genauigkeit verlangte eine geringe Pulsdauer (0,3 µs) und einen relativ geringen Strahlöffnungswinkel (2,2°). Die Transportfähigkeit und die hohe Beweglichkeit

Abb. 1. Zielfolgeradar Superfledermaus in einer alten Sandgrube bei Lehrberg (Nürnberg). Der um etwa 2,5 m abgesenkte Standort in einer Mulde vermindert Störungen des Radarbildes durch Echos von festen Objekten in der Umgebung. Die landwirtschaftliche Maschine über dem Radargerät zeigt die Höhe des umliegenden Terrains. – *The tracking radar «Superfledermaus» in an old sandpit at Lehrberg (near Nuremberg). The position of the radar in a shallow hollow, about 2.5 m below the surrounding terrain, reduces ground clutter (radar echoes of fixed objects in the surroundings). The agricultural machine behind the radar indicates the normal level of the terrain.*

der Antenne erforderten eine möglichst kleine Antenne und deshalb eine geringe Wellenlänge. Die gewählte Wellenlänge von 3 cm hat für die ornithologische Anwendung den Nachteil, dass auch kleine Objekte wie Regentropfen und Insekten relativ gut sichtbar werden. Der grosse Vorteil gegenüber anderen Zielfolgeanlagen liegt darin, dass für die Verfolgung dieselbe hohe Energie (150 kW maximale Pulsleistung) zur Verfügung steht wie für die Raumüberwachung. Dies bringt es mit sich, dass einzelne Kleinvögel nicht nur bis zu 5 km detektiert, sondern auch automatisch verfolgt werden können, wobei die Verfolgungsungenauigkeit in Azimut und Elevation ± 0,06° und in der Distanz ± 10 m ausmacht. Das Gerät verfügt in der ab 1969 produzierten Version über eine zuschaltbare elektronische Einrichtung zur Elimination von Störechos (MTI = moving targets indicator). Da damit auch Vögel in schwer abschätzbarem Ausmass eliminiert werden, wird bei der ornithologischen Arbeit wenn möglich auf die Verwendung von MTI verzichtet. Man versucht die Störechos (Standzeichen) durch Standorte in flachen Geländevertiefungen zu reduzieren, nimmt aber dabei in Kauf, dass die Beobachtung der untersten Luftschichten zum Teil beeinträchtigt wird.

Eine *Überwachungsmethode,* bei der der Bleistiftstrahl auf verschiedenen Elevationen eine konische Abtastbewegung ausführt, liefert Angaben über die Quantitäten und die räumliche Verteilung der Vögel in einer Halbkugel

von 6 km Radius (wobei die Reichweite für Kleinvögel auf 4–5 km beschränkt ist). Durch die Verrechnung der für verschiedene Strahlelevationen und Distanzen ermittelten Echozahlen ergeben sich Dichteangaben pro Höhenintervall (Bruderer et al. 1995). Dichteangaben sind unabhängig vom Windeinfluss und deshalb eine bessere Information als die oft verwendete «migration traffic rate» (MTR), die als Zugfrequenz (Durchzugsrate) direkt vom Wind beeinflusst wird. Die Dichtemessung ergibt vor allem im Nachtzug gute Resultate, weil in der Regel sehr viele einzelne Nachtzieher pro Höhenschicht relativ zufällig im Raum verteilt sind. Messungen im Tagzug sind weniger zuverlässig, da Tagzieher mehrheitlich in Schwärmen fliegen und deshalb relativ geringe Echozahlen ergeben. Da die minimale Beobachtungsdistanz bei etwa 100 m liegt, könnten an sich mit niedrigen Elevationen Vögel bis knapp über dem Boden entdeckt und bis etwa 20 m über Boden verfolgt werden. Da jedoch zur Abschirmung von Störechos bevorzugt in flachen Geländemulden gearbeitet wird (Bruderer 1971, Bruderer & Liechti 1990), hängen die untere Begrenzung und die Ausdehnung des beobachteten Raumes von der Topographie des Standorts ab. Beim Standort Stuttgart standen auch für die untersten Luftschichten genügend grosse Stichproben zur Verfügung, um auch für den Tagzug einigermassen verlässliche Angaben über die Höhenverteilung zu erreichen. Bei den Dichtemessungen ist aufgrund der Mittelung über viele Elevationen bei unterschiedlichen Entfernungen und damit variierender Grösse der erfassten Luftvolumina die Angabe einer Stichprobengrösse schwierig und wenig aussagekräftig. Eine grobe Schätzung der den Berechnungen zugrunde liegenden Echozahlen ergibt sich für die Beobachtungen in Süddeutschland aus der über alle Höhen gemittelten Zugdichte und dem in mittlerer Zughöhe (innerhalb eines Radius von 3000 m) überwachten Luftvolumen. Bei Höhenverteilungen, wie sie in Abb. 5 dargestellt sind, basiert eine mittlere Zugdichte von 40 Vögeln/km^3 auf einer effektiv registrierten Echozahl von ca. 150, d.h. dass man bei ähnlichen Höhenverteilungen die durchschnittliche Dichte mit 3,5–4 multiplizieren kann, um auf die Stichprobengrösse zu schliessen. In grossen Höhen werden aufgrund des Strahlöffnungswinkels sehr grosse, in Bodennähe dagegen geringere Volumina erfasst. Die Zuverlässigkeit der berechneten Dichten steigt mit der Grösse des überwachten Volumens. In neueren Studien wurde der überwachte Raum vor allem in den unteren Luftschichten durch eine Erhöhung der Zahl der abgetasteten Elevationen vergrössert.

Die *Zielfolgemethode* wird angewendet, um Angaben über die Flugwege (Richtung, Höhe, Geschwindigkeit) von Vögeln und Windmessballonen zu erhalten. Bei den meist einzeln im Radarstrahl fliegenden Nachtziehern ergeben sich aus dem Flackern der Radarsignale zudem Anhaltspunkte über den Flugtyp des verfolgten Vogels (Bruderer 1969, 1971, Bloch et al. 1981, Bruderer 1997a, b). Die einfachste Klassierung unterscheidet grosse und kleine Vögel mit kontinuierlichem Flügelschlag (Wat- und Wasservögel), grosse und kleine Vögel mit intermittierendem Flügelschlag (grosse und kleine Singvögel) sowie Mauersegler mit charakteristisch langen Schlagphasen und Pausen bei etwa 7 Hz Flügelschlagfrequenz (Bruderer & Weitnauer 1972). Im Tagzug können nahe vorbeifliegende Vögel im strahlparallelen 12,4-fachen Fernrohr gesehen und unter günstigen Bedingungen identifiziert werden.

1.3. Beobachtungen in Südwestdeutschland

Um das Zuggeschehen vergleichend in einem grösseren Raum im Anflugbereich zu den Alpen zu erfassen, setzte die Schweizerische Vogelwarte 1987 bis zu drei Radaranlagen gleichzeitig ein. Versuchsanlage und Beobachtungsstandorte sind bei Bruderer & Liechti (1990) beschrieben. Die generellen Folgerungen hinsichtlich Zugrichtungen unter verschiedenen Windbedingungen in Süddeutschland und im Alpenraum sind schematisch bei Bruderer (1996) dargestellt. Die eine Radarstation stand je etwa drei Wochen lang an vier verschiedenen Orten. Hier werden nur die Daten aus dem Zeitraum vom 22. September bis zum 9. Oktober 1987 in der Gemeinde Ohmden (350 m ü.M., etwa 25 km SE *Stuttgart*) einbezogen. Eine zweite Radarstation wurde vom 1. August

bis zum 30. Oktober 1987 in der Gemeinde Lehrberg (460 m ü.M., ca. 40 km WSW *Nürnberg*) betrieben, wobei hier die Daten aus der mit Stuttgart/Ohmden vergleichbaren Periode im Vordergrund stehen. Die beiden Stationen werden im folgenden mit den Namen der benachbarten Städte Stuttgart bzw. Nürnberg bezeichnet. An jedem Ort wurden pro Nacht etwa 150 Vogelflugwege und drei Flugwege von Windmessballonen registriert; fünf quantitative Messungen pro Nacht lieferten Angaben über Höhe und Dichte des Zuges. Der Tagzug wurde höchstens in den ersten Morgenstunden und im Raum Nürnberg nur an einzelnen Tagen mitverfolgt; im Raum Stuttgart liegen kontinuierliche Frühbeobachtungen von einigen Tagen anfangs Oktober vor.

