

Aus der Inselstation Helgoland des Instituts für Vogelforschung, „Vogelwarte Helgoland“,
Hauptsitz Wilhelmshaven

Flughöhen ziebender Vögel in Nordwestdeutschland nach Radarmessungen¹⁾²⁾

Von Jürgen Jellmann

1. Einleitung

Versuche, Aufschluß über Flughöhen von Zugvögeln zu gewinnen, lassen sich gerade für das Beobachtungsgebiet bis in die Anfänge der wissenschaftlichen Vogelzugforschung zurückverfolgen (GÄTKE 1900). Freilich schloß zu damaliger Zeit die Sichtbarkeitsgrenze des Beobachters eine auch nur annähernd vollständige Erfassung der von Vögeln aufgesuchten Luftschichten aus; ein Nachteil, der im wesentlichen erst durch Einsatz von Radar überwunden werden konnte. Im folgenden werden Meßwerte von Zughöhen behandelt, die während einer Frühjahrszugperiode unter Benutzung eines Range-Height-Indicators gesammelt wurden. Hierbei wird ein Überblick über die Verteilung der Flughöhen sowohl insgesamt als auch für den Tag- und Nachtzug gegeben. Ferner werden Zughöhen verschiedener Beobachtungstage dargestellt, darüberhinaus wird auch auf Änderungen der Höhenverteilung im Verlaufe eines Beobachtungstages sowie auf Unterschiede über der Nordsee und über dem Binnenland eingegangen. Außerdem werden Flughöhen kleiner Gruppen und sehr große Meßwerte über 3000 m gesondert ausgewertet.

2. Material und Methode

2.1. Beobachtungszeiten und Untersuchungsgebiet

Die Höhenmessungen wurden im Rahmen von Untersuchungen durchgeführt, die hauptsächlich der räumlichen und zeitlichen Erfassung des Zugeschehens am Rundumsuchgerät der Radarstation Brockzettel in Ostfriesland dienten (JELLMANN 1977, 1979a, JELLMANN & VAUK 1978). Da infolge der Funktionsweise eines „nodding heightfinder“ nur ein Radarschirm zur Verfügung steht, konnte die Anlage immer nur dann ornithologisch genutzt werden, wenn kein Flugverkehr zu kontrollieren war, so daß die Auswertungsmöglichkeiten des gewonnenen Datenmaterials eingeschränkt sind. Die hier mitgeteilten Ergebnisse beziehen sich auf den Zeitraum vom 3. bis 25. April 1971 mit deutlichem Schwerpunkt in der ersten Aprildekade, in der die Anlage systematisch genutzt werden konnte. Ergänzende Messungen, die — soweit sie hier berücksichtigt werden —, vorwiegend der Klärung methodischer Fragen dienten, wurden im August 1977 vorgenommen.

Das Gerät gestattet die Ermittlung der Flughöhen von Vögeln in der Regel im Umkreis von ca. 120 km um die Station. Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich im Norden über weite Teile der Deutschen Bucht, nach Osten bis an die Westküste Schleswig-Holsteins (Dithmarschen) und bis zum Mündungstrichter der Elbe. Nach Süden hin schließt sich die Niedersächsische Tiefebene an, und im Westen werden die östlich der Zuidersee liegenden Gebiete der Niederlande erfaßt. Daher bestehen im gesamten Gebiet gleichmäßig günstige Erfassungsmöglichkeiten hinsichtlich der Topographie, nähere Angaben hierzu nach JELLMANN (1977).

2.2. Arbeitsweise des Gerätes

Die Antenne, die mehrere Nickbewegungen pro Minute ausführt, kann vom Radarschirm aus in alle Richtungen gedreht werden, die jeweilige Stellung wird in Grad angezeigt. Auf dem Bildschirm zeichnen sich die Echos bei jeder Nickbewegung der Antenne als Striche ab, die so unterschiedlich ausgeprägt sind, daß je nach rückgestrahlter Energie (zur Erklärung s. JELLMANN 1979b) einerseits große Schwärme und

¹⁾ Mit Unterstützung der I./FmRgt. 34 der Deutschen Luftwaffe, Aurich, und des Amtes für Wehrgeophysik der Bundeswehr, Traben-Trarbach.

²⁾ Forschungsprogramm Radarornithologie der Inselstation Helgoland des IfV, Mitteilung Nr. 12.

andererseits kleine, lockere Verbände bzw. größere Einzelvögel unterschieden werden können. Ein Schwarm zeichnet sich auf dem Sichtgerät als kräftiger Strich ab, der während mehrerer Nickbewegungen der Antenne mindestens eine halbe Minute lang sichtbar bleibt. Bei großen Verbänden kommt es sogar zur Ausbildung mehrerer nebeneinander stehender Echos. Sehr kleine Gruppen oder Einzelvögel fliegen dagegen spätestens nach 20 s aus dem Peilstrahl der Antenne und müssen zur genauen Höhermittlung häufig neu angepeilt werden, zumal diese schwach ausgeprägten Echos nicht selten nur während einer einzigen Nickbewegung der Antenne zeichnen.

Das Gerät arbeitet mit einer Wellenlänge von 10 cm und zeichnet sich durch eine hohe Peilgenauigkeit aus. Gegenüber dem von EASTWOOD (1967) beschriebenen älteren Typ ergeben sich erhebliche Verbesserungen sowohl hinsichtlich der Reichweite als auch vor allem in Bezug auf Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Anzeige. Technische Daten können aus Gründen der militärischen Geheimhaltung nicht mitgeteilt werden.

Das Ablesen der Höhenwerte kann nicht direkt erfolgen — nur bei der Entfernung ist dies möglich —, sondern muß mit Hilfe eines Meßstrahls (Cursor) vorgenommen werden. Dieser wird mit einem Hebel an das Echo geführt, wobei gleichzeitig ein Zählwerk in Betrieb gesetzt wird, das die gesuchte Höhe in ft³⁾ anzeigt. Allerdings ist vor der Auswertung dieser Meßergebnisse der Meßfehler solcher Anlagen zu berücksichtigen. Dem wurde durch Rundung der Werte auf Höhengschichten von je 500 ft (150 m) Rechnung getragen. Alle im folgenden mitgeteilten Höhenangaben sind auf MSL (Mean Sea Level) bezogen und in m umgerechnet (und gerundet).

Besondere Probleme ergeben sich hinsichtlich der Ortung von Vogelechos in den bodennahen Luftschichten. Das Gerät arbeitet so genau, daß auch in größerer Entfernung Bodenechos dargestellt werden, die das schnelle Erkennen von tief fliegenden Vögeln stören. Im 150-m-Höhenintervall können bis zu 50 km Entfernung Echos registriert werden. Unterhalb dieses Bereichs sind keine Messungen möglich. Äußerst schwierig und vor allem zeitraubend gestaltet sich der Versuch, aus der Vielzahl der bodennahen Echos diejenigen herauszufinden, die von Zugvorgängen herrühren. Als Kriterium diente die Richtung, die durch Nachdrehen der Antenne bei der Verfolgung des jeweiligen Echos, das dabei auch seine Entfernung zur Station ändert, relativ leicht zu beurteilen ist.

2.3. Meßmethoden

Die Gewinnung von Meßdaten erfolgte durch manuelle Eintragung der abgelesenen Werte in vorbereitete Listen; neben der Flughöhe wurden Zeit, Entfernung von der Station, Stärke der Echos und Stellung der Antenne notiert. Aus diesen Angaben kann auch die räumliche Verteilung der Echos um die Station ermittelt werden, so daß Vergleiche mit dem Zugbild des Rundumsuchgerätes, das vor und nach einer Höhen-Meßreihe photographisch festgehalten wurde, möglich sind. Dieses Verfahren wurde methodisch den Zugverhältnissen angepaßt, indem bei schwachem Zug (JELLMANN 1977) die auf dem Rundumsuchgerät erkennbaren Echos gezielt aufgesucht und angemessen und bei mittlerem Zug der gesamte Erfassungsbereich durch langsame, kleinschrittige Drehungen der Antenne abgetastet wurde. Bei starkem Zug dagegen wurde die Antenne quer zur Hauptzugrichtung gestellt und die durch das Strahlenbündel fliegenden Vögel registriert, wobei sich gelegentlich die Schreibgeschwindigkeit des Verfassers als begrenzender Faktor erwies. Dies Verfahren, bei dem zwar nur ein Teil des Zuges kontrolliert wird, scheint bei starkem Zug die gleichmäßigste Erfassung in allen Höhenbereichen zu ermöglichen. Wie Versuche zur Selbstkontrolle im August 1977 zeigten, achtet man als Beobachter unwillkürlich stärker auf Echos in größeren Höhenbereichen etwa ab 1500 m, während bei gleichzeitiger Anwesenheit sehr vieler Echos ein Teil der unteren Intervalle vernachlässigt wird. Es wurden deshalb einige bei starkem Zug gewonnene Meßreihen, die nach der Methode für mittleren Zug (s. o.) durchgeführt wurden, verworfen.

Im Gegensatz zum Rundumsuchgerät erlaubt ein Höhenradar auch die Erfassung von Echos über oder unter einer Nebeldecke. Da die Vögel bei solchen atmosphärischen Bedingungen stark abweichende Höhen wählten, bleiben in dieser Studie Meßwerte, die bei Nebel registriert wurden, unberücksichtigt, es sei denn, sie sind ausdrücklich erwähnt (Abschnitte 3.3., 3.5.).

Für Diskussionen und Durchsicht des Manuskriptes danke ich meinen Kollegen aus der Arbeitsgruppe Radarornithologie an der Inselstation der „Vogelwarte Helgoland“, den Herren Dr. D. MORITZ, Dr. G. VAUK, TH. CLEMENS und P. KÄTSCHE.

³⁾ ft: feet; Maßeinheit sämtlicher Höhen-Radargeräte, die im internationalen Luftverkehr eingesetzt sind.
1 ft $\hat{=}$ 0,3048 m.

3. Ergebnisse

3.1. Die Verteilung der Zughöhen des gesamten Beobachtungszeitraumes

Eine zusammenfassende Auswertung sämtlicher Höhenmessungen ($n = 3097$) ist in Abb. 1 vorgenommen. Die Frequentierung der einzelnen Höhenstufen von je 150 m ist als Prozentzahl aus der Darstellung ablesbar. Es fällt besonders auf, daß der Luftraum zwischen 450 und 900 m deutlich von den Vögeln bevorzugt wurde, denn allein rund 60% aller gemessenen Echos bewegten sich innerhalb dieser Höhen. Das Ausnutzen der darüber liegenden Luftschichten nahm sehr schnell ab, denn bereits 83,5% der Zugvögel blieben unter 1500 m, und 93% aller Echos konnten in Höhen bis 2400 m gemessen werden. Insgesamt liefen weniger als ein Drittel aller Zugscheinungen in Luftschichten über 1000 m ab. Nur 1,5% aller Echos wurden in Höhen über 3000 m gefunden (siehe 3.3.).

