

Aus der Schweizerischen Vogelwarte Sempach  
und dem Institut für Haustierkunde der Universität Kiel

## **Die Wetterabhängigkeit von Zugintensität, Zughöhe und Richtungsstreuung bei tagziehenden Vögeln im Schweizerischen Mittelland**

**Gudrun Hilgerloh**

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit dem Einfluß des Wetters auf den herbstlichen Tagzug im Schweizerischen Mittelland, wobei die Beziehungen zur Zugintensität, zur Zughöhe und zur Streuung der Zugrichtungen analysiert werden. Außerdem wird versucht, zu überprüfen, ob Kurz- und Langstreckenzieher unterschiedlich auf das Wetter reagieren. Der Untersuchung liegen mehrjährige Radarbeobachtungen zugrunde, die mit Methoden der Regressions-technik ausgewertet werden. Bei den nachfolgenden Hinweisen auf frühere Arbeiten zum Thema beschränke ich mich auf Radarstudien.

Über den Einfluß des Wetters auf die Intensität des Vogelzuges gab Richardson (1978) eine Übersicht. Über den Tagzug, der hier ausschließlich behandelt werden soll, liegen Arbeiten aus nordeuropäischen Küstengebieten (Alerstam & Ulfstrand 1974, 1975, Alerstam 1975, Geil, Noer & Rabøl 1974, Lack 1963) und aus Nordamerika vor (Richardson & Haight 1970). Die Situation im europäischen Binnenland mit den speziellen Verhältnissen des Alpenrandes untersuchte bisher nur Gehring (1963).

Über die Beziehungen zwischen der tagsüber eingehaltenen Zughöhe und dem Wetter liegen bisher nur wenige Angaben vor. Hinweise auf die Bedeutung von Wind und Wolken im Nordseebereich erhalten wir von Eastwood & Rider (1965) sowie Jellmann (1979). Aufgrund umfangreicheren Datenmaterials soll hier für die Durchzügler des Alpenvorlandes aufgezeigt wer-

den, welche Wetterfaktoren die größte Bedeutung für die Höhenverteilung der Tagzieher besitzen.

Die Streuung der Zugrichtungen der Vögel wird hier zum ersten Mal auf ihren Zusammenhang mit Wetterfaktoren statistisch untersucht.

### **1. Material und Methode**

Das methodische Vorgehen (Interpretation der Radarbilder, Auswertungsverfahren) wird im folgenden sehr knapp behandelt oder ganz übergangen, da es an anderer Stelle ausführlich dargestellt wurde (Hilgerloh 1980).

#### **1.1. Radarbeobachtungen**

Die Untersuchung basiert auf Radarbeobachtungen, die im Zeitraum von 1957 bis 1963 von einer Arbeitsgruppe unter der Leitung von E. Sutter<sup>1</sup> am Klotener 10 cm-Überwachungsradar durchgeführt wurden. Das Gerät erlaubt im Umkreis von 10 Seemeilen (sm) einen Überblick über das Zuggeschehen. Die fotografische Dokumentation ermöglicht die Auswertung von sechs Herbstzugperioden (1957: 10.10.–28.10.;

<sup>1</sup>Die Arbeitsgruppe wurde zu Beginn vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung und seit 1958 von der Stiftung Dr. Fritz Hoffmann-La Roche zur Förderung wissenschaftlicher Arbeitsgemeinschaften in der Schweiz unterstützt.

1958: 27.9.–27.10.; 1959: 19.9.–26.10.; 1960: 26.9.–10.10.; 1961: 1.10.–6.10.; 1963: 11.9.–7.11.). Insgesamt umfaßt das Material im September  $n = 18$  und im Oktober  $n = 77$  Zugtage (ohne Regentage).

**Zugstärke:** Die Zugstärke wurde zur Tageszeit intensivsten Zuges nach der sechsstufigen Dichteskala von Gehring (1963) gemessen. Als weiterer Wert stand die Zugstärke für eine zweistündige Periode zur Verfügung. Dies gilt nur für den Oktober, im September waren die Beobachtungszeiten zu kurz. Für die Berechnung dieses Wertes wurde das Integral der Zugstärke zwischen dem Zeitpunkt maximaler Zugstärke und zwei Stunden später gebildet. Die Funktion lautet:  $Y = (X_1 + 4X_2 + 3X_3)/4$ , wobei  $X_1$  die Zugstärke zur Zeit maximalen Zuges,  $X_2$  eine halbe Stunde später und  $X_3$  zwei Stunden später bedeuten.

**Zughöhe:** Die Zughöhe wurde zur Tageszeit intensivsten Zuges geschätzt. Drei Klassen wurden unterschieden (Hilgerloh 1980): tief (Zugobergrenze bei 300 m B.), vorwiegend tief (stärkster Zug unterhalb von 300 m B., wesentlich schwächerer Zug findet auch darüber statt) und hoch (Schwerpunkt des Zuges im Bereich zwischen 600 m B. und 1200 m B.).

**Zugrichtung:** Die dominierende Zugrichtung sowie der Sektor, in dem die Richtungen streuen, wurde zur Tageszeit des intensivsten Zuges bestimmt.

## 1.2. Meteorologische Daten

Die meteorologischen Meßwerte wurden stündlichen AERO-Meldungen von Kloten sowie den im Zusammenhang mit den Radarstudien von A. Urfer (Meteorologe in der Flugwetterzentrale) erstellten täglichen Wetterübersichten entnommen. Folgende Wetterfaktoren wurden in die Analyse aufgenommen: Bedeckung (angegeben in Achteln), Richtung und Stärke des Boden- und Höhenwindes, Sicht (in hm), Luftdruck, Temperatur (als Abweichung von der mittleren Temperatur der einzelnen

Tage), relative Feuchtigkeit, Nebel und Regen (angegeben in Vierteln des Beobachtungsfeldes). Die Angaben über den Wind mußten zur statistischen Analyse transformiert werden (vgl. Hilgerloh 1980). Die Werte über die Sichtweite wurden logarithmiert, da man davon ausgehen kann, daß die Unterschiede bei größerer Sichtweite von geringerer Bedeutung für die Vögel sind als jene bei geringerer Sichtweite. Die Variable «Nebel» umfaßt Hoch- und Bodennebel in Hochdruckwetterlagen. Die Angaben über die Bedeckung beziehen sich an Tagen mit Nebel auf den Himmel über dem Nebel.

Zur Charakterisierung der Großwetterlage wurden Wetterkarten des deutschen und des schweizerischen Wetterdienstes sowie die Wetteranalysen von A. Urfer herangezogen. Für die graphischen Darstellungen (Abb. 2, 7 und 12) wurden die typischen Konstellationen der Großwetterlage für September und Oktober in der Schweiz zugrundegelegt (M. Schüepp mündl., Normal weather maps des US Weather Bureau 1946).