Da die Landschaft west-südwestlich Nürnberg keine grösseren Geländeerhebungen aufweist, eignen sich die Daten dieser Station als Referenzdaten ohne relevanten Topographieeinfluss. Dagegen ragt etwa 4–7 km südlich des Standorts Stuttgart der Nordrand der Schwäbischen Alb rund 200–400 m über das flache Hügelvorland auf; sie verläuft in WSW-Richtung (ca. 240°) und wird im Abstand von einigen Kilometern immer wieder von süd- bis südostwärts führenden Taleinschnitten unterbrochen.

Die Beobachtungsmethodik für den Nachtzug war an beiden Standorten dieselbe. Die Tagzugbeobachtungen unterschieden sich insofern, als bei Nürnberg die Tagzugechos für die automatische Verfolgung zufällig aus allen Höhenbereichen ausgewählt wurden, während die Tagzugbeobachtungen bei Stuttgart vor allem auf tief (unter 500 m) fliegende Vögel ausgerichtet wurden, um wenn möglich mit dem Randecker Maar (Gatter 1978) vergleichbare Daten zu erhalten.

Alle Zeitangaben sind Mitteleuropäische Zeit (MEZ), also GMT + 1 h bzw. Mitteleuropäische Sommerzeit – 1 h.

2. Ergebnisse

2.1. Zusammensetzung und tageszeitlicher Verlauf des Zuges

Die Flügelschlagmuster der im Raum Nürnberg einzeln verfolgten Nachtzieher zeigen eine für das Binnenland Mitteleuropas typische Zusammensetzung: Im September und Oktober machten die Singvögel 90 % des Zuges aus,

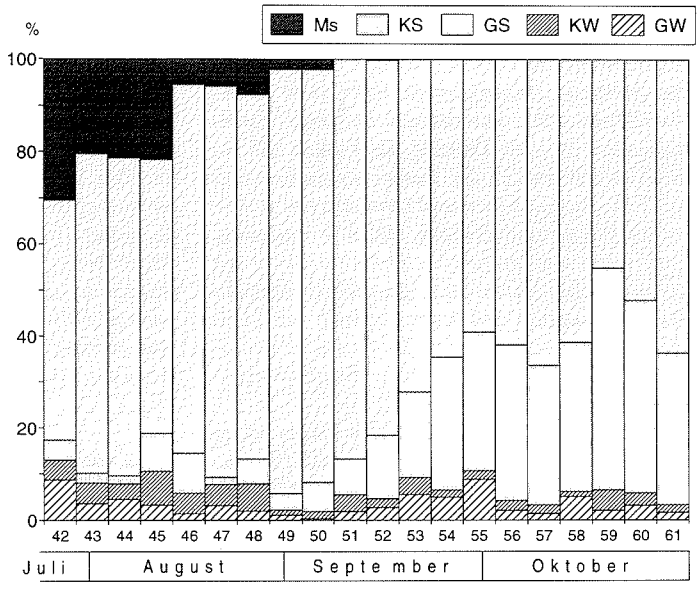

Abb. 2. Pro Pentade gemittelte Anteile von 5 Flügelschlagklassen (identifiziert aufgrund von Echosignaturen) am Nachtzug im Verlauf des Herbstes (Raum Nürnberg). GW = grosse Wat- und Wasservögel, KW = kleine Wat- und Wasservögel, Ms = Mauersegler, GS = grosse Singvögel, KS = kleine Singvögel. – *Average percentage per five-day period of five wing-beat classes, identified by echo signatures, in the course of nocturnal autumn migration in the area of Nuremberg. GW = big waders and waterfowl, KW = small waders and waterfowl, Ms = Common Swifts, GS = big passerines, KS = small passerines.*

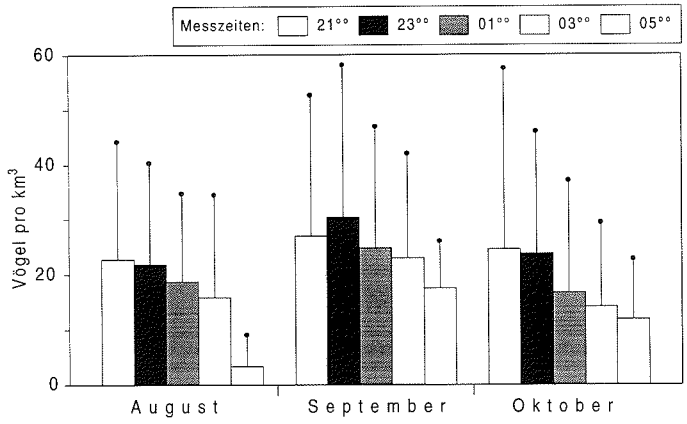

Abb. 3. Zugdichten (Mittelwert im Höhenbereich bis 4000 m über Boden) im Verlauf der Nacht (Mittelwerte und Standardabweichungen für die Standardmesszeiten in MEZ) für drei Monate im Raum Nürnberg. – *Densities of bird migration (average within the total height zone up to 4000 m a.g.l.) in the course of the night (mean and standard deviation) for three months near Nuremberg (measuring times in CET, i.e. GMT + 1 h).*

wobei der Anteil der grossen Singvögel (intermittierende Muster mit Schlagfrequenzen unter 12 Hz) von anfänglich unter 10 % auf 30–50 % im Oktober anstieg (Abb. 2). Im August enthielt der Zug einen relativ grossen Anteil an Mauerseglern; dieser nahm von 20 % in den ersten 3 August-Pentaden (30. Juli bis 13. August) auf unter 10 % in der Monatsmitte ab und verschwand bis Mitte September.

Der Tagzug setzt in Mitteleuropa vor allem ab Mitte September ein (u.a. mit Greifvögeln und Schwalben) und erreicht seinen Höhepunkt mit dem Durchzug der Finken im Oktober (Bruderer & Winkler 1976). Die im Tagzug bei Stuttgart identifizierten Radarziele (nahe vorbeifliegende, automatisch verfolgte Ziele) bestanden zu zwei Dritteln aus Finken (38 %) und Schwalben (26 %). Ferner waren Lerchen mit 7 %, Ringeltauben und Drosseln mit je 4 % sowie Pieper und Stelzen mit 3 % vertreten. Greifvögel wurden bei der Zielauswahl für die automatische Verfolgung gegenüber anderen Zielen bevorzugt und waren deshalb mit 15 % überproportional vertreten. Es ist davon auszugehen, dass ihr Anteil in den Zugdichtemessungen deutlich geringer war.