Die im untersten Meßbereich (150 m) registrierten Echos wurden nicht in die Auswertung einbezogen, obgleich diese Luftschicht am stärksten beflogen wurde. An 68% der überprüften Echos konnte nämlich festgestellt werden, daß die beim Heimzug vorherrschenden Richtungen nicht eingehalten wurden. Vielmehr ließen sich in diesem Höhenbereich häufig schleifen- oder bogenförmige Flugwege verfolgen. Außerdem tauchte ein Großteil dieser Echos nur kurzzeitig auf oder es kam, auch im günstigsten Erfassungsbereich des Gerätes, zu Fluktuationen. Diese Echos zeigen daher keine Zugbewegungen an, sie bedeuten wohl vorwiegend, je nach Tageszeit, Nahrungs- und Schlafplatzflüge. Die restlichen 32% dieser tiefliegenden Echos erlaubten z. T. überhaupt keine Richtungsbestimmung, ein anderer Teil dürfte Durchzüglern zuzuschreiben sein, die, auf der Suche nach geeigneten Nahrungs- oder Rastplätzen in einem unbekanntem Gebiet, ihre generelle Zugrichtung auch in niedriger Höhe bis zur Landung beibehalten. Weiträumige Zugbewegungen dagegen konnten in der bodennahen Schicht nicht registriert werden, sie sind wohl im Flachland und über See von untergeordneter Bedeutung. Dementsprechend wurden im Verlaufe des Nachtzuges in diesem Bereich keine Echos gefunden.

Durch Vergleiche mit den Zugbeobachtungen und Beringungen der Inselstation der Vogelwarte auf Helgoland ist Aufschluß über die beteiligten Vogelarten gewonnen worden. Dies sind vor allem Stare (*Sturnus vulgaris*), Drosseln (*Turdus* spp.) und Limikolen. Die Auswahl der Beobachtungstage schließt eine Beteiligung insektenfressender Passeres aus,

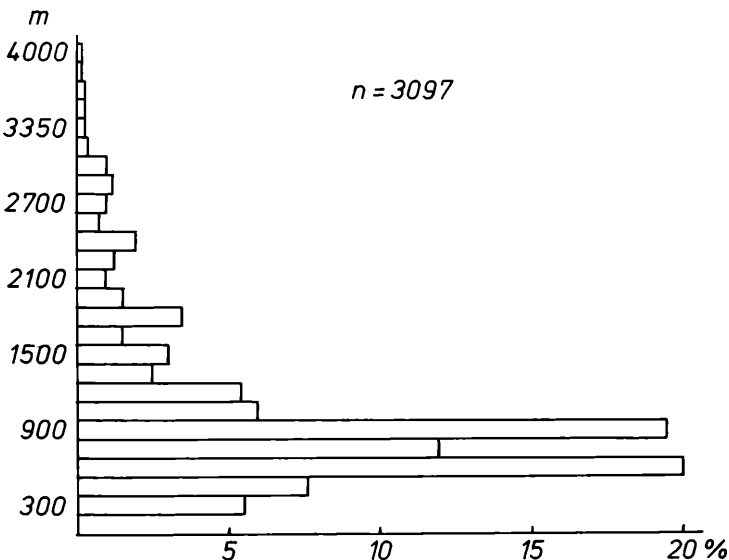


Abb. 1: Durchschnittliche Verteilung der Flughöhen im gesamten Beobachtungszeitraum. Abszisse: Prozent der Echos. Ordinate: Flughöhenintervalle von je 500 ft, umgerechnet (und gerundet) in Meter.

nähere Angaben machen JELLMANN & VAUK (1978), zum Zug von Wildgänsen siehe JELLMANN (1979a). Andererseits bleiben die Vogelarten unbekannt, die einen hier teilweise miterfaßten SW—NE gerichteten Breitfrontzug über die Niedersächsische Tiefebene durchführen (siehe JELLMANN 1977).

Diskussion

Die Höhenverteilung von Zugvögeln innerhalb einer Beobachtungsperiode ist von mehreren Autoren in den verschiedensten Gebieten untersucht worden. So fand HARPER (1958) in Bedfordshire auf den Britischen Inseln, daß der Luftraum zwischen 600 und 900 m am stärksten befliegen wurde, Höhen bis 1500 m wurden häufig registriert, hingegen selten Werte bis 3000 m, darüber wurden nur ausnahmsweise Echos gefunden. In Südostengland führte LACK (1960) zahlreiche Höhenmessungen durch und ermittelte, daß 70% der Durchzügler unter 1350 m blieben. Passeres zogen hauptsächlich unter 1500 m, während Zugbewegungen von Limikolen zumeist zwischen 900 und 1800 m abfliegen. EASTWOOD & RIDER (1965) stellten ebenfalls in Südost-England fest, daß die mittlere Zughöhe während des Frühjahrszuges zwischen 500 und 600 m lag, dabei wurde der Bereich unterhalb 300 m am stärksten befliegen. In der Schweiz untersuchte BRUDERER (1971) im Gebiet um Zürich (ca. 450 m über MSL) zwei Frühjahrszugperioden mit einem Zielverfolgungsradar. Er errechnete die 90%-Grenze der Zugfrequenz für etwa 2000 m (über Grund), wobei die bodennahe Schicht unter 250 m am stärksten befliegen wurde.

Die hier in Kurzform präsentierten durchschnittlichen Verteilungen der Zughöhen in verschiedenen Untersuchungsgebieten stimmen fast ausnahmslos sowohl untereinander, wie auch mit meinen Befunden recht gut überein, wenn man den bodennahen Bereich wegen meßtechnischer Schwierigkeiten (s. u.) ausklammert. Die weitgehend konformen Ergebnisse, die vor allem dadurch zustande kommen, daß sie auf einer großen Zahl von Einzelwerten basieren und stets eine Vielzahl von Vogelarten betreffen, scheinen immer mehr Allgemeingültigkeit zu erlangen, insbesondere, weil mit verschiedenen Gerätetypen gearbeitet und nach unterschiedlichen Meßmethoden vorgegangen wurde.

Zu teilweise erheblichen Abweichungen von der skizzierten „Normalverteilung“ kommt es, wenn einzelne Arten bzw. physiologisch vergleichbare Artengruppen oder besondere Zugsituationen betrachtet werden. Beispielsweise hielten nach JÖGI (1971) Schellenten *Bucephala clangula* und Trauerenten *Melanitta nigra* in der Estnischen SSR durchschnittlich Flughöhen zwischen 1500 und 2000 m ein. BERGMAN (1977) untersuchte in Finnland den Zug von Enten (*Clangula hyemalis*, *Melanitta nigra*) und Gänsen (*Branta leucopsis*, *B. bernicla*) zwischen der Ostsee und dem Weißen Meer. Über dem Festland verlief der Zug in der Regel in Höhen bis 3000 m, die am häufigsten gemessenen Werte lagen zwischen 1000 und 1400 m. Im Bereich der Deutschen Bucht flogen heimziehende Gänse (*Anser*, *Branta* spp.) meistens 1500 bis 2100 m hoch (JELLMANN 1979a). Ferner registrierten KARLSSON & ALERSTAM (1974) in Südschweden die meisten Kranichschwärme (*Grus grus*) in Höhen zwischen 200 und 700 m, die meisten Echos der Eiderente *Somateria mollissima* fand KARLSSON (1976) in 200 bis 400 m Höhe, das Maximum lag bei 800 m. Ungewöhnlich große Zughöhen ermittelte RICHARDSON (1976) bei der Untersuchung zum Zugablauf zwischen Nord- und Südamerika auf der Antilleninsel Puerto Rico. Die Medianwerte lagen dort zwischen 4000 und 5000 m. Am Vormittag des 4. 10. 1971 flog die Masse der Vögel sogar zwischen 4000 und 6000 m hoch. Bei der Interpretation dieser Werte muß der Einfluß des Passatwindes berücksichtigt werden, ebenso dürfte der Aspekt der Orientierung eine Rolle spielen. Auch GAUTHREAU (1972) fand bemerkenswert große Flughöhen bei Passeres, die im Frühling nach Überquerung des Golfs von Mexiko die Südküste von Louisiana/USA erreichten, zumeist in Höhen zwischen 1200 und 1500 m.

Angaben über den Zug in Bodennähe fehlen bei den meisten Autoren, aus dem einfachen Grund, weil die verwendeten Radargeräte den Raum unterhalb ca. 300 m kaum erreichen. „Nodding heightfinder“ sprechen nur in extrem ebenen Gebieten gerade noch an, sofern deren technische Konzeption das überhaupt zuläßt. Die von EASTWOOD & RIDER (1966) eingeführte „vertical beam“-Methode ermöglicht erst eine Erfassung ab ca. 300 m Höhe, nähere (d. h. niedrigere) Echos können nicht dargestellt werden, da sie in die Umschaltphase von Senden auf Empfang fallen (zur Erklärung siehe JELLMANN 1979b). Erst die Verwendung

eines 3-cm-Gerätes mit schräg gestellter Antenne ermöglichte es BRUDERER (1971), erstmals gesicherte Befunde über die Frequentierung der untersten, bisher nicht erreichbaren Luftschichten vorzulegen. Er beobachtete den stärksten Zug zumeist in Höhen unterhalb 250 m. Auch unsere Befunde erbrachten die größte Konzentration von Vögeln im bodennahen Bereich, doch handelte es sich vorwiegend um ungerichtete, mehr lokale Flüge von Rastvögeln und nicht um die Fortsetzung weiträumiger Zugbewegungen, wie sie in den darüberliegenden Luftschichten registriert wurden. Umgekehrt fielen in der Schweiz die Bewegungen „ortsansässiger“ Vögel kaum ins Gewicht. Es mag sein, daß in der Schweiz die niedrigen Flughöhen eine Reaktion der Vögel auf die Höhenlage des Areals darstellen. Außerdem wurden dort die Ergebnisse überwiegend bei anderer Wetterlage und — ganz im Gegensatz zu unserem Gebiet — zu mehr als 80% an kleinen Passeres unter Starengroße erzielt. Sehr niedrige Flughöhen dürften wohl im nordwestdeutschen Flachland und über der südlichen Nordsee vor allem deshalb selten vorkommen, weil sie für die Orientierung nach Landmarken nur Nachteile bringen. Andererseits entspricht der sehr hohe Bestand an Rastvögeln im Untersuchungsgebiet seiner europäischen Bedeutung, insbesondere des Wattenmeeres, als Nahrungs- und Rastbezirke für eine Vielzahl von Vogelarten.