Regentage wurden in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt, da sie infolge extremer regionaler und zeitlicher Unregelmäßigkeiten der Zugstärke schwierig zu beurteilen sind. Außerdem verdeckt der Faktor Regen die Zusammenhänge mit den anderen Wettervariablen.

## 1.3. Statistische Auswertungsmethoden

Zur Ermittlung der Wetterfaktoren, die den größten Einfluß auf die Zugstärke haben, wurde die multiple Regressionsanalyse (vgl. auch Richardson 1974, Hilgerloh 1977) verwandt. Ich wählte dabei ein Verfahren, das nicht nur eine Kombinationsmöglichkeit von Wetterfaktoren zeigt (wie bei der schrittweisen Regressionsanalyse), sondern parallel dazu eine Anzahl vieler möglicher Gleichungen. Das verwendete Programm heißt BMDP9R (Biomedical Computer Programs/All possible subsets regression, Dixon & Brown 1977). Als Kri-

terium der Güte wird jeweils Mallows  $C_p$ -Wert (Daniel & Wood 1971) angegeben. Mallows  $C_p$ -Wert errechnet sich als eine einfache Funktion der Abweichungsquadrate der Residuen. Je näher er bei Null liegt, umso besser ist die Gleichung. Von allen Gleichungen gebe ich in den Tabellen die drei besten an, sofern sich das Gütekriterium gegenüber der besten Gleichung um nicht mehr als eine Einheit verschlechtert hat. Von der multiplen Bestimmtheit ( $= r^2$ ; ich verwendete «adjusted  $r^2$ »), kann abgelesen werden, wieviel Prozent der Gesamtvarianz ( $r^2 \cdot 100$ ) durch die in der Schätzgleichung enthaltenen Variablen erklärt wird. Der t-Wert ist als Zeichen der Sicherheit der einzelnen Faktoren zu werten. Je höher der Betrag des t-Wertes ist, umso größere statistische Sicherheit wird dem Faktor beigemessen. Das Vorzeichen des t-Wertes entspricht dem des Regressionskoeffizienten, d.h. es zeigt, ob der Einfluß der Variablen positiv oder negativ ist.

Im ersten Ansatz ging ich immer von einer linearen Beziehung der Wettervariablen zu der Abhängigen (z.B. der Zugstärke) aus. Nichtlineare Zusammenhänge erkennt man am Ausdruck der Residuen gegen die Wettervariablen an der Verteilung der Punkte. Zeigt sich eine Kurvenform, so ist das ein Zeichen für einen mit der Gleichung nicht abgedeckten nichtlinearen Zusammenhang. Das Modell wird dann durch Terme höherer Ordnung (z.B. Quadrat) ergänzt. Für alle in dieser Arbeit dargestellten Zusammenhänge erwies sich der lineare Ansatz als ausreichend. Eine Transformation war nur für die Zugstärke während der ersten zwei Stunden seit dem Beginn intensivsten Durchzugs erforderlich (Logarithmus), um die geforderte Normalverteilung der Residuen zu erreichen (Hilgerloh 1980).

Um zu überprüfen, ob die Zughöhe wetterbedingt ist, führte ich die Diskriminanzanalyse durch («Discriminant»-Prozedur des Programmpaketes SPSS, Nie et al. 1975). Als Maß für die statistische Bedeutung der einzelnen Wettervariablen wird

das «F to remove» angegeben. Je größer der Wert ist, umso größere Bedeutung kommt der Variablen zu.

## 2. Zugintensität und Wetter

### 2.1. Grundsätzliches

Die Zeit, zu der ein Vogel in Zugdisposition gerät, wird nach einem endogenen Zeitplan bestimmt. Als zusätzliche Zeitgeber wirken exogene Faktoren wie z.B. die Tageslänge. Die Dauer der Zugzeit ist so bemessen, daß ein Vogel an vielen Tagen nicht zu ziehen braucht. Ob er an einem bestimmten Tag zieht oder nicht, hängt von seinen Fettreserven, dem Nahrungsangebot im Rastgebiet sowie vom Wetter ab. Wir werden also nur einen Teil der täglichen Variation der Zugstärke durch Wetterfaktoren erklären können.

Berücksichtigt werden muß bei der Auswertung, daß innerhalb des Beobachtungszeitraumes Unterschiede in der Zugstärke auftreten: Im September sind noch relativ wenige Arten unterwegs, die während des Tages ziehen; es handelt sich dabei vor allem um Langstreckenzieher. Erst im Oktober erreicht der Tagzug mit überwiegender Beteiligung von Kurzstreckenziehern seine größte Entfaltung. Das steht im Einklang mit der im Oktober höher liegenden mittleren Zugstärke (Tab. 1).

Auch hinsichtlich der am Zuge beteiligten Arten ergeben sich wichtige Verschiebungen, so daß sich der Beobachtungszeitraum in zwei Abschnitte mit unterschiedlicher Artenkombination aufteilen läßt. Der erste Abschnitt umfaßt den Monat

**Tab. 1.** Mittelwerte der Zugstärke im September und Oktober, ausgehend von der Zugstärke zur Tageszeit des maximalen Durchzugs. – *Mean intensity of migration in September and October, based on daily migration intensity maxima.*

	September	Oktober
Arithm. Mittel	2,71	3,63
Median	2,63	3,80

September. In dieser Zeit fallen Schwalben, Schafstelzen und Baumpieper am stärksten ins Gewicht, wobei der größte Anteil auf die Schwalben (Rauchschwalbe *Hirundo rustica* und Mehlschwalbe *Delichon urbica*) entfällt. Diese Phase werde ich im Folgenden als «Schwalbenzugperiode» bezeichnen. Im zweiten Abschnitt, dem Monat Oktober, machen Buchfinken, Stare, Lerchen, Tauben und Bachstelzen den Hauptteil der Durchzügler aus; das Schwergewicht liegt auf den Buchfinken (de Crousaz 1960, Dorka 1966, Winkler 1973). Diese Phase soll kurz «Finkenzugperiode» genannt werden. Diese Aufgliederung gibt mir die Möglichkeit zu prüfen, ob sich die Langstreckenzieher Schwalben, Schafstelzen und Baumpieper im September und die Kurzstreckenzieher Buchfinken, Tauben, Lerchen, Stare und Bachstelzen im Oktober in ihren Reaktionen auf das Wetter unterscheiden.