Der tageszeitliche Verlauf des Zuges ist in Mitteleuropa nicht anders als in Israel (Bruderer 1994, 1996) und im westlichen Mittelmeerraum (Bruderer et al. 1996, Liechti et al. 1997): Wenige Minuten nach Sonnenuntergang setzt der Zug mit einzelnen Echos ein; die Echosignaturen deuten entweder auf Limikolen oder auf Schwarmechos (die aufgrund der Echosignaturen nicht identifiziert werden können). Etwa 0,5–1 h nach Sonnenuntergang (etwa mit dem Ende der Dämmerung) setzt bei günstigen Wetterverhältnissen der Singvogelzug massiv ein; er erreicht bis zur Messung um 21 h (Ende September ca. 3 h nach Sonnenuntergang) oft bereits die maximale Intensität (Abb. 3). Der Verlauf innerhalb der Nacht kann je nach Wetter stark schwanken; meist beginnt die Dichte aber nach Mitternacht langsam abzunehmen, um in der Morgendämmerung zu versiegen beziehungsweise vom Tagzug abgelöst zu werden. Im August liegt die 5-h-Messung bereits im Bereich der Dämmerung und zeigt deshalb sehr geringe Zugdichten. Der Tagzug setzt kurz vor Sonnenaufgang ein und erreicht sein Maximum etwa eine Stunde später (im Oktober zwischen 7 und 8 h), dauert bis gegen 9 oder 10 h mit ähnlicher Intensität an und klingt bis gegen Mittag ab. Zuweilen tritt im frühen Nachmittag nochmals etwas erhöhte Zugaktivität auf (Gehring 1963[1], Bruderer 1966).

[1] Das von Gehring (1963) am Überwachungsradar beobachtete Dichtemaximum etwa eine halbe Stunde vor Sonnenaufgang könnte auch von aus höheren Schichten durch den Optimalbereich des Radarstrahls absinkenden (und dabei maximale Echostärke erreichenden) Nachtziehern stammen.

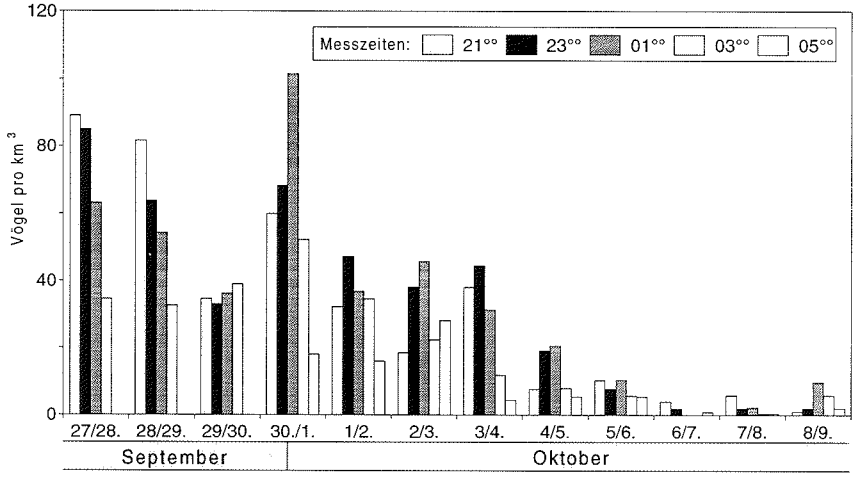

Abb. 4. Verlauf des Nachtzuges in Stuttgart (27.9.–9.10.87). Die ersten drei Nächte umfassen je vier, die übrigen fünf Messungen. – *Variation of intensity of nocturnal migration at Stuttgart (27 Sept. until 9 Oct. 1987). The first three nights comprise four, the following nights five measurements per night.*

2.2. Zugdichten und Zughöhen

2.2.1. Saisonale und tageszeitliche Variation der Zugdichte

Die über alle Höhenbereiche gemittelten Zugdichten pro Messung erlauben die Beurteilung des Zugverlaufs innerhalb der Beobachtungsperiode und der einzelnen Nächte im Raum Stuttgart. Im ersten Drittel der Beobachtungsperiode herrschte starker, im zweiten Drittel mässiger und im letzten Drittel schwacher Nachtzug (Abb. 4).

Der zeitliche Ablauf innerhalb der einzelnen Nächte variierte erheblich (Abb. 4). In der Nacht mit stärkstem Zug im Datensatz von Stuttgart wies die Messung um 1 h die grösste Zugdichte auf. Auch das Absinken der Zugintensität nach 1 h kann verzögert sein; in der Nacht vom 29./30. September stieg die Zugdichte nach Mitternacht noch bis zur 3-h-Messung leicht an, und in der Nacht vom 2./3. Oktober ergab die 5-h-Messung einen höheren Wert als die Messung um 3 h.

2.2.2. Zughöhen und Zugdichten im Nachtverlauf

Die im Raum Stuttgart beobachtete Veränderung der Zughöhe innerhalb der Nacht (Abb. 5) ist charakteristisch für den Zugverlauf bei schönem Wetter (die Schlechtwetternächte vom 5.–9. Oktober tragen nur wenig zur Gesamtechozahl bei). Die Höhenverteilungen von 21 h, 23 h und 1 h sind sehr ähnlich, abgesehen davon, dass nach der ersten Messung der Anteil der Vögel in den untersten beiden Intervallen (0–400 m) zunahm. Um 5 h flogen 70 % der Vögel in den untersten 400 m. Erstaunlich ist, dass bei allgemein geringer Zugdichte am frühen Morgen immer noch ein nennenswerter Anteil auf Höhen um 2000 m zu finden war.

2.2.3. Zugintensität und Höhenverteilung nach Wetterphasen

In den ersten drei Beobachtungsnächten (27./28.–29./30.9.87) war der Nachtzug deutlich vom Boden abgehoben (Abb. 6). In den beiden ersten Nächten lag die 50-%-Grenze (Median) bei starkem Zug deutlich über 600 m, in der dritten Nacht bei mässig starkem Zug etwa auf

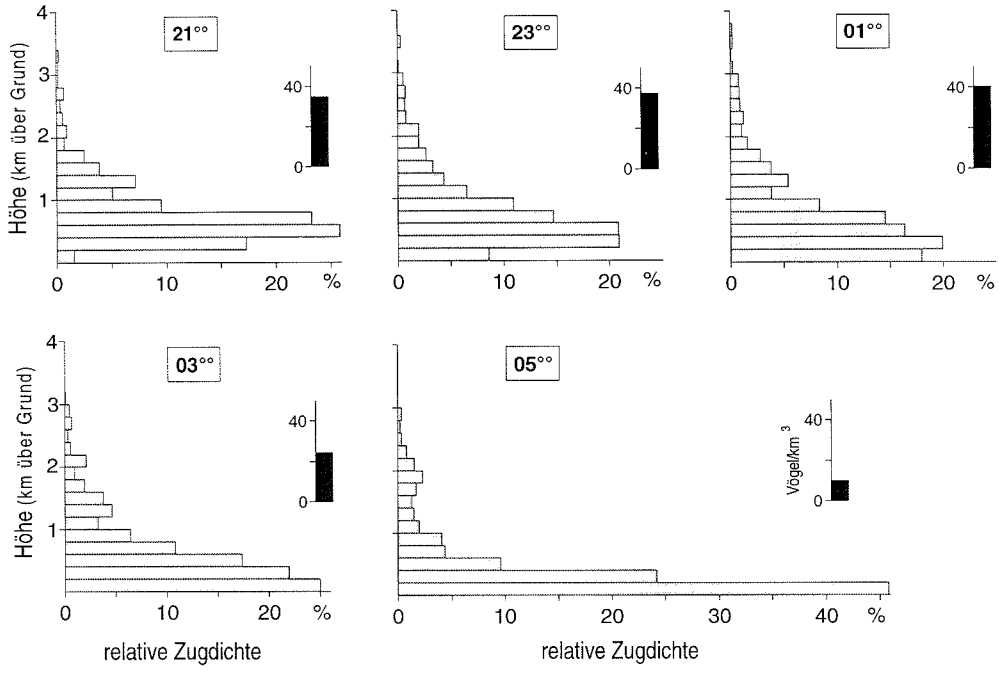

Abb. 5. Höhenverteilung des Nachtzuges im Raum Stuttgart im Verlauf der Nacht. Die Balkendiagramme zeigen die prozentuale Verteilung der Vögel in Höhenintervallen von 200 m. Die Höhe der dunklen Säule entspricht der durchschnittlichen Zugdichte pro Messzeit. Die Daten für 5 h beziehen sich nur auf die Periode vom 30. 9. bis 9.10. 87. – *Altitudinal distribution of nocturnal migration at Stuttgart in the course of the night. The bars show the distribution of the birds per height zones of 200 m. The size of the dark vertical column corresponds to the average density of migration per measuring time. The data for 5 h comprise only the period after 30 September.*