3.2. Die Zughöhen kleiner Gruppierungen

Die Unterscheidung von größeren Verbänden wurde in Kap. 2.2. beschrieben. Unter der Gesamtzahl aller Messungen konnten 1312 kleine, lockere Trupps (ca. 42% der Echos) erkannt werden. Die Flughöhen dieser Vögel (Abb. 2) liegen deutlich höher als die die Gesamtzahl aller Echos berücksichtigenden Werte in Abb. 1. So wurden über 2450 m praktisch nur kleine Gruppen geortet. Auch im unteren Bereich war eine Tendenz zu größeren Flughöhen deutlich erkennbar, denn nur 64% der Kleingruppen führten ihre Wanderungen unterhalb 1500 m aus — gegenüber 83,5% der Gesamtheit aller angemessenen Echos. Außerdem traten Einzelzieher ungefähr doppelt so häufig beim Nachtzug wie im Verlaufe des Tagzuges auf.

Diskussion

Zur Methodik der hier vorgenommenen Bestimmung der Flughöhen von kleinen Trupps und Vögeln, die in größeren Verbänden fliegen, ist uns aus der Literatur kein Material bekannt geworden. Die Thematik wird jedoch von vielen Autoren berührt, die an Rundumsuchanlagen beobachtet haben, daß Echos unterschiedlicher Ausprägung — einerseits von

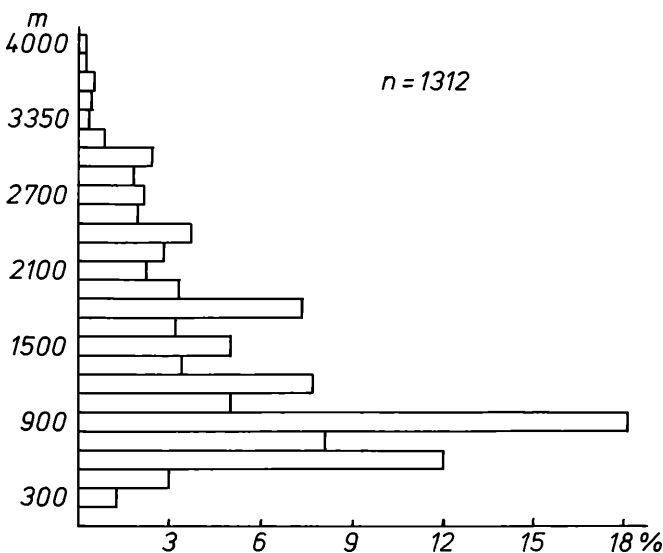


Abb. 2: Höhenverteilung des Zuges in kleinen Gruppierungen. Darstellung wie Abb. 1.

größeren geschlossenen Verbänden herrührende dicke und kräftig zeichnende, andererseits von lockeren Gruppierungen stammende dünne, schwache und weniger fest umrissene Typen — auf dem Scope erscheinen. Diese Merkmale sind auch häufig zur getrennten Bearbeitung verschiedener Arten benutzt worden, u. a. von ALERSTAM (1972), ALERSTAM & ULFSTRAND (1972) und ALERSTAM et al. (1973). Weiterhin wurde durchweg ermittelt, daß dünne, feine Echos, wie auch in unserem Fall, nachts vermehrt auftreten. Unter Einbeziehung des Ergebnisses vieler Radar-Höhenstudien, daß der Nachtzug in größeren Höhen abläuft (vgl. Kap. 3.4.), kann gefolgert werden, daß auch in anderen Untersuchungsgebieten kleine, lockere Verbände in der Regel größere Flughöhen bevorzugen.

Der biologischen Bedeutung dieser Verhaltensweise könnten Reaktionen auf abiotische und biotische Umweltfaktoren zugrunde liegen. Große geschlossene Trupps profitieren vor allem von der Energieersparnis beim Verbandsflug, wie es HUMMEL (1978) auch für ungeordnete Schwärme nachgewiesen hat. Dies entfällt jedoch weitgehend für kleine lockere Gruppen, die deshalb in weit stärkerem Maße beispielsweise auf günstige Winde angewiesen sind, die gewöhnlich mit der Höhe zunehmen. Außerdem könnten während des Tages kleine Gruppen durch größere Flughöhen den Aktionsräumen ihrer Feinde zu entgehen versuchen, die — vgl. die Angaben zum Zug des Sperbers *Accipiter nisus* von MORITZ & VAUK (1976) — zur gleichen Zeit ziehen. Ferner beschreibt GOETHE (1971), wie Silbermöwen *Larus argentatus* über der Nordsee regelmäßig Jagd auf ziehende Kleinvögel machen und daß diese den Angriffen der Möwen durch Höhengewinn zu entkommen versuchen.

Die in diesem Abschnitt behandelten Echos betreffen Gruppierungen von Kleinvögeln mit optischem oder akustischem Zusammenhalt, also Zuggemeinschaften, deren Individuenzahlen sich in dem z. B. von NISBET (1963b) abgesteckten Rahmen bewegen, so daß Echobildung auch am 23-cm-Rundumsuchgerät möglich ist. Dabei dürfte ein Teil der Echos sog. Pseudogruppen zuzuschreiben sein, wie sie von EASTWOOD & RIDER (1966) gefunden wurden. Solitär ziehende Arten können nur erfaßt werden, wenn es sich um größere Vögel handelt. Hingegen können mit unseren Radargeräten lose Gruppierungen von Kleinvögeln mit Individualabständen von 100 bis 300 m, wie sie BRUDERER (1971) während des Nachtzuges bei Zürich/Schweiz registriert hat, nicht erkannt werden. BRUDERER (l. c.) interpretiert fast alle Nachtzug-Echos als Einzelvögel aufgrund der durchgeführten Echosignaturanalysen, die aber, wie verschiedenen Angaben des Autors entnommen werden kann, nur bei schwachem Zug eine adäquate Methode darstellen. Denn nach den dargelegten Echoaufzeichnungen (l. c.: Abb. 4), der vorgenommenen Teilauswertung (l. c.: Abb. 10) und den berechneten Echofrequenzen (l. c.: Abb. 9) ergeben sich für mittleren und starken Zug so hohe Echodichten, daß sich bei der 90 s dauernden Signaturaufzeichnung eines Echos in beispielsweise 3 km Höhe zu jeder Zeit mehrere Vögel im Peilstrahl der Antenne befinden; und zwar um so mehr, je weiter die Antenne bei der Verfolgung des angenommenen Ziels aus der vertikalen Position rückt.

Ganz im Gegensatz zu den hier angeführten schweizer Resultaten ist für unser Untersuchungsgebiet seit langem durch Beobachtungen am Helgoländer Leuchtfeuer bekannt, daß u. a. Limikolen, Drosseln und Stare nachts in wolkenartigen Verdichtungen auftauchen, selbst Kleinvögel erscheinen im eng gebündelten Lichtstrahl wie „herumwirbelnde Schneeflocken“, ein Photo zeigt z. B. VAUK (1977). Dabei liegen die Individualabstände je nach Vogelart um ein bis zwei Zehnerpotenzen niedriger als von BRUDERER (1971) angegeben. Eine direkte Beeinflussung der natürlichen Zugdichte durch den rotierenden Lichtstrahl des Leuchtfeuers kann ausgeschlossen werden, da die Vögel einmal meist oberhalb des Leuchtturms überhinziehen und andererseits die Beschaffenheit der Echos keine Anzeichen für eine Konzentrierung der Schwarmmitglieder beim Anflug auf die Insel liefert.

3.3. Sehr große Flughöhen

Alle im Beobachtungszeitraum gesammelten Meßdaten von Zughöhen über 3000 m sind in Abb. 3 zusammengefaßt. Einbezogen wurden auch Höhen, die bei Nebel gemessen wurden, jedoch nur von solchen Echos, bei denen eine räumliche Beziehung zu den ebenfalls registrierten Nebelfeldern nicht hergestellt werden konnte. Diese Echos sind in Abb. 3 besonders gekennzeichnet. Die größte nachgewiesene Zughöhe betrug 5500 m (18000 ft). Der Wert wurde am 4. April um 16.21 Uhr über dem Knechtsand vor der Wesermündung beim

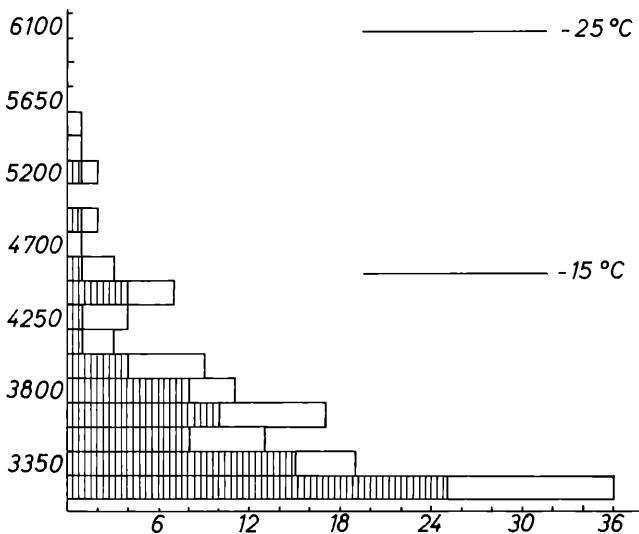


Abb. 3: Zughöhen von mehr als 3000 m Höhe. Abszisse: Zahl der Echos; Schraffur: Werte, die bei Nebel gemessen wurden. Ordinate wie Abb. 1. Die beiden Temperaturlinien stellen Mittelwerte dar.

Anpeilen eines Echos ermittelt, das sich in ENE-Richtung bewegte. Mit großer Wahrscheinlichkeit handelte es sich um Limikolen, vgl. JELLMANN & VAUK (1978). Die Art der Verteilung der Flughöhen deutet an, daß offensichtlich nach oben hin eine Annäherung an eine Grenze stattfindet, denn anders läßt sich unserer Ansicht nach die laufende Abnahme der Echozahlen mit steigender Flughöhe nicht erklären. Unsicher bleibt nur, wie weit eine solche Grenze noch vom höchsten Meßwert entfernt ist. Sie wäre dann als maximal mögliche Flughöhe zu betrachten für die in Frage kommenden Vogelarten bei den an den Beobachtungstagen herrschenden atmosphärischen Bedingungen.