Unterschiede im Schwarmverhalten zwischen den beiden Phasen deuten sich in der Weise an, daß es im September gelegentlich zu großen Konzentrationen von Echos kommt. Sie erwecken den Eindruck von

nicht abreißen Ketten von Schwärmen. Die Grenzen zwischen den Echos – und somit zwischen den Schwärmen – sind nur schwach erkennbar. Ich führe diese Erscheinungen auf Schwalben zurück, da derartige Formationen beim Schwalbenzug auch vom Feldbeobachter festgestellt werden können. Im Oktober sind die Konturen der Echos im allgemeinen wesentlich deutlicher zu erkennen. Das steht im Einklang mit den räumlich besser abgegrenzten Schwärmen der Finken, die hier dominieren.

## 2.2. Einfluß einzelner Wetterfaktoren

Ausgehend von der Zugstärke zur Tageszeit maximalen Durchzugs (S. 246) wurden mit Hilfe der multiplen Regressionsanalyse die Faktoren ermittelt, die am ehesten mit den Zugstärkeschwankungen von Tag zu Tag in Zusammenhang gebracht werden können.

*September.* Gemäß Tab. 2 lassen sich die Intensitätsschwankungen im September am besten durch die NE-SW-Komponente des

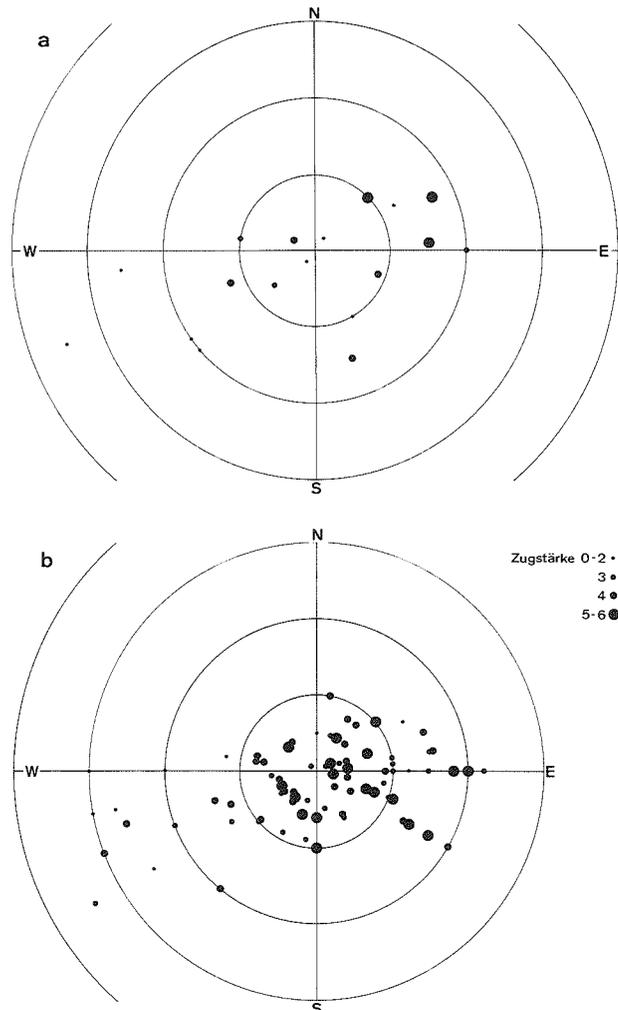
**Tab. 2.** Erklärung der Zugstärkeschwankungen durch Wetterfaktoren, ausgehend von der Zugstärke zur Zeit des maximalen Durchzugs: Die Variablen aus den besten Schätzgleichungen; multiple Regressionsanalyse. Zur Methode vgl. S. 246f. – *Variations in the intensity of migration attributed to weather agents, based on daily migration intensity maxima. The variables stem from best estimations; multiple regression analysis. For the method see p. 246f.* Wetterfaktor = *weather agent*; t-Wert = *t-value*;  $C_p$ -Kriterium =  $C_p$ -*criterion*; erklärte Varianz = *explained variance*; Höhenwind = *high altitude wind*; Bodenwind = *low altitude wind*; Sicht = *visibility*; Nebel = *fog*.

Monat	Wetterfaktor	t-Wert	$C_p$ -Kriterium	erklärte Varianz
September	1. Höhenwind aus NE	+4,40	+3,95	51,7%
	Temperatur	-2,80		
	2. Höhenwind aus NE	+4,09		
Oktober	Temperatur	-2,89	+4,45	52,9%
	Bodenwind aus SE	-1,21		
	1. Sicht	-6,33	-0,70	59%
	Höhenwind aus E	+4,35		
	Nebel	-2,50		
	Bodenwind aus NE	+2,35		
	2. Sicht	-5,21	+0,10	59,0%
	Höhenwind aus E	+4,07		
Bodenwind aus NE	+2,28			
Nebel	-2,16			
	Temperatur	-1,14		

Höhenwindes und die Temperatur erklären, d. h. der stärkste Zug ist bei Rückenwinden in der Höhe und niedrigen Temperaturen, der schwächste bei Gegenwind und hohen Temperaturen zu erwarten. Abb. 1a veranschaulicht den Zusammenhang mit dem Wind. Die Verstärkung der Zugintensität mit zunehmenden NE-Winden und die Abnahme der Zugstärke mit zunehmenden SW-Winden wird deutlich. Da ein Kälteeinbruch für die Schwalben eine Verknappung der Nahrung bedeutet, könnten niedrige Temperaturen sie zu verstärktem Aufbruch veranlassen. Andererseits bringt ein

nahendes Tiefdruckgebiet im Herbst wärmere Luftmassen, so daß die geringeren Zugintensitäten bei höheren Temperaturen auch einen negativen Zusammenhang mit dem Tiefdruckgebiet andeuten könnten.

*Oktober.* Zur Zugzeit der Finken sind folgende Tendenzen zu beobachten: Starker Zug tritt bei schlechter Sicht, Höhenwind aus E und nordöstlichen Bodenwinden auf, schwacher Zug bei guter Sicht, westlichen Höhenwinden und Bodenwinden aus SW. Den Zusammenhang mit dem Höhenwind verdeutlicht Abb. 1b: Winde aus dem östlichen Sektor, d. h. Rücken-



winde, sind im allgemeinen mit größerer Zugstärke verbunden als Winde aus dem W-Sektor, d.h. Gegenwinde. Doch kann starker Zug noch bei schwachen Gegenwinden auftreten. An einem größeren Datensatz aus dem September müßte überprüft werden, ob auch in dieser Zeit starker Zug bei schwachen Gegenwinden vorkommen kann.