600 m. Die Obergrenze des Zuges stieg im Laufe dieser Dreitagesperiode entsprechend dem Wind von etwa 2000 auf 3000 m an. Die Wetterentwicklung war gekennzeichnet durch Hochdruckeinfluss mit nordöstlichen Winden, die in der ersten Nacht auf Bereiche unter 1000 m ü.B. (ca. 1400 m ü.M.) beschränkt waren und sich in den folgenden Nächten bis in Höhen von 3000 m ausbreiteten.

In den Nächten vom 30.9./1.10.–2./3.10. schwankte der Median bei mässigem bis starkem Zug um 400 m. In der Nacht vom 1./2. Oktober machten sich in der Höhe die ersten Anzeichen einer über Westeuropa aufziehenden Warmfront bemerkbar, die allerdings auch in den folgenden Nächten in Mitteleuropa nicht richtig wetterwirksam wurde, sondern zuerst westwärts und schliesslich (am 5. Oktober) südwärts abgedrängt wurde; immerhin drehten die Winde in den unteren Schichten (bis etwa 1200 m ü.B. und etwa 1600 m ü.M.) auf ESE; darüber herrschten sehr variable, eher schwache Winde. Neben der auf die untersten Luftschichten konzentrierten Hauptmasse des Zuges war auch in grossen Höhen noch Zug möglich, weil in allen Nächten zeitweise leichte Winde aus dem Sektor NW bis E vorhanden waren.

Die letzten vier Nächte (5./6.–8./9. Oktober) brachten entsprechend dem Wetterverlauf nur noch schwachen Zug; die wenigen noch fliegenden Vögel waren vor allem auf die unteren Bereiche konzentriert. Am 5. Oktober näherten sich von W zwei Frontsysteme; das erste (A)

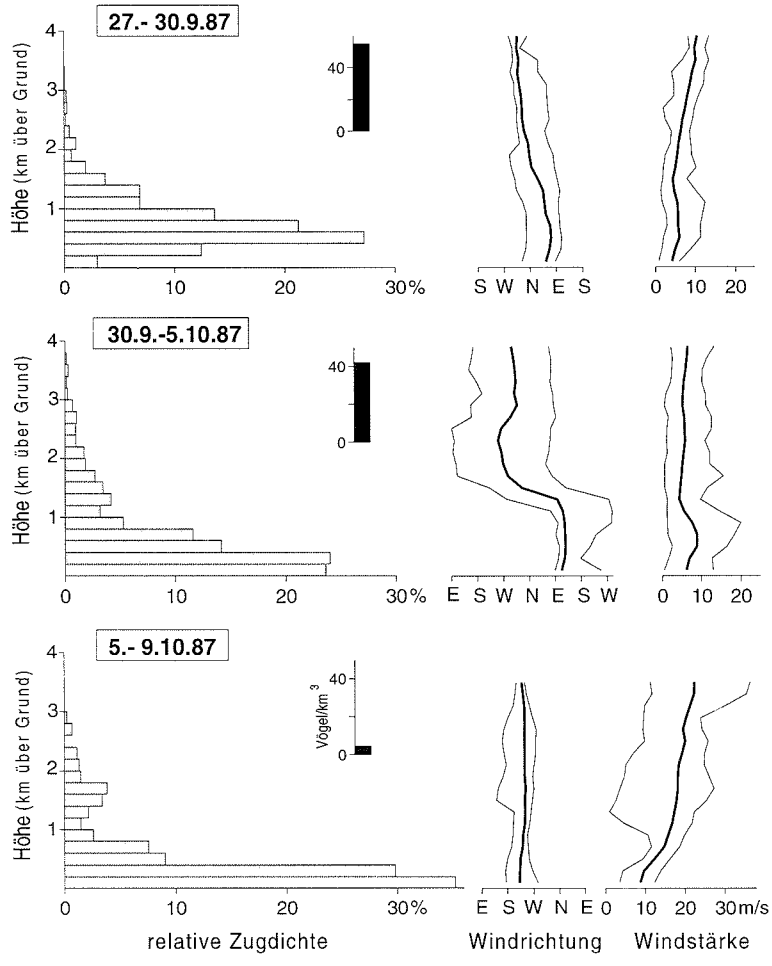

Abb. 6. Mittlere Höhenverteilung, Zugdichte und Windbedingungen für drei Nachtzugperioden im Raum Stuttgart. Die Graphiken links zeigen den prozentualen Anteil der Zugdichte pro Höhenintervall von 200 m (Mittelwert aus den Messungen von 21, 23, 1 und 3 h). Die einzelnen schwarzen Säulen rechts davon zeigen die mittlere absolute Zugintensität für die entsprechenden Zeitabschnitte. Die Graphiken für die Windrichtung und -stärke zeigen die Mittelwerte (dicke Linie) sowie den maximalen Streubereich der Werte (dünne Linien) für die Mitternachtswindmessungen aller Nächte in der entsprechenden Periode. – *Average altitudinal distribution, density of migration and wind conditions for three periods of nocturnal migration in the area of Stuttgart. The graphs to the left show the average density of migration (percentage) per height zone of 200 m (average of the measurements of 21, 23, 1 and 3 h). The dark columns show the average of the absolute density of migration for the corresponding period. The graphs to the right show the altitudinal wind profiles, thick lines = means, thin lines = range of wind directions and wind speed.*

erstreckte sich von der Ostküste Englands bis Italien und bewirkte bereits erste Niederschläge im Jura und in den Alpen, das zweite (B) erreichte im Verlauf des Tages Schottland und die NW-Ecke Spaniens. In der Nacht vom 6./7. lag Frontsystem A über Danzig und der Adria, B über Dänemark und Marseille. In der Nacht vom 7./8. lag ein neues starkes Tief über der

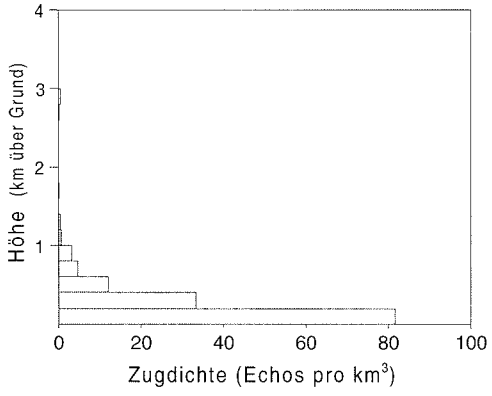

Abb. 7. Mittlere Höhenverteilung des Tagzuges bei Stuttgart in der Periode 1.–5. Oktober 1987. – *Mean altitudinal distribution of diurnal migration in the area of Stuttgart during the period of 1–5 October 1987.*

Nordsee mit Kaltfront über Frankreich und Warmfront über dem Rhein. In der Nacht vom 8./9. Oktober zog die Kaltfront nach E ab, die Winde wehten aber immer noch von SW.