Alle Echos (Abb. 3) wurden oberhalb der 0°C-Temperaturlinie gefunden, die hier im Gegensatz zu den Befunden von EASTWOOD & RIDER (1965) nicht limitierend wirkt. Diese 0°C-Grenze in der Atmosphäre hat auch entgegen einer weitverbreiteten Ansicht keine Bedeutung für den Übergang der Wasserteilchen von der flüssigen in die feste Phase, denn dort können nur unterkühlte Wassertropfen in Eis- oder Schneekristalle übergehen. Auch im Sommer bestehen nach FORTAK (1971), dem alle geophysikalischen Daten dieses Abschnitts entnommen sind, viele hochreichende Cumulus-Wolken aus unterkühlten Tröpfchen („kalte Wolken“). Andererseits treten Wolken mit Teilchen über 0°C nur im Sommer und auch nur in der unteren Troposphäre auf. Dabei verhalten sich Wolken mit unterkühlten Tropfen bis -15°C recht stabil, erst bei weiterer Temperaturabnahme, also in größerer Höhe, setzt Eisbildung ein, da diese hauptsächlich von zwei Faktoren gefördert wird:

Einmal ist die Anwesenheit von Gefrier- bzw. Sublimationskernen erforderlich. Dies sind mikroskopisch kleine Teilchen zumeist vulkanischen Ursprungs, die Ähnlichkeiten mit der Kristallstruktur von Eis besitzen (z. B. Kaolin). Ihre Zahl nimmt mit der Höhe zu, man fand bei Messungen in Höhen mit Temperaturen von -5°C im Mittel einen Kern pro m³ Luft, in Höhen bei -25°C dagegen 10⁵ Kerne pro m³. Übrigens ist auch die Kondensation von Wasserdampf an Keime gebunden, am wirksamsten sind hygroscopische ionogene Partikel, z. B. NaCl. Außerdem ändert sich die Grenzunterkühlungstemperatur (t), bei deren Unterschreiten Kristallisation einsetzt, mit der Tropfengröße (Radius r), wie folgende Beispiele zeigen: Bei r = 10 μm ist t = -35 bis -40°C; bei r = 1 mm (typische Regentropfen) ist t = -25°C. Die Werte gelten nur bei Anwesenheit von Gefrierkernen, denn ohne diese gefriert keimfreies Wasser erst bei -72°C (WESTPHAL 1963). Beide Faktoren erleichtern also die Eisbildung in größeren Höhen, erschweren sie aber in der unteren Troposphäre. Dabei kommt diesen Zusammenhängen grundsätzliche Bedeutung zu, sie gelten nicht nur für so

hohe Konzentrationen an Wasserteilchen, daß diese von der Erdoberfläche aus als Wolken sichtbar werden.

Während der Beobachtungstage kann für den Verlauf der — 25°C-Temperaturlinie im Mittel eine Höhe von 6000 m angesetzt werden. Damit fällt sie zusammen mit der Untergrenze der hohen Bewölkung (Cirrus, Cirrocumulus, Cirrostratus), die ausschließlich aus Eiskristallen besteht („Eiswolken“). Diese Grenze wurde von keinem Echo (Abb. 3) erreicht. Auch in die Zone oberhalb der recht stabilen flüssigen Phase der Wasserteilchen (— 15°C) drangen nur 8% aller in sehr großen Höhen registrierten Echos vor, vermutlich an Tagen mit geringerer Feuchtigkeitskonzentration in dem Höhenbereich.

Interpretation

Die aufgezeigte Beziehung macht deutlich, daß ein Aufenthalt in der Nähe der Vereisungsgrenze akute Gefahren für Zugvögel mit sich bringen kann. In diesem Zusammenhang waren entsprechende Voraussetzungen im Beobachtungszeitraum insofern gegeben, als hohe Cirrus-Wolken zumindest in dünner, schleierartiger Ausbildung häufig in den Wetterberichten angegeben wurden, wie es für die Jahreszeit im atlantisch beeinflussten NW-Deutschland bei zyklonalen Wetterlagen auch nicht anders erwartet werden kann. Dabei ist für die limitierende Wirkung der Grenzunterkühlungstemperatur nicht entscheidend, daß die Vögel direkt unter Eiswolken ziehen. Denn die Konzentration des labilen atmosphärischen Wasserdampfes ist selbst bei fehlender Wolkenbildung in vielen Fällen hoch genug, um bei Zufuhr von Kondensations- bzw. Gefrierkernen, wie sie das Vogelgefieder infolge häufigen Kontakts mit der Erdoberfläche und mit Wasser sicherlich in großer Zahl enthalten dürfte, in die flüssige oder feste Phase überzugehen. Daher wird ein Aufenthalt in Höhen mit solchen Bedingungen nach einer gewissen Zeit zur Reifbildung am Gefieder führen und die Flugmöglichkeiten mehr und mehr behindern. Dies dürfte die Vögel zu niedrigeren Flughöhen zwingen. Weit gefahrvoller dagegen erscheint ein Flug unterhalb von Eis- oder Mischwolken. Denn in ihnen erfolgt nach dem Bergeron-Findeisen-Prozeß ein schnelles Wachstum der Eiskristalle auf Kosten der noch vorhandenen flüssigen und gasförmigen Wasserteilchen (unterschiedliche Sättigungsdampfdrucke von Eis und Wasser, siehe Lehrbücher der physikalischen Chemie). Dabei erreichen die Eiskristalle Massen, die zu einem Herausfallen aus der Wolke führen. Auf ihrem Weg nach unten verdunsten und schmelzen sie je nach Sinkgeschwindigkeit und Feuchtigkeitsgehalt des wolkenfreien Raumes. Wenn Vögel in diese Fallstreifen hineinfliegen, kommt es infolge der Koagulation der Teilchen zu einer schnellen Vereisung des Gefieders. Wenngleich häufig festgestellt wurde, daß Vögel den Flug in Wolken vermeiden (u. a. BRUDERER 1977), zeigen doch Berichte von SCHÜZ (1971) und TIMMERMANN (1967), daß hin und wieder Gefiedervereisungen vorkommen.

Zur Prüfung der Frage, ob eine Limitierung der Flughöhen auch in anderen Gebieten durch die Grenzunterkühlungstemperatur bewirkt wird, können verschiedene Befunde herangezogen werden: Einerseits liegen Flugzeugbeobachtungen vor, nach denen Kraniche *Grus grus* in 4300 m Höhe über dem Englischen Kanal gesehen wurden (HÜRZELER 1950), ferner flogen in 4000 m Höhe nach HARRISON (1969) eine Löffelente *Anas clypeata* und im Juli in 6400 m Höhe, wie MANVILLE (1963) berichtet, eine Stockente *Ana platyrhynchos* jeweils gegen ein Flugzeug. Außerdem konnten im Himalaja verschiedene Sichtbeobachtungen vorgenommen werden, deren höchster Wert bei 9000 m lag und Gänse betraf (Angaben hierzu bei BERGER & HART 1974, SCHÜZ 1971 und SWAN 1970). Seit Einführung der Radarmethode hat sich die Zahl großer Höhenfeststellungen beträchtlich erweitert. Mehrere Autoren, u. a. NISBET (1963) und BLOKPOEL (1970), registrierten etwa 1% aller Echos in Höhen über 3000 m, wie es auch unsere Befunde zeigen. Die größten gemessenen Einzelwerte betragen in England bei LACK (1960) 6400 m, bei HARPER (1958) 4850 m. NISBET (1963) stellte in Massachusetts/USA vermutlich Limikolen in 6100 m Höhe fest. Verschiedene Anatiden erreichten in Finnland (BERGMANN 1977) und in der Estnischen SSR (JÖGI 1971) jeweils 4500 m Höhe. In der Schweiz wurden Höhen bis 4500 m registriert (BRUDERER 1971). Auf Puerto Rico betrug die größte von RICHARDSON (1976) gemessene Höhe 6800 m, außerdem wurde mehrfach die Masse der Vögel zwischen 4000 und 6000 m Höhe gefunden.

Die Mehrzahl dieser Meßergebnisse erstreckt sich über Bereiche, in denen auch bei unseren Untersuchungen (Abb. 3) sehr große Flughöhen gefunden wurden. Inwieweit alle

zitierten Höhenangaben jeweils durch Vereisungsgefahr begrenzte Maximalwerte darstellen, läßt sich für den Einzelfall nicht überprüfen. Berücksichtigt man jedoch gewisse Verschiebungen der Luftschichten, in denen Vereisung möglich ist, im Wechsel der Jahreszeiten und bezüglich der geographischen Lage, ist eine limitierende Wirkung auf alle diejenigen Flughöhen, die in klimatisch gemäßigten Breiten im Frühjahr und Herbst gemessen wurden, durchaus möglich. Hingegen dürfte der häufig als wichtigster limitierender Faktor angeführte Sauerstoffmangel (z. B. SCHÜZ 1971) bei den hier diskutierten Meßwerten bis etwa 6 km Höhe noch nicht als absolut begrenzender sondern mehr als relativ limitierender Faktor ins Gewicht fallen, der den Aufenthalt in verschiedenen Höhen nicht unmöglich macht sondern auf mehr oder weniger kurze Zeiten beschränkt. BEZZEL (1977) gibt ein Beispiel, nach dem selbst Sperlinge noch in 6100 m atmen und fliegen können, und SALOMONSEN (1969) berichtet, daß Tauben, in 10000 m Höhe freigelassen, ohne erkennbare Schwierigkeiten fliegen konnten. Andererseits wurde die Aufenthaltsdauer in großen Höhen bisher nicht untersucht. Sie scheint begrenzt zu sein, wofür Befunde aus der Karibik sprechen, die natürlich keineswegs die Gefahr der Vereisung beinhalten. Die sehr großen Flughöhen über Puerto Rico (RICHARDSON 1976) und auch über Antigua wurden über den näher an Südamerika gelegenen Inseln Barbados und Tobago nicht bestätigt (WILLIAMS et al. 1974). Auch eine Beobachtung von BRUDERER (1971) läßt sich in diesem Sinne deuten, nämlich, daß die Durchzügler bei Zürich/Schweiz nicht mehr in den Höhen registriert wurden, die sie vorher, beim Überqueren von Kammlagen der Alpen, eingehalten haben mußten.