Es scheint einleuchtend, daß die Vögel Rückenwinde bevorzugen. Doch mag erstaunen, daß im Oktober eher Zug bei schlechten als bei guten Sichtverhältnissen auftritt. Entsprechend der mit fortschreitender Jahreszeit erheblich zunehmenden Dunst- und Nebelbildung bei Hochdruckwetterlagen ist der Korrelationsmatrix der einzelnen Wetterfaktoren im Oktober zu entnehmen, daß schlechte Sicht im östlichen Schweizerischen Mittelland vor allem im Hochdruckgebiet vorhanden ist (die einfache Korrelation zwischen der Sicht und dem Hochdruckgebiet bei östlichen Höhenströmungen beträgt 0,5), während gute Sichtverhältnisse im Tiefdruckgebiet anzutreffen sind (die einfache Korrelation zwischen der Sicht und dem Warmsektor bei westlicher Höhenströmung beträgt 0,38 und bei südwestlicher Höhenströmung 0,27). Der Faktor Sicht deutet also einen möglichen Zusammenhang mit der Großwetterlage an. Im Vergleich zu den schon genannten Faktoren kommt dem Faktor Nebel eine relativ geringe Bedeutung zu (niedriger t-Wert). Während die einfache Korrelation zwischen Nebel und Zugstärke einen positiven Zusammenhang zeigt ( $r = 0,44$ ), erhält der multiple Regressionskoeffizient des Faktors Nebel in der Okto-

bergleichung ein negatives Vorzeichen. Nebel wie auch die schlechte Sicht stellen ein Indiz für eine stabile Schönwetterlage dar und sind eng korreliert ( $r = -0,64$ ). Doch ziehen die Vögel bei vergleichbaren Großwetterlagen offenbar nebelfreie Tage vor.

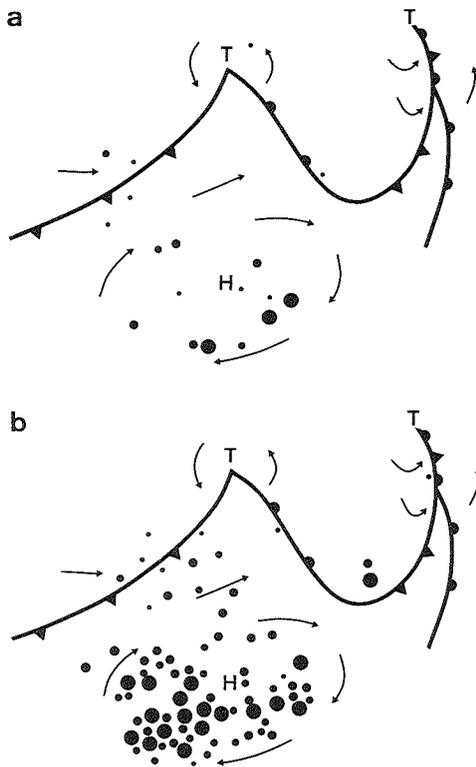
*Zweistündige Zugperiode.* Im Oktober ist für die Zugstärke eine weitere Größe verfügbar: Die Zugstärke innerhalb der ersten zwei Stunden seit dem Beginn des intensivsten morgendlichen Durchzuges (S. 246). Ich überprüfte mit Hilfe der multiplen Regressionsanalyse den Zusammenhang mit den einzelnen Wetterfaktoren (Tab. 3). Dabei zeigt sich, daß hier weitgehend dieselben Wetterfaktoren für die Zugstärkeschwankungen verantwortlich gemacht werden können wie für jene zur Tageszeit maximaler Zugstärke (Tab. 3). Die Übereinstimmungen passen zu der Beobachtung, daß an einem Morgen mit starkem Zug zur Zeit des Maximums der Zug auch meist länger intensiv bleibt als an Tagen, an denen die Maximalstärke geringer ist. Daneben ergibt der Vergleich der Tabellen 2 und 3 aber auch, daß mit dem Maß für die zweistündige Zugstärke ein größerer Teil der Varianz erklärt werden kann, als wenn man von der Stärke zur Zeit maximalen Zuges ausgeht. Es scheint ein ausgewogeneres Maß für die Zugstärke zu sein, das weniger von Zufälligkeiten beeinflusst wird.

### 2.3. Zusammenhang mit der Großwetterlage

Es stellt sich die Frage, ob die Zusammenhänge mit der Großwetterlage, die sich bei der Beurteilung der Einzelfaktoren andeu-

**Tab. 3.** Erklärung der Zugstärkeschwankungen durch Wetterfaktoren, ausgehend von der Zugstärke während zweier Stunden seit Beginn des maximalen Durchzugs; multiple Regressionsanalyse. – *Variations in the intensity of migration attributed to weather agents, based on the intensity of migration over the first two hours of peak migration; multiple regression analysis. For an explanation of the German terms, see Tab. 2.*

Monat	Wetterfaktor	t-Wert	C <sub>p</sub> -Kriterium	erklärte Varianz
Oktober	Sicht	-5,53	0,7	67,3%
	Höhenwind aus E	+4,76		
	Bodenwind aus NE	+3,06		
	Nebel	-1,89		



**Abb. 2.** Zugstärke im September (a) und Oktober (b) in Relation zur Großwetterlage. Jeder Punkt ist gemäß der Lage des Beobachtungsfalles innerhalb der Großwetterlage eingetragen. Signaturen für die Zugstärke wie in Abb. 1. – *The intensity of migration in September (a) and October (b) in relation to the general weather situation. Each point is placed on the diagram according to the general weather situation at the time of observation. Symbols for the intensity of migration as in Abb. 1.*

ten, bestätigt werden können. Im September tritt der stärkste Zug in der Südhälfte eines Hochdruckgebietes auf (Abb. 2a). In den drei Fällen mit stärkstem Zug kommt der Höhenwind aus östlichen Richtungen. Im Oktober spielen der Rückseitenbereich und Warmsektor eines Tiefdruckgebietes in dem Sinne eine besondere Rolle, als beide Großwetterlagen am ehesten schwachen Zug mit sich bringen. Ausgesprochen starker Zug kann in allen Hochdruckwetterlagen auftreten, doch kommt er am häufig-

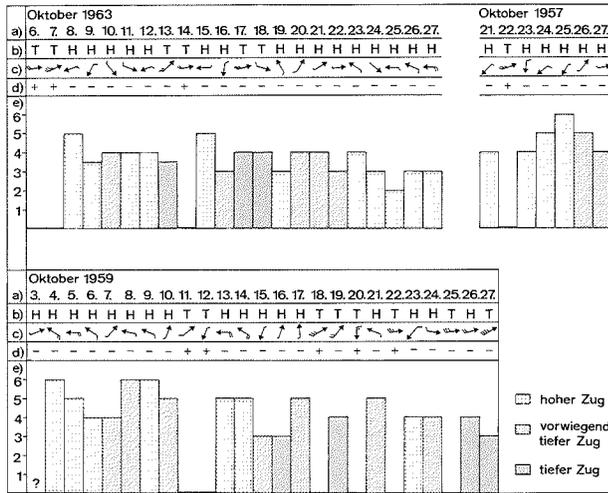
sten im Südteil des Hochdruckgebietes bei östlicher Höhenströmung vor. Lediglich starker Gegenwind scheint hemmend auf den Zug zu wirken.