2.2.4. Höhenverteilung des Tagzuges

Für den Tagzug liegen nur wenige Messungen aus dem Raum Stuttgart vor (Abb. 7). Die Zugintensität war in der Messperiode (1.–5. Oktober) sehr hoch und stärker als üblich auf die untersten Flugniveaus konzentriert: der Median lag unter 200 m, die 90-%-Grenze unter 600 m. Die mittlere Echodichte über alle Höhen betrug 4,8 Echos/km^3, wobei ein Echo des Tagzuges im Gegensatz zu jenen aus dem Nachtzug normalerweise aus mehreren Vögeln besteht. Um die Zahl der Vögel im Tagzug mit derjenigen des Nachtzuges zu vergleichen, müsste man die Echozahl aufgrund der mittleren Schwarmgrösse etwa mit einem Faktor 5 multiplizieren und käme damit auf Vogeldichten, die gut die Hälfte der Nachtzugdichten in derselben Zeit ausmachen. Man könnte sich vorstellen, dass die an sich vorteilhaften Zugbedingungen starken Zug begünstigt haben, dass aber die östlichen und z.T. südöstlichen Winde über der Alb den Zug im Windschatten der Alb komprimierten.

2.3. Vergleich der Richtungen im Tag- und Nachtzug

Die Richtungspolygone für den Tagzug beruhen auf einer geringeren Zahl von Flugwegen, sind aber als prozentuale Verteilungen mit den Nachtzugdaten vergleichbar (Abb. 8).

Die Gesamtheit der Flug- und Eigenrichtungen[2] im Nachtzug unterscheiden sich an den beiden topographisch verschiedenen Standorten unter den gegebenen Windbedingungen kaum. Die breite Streuung der Eigenrichtungen im Vergleich zu den Flugrichtungen deutet auf eine Tendenz zur Kompensation von seitlicher Winddrift. Auch im Tagzug sind die Unterschiede zwischen den beiden Standorten gering, obwohl die Daten nicht direkt vergleichbar sind: Die Tagzugdaten von Stuttgart enthalten praktisch nur Vögel im Höhenbereich unter 1000 m (mehrheitlich unter 500 m), während bei Nürnberg auch höher fliegende Tagzieher enthalten sind.

Abb. 9 vergleicht die Flug- und Eigenrichtungen des Nachtzugs an den beiden Standorten unterhalb 1000 m ü.B. Da die in Abb. 8 für Stuttgart dargestellten Tagzugrichtungen nur Flugwege unterhalb 1000 m ü.B. umfassen, sind diese Tagzug-Verteilungen direkt mit dem Nachtzug von Stuttgart in Abb. 9 vergleichbar. Der Vergleich der Richtungen unter 1000 m, die auch im Nachtzug der Hauptmasse des Zuges entsprechen, zeigt Folgendes: (1) Die Verteilung der Flugrichtungen des Nachtzuges ist an beiden Standorten praktisch gleich; (2) die Eigenrichtungen sind in Nürnberg deutlich südlicher, was auf Kompensation etwas stärkerer SE-Winde deutet; (3) die Flug- und Eigenrichtungen des Tagzuges unter 1000 m ü.B. (Abb. 7) sind südlicher gerichtet als die entsprechenden Richtungsverteilungen des bodennahen Nachtzuges (Abb. 9) (Watson-U^2 nach Batschelet 1981, $p < 0{,}001$).

[2] Als Flugrichtung wird die aufgrund der eigenen Flugleistung und des wirkenden Windvektors gegenüber dem Boden eingehaltene Richtung bezeichnet, während die Eigenrichtung der Richtung der Körperachse des oft schräg zum Wind fliegenden Vogels entspricht (Liechti 1993).

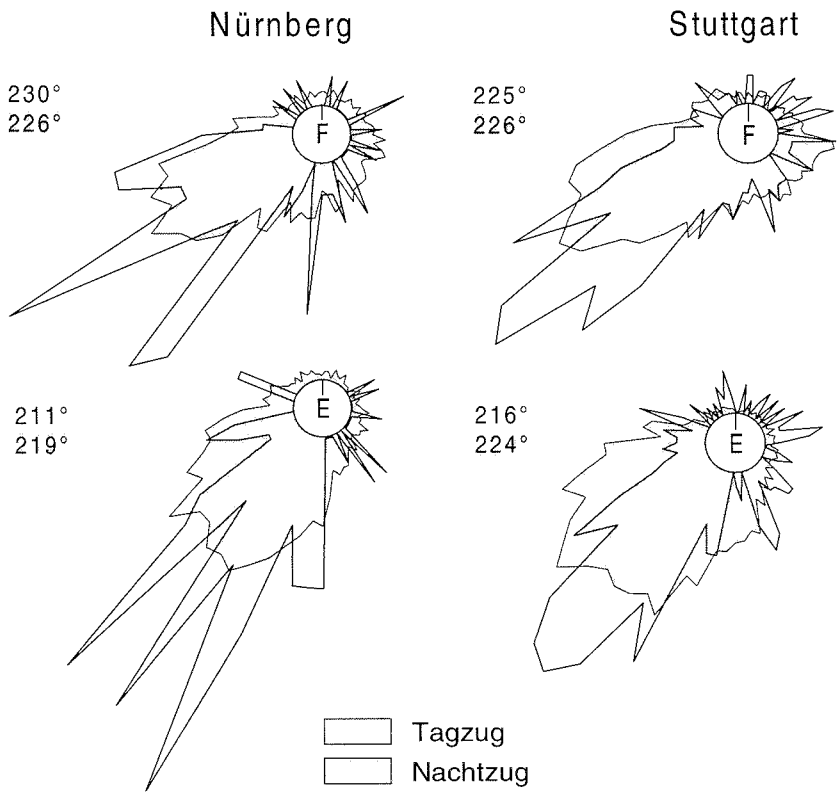

Abb. 8. Vergleich zwischen den Richtungen des Nachtzuges und des Tagzuges an zwei Standorten. F = Flugrichtungen; E = Eigenrichtungen. Für jedes Richtungspolygon ist die Mittelrichtung in Grad angegeben. Stuttgart: Nacht n = 2109, Tag n = 232; Nürnberg: Nacht n = 1801, Tag n = 98. – *Comparison of the directions of nocturnal (shaded) and diurnal (blank) migration at two sites in southern Germany; mean direction indicated for each polygone. F = tracks; E = headings. Sample sizes for night and day are 2109 and 232 at Stuttgart, 1801 and 98 at Nuremberg.*

3. Diskussion

Die im Raum Nürnberg festgestellte *Zusammensetzung des Nachtzuges* (Abb. 2) dürfte für Mitteleuropa typisch sein: Die Hauptmasse der ziehenden Vögel bestand aus Singvögeln, im August ergänzt durch Mauersegler. Der Anteil der kontinuierlich mit den Flügeln schlagenden Vögel (in Mitteleuropa vorwiegend Wat- und Wasservögel) lag hier wie auch im Frühlingszug über dem Schweizer Mittelland unter 10 % (Bruderer 1971). In Küstengebieten dürfte der Anteil kontinuierlich flügelschlagender Arten bedeutend höher sein. Er lag auch im S Israels (Negev und Aravatal) im Bereich von 25 % (Liechti & Bruderer 1995), wobei über den Wüstengebieten Süd-Israels neben Wat- und Wasservögeln auch andere Arten (z.B. Turteltauben und Wachteln) in dieser Flügelschlagklasse enthalten sind (Bruderer 1994).