Andererseits ergeben sich für den Zug in großen Höhen auch Vorteile. BERGER & HART (1974) kommen unter Berücksichtigung physiologischer Faktoren zu dem Ergebnis, daß der Zug in den oberen Luftschichten hinsichtlich der Thermoregulation und des Wasserhaushalts sich positiv auswirkt, und der negative Effekt der Aufnahme und des Transports von Sauerstoff sich demgegenüber minimal bemerkbar macht, so daß in Bereichen bis 3000 m Höhe sogar optimale Flugbedingungen für Langstreckenzieher gegeben sind. Außerdem nennt BERGMAN (1977) als Gründe für das Aufsteigen in große Höhen die dort möglichen größeren Fluggeschwindigkeiten und vor allem die günstigen Orientierungsmöglichkeiten, so daß etwa der Küstenverlauf auf Distanzen von mehr als 200 km gesehen werden kann. Diesem Aspekt dürfte auch angesichts der topographischen Verhältnisse in unserem Beobachtungsgebiet große Bedeutung zukommen, etwa für den Zug über die Deutsche Bucht und auch, besonders für ökologisch eng an Wasser gebundene Arten, für die Überquerung Schleswig-Holsteins.

3.4. Die Verteilung der Zughöhen während des Tag- und Nachtzuges

Wenngleich die Messungen, wie einleitend erwähnt wurde, nicht immer zu den gleichen Tageszeiten erfolgen konnten, umfassen sie doch insgesamt alle Stunden zwischen 09.00 Uhr und Mitternacht, so daß das vorliegende Material eine entsprechende Aufteilung erlaubt. Wie bei den parallelen Untersuchungen am Rundumsuchradar (JELLMANN 1977) wurde als Nachtzugbeginn der Zeitpunkt 18.00 MEZ festgesetzt.

Die Verteilung der Flughöhen für den Tag- und Nachtzug ergibt sich aus Abb. 4. Die Darstellung läßt deutlich erkennen, daß die Zughöhen in der Nacht ansteigen, und zwar vollziehen sich die größten Änderungen im unteren Höhenbereich, denn unterhalb 750 m blieben am Tage 50%, in der Nacht jedoch nur 29% der Echos. Weniger auffällige Änderungen fanden dagegen in den höheren Luftschichten statt. So wurden unterhalb 1500 m am Tage 82% und nachts 78% der Echos registriert. In Höhen über 1000 m wurden am Tage 29% und in der Nacht 32% der Echos gefunden. Einzelheiten können der Abb. 4 direkt entnommen werden.

Ferner fällt besonders auf, daß nachts allein 38% der Echos im Höhenintervall von 900 m registriert wurden. Dieser Befund steht in enger Beziehung mit der Hauptwolkenschicht, deren Untergrenzen innerhalb des Beobachtungszeitraumes zwischen 300 und 900 m schwankten. Wegen der vorherrschenden zyklonalen Wetterlagen, bedingt durch die in rascher Folge ostwärts wandernden atlantischen Tiefdrucksysteme mit nur kurzen Zwischenhocheinflüssen ergab sich eine höchst wechselhafte Bewölkung. Durch unterschiedliche Bedingungen über der Nordsee und dem Festland sowie durch Kaltluftvorstöße und Frontdurchgänge wird die Beurteilung weiter erschwert, so daß nur eine allgemeine Interpretation erfolgen kann. Die

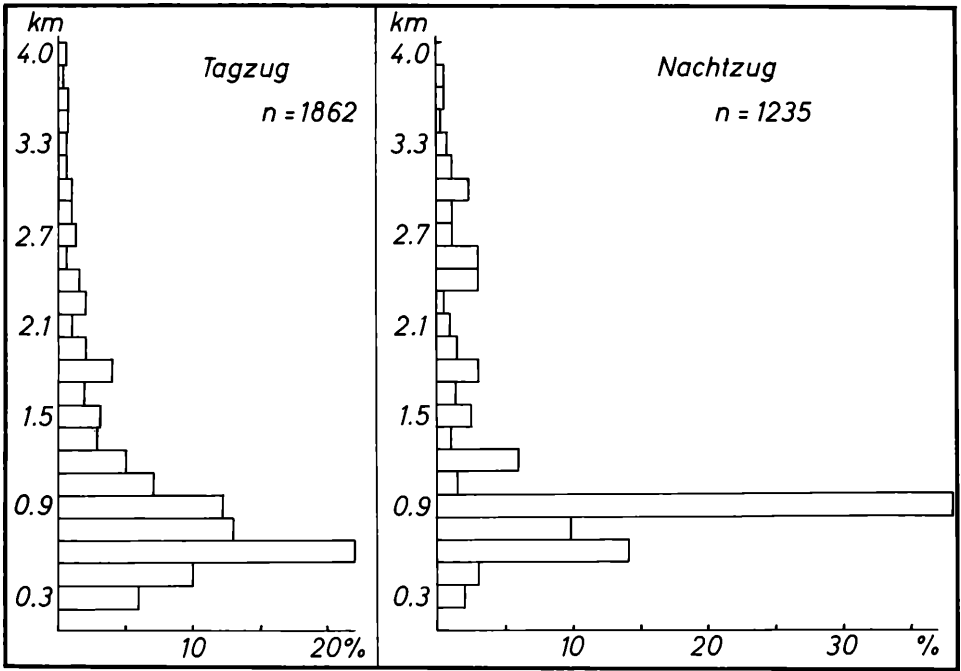


Abb. 4: Verteilung der Zughöhen des Tag- und Nachtzuges. Darstellung wie Abb. 1, aber Höhenwerte in km.

900-m-Linie trat insofern besonders in Erscheinung, als sie sowohl an einigen Tagen die Obergrenze, wie auch an anderen Tagen die Untergrenze der Hauptwolkschicht bildete. Als Untergrenze stellte sie die Basis sehr mächtiger Schichtwolken dar, die grundsätzlich unterflogen wurden. An anderen Beobachtungstagen reichten dagegen sehr tiefliegende Stratus- und Cumulus-Schichten kaum bis 900 m hoch, sie konnten also überflogen werden. Im Laufe der Tagesstunden kam es infolge Sonneneinstrahlung und der damit verbundenen Vertikalbewegungen zu Verschiebungen der Wolkengrenzen, auch zu Auflockerungen und Aufheiterungen, so daß die Verteilung der Flughöhen durch die Wolkenbedeckung hindurch verlief. Gelegentlich wurden auch in der Nähe von Regenwolken Echos registriert, am Rundumsuchgerät wurde dann auch festgestellt, daß solche Wolken umflogen wurden.

Diskussion

Über Unterschiede in der Höhenverteilung von Tag- und Nachtzug liegen mehrere Untersuchungen vor. EASTWOOD & RIDER (1965) errechneten für den Frühjahrszug in SE-England, daß die mittlere Zughöhe am Tage bei etwa 500 m und nachts bei rund 600 m lag. Im gleichen Beobachtungsgebiet ermittelte LACK (1960) ebenfalls für den Nachtzug größere Flughöhen. Außerdem registrierte BRUDERER (1971) in der Schweiz 50% aller Echos am Tage unter 400 m, nachts unterhalb 700 m Höhe. Auch bei ihm ergaben sich die größten Unterschiede zwischen Tag- und Nachtzug in den unteren Höhenbereichen. Da mit verschiedenen Geräten und unterschiedlichen Meßmethoden ähnliche Ergebnisse erzielt wurden, die auch mit unseren Werten weitgehend übereinstimmen, scheint die Tendenz, daß Nachtzieher in der Regel größere Flughöhen bevorzugen als Tagzieher, weit verbreitet zu sein. Doch wurden auch abweichende Befunde bekannt, bei denen allerdings der Tagzug, wohl wegen besonderer Orientierungssituationen, in bemerkenswert großen Höhen verlief (GAUTHREAUX 1972, BERGMAN 1977), der Nachtzug hingegen keine Auffälligkeiten hinsichtlich der Höhenwahl zeigte.

Im Abschnitt 3.3. wurde gezeigt, daß ein Flug in Wolken Gefahren für die Vögel mit sich bringen kann. Deshalb werden geschlossene Wolkenschichten nicht überflogen, wenn diese zu hoch sind. In solchen Fällen wird der Zug, wie auch ABLE (1970), BELLROSE (1967), BELLROSE & GRABER (1963) und EASTWOOD & RIDER (1965) festgestellt haben, unmittelbar unter der Wolkenschicht fortgesetzt. Lediglich dünne Wolkenbänke werden durchflogen. EASTWOOD & RIDER (1965) haben auch beschrieben, daß die Verteilung der Flughöhen durch eine Wolkenschicht hindurchreichen kann.

3.5. Die Flughöhen an verschiedenen Beobachtungstagen

Die bisher aufgezeigten Ergebnisse fassen eine Vielzahl von Einzelwerten, die im Laufe der gesamten Beobachtungsperiode gesammelt wurden, zusammen. Diese summarische Betrachtungsweise täuscht eine gewisse Stabilität und Kontinuität in der Ausnutzung der verschiedenen Bereiche des Luftraumes vor. In der Praxis konnte jedoch von Tag zu Tag eine stark wechselnde Höhenverteilung registriert werden, wie es für sechs Beobachtungstage zwischen dem 3. und 9. April in Abb. 5 wiedergegeben ist. Es änderten sich nicht nur die am stärksten beflogenen Luftschichten von Tag zu Tag, sondern auch das Bild der gesamten Verteilung der Flughöhen. Zusätzlich wurde für jeden Tag die am Rundumsuchradar nach einer 6-stufigen Skala (JELLMANN 1977) ermittelte minimale, mittlere und maximale Zugstärke eingezeichnet. Es ergibt sich kein Zusammenhang zwischen Zughöhenverteilung und Zugstärke.

Interpretation

Von Tag zu Tag wechselnde Flughöhen wurden auch von LACK (1960) und BRUDERER (1971) nachgewiesen. Dabei wird die Wahl der Zughöhen vor allem vom herrschenden Wetter beeinflusst. Innerhalb des hier dargestellten Zeitraumes können zwei Wetterlagen unterschieden werden. Zunächst lag das Beobachtungsgebiet vom 3. bis 6. April an der Südflanke eines Hochs über Skandinavien, so daß ein Tiefdrucksystem mit seinen Störungsausläufern, welches sich von südlich Irland über Frankreich nach Osteuropa verlagerte und feuchtkalte, labile Luftmassen heranzuführte, wetterwirksam werden konnte. Am 3. und z. T. auch noch am 4. April bewirkte eine Inversion verbreitet Bodennebel und eine geschlossene dünne Stratus-Decke mit Untergrenzen von nur 30 bis 100 m. Darüber lagen bis 2500 m Höhe starke Wolkenfelder mit eingeschlossenen Regenzentren. Der Wind wehte in 900 m Höhe aus E, am Boden aus NE in Stärken zwischen 3 und 4 (Beaufort-Skala). An den beiden folgenden Tagen änderte sich die Wetterlage kaum; es herrschte Hochnebel, der sich am 5. im Laufe des Tages über dem Festland auflöste, am 6. jedoch bestehen blieb und in Schichtwolken mit eingelagerten Schauern überging. In 900 m Höhe war E-Wind, am Boden wechselte er zwischen NE und SE in Stärken von 3 bis 4. Am 7. April (an diesem Tag konnten keine Höhenmessungen vorgenommen werden) kam es zu einer Wetteränderung durch Ausbildung einer Hochdruckbrücke zwischen dem mittlerweile über Westrußland liegenden Hoch und dem Ostatlantik. Dieser Zwischenhocheinfluß wurde bereits am folgenden Tag durch ein flaches Tief über Dänemark unterbrochen und am 9. April wieder abgebaut. An beiden Tagen (8. und 9.) ging die tiefe Bewölkung zurück, über 900 m blieben jedoch durchbrochene teils hochreichende Stratus- und Cumuluswolken erhalten. Der 900-m-Höhenwind kam aus E bis SE, der Bodenwind wehte am 8. aus N bis NE und drehte am 9. auf SE, die Windstärken lagen zwischen 3 und 4.