Lassen sich die statistischen Aussagen, die in Kapitel 2.2. über den Zusammenhang mit den einzelnen Wetterfaktoren gemacht wurden, mit den Ergebnissen über die Großwetterlage in Einklang bringen? Im September erweist sich der Höhenwind als der wichtigste Faktor: Rückenwind fördert und Gegenwind hemmt den Zug. Dies kommt in Abb. 2a deutlich zum Ausdruck: starker Zug tritt ausschließlich auf der Südseite vom Hoch auf. Im Hinblick auf die geringe Zahl der im September analysierten Fälle muß jedoch offenbleiben, ob der Einbezug weiteren Materials dieses Verteilungsbild bestätigen wird.

Im Oktober kommen der Sicht und dem Höhenwind die größte Bedeutung zu. Wir erwarten starken Zug bei schlechter Sicht, also im Hochdruckgebiet, und schwachen Zug bei guter Sicht, d. h. in erster Linie im Tiefdruckgebiet. Diese Tendenz läßt sich aus Abb. 2b ablesen. Der Einfluß des Höhenwindes führt dazu, daß starker Zug häufiger auf der Südseite als auf der Nordseite eines Hochs vorkommt und daß im Tiefdruckgebiet deutlich weniger Zug auftritt.

#### 2.4. Zugstau

Kommt der Zug nach SW bei stürmischem oder regnerischem Wetter zum Erliegen, könnte das einen besonders starken Zug am nächsten Tag zur Folge haben. Zur Untersuchung dieser Frage standen im September keine und im Oktober acht Beobachtungstage zur Verfügung. In sechs Fällen kam der Wind nach einem Tag ohne Zug aus östlichen Richtungen (Abb. 3). Nur zweimal kam er aus SW. Dies sind auch die einzigen Tage mit tiefer Zugobergrenze. Mittels t-Test stellte ich fest, daß die Zugstärke nach einem Tag ohne SW-Zug im Mittel signifikant ( $P = 0,001$ ) über den Mittelwert aller Beobachtungstage stieg.



**Abb. 3.** Zugstärke und Zughöhe in Relation zu Großwetterlage, Höhenwind und Regen, dargestellt anhand geschlossener Beobachtungsreihen im Oktober. a = Datum, b = Großwetterlage (H = Hochdruckgebiet, T = Tiefdruckgebiet), c = Höhenwind, d = Regen, e = Zugstärke. – *The intensity and height of migration in relation to the general weather situation, based on a series of observations in October. a = date; b = general weather situation (H = high pressure zone, T = low pressure zone); c = high altitude wind; d = rain; e = intensity of migration.*

Läßt man Regentage unberücksichtigt, so kann man am gesamten Datenmaterial mittels multipler Regressionsanalyse keinen Einfluß der Wetterveränderungen seit dem Vortag auf die Zugstärke nachweisen.

## 2.5. Diskussion

**Wind:** Die hier vorgelegten Ergebnisse bestätigen das durch Radaruntersuchungen vom Tag- und Nachtzug gewonnene Bild, nach dem bei Rückenwind am häufigsten starker Zug und bei Gegenwind am häufigsten schwacher Zug auftritt (Richardson 1978). Die Windstärke gewinnt vor allem bei Gegenwind an Bedeutung; sie ist dann deutlich negativ korreliert mit der Zugstärke. Die Abhängigkeit vom Wind ist bei den einzelnen Arten unterschiedlich stark ausgeprägt. Im Folgenden sollen die Ergebnisse über die Windabhängigkeit bei tagziehenden kleinen Landvögeln einer vergleichenden Betrachtung unterzogen werden. Beim in der vorliegenden Arbeit untersuchten Buchfinkenzug findet starker Zug nicht nur bei Rückenwinden, sondern ebenso bei schwachen Gegenwinden statt. Dies Ergebnis spiegelt die am häufigsten vorkommende Art des Zusammenhanges

mit dem Wind wider (Richardson 1978). Gleiche Beobachtungen machte Lack (1963) beim Kleinvogelzug mit starker Beteiligung von Buchfinken und später Schwalben über der südlichen Nordsee. In Schweden fand an manchen Tagen mit Gegenwind mäßig starker und einmal sogar starker Kleinvogelzug mit Buchfinken als Hauptanteil statt (Alerstam & Ulfstrand 1975). Die Autoren machen keine Angaben über die Windstärke. Es ist zu vermuten, daß es sich ebenfalls um Tage mit schwachem Gegenwind handelt. Auch der Aufbruch von Staren von ihrem Rastplatz in Kanada kommt gelegentlich bei Gegenwind vor, Angaben über die Windstärke liegen nicht vor (Richardson & Haight 1970). Der Kleinvogelzug, der über Dänemark hinweggeht, ist besonders intensiv bei schwachen Rückenwinden (Geil, Noer & Rabøl 1974). Es ist aber nicht auszuschließen, daß die Vögel auch bei schwachen Gegenwinden ziehen. Eine Ausnahme stellen die Tauben nach der Untersuchung von Alerstam & Ulfstrand (1974) sowie die von Schweden am Tage nach SE ziehenden Rotdrosseln (Alerstam 1975) dar. Beide Arten wurden nie bei Gegenwind festgestellt. Die Tauben ziehen in der Schweiz vor allem im Oktober durch, und wenn in

dieser Zeit starker Zug bei schwachen Gegenwinden festgestellt werden konnte, so mag dies vor allem durch die Buchfinken verursacht sein. Tauben könnten in Situationen mit Rückenwind einen besonders großen Anteil am Gesamtzug ausmachen.

Während zur Zugzeit der Buchfinken der hohe Zug sowohl über Landflächen wie über dem Meer bei Rückenwinden stattfindet, scheinen im Bereich von Küsten in Bodennähe andere Beziehungen zum Wind zu bestehen (Alerstam & Ulfstrand 1975, Deelder 1949, Gruys-Casimir 1975, Rabøl 1974, Tinbergen 1941, Buurma in Vorb.).