Der generelle saisonale Verlauf des Nachtzuges (Abb. 3), mit im September gegenüber August und Oktober leicht erhöhten Dichten, ergibt sich aus dem anfangs August noch relativ schwachen Zug der ersten Langstreckenzieher und dem in der zweiten Oktoberhälfte

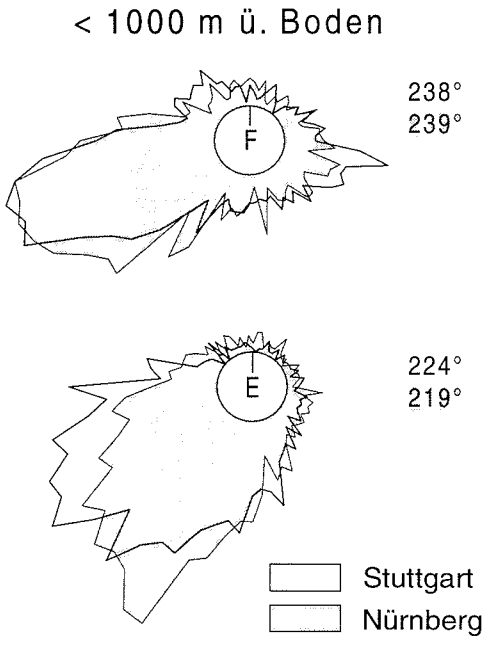

Abb. 9. Vergleich zwischen den Richtungen des Nachtzuges unter 1000 m ü.B. an zwei Standorten. Mittelrichtung pro Polygon in Grad. F = Flugrichtungen; E = Eigenrichtungen. Stichproben: Stuttgart n = 1131, Nürnberg n = 994. – *Comparison of the directions of nocturnal migrants below 1000 m above ground level at two sites; mean direction indicated for each polygone; F = tracks; E = headings. Sample sizes are 1131 for Stuttgart and 994 for Nuremberg.*

langsam abklingenden Nachtzug der Kurzstreckenzieher. Dieser Verlauf des Nachtzuges wird auch durch langfristige Fangdaten bestätigt (Jenni 1984, Baumgartner 1997). Im S Israels ist die Herbstzugperiode verkürzt durch das im Vergleich zu Mitteleuropa verspätete Eintreffen der Langstreckenzieher und einen sehr geringen Anteil an südlich des Wüstengürtels überwinternden Kurzstreckenziehern (Bruderer & Liechti 1995).

Der mit fünf Messungen pro Nacht erfasste *nächtliche Zugdichte-Verlauf* (Abb. 4) zeigt eine generelle Tendenz zur Abnahme von 21 bis 5 h. Die Aufbruchsphase wurde hier nicht erfasst; sie dürfte entsprechend den Beobachtungen auf der Insel Mallorca auf den engen Zeitraum zwischen Dämmerung und 1,5 bis 2 h danach beschränkt sein (Bruderer et al. 1996, Liechti et al. 1997). Ein Ansteigen der Zugintensität bis gegen Mitternacht ist möglich, wie die detaillierten Beobachtungen bei Stuttgart zeigen. Für den Frühlingszug im Schweizer Mittelland war dies sogar die Norm (Bruderer 1971). Die starke Variation des Zugverlaufs innerhalb der einzelnen Nächte wurde hier nicht auf ihre Ursachen untersucht. Aus langjähriger Erfahrung ergibt sich aber, dass lokale Wetterphänomene den Aufbruch verzögern, Zugwellen induzieren oder vorzeitige Landung verursachen können. Auch die Anzahl rastender Vögel in den nordöstlich gelegenen Einzugsgebieten kann von Nacht zu Nacht variieren und damit den Zeitpunkt des Eintreffens von Zugwellen am Beobachtungsort beeinflussen. Ein auffallender Unterschied hinsichtlich Rastmöglichkeiten und Zugbeginn zeigte sich z.B. an zwei nur 45 km auseinander liegenden Radarstationen im S Israels: In der Halbwüste des Negev-Hochlandes mit guten Rastmöglichkeiten wurde das Zugmaximum rasch nach der Dämmerung erreicht, während unter den sehr kargen, wüstenartigen Bedingungen im Aravatal (S des Toten Meeres) höchste Zugdichten meist erst etwa 2 h nach der Dämmerung auftraten, weil die Vögel zuerst aus den guten Rastgebieten im N Israels (z.B. Samaria, Galiläa) anfliegen mussten (Bruderer 1994, Bruderer & Liechti 1995).

Die ab 21 h festgestellte kontinuierliche Abnahme der *Zughöhen im Nachtverlauf* (Abb. 5) ist auch für den Frühlingszug im Schweizer Mittelland typisch (Bruderer 1971). Beobachtungen in Israel haben gezeigt, dass das Aufsteigen der Vögel in der (in S-Deutschland nicht erfassten) Aufbruchphase sehr rasch erfolgt und verbunden ist mit dem Auffinden der bezüglich Windeinwirkung günstigsten Höhen (Bruderer et al. 1995). Die in den Messungen bei Stuttgart bereits ab 23 h sichtbare Zunahme des Anteils an Vögeln in den untersten Luftschichten lässt darauf schliessen, dass die ersten Vögel bereits wenige Stunden nach dem Start wieder zur Landung ansetzen.

Beim *Vergleich von Zughöhe und Zugintensität mit dem Wetter* (Abb. 6) zeigte sich, dass die Hauptmasse des Nachtzuges im Raum Stuttgart unter 1000 m ü.B. ablief; der Median

lag bei gutem Wetter auf Höhen um 600 m. Nur etwa 10 % der Vögel flogen höher als 2000 m. Der Frühlingszug im Schweizer Mittelland ist tendenziell etwas höher (Bruderer 1971); im Prinzip sind aber die hier festgestellten Höhenverteilungen für den Nachtzug in Mitteleuropa charakteristisch. Sie entsprechen auch ungefähr der Höhenverteilung des Herbstzuges im S Israels, während der Frühlingszug dort aufgrund der Passatwind-Verhältnisse deutlich höher abläuft als der Herbstzug (Bruderer & Liechti 1995, Bruderer et al. 1995). Analog zum Frühlingszug im Schweizer Mittelland (Bruderer 1971) zeigt sich auch in den vorliegenden Daten, dass der Herbstzug bei schönem Wetter mit nordöstlichen Winden eher hoch und intensiv ist. Gegenwind und schlechtes Wetter reduzieren in der Regel Zughöhe und Zugintensität (siehe dazu auch Baumgartner 1997 für die Zugintensität im Nachtzug und Hilgerloh 1981 für den Tagzug). In den Daten von Stuttgart (Abb. 6) stimmt dies allerdings nur insofern, als sich der Zug in der zweiten und dritten Phase der Wetterentwicklung vermehrt in den unteren Luftschichten konzentrierte; der Zug in grosser Höhe war möglich, weil in allen Nächten zeitweise Schwachwinde aus nördlichen bis östlichen Richtungen zur Verfügung standen. Sogar in der Schlechtwetterphase vom 5.–9. Oktober gab es einzelne Vögel, die trotz mit der Höhe zunehmendem Gegenwind noch auf 3000 m aufstiegen. Die dazu untersuchten Flugwege, zeigten, dass die Vögel dort mehrheitlich nach E verdriftet wurden.

Der *Tagzug* (Abb. 7) war in der kurzen Beobachtungsperiode in Stuttgart nicht nur deutlich tiefer (Median auf 175 m ü.B.) als der Nachtzug in dieser Zeit (Median ca. 450 m ü.B.), sondern auch tiefer als die über längere Zeit gemessene Höhenverteilung des Tagzuges im Frühling über dem Schweizer Mittelland (Median auf 400 m ü.B.). Diese geringen Flughöhen sind im konkreten Fall zu begründen durch ungünstige, im Mittel westliche Winde über etwa 1200 m ü.B. und nur leicht von der Zugrichtung abweichende ESE-Winde unterhalb davon. Generell ist zu erwarten, dass der Frühlingszug durchschnittlich in grösserer Höhe erfolgt als der Herbstzug, weil sich die häufigen W- bis SW-Winde im Frühlingszug als Rückenwinde positiv auswirken.