Bei der Beurteilung des Einflusses einzelner Witterungsfaktoren dürfte dem Wind hier nur geringe Bedeutung zukommen, denn alle sechs Beobachtungstage wiesen Gegenwindssituationen auf oder waren z. T. in der Höhe von Seitenwinden betroffen, auch die Windstärke war recht einheitlich. Möglicherweise beeinflusst die Winddrehung vom 8. zum 9. April die Höhenverteilung an beiden Tagen im Bereich unter 900 m. Allerdings ist die Reaktion auf die Windfaktoren gerade im Beobachtungsgebiet recht verwickelt, da über der Nordsee und über dem Festland Unterschiede festzustellen sind (vgl. Kapitel 3.6.). Außerdem wurde neben dem vorherrschenden Breitfrontzug nach NE auch ein ausgeprägter W-E-Zug registriert.

Wegen der weitgehend konstanten Windbedingungen tritt in diesen Fällen der Einfluß der Bewölkung recht deutlich zutage. Am 3. und mit Einschränkungen auch am 4. April fand

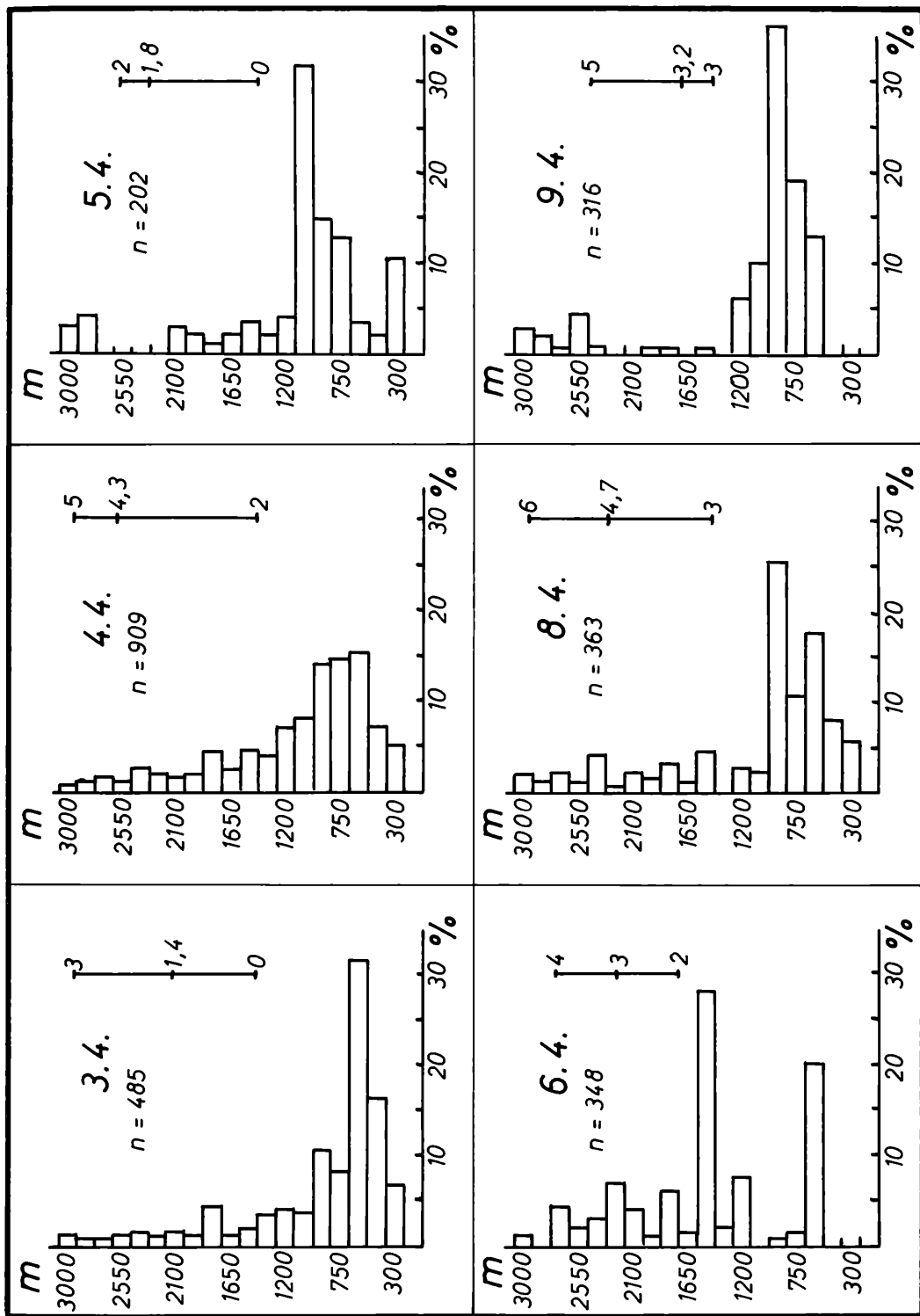


Abb. 5 (S. 129): Verteilung der Flughöhen an 6 Beobachtungstagen der 1. Aprildekade. Die Figur jeweils rechts in der Grafik gibt die maximale (obere Zahl), mittlere (mittlere Zahl) und minimale (untere Zahl) Zugstärke an, die nach einer 6-stufigen Skala ermittelt wurde. Darstellung wie Abb. 1.

der gesamte Zug über einer Bodennebelschicht und einer sehr niedrigen Schichtwolkenbedeckung statt. Der Hochnebel, der besonders am 6. April über dem Gebiet lag, wird von den Vögeln klar gemieden. Es kommt dabei zu auffälligen Konzentrationen unter- und oberhalb des Nebels, wie es auch mehrfach in der Schweiz registriert wurde (SUTTER 1957, GEHRING 1963, STEIDINGER 1968). Hochreichende Schicht- und Quellwolkenfelder wurden von der Masse der Vögel unterflogen, während nur ein geringer Anteil in verschiedenen Höhen zwischen den Wolkenfeldern angetroffen wurde.

Für die weitere Beurteilung der Höhenverteilungen ist die Kenntnis der beteiligten Vogelarten erforderlich. Die genannten Hauptdurchzügler (siehe Kapitel 3.1.) traten in Schüben auf, was an den Rastvogelbeständen auf Helgoland gut zu erkennen war (Einzelheiten bei JELLMANN & VAUK 1978). Man kann also davon ausgehen, daß an jedem der sechs Tage ein Artenkollektiv mit stark wechselnden Anteilen der einzelnen Vogelarten das Beobachtungsgebiet überquert hat. Besonders deutlich war dies am 8. und 9. April, als der schwache Zwischenhocheinfluß zu einem stark erhöhten Anteil an Kleinvögeln führte.

Insgesamt kann die täglich wechselnde Höhenverteilung so interpretiert werden, daß die Wetterlage durch komplexe Einwirkung der sie bedingenden Witterungsfaktoren täglich andere Arten zur Fortsetzung des Zuges stimuliert. Die Auswirkung einzelner Komponenten wie Nebel, Wolken, Wind etc. beeinflußt dann die Höhenwahl der Vögel so, daß diese die Luftschichten aufsuchen, in denen für sie günstige oder zumindest erträgliche Bedingungen herrschen. Bei den hier dargestellten Gegen- bzw. Seitenwind-situationen können schnelle Flieger mit guten aerodynamischen Eigenschaften, vor allem Limikolen und Enten, größere Höhen erreichen als langsamer fliegende Kleinvögel, da bei schnellerem Flug eine geringere Kursänderung durch den Wind verursacht wird. Dies läßt sich auch theoretisch aus den Vektorgrößen von Wind- und Flugdaten begründen (BRUDERER 1971, 1975). Zyklonale Wetterlagen mit nur kurzen Zwischenhocheinflüssen bedingen auch im langjährigen Mittel für den April in NW-Deutschland sehr wechselhaftes Wetter. Nach dem Singularitätenkalender (FORTAK 1971) ist nur vom 16. bis 20. des Monats eine Hochdruckwetterlage zu erwarten. Die hier dargestellten Höhenverteilungen dürften deshalb für das Beobachtungsgebiet als typischer Aprilaspekt anzusehen sein.

3.6. Die Zughöhen im Laufe eines Beobachtungstages

Über die täglichen Änderungen hinaus (Kapitel 3.5.) ließ sich ein Wechsel in der Verteilung der Flughöhen sogar nach Zeiträumen von nur wenigen Stunden registrieren, wie dies als Beispiel für den Tagzug am 4. April in Abb. 6 dargestellt ist. Die benutzte Radarstation in Ostfriesland lag geographisch sehr günstig, um die eingehaltenen Flughöhen sowohl über der südlichen Nordsee als auch über dem nordwestdeutschen Festland ermitteln zu können. Um auch auf diesen Aspekt einzugehen, wurden die in Abb. 6 wiedergegebenen drei Meßreihen in „über See“ und „über Land“ unterteilt. Die erste Meßreihe gibt die Verhältnisse am Vormittag wieder, während dessen über der Nordsee 91% und über dem Festland 81% der Echos in Höhen unter 1500 m blieben. Die eingehaltenen Zughöhen blieben über dem Festland insofern relativ konstant, als am frühen Nachmittag (13.42—15.07 MEZ) 83% und am späten Nachmittag (16.01—17.14 MEZ) 81% der Echos unter 1500 m Höhe flogen. Dagegen zeichnete sich die entsprechende Höhenwahl über der Nordsee durch eine starke Steigerung der Flughöhen aus, denn zwischen 13.42 und 15.07 Uhr zogen noch 75% und zwischen 16.01 und 17.14 Uhr nur noch 66% im Höhenbereich unter 1500 m. Dieses Beispiel darf jedoch nicht verallgemeinert werden, denn es kamen auch Situationen mit niedrigeren Flughöhen über der Nordsee vor.