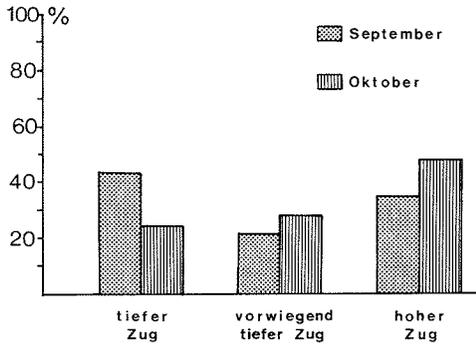
*Großwetterlage:* Zahlreiche Untersuchungen über den Tag- und Nachtzug kommen zu dem Schluß, daß der Herbstzug dann am intensivsten ist, wenn sich ein Hoch zur Rechten und ein Tief zur Linken des Vogels befindet (Richardson 1978). Gemeint ist die Situation der Westwindzone, bei der ein Tief am Beobachtungsort von W nach E vorübergezogen ist und nun ein Zwischenhoch von W naht. Hierbei handelt es sich um ein thermisches Hoch, das durch die hinter der Kaltfront vordringende kältere Luft hervorgerufen wird. Seine Lebensdauer ist nur kurz, von W wird bald das nächste Tiefdruckgebiet folgen. Die während der Herbstzugperiode im Schweizerischen Mittelland wetterwirksam gewordenen Hochdruckgebiete haben dagegen überwiegend dynamischen Charakter. Sie sind Ausläufer des Azorenhochs, die vielfach in den Warmsektor von Tiefdruckgebieten vorstoßen. Diese Hochdruckgebiete sind stabil, verschieben sich nur langsam und nehmen oft weite Teile Mitteleuropas ein. Trotz der unterschiedlichen meteorologischen Gegebenheiten zeigen meine Untersuchungen (Abb. 2) übereinstimmend mit den meisten anderen Arbeiten (Richardson 1978) die Tendenz, daß die nach SW ziehenden Vögel den SE- und S-Teil von Hochdruckgebieten mit nordöstlichen und östlichen Höhenströmungen bevorzugen. Innerhalb von Hochdruckgebieten werden außerdem Bereiche mit schwachen Winden unterschiedlicher Richtung bevorzugt (Richardson 1978). In allen

Fällen mit starkem Zug im W- und N-Teil des Hochdruckgebietes zur Finkenzugzeit herrschten im Schweizerischen Mittelland schwache Winde.

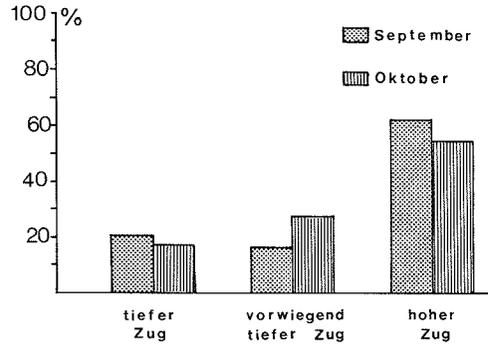
Inwieweit die in anderen Gebieten den Hochdruckgebieten vorausgehenden Kaltfronten auf Tagzieher zugauslösend wirken, soll im Folgenden gezeigt werden. Der Aufbruch von Staren von ihren Rastplätzen (Richardson & Haight 1970) erfolgt vor allem in frontfernen Hochdruckwetterlagen (Zentrum und SE-Teil). Lack (1963) stellt bei einer Gegenüberstellung von Hochdruck- und Tiefdruckwetterlagen eine Bevorzugung von Hochdruckgebieten fest, die Drucksysteme hatte er nicht weiter unterteilt. In Dänemark (Geil, Noer & Rabøl 1974) fand intensiver Kleinvogelzug zum Teil unmittelbar nach einem Kaltfrontdurchgang bei Winden aus W und N statt. Derartige Zusammenhänge ließen sich in meinem Datensatz nicht feststellen, da die hinter der Front im flachen Gelände nach Norden abdrehenden Winde im östlichen Schweizerischen Mittelland infolge des Alpenginflusses noch längere Zeit aus WSW bis W wehen. Zum Teil wurde in Dänemark starker Zug auch im Übergangsbereich zwischen einem Tiefdruckgebiet im E und einem Hochdruckgebiet im W bei schwachen nördlichen Winden beobachtet. Der Taubenzug in Schweden scheint noch stärker an den Durchgang von Fronten gebunden zu sein (Alerstam & Ulfstrand 1974). Die stärksten Zugtage lagen immer an einem Tag nach einem Kaltfrontdurchgang bei Vorherrschen von nördlichen Winden. Dieselbe Wettersituation wird auch von den nach SE ziehenden Rotdrosseln bevorzugt. Der nach SE gerichtete Nachtzug ist ebenfalls überwiegend in dieser Situation anzutreffen (Richardson 1978).

### 3. Zughöhe

Nicht nur die Zugstärke, sondern auch die Höhenverteilung der Schwärme variiert von Tag zu Tag. Im Felde erhält man den Eindruck, daß Schwalben bei ungestörter



**Abb. 4.** Zughöhe im September und Oktober: Prozentuale Aufteilung der Beobachtungstage nach den drei Klassen der Höhenverteilung (zur Zeit des maximalen Durchzugs). – *Height of migration in September and October, given as a percentage of the observation days classified according to the three levels of migration – low, predominantly low, and high altitude migration.*



**Abb. 5.** Zughöhe im September und Oktober: Prozentuale Aufteilung des Gesamtdurchzugs (bezogen auf die Zugstärke zur Zeit maximalen Durchzugs) nach den drei Klassen der Höhenverteilung. – *Height of migration in September and October given as a percentage of the total migration (with respect to the intensity of migration at the time of peak migration) in the three altitudinal levels.*

Wetterlage eher hoch fliegen, während Finken auch zahlreich in geringerer Höhe gesehen werden. Vergleicht man die Häufigkeit der drei Höhenklassen in den beiden Durchzugsphasen dieser Arten (September und Oktober), so lassen sich die Feldbeobachtungen nicht bestätigen (Abb. 4). Der stärkste Durchzug fällt in beiden Zeitphasen auf Tage mit hohem Zug (Abb. 5). Abbildung 5 geht von der mittleren Anzahl Schwärme pro Dichtestufe aus (vgl. Gehring 1963) und zeigt, wieviel Prozent des Durchzugs auf jede der drei Höhenklassen entfallen.