Die Beobachtung, dass sich *Flug- und Eigenrichtungen* des Nachtzuges an den beiden Standorten in der kurzen von SE-Winden beeinflussten Beobachtungsperiode kaum unterschieden (Abb. 8), stimmt überein mit der in längeren Beobachtungsperioden gemachten Feststellung, dass die Flugrichtungen über Süddeutschland wenig von der Topographie, aber stark vom Wind beeinflusst werden (Bruderer & Jenni 1990). Die resultierenden Flugrichtungen sind westlicher ausgerichtet als die nach Bruderer & Liechti (1990) für Süddeutschland typische Basisrichtung von 230°, am ausgeprägtesten unter 1000 m ü.B. (Abb. 9).

Der Vergleich der unterhalb von 1000 m ü.B. fliegenden Nachtzieher (Abb. 9) mit den bei Stuttgart aus methodischen Gründen auf die untersten Luftschichten beschränkten Tagziehern (Abb. 8) zeigt einen erheblichen Unterschied zwischen Tag- und Nachtzug an der Schwäbischen Alb: Aus dem Vergleich von Flug- und Eigenrichtungen ergibt sich, dass die Tagzieher mit weniger starkem SE-Wind zu kämpfen hatten (möglicherweise weil die meisten unter 500 m und damit im Windschatten der Alb flogen). Eine weitere Interpretationsmöglichkeit ist, dass Tagzieher einen der in südwestlicher Richtung vorhandenen Einschnitte in den Albtrauf (z.B. das Tal der Giessnaub oder der Lauter) sehen könnten und bereits aus Distanzen von 7–10 km anvisierten. Solches Verhalten könnte allenfalls die lokalen Konzentrationseffekte, wie sie für das Randecker Maar beschrieben sind (Gatter 1978) noch erhöhen. In sehr viel geringerem Ausmass, aber doch in Analogie zu den am Alpenrand beobachteten Konzentrationen (Bruderer 1996), könnte man sich vorstellen, dass bei westlichen und nordwestlichen Winden gegen S und SE verdrifteter bodennaher Zug zusätzlich am Albrand konzentriert würde.

Dank. Der Schweizerische Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung finanzierte die Feldarbeit. T. Steuri entwickelte die Registriergeräte und -programme und sorgte für die Betriebsbereitschaft der Radaranlagen. M. Baumgartner leitete die Radarstation in Ohmden bei Stuttgart; W. Gatter half bei der Standortsuche und zum Teil auch

bei den Beobachtungen. Wir danken besonders all den freiwilligen Mitarbeitern, die nächtelang am Radar ausgeharrt und unter zum Teil schwierigen Bedingungen zum Gelingen des Projektes beigetragen haben. Unsern Kollegen an der Vogelwarte Lukas Jenni, Matthias Kestenholz und Dieter Peter sowie dem Redaktor und zwei Reviewern danken wir für die kritische Durchsicht des Manuskriptes. Gabriele Hilke übersetzte und Bernard Volet kontrollierte die französische Zusammenfassung.

Zusammenfassung, Résumé, Summary

Eignung und Einschränkungen verschiedener Typen von Radaranlagen für das Studium des Vogelzuges sind in einer Kurzübersicht zusammengefasst. Eine spezielle Form von Radaranlagen mit eng gebündeltem Strahl, der Zielfolgeradar, kann nicht nur Ziele in allen drei Dimensionen lokalisieren, sondern ausgewählte Ziele auch automatisch verfolgen. Die hier verwendete «Superfledermaus» kann sowohl für die Zielverfolgung als auch für die Raumüberwachung eingesetzt werden. Bei der Überwachung wird durch die Abtastung einer Halbkugel von 6 km Radius um den Radar die räumliche Verteilung der Vögel festgestellt.

Die Zusammensetzung des Vogelzuges in Süddeutschland war charakterisiert durch (a) einen hohen Anteil an Singvögeln (bis zu 90 % spät in der Saison), (b) durch Mauersegler (20–30 % zu Beginn der Saison) und (c) durch üblicherweise weniger als 10 % Wat- und Wasservögel. Die Zugdichten im Raum Nürnberg nahmen vom August zum September leicht zu und im Oktober wieder ab. In allen drei Zeiträumen zeigte die Messung um 21 h bereits hohe Zugintensitäten. Diese hohe Anfangsdichte war normalerweise gefolgt von einer graduellen Abnahme. Bedeutende Variation innerhalb und zwischen Nächten führte aber zu Abweichungen von dieser Regel.

Die Zughöhe war jeweils am höchsten in der Messung um 21 h und nahmen im Verlauf der Nacht ab. Die Zusammenfassung von Perioden mit ähnlichen Wetterverhältnissen ergab bedeutende Anpassungen des Zuges an den Wind: insbesondere reduzierte Zugintensitäten und Flughöhen bei Winden entgegen der Zugrichtung und erhöhte Intensitäten und Flugniveaus bei Winden mit Rückenwindkomponenten (auch wenn diese nur zeitlich beschränkt zur Verfügung standen). Der Tagzug war in der kurzen, von schönem Wetter und südöstlichen Winden begleiteten Untersuchungsperiode erheblich tiefer (Median auf 175 m) als der Nachtzug (Median auf 450 m).

Flug- und Eigenrichtungen des Nachtzuges zeigten keine wesentlichen Unterschiede nach Standort. Unterschiede zwischen Flug- und Eigenrichtungen deuten auf durch SE-Wind bedingte Verdriftung. Flug- und Eigenrichtungen der in geringer Höhe (meist unter 500 m ü.B.) verfolgten Tagzieher an der Schwäbischen Alb wichen südwärts vom Nachtzug unter 1000 m ü.B. ab; geringere Winddrift im Windschatten der Alb und allenfalls Anflug gegen im SW liegende Taleinschnitte im Albtrauf werden als mögliche Ursachen für diesen Unterschied vorgeschlagen.

Intensités, altitudes et directions de la migration automnale diurne et nocturne au sud-ouest de l'Allemagne

Les qualifications et limites de différents radars pour l'étude des migrations d'oiseaux sont brièvement résumées. Le radar de conduite de tir est un type particulier de radar à faisceau condensé qui est capable non seulement de localiser des objets dans l'espace, mais également de les poursuivre automatiquement. La «Superfledermaus» est un ancien radar de conduite de tir de la défense aérienne qui peut être employé aussi bien pour la poursuite d'objets que pour la surveillance spatiale. Utilisé dans le mode de surveillance, il fournit des données sur la distribution spatiale des oiseaux situés à l'intérieur d'une demi-sphère de 6 km de rayon.

Au sud de l'Allemagne, la migration des oiseaux était composée (a) en majorité de passereaux (jusqu'à 90 % en fin de saison), (b) de martinets (25 % en début de saison) et (c) généralement de moins de 10 % de limicoles et d'oiseaux d'eau. Dans la région de Nuremberg, les densités de la migration augmentèrent légèrement entre août et septembre et diminuèrent en octobre. Dans ces 3 périodes, les mesures effectuées à 21 h montraient déjà des intensités de migration élevées. Cette forte densité en début de nuit était généralement suivie d'une diminution progressive, mais des variations importantes pendant et entre les nuits pourraient faire exception à cette règle.