Interpretation

Zur Deutung dieser bemerkenswerten Unterschiede in der Wahl der Flughöhen müssen sowohl Umwelteinflüsse wie auch die beteiligten Vogelarten herangezogen werden. Das Wetter vom 4. April wurde im Abschnitt 3.5. skizziert. Dabei ist für Änderungen im Tagesverlauf noch zu berücksichtigen, daß sich die von einer Inversion herrührende tiefe Schichtbewölkung über dem Festland früher auflöste als über der Deutschen Bucht. Auch der Wind machte sich im Untersuchungsgebiet unterschiedlich bemerkbar. Er wehte auf Helgoland innerhalb der Beobachtungszeiten konstant aus 40° und variierte nur innerhalb der

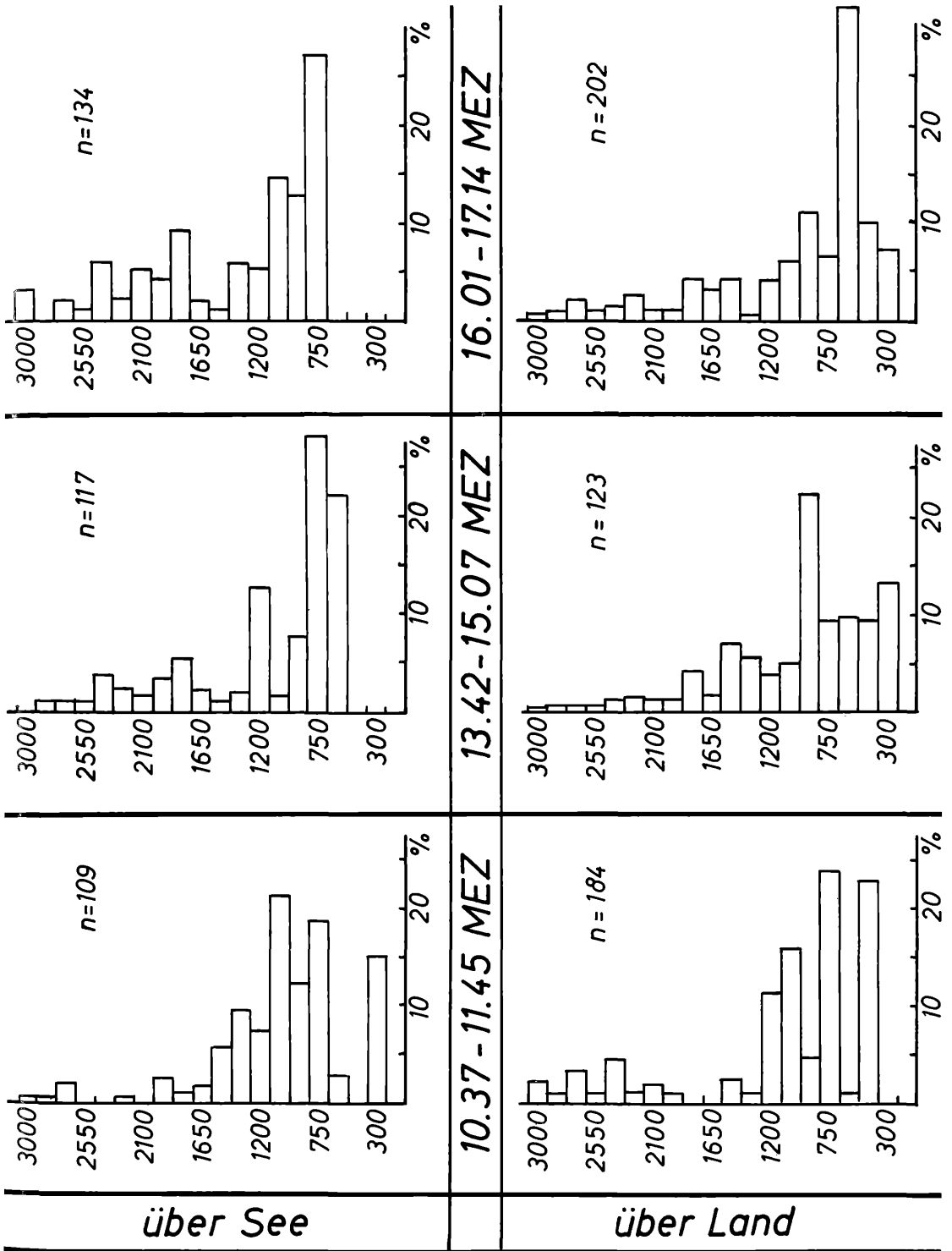


Abb. 6 (S. 131): Änderungen in der Flughöhenverteilung im Laufe des Tagzuges eines Beobachtungstages über der Nordsee und über dem Festland. Darstellung wie Abb. 1.

Stärke 4 (Beaufort-Skala) zwischen 5,4 und 7,7 m/s. Vom Binnenland standen Meßwerte mehrerer Flugplätze zur Verfügung. Danach variierte der Wind sowohl in der Richtung (40—70°) wie auch in der Stärke (3—4).

Am Beobachtungstag wurde Breitfrontzug von SW nach NE und Zug von W nach E, der mit einem Stau im Küstengebiet hauptsächlich über dem Binnenland verlief, registriert (JELLMANN 1977). Beide Zugabläufe zeichneten sich außerdem durch eine unterschiedliche Tagesperiodik aus (JELLMANN & VAUK 1978). Somit kann man davon ausgehen, daß das Untersuchungsgebiet über dem Festland von anderen Arten überquert wird als über der Nordsee.

In diesem Fall ergibt sich zwischen Vogelzug und Wetter folgender Zusammenhang: Vogelarten, die niedrige Flughöhen bevorzugen, finden über dem Festland zur Fortsetzung ihres Zuges hinreichend günstige Bedingungen, da der Wind durch die Topographie und Vegetation abgelenkt und abgebremst wird. Die dabei entstehende Turbulenz ist nicht hinderlich, möglicherweise sogar fördernd. Diese Vogelarten werden jedoch zum großen Teil wegen ungünstigerer Windverhältnisse von einem Flug über die Nordsee abgehalten. Hingegen ist die Überquerung der Deutschen Bucht für andere Vogelarten möglich, die nicht zu starken Gegenwind aufgrund schnellerer Fluggeschwindigkeiten und günstigerer aerodynamischer Eigenschaften kompensieren können. Solche Vogelarten bevorzugen größere Flughöhen (BRUDERER 1975); sie tun dies in unserem Fall in dem Maße, in dem eine behindernde Wolkenschicht sich auflöst.

4. Zusammenfassung

Mit einem 10 cm Höhensuchradar wurden im April 1971 während des Frühjahrszuges in NW-Deutschland Flughöhen ($n = 3097$) gemessen. Die hauptbeteiligten Durchzügler waren vor allem Drosseln (*Turdus* spp.), Stare (*Sturnus vulgaris*) und Limikolen.

1. Insgesamt wurden mehr als die Hälfte aller Echos in den Luftschichten zwischen 600 und 900 m (MSL) gefunden. 75% der Echos blieben unter 1200 m und 90% unterhalb 2100 m (Abb. 1). Nur 1,5% aller Echos wurden in Höhen von mehr als 3000 m gemessen. Die bodennahe Luftschicht (150 m) wurde stark beflogen; in diesem Bereich fanden jedoch keine weiträumigen Zugbewegungen sondern vorwiegend Nahrungs- und Schlafplatzflüge statt.
2. Anhand der Echo-Ausbildung konnten rund 40% der Echos kleinen, lockeren Verbänden zugeschrieben werden. Diese erreichten im Mittel deutlich größere Zughöhen als große Schwärme (vgl. Abb. 1 und 2). Oberhalb 2450 m wurden nur kleine Gruppen registriert. Außerdem war ihr Anteil am Gesamtzug nachts etwa doppelt so groß wie am Tage.
3. Die größte gemessene Flughöhe lag bei 5500 m. Alle Echos über 3000 m Höhe wurden in Luftschichten registriert, in denen die Grenzunterkühlungstemperatur für Wassertropfen in der Atmosphäre (—25°C), bei deren Unterschreitung Eisbildung einsetzt, nicht erreicht wurde. Im maritim beeinflussten NW-Deutschland bei Vorherrschen von zyklonalen Wetterlagen mit hohen labilen Feuchtigkeitskonzentrationen in der Atmosphäre besitzt die Eisbildungszone limitierende Wirkung, da den Vögeln in solchen Höhen je nach Feuchtigkeitskonzentration Vereisung oder Reifbildung am Gefieder drohen.
4. Nachtzieher bevorzugten größere Flughöhen als Tagzieher. Dabei wurden die stärksten Unterschiede für die Luftschichten unterhalb 1000 m gefunden (Abb 4). Der Einfluß der Wolkenbedeckung wird diskutiert.
5. Von Tag zu Tag wechselte sowohl die am stärksten beflogene Luftschicht als auch das Bild der gesamten Verteilung der Flughöhen (Abb. 5). Zwischen der Höhenverteilung und der Stärke des Zuges bestand kein Zusammenhang. Sogar innerhalb eines Beobachtungstages ließen sich bereits nach wenigen Stunden wechselnde Höhenverteilungen nachweisen (Abb. 6).
6. Bei vergleichbaren Windsituationen war ein Einfluß der Bewölkung deutlich erkennbar. An einem Tag fand das gesamte Zugeschehen über einer sehr niedrigen Stratus-Decke mit verbreitetem Bodennebel statt. Eine Hochnebeldecke wurde deutlich gemieden. Mächtige hochreichende Schichtwolken wurden unterflogen, während bei durchbrochener Bewölkung die Verteilung der Flughöhen durch die Wolkenschicht hindurch erfolgte.
7. Der Wind wirkte sich über der Nordsee und über dem Festland unterschiedlich auf die Flughöhenverteilung aus. Bei Gegenwind war es einer Reihe von Vogelarten möglich, über dem Festland ihren Zug fortzusetzen, da durch Ablenkung und Abbremsung — Einfluß der Vegetation — günstigere Windbedingungen entstanden als über der freien Nordsee. Die Zunahme der Turbulenz wirkte sich nicht negativ, möglicherweise sogar positiv aus.

5. Summary

Flight altitudes of migrating birds in NW-Germany measured by radar

During the spring migration in April 1971 flight altitudes ($n = 3097$) were measured in NW-Germany using a nodding heightfinder with a wavelength of 10 cm. The chiefly involved species were first of all thrushes, starlings and limkoles.