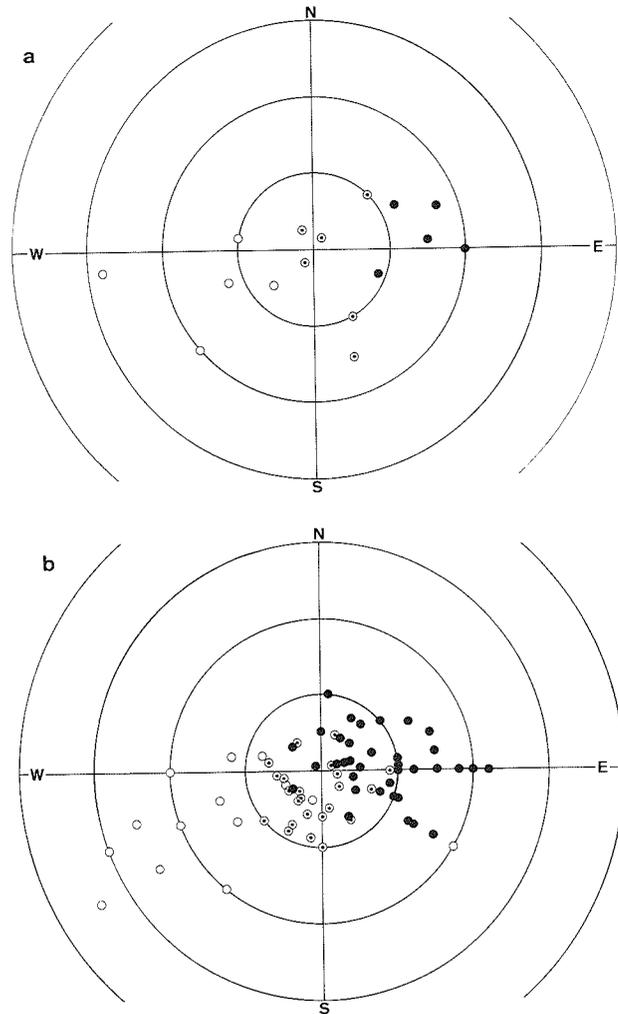
### 3.1. Einfluß einzelner Wetterfaktoren und der Großwetterlage

Die mögliche Bedeutung einzelner Wetterfaktoren für die Zughöhe ermittelte ich für beide Phasen mit Hilfe der Diskriminanzanalyse. Der tiefe und der hohe Zug ließen sich relativ gut aufgrund des Wetters trennen. Tage mit dem Übergangstyp wiesen z. T. ähnliches Wetter auf wie jene mit hohem Zug (vgl. Abb. 20 in Hilgerloh 1980). Für den gesamten Beobachtungszeitraum

stellt sich der Rücken- bzw. Gegenwind in der Höhe als entscheidender Faktor heraus. Für den hohen Zug ist der Rückenwind, für den tiefen der Gegenwind in der Höhe förderlich ( $P = 0,005$ ). Dies steht im Einklang mit den Feldbeobachtungen, nach denen der intensive tiefe Zug vor allem bei Gegenwind auftritt (Bruderer 1967, Géroudet 1959, Rychner & Imboden 1965, Sutter 1952). Abb. 6 veranschaulicht diese Beziehung für die Radarbeobachtungen. In Südostengland war dieser Zusammenhang beim Tagzug im Herbst nur schwach erkennbar (Eastwood & Rider 1965). Im Frühjahr ließ er sich weder in England (Eastwood & Rider 1965) noch in Nordwestdeutschland (Jellmann 1979) feststellen.

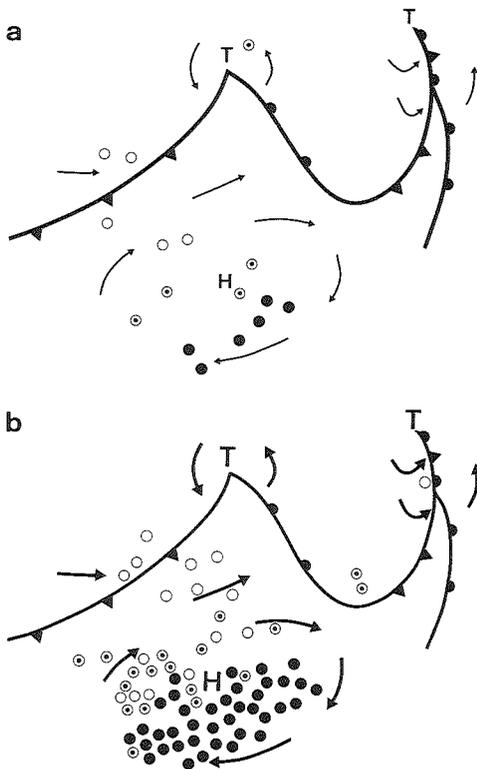
Geringfügiges Gewicht erhält die Bedeckung im Oktober (Tab. 4). Bei starker Bedeckung tritt eher tiefer und bei wolkenlosem Himmel eher hoher Zug auf. Eine umgekehrte Beziehung wurde beim Tagzug in England festgestellt (Eastwood & Rider 1965); diese Autoren machten allerdings keinen Unterschied zwischen Wolken und Hochnebel, während in meiner Untersuchung der Hochnebel nicht als eine Wol-

**Abb. 6.** Zughöhe im September (a) und Oktober (b) in Relation zur Richtung und Geschwindigkeit des Höhenwindes. ● = hoher Zug, ○ = tiefer Zug, ⊙ = vorwiegend tiefer Zug. Darstellungsweise wie in Abb. 1. – *The heights of migration in September (a) and October (b) in relation to the direction and velocity of high altitude wind. ● = high altitude migration, ○ = low altitude migration, ⊙ = predominantly low altitude migration.*



**Tab. 4.** Beste Erklärung der Variationen der Zughöhe durch Wetterfaktoren; Diskriminanzanalyse. Zur Methode vgl. S. 247. – *Variations in the height of migration attributed to weather agents; discriminant analysis. For the method see p. 247.* Vorzeichen d. Koeffizienten in score 1 = sign of the coefficient in score 1; richtig klassifizierte Fälle = correctly classified cases; Bedeckung = cloud cover. Other German terms explained in Tab. 2.

Monat	Wetterfaktor	F to remove	Vorzeichen d. Koeffizienten in score 1	richtig klassifizierte Fälle
September	Höhenwind aus NE	12,69	+	65%
	Bodenwind aus SE	3,43	+	
Oktober	Höhenwind aus NE	28,82	+	69%
	Sicht	7,63	-	
	Bedeckung	3,43	-	



**Abb. 7.** Zughöhe im September (a) und Oktober (b) in Relation zur Großwetterlage. Signaturen wie in Abb. 6, Darstellungsweise wie Abb. 2. – *Height of migration in September (a) and October (b) in relation to the general weather situation. Diagram as in Abb. 2, symbols as in Abb. 6.*

kenform eingestuft wurde (vgl. Kap. 1.2.). Hochnebel erhöht die Flughöhe, während die Zunahme anderer Wolkenformen zum Absinken der Flughöhe führen, eine Beobachtung, die gleichermaßen für den Tag- wie für den Nachtzug gemacht werden kann (vgl. z.B. Bruderer 1971).