Les altitudes de vol atteignaient leur maximum lors des mesures de 21 h et diminuaient au courant de la nuit. En regroupant les périodes aux conditions météorologiques similaires, on constate une adaptation importante de la migration au vent: par vent contraire, les intensités étaient souvent faibles et les altitudes de vol basses et vice-versa par vent arrière (même s'il n'y avait des vents arrières que temporellement). Pendant la courte période d'étude accompagnée de beau temps et de vents du sud-est, la migration avait clairement lieu à des altitudes plus basses le jour (médiane de 175 m) que la nuit (médiane de 450 m).

Les directions propres et les directions de vol des migrateurs nocturnes ne différaient guère de site en site. La différence entre les directions de vol et les directions propres indique une déviation par les vents du sud-est. La majorité des migrateurs suivis par le radar pendant la journée volaient à une altitude inférieure à 500 mètres par rapport au sol. Les directions de vol des migrateurs diurnes étaient orientées plus vers le sud que ceux des migrateurs nocturnes volant en dessous de 1000 m. Cette différence est peut-être due aux vents d'est-sud-est

moins forts du côté de l'Alb protégé du vent, aussi qu'à la possibilité de se diriger vers des vallées creusées dans l'escarpement de l'Alb.

Intensity, height and directions of diurnal and nocturnal autumn migration in southwestern Germany

The features and limitations of surveillance radars, height finders and pencil-beam radars for the study of bird migration are briefly summarized. Tracking radars are a special form of pencil-beam radars, which are not only capable of locating targets in three dimensions but additionally of tracking selected targets. The «Superfledermaus» can be used in a tracking mode as well as in a surveillance mode; the latter providing data on the spatial distribution of birds in a half sphere of 6 km radius.

The composition of migration in southern Germany was characterized (a) by a high proportion of passerines (up to 90 % late in the season), (b) by swifts (20–30 % early in the season), and (c) by usually less than 10 % waders and waterfowl. The densities of migration near Nuremberg slightly increased from August to September and decreased in October. In all three periods the measurement at 21 h showed high density migration; this high take-off density was usually followed by a slow gradual decrease in the later measurement. Considerable variation within and between nights in the course of migration caused deviations from this general rule, as e.g. in September at Nuremberg (with increased density at 23 h).

The altitude of migration was highest at the beginning of the night, decreasing gradually in the course of the night. Within periods of similar weather conditions there were important adjustments of migration to the winds: mainly reduced intensity and flight levels in opposing winds compared to increased flight levels and intensities in (temporally available) following winds. Diurnal migration was considerably lower (median at 175 m) than nocturnal migration (median at 450 m) in a short migration period with good weather and southeasterly winds at the beginning of October.

The tracks and headings of nocturnal migration showed no notable difference between sites. Tracks were generally shifted westward due to SE-winds. Tracks of diurnal migrants at low levels (mainly below 500 m a.g.l.) were directed more southward than nocturnal migrants below 1000 m a.g.l.; less drift at low altitudes (on the lee-side of the Alb) and a tendency to approach valleys entering the Alb to the SW are suggested as possible reasons for this difference.

Literatur

BATSCHELET, E. (1981): Circular Statistics in Biology. London.

BAUMGARTNER, M. (1997): Wetterabhängigkeit des nächtlichen Vogelzuges im Herbst über Süddeutschland. Diss. Univ. Basel; Sempach.

BLOCH, R., B. BRUDERER & P. STEINER (1981): Flugverhalten nächtlich ziehender Vögel – Radardaten über den Zug verschiedener Vogeltypen auf einem Alpenpass. Vogelwarte 31: 119–149.

BRUDERER, B. (1966): Herbstzugbeobachtungen im Jura. Ornithol. Beob. 63: 147–165. – (1969): Zur Registrierung und Interpretation von Echosignaturen an einem 3-cm-Zielverfolgungsradar. Ornithol. Beob. 66: 70–88. – (1971): Radarbeobachtungen über den Frühlingszug im Schweizerischen Mittelland. (Ein Beitrag zum Problem der Witterungsabhängigkeit des Vogelzuges). Ornithol. Beob. 68: 89–158. – (1994): Nocturnal bird migration in the Negev (Israel) – A tracking radar study. Ostrich 65: 204–212. – (1996): Vogelzugforschung im Bereich der Alpen 1980–1995. Ornithol. Beob. 93: 119–130. – (1997a): The study of bird migration by radar. Part 1: The technical basis. Naturwissenschaften 84: 1–8. – (1997b): The study of bird migration by radar. Part 2: Major achievements. Naturwissenschaften 84: 45–54.

BRUDERER, B. & L. JENNI (1990): Migration across the Alps. In: E. GWINNER (Ed.): Bird Migration, p. 60–77. Berlin, Heidelberg.

BRUDERER, B. & F. LIECHTI (1990): Radarbeobachtungen über den herbstlichen Vogelzug in Süddeutschland und dem Schweizerischen Mittelland. Ornithol. Beob. 87: 271–293. – (1995): Variation in density and height distribution of nocturnal migration in the south of Israel. Isr. J. Zool. 41: 477–487.

BRUDERER, B., F. LIECHTI & L. UNDERHILL (1995): Altitude choice by night migrants in a desert area predicted by meteorological factors. Ibis 137: 44–55.

BRUDERER, B., F. LIECHTI & T. STEURI (1996): Migrations aviennes à travers l'ouest méditerranéen – direction de vol en printemps au-dessus de Majorque. Alauda 64: 7–16.

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.

BRUDERER, B. & E. WEITNAUER (1972): Radarbeobachtungen über Zug und Nachtflüge des Mauerseglers (*Apus apus*). Rev. Suisse Zool. 79: 1190–1200.

BRUDERER, B. & R. WINKLER (1976): Vogelzug in den Schweizer Alpen. Eine Übersicht über Entwicklung und Stand der Forschung. Angew. Ornithol. 5: 32–55.

GATTER, W. (1978): Planbeobachtungen des sichtbaren Zuges am Randecker Maar als Beispiel ornithologisch-entomologischer Forschung. Vogel-

welt 99: 1–21.

GEHRING, W. (1963): Radar- und Feldbeobachtungen über den Verlauf des Vogelzuges im Schweizerischen Mittelland: Der Tagzug im Herbst (1957–1961). Ornithol. Beob. 60: 35–68.

HILGERLOH, G. (1981): Die Wetterabhängigkeit von Zugintensität, Zughöhe und Richtungsstreuung bei tagziehenden Vögeln im Schweizerischen Mittelland. Ornithol. Beob. 78: 245–263.

JENNI, L. (1984): Herbstzugmuster von Vögeln auf dem Col de Bretolet unter besonderer Berücksichtigung nachbrutzeitlicher Bewegungen. Ornithol. Beob. 81: 183–213.

LIECHTI, F. (1993): Nächtlicher Vogelzug über Süddeutschland: Winddrift und Kompensation. J. Ornithol. 134: 373–404.

LIECHTI, F. & B. BRUDERER (1995): Directions, speed, and composition of nocturnal bird migration in the south of Israel. Isr. J. Zool. 41: 501–515.

LIECHTI, F., D. PETER, R. LARDELLI & B. BRUDERER (1996a): Herbstlicher Vogelzug im Alpenraum nach Mondbeobachtungen – Topographie und Wind beeinflussen den Zugverlauf. Ornithol. Beob. 93: 131–152. – (1996b): Die Alpen, ein Hindernis im nächtlichen Breitfrontzug – eine grossräumige Übersicht nach Mondbeobachtungen. J. Ornithol. 137: 337–356.

LIECHTI, F., T. STEURI, C. LÓPEZ-JURADO, P.L.D. RIBAS, M.A. REIS & B. BRUDERER (1997): Migration over the western Mediterranean Sea – preliminary results on the course of nocturnal spring migration on Mallorca. Ardeola 44: 207–213.

Manuskript eingegangen 27. Januar 1998
Bereinigte Fassung angenommen 11. März 1998