1. Collectively more than half of all echoes were found in air layers between 600 and 900 m (MSL). 75% of the echoes were registered at heights below 1200 m and 90% below 2100 m (fig. 1). Only 1,5% of all echoes were found at altitudes of more than 3000 m. This distribution of flight altitudes shows an extensive accordance with the results of several other authors. Many flights occurred at low altitude (150 m). Certainly these were no long-range migration movements, but chiefly feeding and roosting flights.
2. Around 40% of all echoes were produced by small loose groups of migrants, as could be seen by the type of echo. Small groups obtained higher mean altitudes than dense flocks (cf. fig. 1 and 2). Above 2450 m only small groups were registered and their part of the whole migration, moreover, was at night about twice as great as at day.
3. The maximum height was 5500 m. All echoes above 3000 m were found in air layers at temperatures above the limiting value of undercooled water drops in the atmosphere (-25°C) before turning into ice begins (fig. 3). Increase of the volume of water particles, as it may occur during the flight of migrants by coagulation, entails the rise of temperature of ice-formation. Only above the level of -15°C the liquid phase of water in the atmosphere becomes quiet stable. In NW-Germany, influenced by maritime climate and prevailing cyclonic weather conditions with high unstable humidity percentage, the zone of ice-formation in the atmosphere has a ceiling effect. In such altitudes migrating birds are endangered by ice-formation or frozen-fog formation on their feathers according to the humidity content. Several other findings of high altitude flights from the literature and advantages to fly at high altitudes and oxygen deficiency are discussed.
4. Nocturnal migrants preferred, as was found out by other authors, higher altitudes than diurnal migrants. Thereby the heaviest differences were registered in the air layers below 1000 m (fig. 4). The influence of cloud-cover is discussed.
5. The most preferred flight levels changed from day to day as well as the patterns of altitude distribution (fig. 5). No relationship between altitude distribution and volume of migration could be found out. Even in the course of observation after few hours changing altitudes could be registered (fig. 6).
6. In weather situations when wind conditions were comparable the influence of cloud-cover was clearly distinguishable. On one day all migration occurred above very low ceiling stratus clouds and presence of widespread ground fog. The birds avoided flying in fog and concentrations of migrants above and below layers of fog could be observed. The migrants flew below stratus clouds with high tops, but when scattered the altitude distribution was continuous through the cloud layer.
7. The wind effected the altitude distribution over the open North Sea in other way than over the mainland. In head-wind situations it was possible for several species to continue migration over the mainland because wind conditions became more favourable by brake and deviation caused by the vegetation — opposite to the North Sea. Thereby increase of turbulence had no negative effect, possibly even a positive one.

6. Literatur

- Able, K. P. (1970): A radar study of the altitude of nocturnal passerine migration. *Bird Banding* 41: 282—290. ● Alerstam, T. (1972): Nocturnal Bird Migration in Skåne, Sweden, as Recorded by Radar in Autumn 1971. *Ornis Scand.* 3: 141—151. ● Alerstam, T., A. Lindgren, S. G. Nilsson & S. Ulfstrand (1973): Nocturnal Passerine Migration and Cold Front Passages in Autumn — a Combined Radar and Field Study. *Ornis Scand.* 4: 103—111. ● Alerstam, T., & S. Ulfstrand (1972): Radar and Field Observations of Diurnal Bird Migration in South Sweden, Autumn 1971. *Ornis Scand.* 3: 99—139. ● Bellrose, F. C. (1967): Radar in orientation research. *Proc. 14th Intern. Orn. Congr.*, Oxford 1966: 281—309. ● Bellrose, F. C., & R. R. Graber (1963): A radar study of the flight directions of nocturnal migrants. *Proc. 13th Intern. Orn. Congr.*, Ithaca 1962, Vol. 1: 362—389. ● Berger, M., & J. S. Hart (1974): Physiology and energetics of flight. In: D. S. Farner, & J. R. King: *Avian Biology*, Vol. 4: 415—477, Academic Press, New York. ● Bergmann, G. (1977): Finnish radar investigations on migration of waterfowl between the Baltic and the White Sea. XXIV Congresso per l'Electronica, Roma. ● Bezzel, E. (1977): *Ornithologie*. Uni-Taschenbuch 681, Ulmer-Verlag, Stuttgart. ● Blokpoel, H. (1970): A preliminary study on height and density of nocturnal fall migration. *Proc. of the World Conf. on Bird Hazards to Aircraft*, Kingston, Ontario 1969: 335—348. ● Bruderer, B. (1971): Radarbeobachtungen über den Frühlingszug im Schweizerischen Mittelland. (Ein Beitrag zum Problem der Witterungsabhän-

gigkeit des Vogelzugs.) Orn. Beob. 68: 89—158. ● Ders. (1975): Zeitliche und räumliche Unterschiede in der Richtung und Richtungsstreuung des Vogelzuges im Schweizerischen Mittelland. Orn. Beob. 72: 169—179. ● Ders. (1977): Beitrag der Radar-Ornithologie zu Fragen der Orientierung, der Zugphysiologie und der Umweltabhängigkeit des Vogelzuges. Vogelwarte 29, Sonderheft: 83—91. ● Eastwood, E. (1967): Radar Ornithology. Methuen & Co., London. ● Eastwood, E., & G. C. Rider (1965): Some radar measurements of the altitude of bird flight. Brit. Birds 58: 393—426. ● Dies. (1966): The grouping of nocturnal migrants. Nature 211: 1143—1146. ● Fortak, H. (1971): Meteorologie. Reihe: Das Wissen der Gegenwart. C. A. Koch's Verlag, Darmstadt. ● Gätkke, H. (1900): Die Vogelwarte Helgoland. 2. Aufl., herausg. von R. Blasius. J. H. Meyer, Braunschweig. ● Gauthreaux, S. A. (1972): Behavioral responses of migrating birds to daylight and darkness: A radar and direct visual study. Wilson Bull. 84: 136—148. ● Gehring, W. (1963): Radar- und Feldbeobachtungen über den Verlauf des Vogelzuges im Schweizerischen Mittelland: Der Tagzug im Herbst (1957—1961). Orn. Beob. 60: 35—68. ● Goethe, F. (1970): Märzaspekt des Vogel Lebens in der südlichen Nordsee. Ber. Dt. Wiss. Komm. Meeresforschung 21, 1—4: 430—443. ● Harper, W. G. (1958): Detection of bird migration by centrimetric radar — a cause of radar „angels“ Proc. Roy. Soc. London, Ser. B 149: 484—502. ● Harrison, J. (1969): The altitude of a migrating Shoveler. Bull. Brit. Orn. Club 89: 72. ● Hummel, D. (1978): Die Leistungersparnis in Flugformationen von Vögeln mit Unterschieden in Größe, Form und Gewicht. J. Orn. 119: 52—73. ● Hürzeler, E. (1950): Kranichzug 4300 m hoch über den Kanal. Orn. Beob. 47: 172. ● Jellmann, J. (1977): Radarbeobachtungen zum Frühjahrzug über Nordwestdeutschland und die südliche Nordsee im April und Mai 1971. Vogelwarte 29: 135—149. ● Ders. (1979a): Radarbeobachtungen zum Heimzug von Wildgänsen (*Anser, Branta* spp.) im Raum der Deutschen Bucht. Abh. aus dem Gebiet der Vogelkunde 6: 269—288. Mettcker & Söhne, Jever. ● Ders. (1979b): Einführung in die Radarornithologie. Abh. aus dem Gebiet der Vogelkunde 6: 249—261. Mettcker & Söhne, Jever. ● Jellmann, J., & G. Vauk (1978): Untersuchungen zum Verlauf des Frühjahrzuges über der Deutschen Bucht nach Radarstudien sowie Fang- und Beobachtungsergebnissen auf Helgoland. J. Orn. 119: 265—286. ● Jögi, A. (1971): Zum Mauserzug der Schellente (*Bucephala clangula*) und Trauerente (*Melanitta nigra*) in der Estnischen SSR. Orn. Mitt. 23: 65—67. ● Karlsson, J. (1976): Radar measurements of migration altitudes of Eiders (*Somateria mollissima*) over southernmost Sweden. Fauna Flora, Uppsala 71: 152—157. ● Karlsson, J., & T. Alerstam (1974): Flyghöjden hos flyttande tranor *Grus grus* över sydligaste Skåne — bestämning met hjälp av radar. Vår Vågelvärld 33: 265—269. ● Lack, D. (1960): The height of bird migration. Brit. Birds 53: 5—10. ● Manville, R. H. (1963): Altitude record for Mallard. Wilson Bull. 75: 92. ● Moritz, D., & G. Vauk (1976): Der Zug des Sperbers (*Accipiter nisus*) auf Helgoland. J. Orn. 117: 317—328. ● Nisbet, I. C. T. (1963a): Measurements with radar of the height of nocturnal migration over Cape Cod, Massachusetts. Bird Banding 34: 57—67. ● Ders. (1963b): Quantitative study of migration with 23-centimetre radar. Ibis 105: 435—460. ● Richardson, W. J. (1976): Autumn migration over Puerto Rico and the Western Atlantic: A radar study. Ibis 118: 309—332. ● Salomonsen, F. (1969): Vogelzug. BLV, München. ● Schüz, E. (1971): Grundriß der Vogelzugkunde. Parey-Verlag, Berlin und Hamburg. ● Steidinger, P. (1968): Radarbeobachtungen über die Richtung und deren Streuung beim nächtlichen Vogelzug im Schweizerischen Mittelland. Orn. Beob. 65: 197—226. ● Sutter, E. (1957): Radar als Hilfsmittel der Vogelzugforschung. Orn. Beob. 54: 70—96. ● Swan, L. W. (1970): Geese of the Himalayas. Nat. Hist. Dec.: 68—75. ● Timmermann, G. (1967): Der Vogelzug. Die Vorbereitung, Reihe V, Westermann-Verlag, Braunschweig. ● Vauk, G. (1977): Geschichte der Vogelwarte und der Vogelforschung auf der Insel Helgoland. Niederelbe-Druck, H. Huster KG, Otterndorf. ● Westphal, W. H. (1963): Physik. Ein Lehrbuch. 22.—24. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg. ● Williams, J. M., T. C. Williams & L. C. Ireland (1974): Bird migration over the North Atlantic. Proc. Conf. Biol. Aspects of Bird/Aircraft Collision Problem, Clemson University.

Anschrift des Verfassers: J. Jellmann, Otterhaken 5, D-2102 Hamburg 93

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Vogelwarte - Zeitschrift für Vogelkunde](#)

Jahr/Year: 1979

Band/Volume: [30_1979](#)

Autor(en)/Author(s): Jellmann Jürgen

Artikel/Article: [Flughöhen ziehender Vögel in Nordwestdeutschland nach Radarmessungen 118-134](#)