Im Oktober kommt außerdem die Sicht als signifikante Variable in die Gleichung ( $P = 0,002$ ). Hoher Zug ist eher bei schlechter Sicht und tiefer Zug bei guter Sicht zu erwarten. Diese Variable muß nicht als Ursache angesehen werden, sondern kann auch als Indiz für die Großwet-

terlage verstanden werden. D.h. daß hoher Zug eher in Hochdrucklagen und tiefer Zug eher in den nebelfreien Tiefdrucklagen auftritt (vgl. Kap. 2.2.). Unterstützt wird diese Interpretation durch die folgende Analyse, in der nach den Großwetterlagen gesucht wurde, bei denen die Vögel am ehesten hoch und jenen, bei denen sie vor allem tief ziehen (Abb. 7). Ein Hoch mit nordöstlicher und östlicher Höhenströmung begünstigt sowohl im September wie im Oktober den hohen Zug, während das Tiefdruckgebiet mit westlicher und südwestlicher Höhenströmung am ehesten den tiefen Zug mit sich bringt. Ähnliche Zusammenhänge wurden für den Nachtzug im Schweizerischen Mittelland festgestellt (Bruderer 1971).

Bezüglich der Einzelfaktoren erweist sich der Wind also für beide Monate als wichtigster Faktor. In diesem Sinne lassen sich die Beziehungen zur Großwetterlage erklären.

### 3.2. Diskussion

Kleine Tagzieher ziehen auf ihrem Herbstzug also mit Vorliebe hoch. Sie profitieren dabei von den mit der Höhe zunehmenden Geschwindigkeiten des Rückenwindes. Bei Gegenwind ziehen sie tief und machen sich die geringeren Windgeschwindigkeiten in Bodennähe zunutze.

Rückenwind ist im Herbst in der Schweiz mit nordöstlichen Winden gleichzusetzen. Diese treten vor allem im südöstlichen Teil von Hochdruckgebieten auf und weisen kaum Turbulenzen auf. Oft bildet sich bei diesen Wetterlagen Nebel, während Wolken weitgehend fehlen. Gegenwind, also Winde aus südwestlichen Richtungen, kommen einerseits als wenig turbulente Winde im nordwestlichen Teil von Hochdruckgebieten vor, daneben aber auch als böige Winde auf der Südostseite von Tiefdruckgebieten, wo es meist auch zu starker Wolkenbildung kommt. Rückenwind bedeutet also im Herbst schönes Wetter, während Gegenwind bei schönem und schlechtem Wetter auftreten kann.

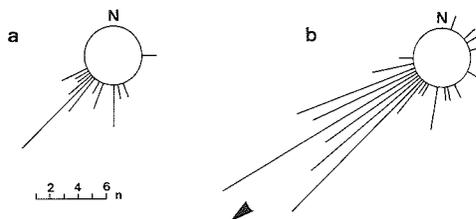
## 4. Zugrichtungen

### 4.1. Mittlere Zugrichtung

Nachdem im Schweizerischen Mittelland für den Nachtzug auf eine mögliche Beeinflussung der mittleren Zugrichtung durch den Verlauf der Alpen und die durch sie beeinflussten Winde hingewiesen worden ist (Bruderer 1975), war von Interesse, wie es sich mit dem Tagzug verhält. Die mittlere Richtung wurde zur Zeit des stärksten Durchzugs am Morgen festgestellt; anhand dieser Daten sind Häufigkeitsdiagramme für die Schwalben- und die Finkenzugzeit angefertigt werden (Abb. 8). In der Schwalbenzugzeit überwiegen Richtungen um  $225^\circ$ , daneben kommen auch südliche Zugrichtungen vor. Zur Finkenzugzeit sind die am häufigsten vorkommenden Richtungen  $240^\circ$  und  $225^\circ$ . Die nach Batschelet (1978) statistisch berechnete mittlere Richtung beträgt für diesen Zeitraum  $233^\circ$ .

Ringfundmeldungen von Schwalben (Rauchschwalbe: Zink 1970; Mehlschwalbe: schweizerische Ringfundmeldungen, unveröff.) lassen eine dominierende Zugrichtung von  $200^\circ$  bis  $205^\circ$  erkennen. Diese Zugrichtungen lassen sich bis Skandinavien und die südlich an die Ostsee angrenzenden Herkunftsgebiete zurückverfolgen. Bei den Buchfinken herrscht nach den Ringfunden eine mittlere Zugrichtung von  $230^\circ$  bis  $240^\circ$  vor, die Herkunftsgebiete der Durchzügler liegen bevorzugt in der Verlängerung der Mittellandachse bis zu den Pripjetsümpfen und nur vereinzelt etwas nördlich davon (Bochmann 1934, Schifferli 1963). Auf dem Weiterzug scheint diese Richtung allerdings nicht mehr eingehalten zu werden: die Zielgebiete der auf Col de Bretolet gefangenen Buchfinken liegen nach Schifferli (1963) deutlich südlicher, etwa bei  $220^\circ$ .

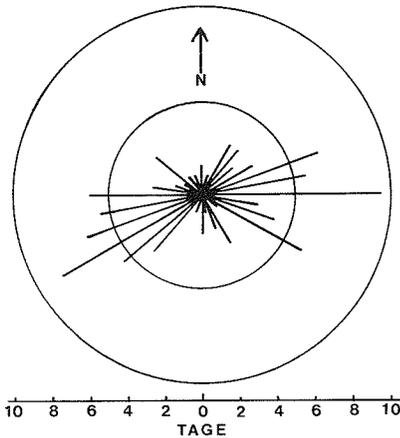
Daß die Schwalben eine südlichere Zugrichtung einhalten als die Buchfinken, kommt auch beim Vergleich der Radardaten vom September und Oktober zum Ausdruck. Allerdings ist der Unterschied nicht so deutlich wie bei den Beringungsergeb-



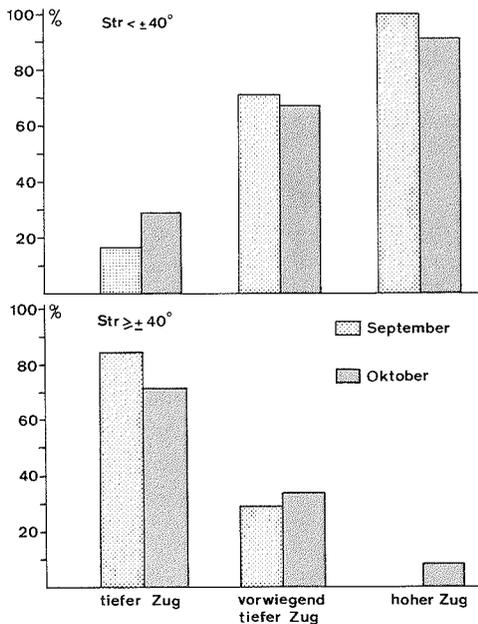
**Abb. 8.** Häufigkeiten der beobachteten Vorzugsrichtungen (zur Zeit des maximalen Durchzugs) im September (a) und Oktober (b). Der Pfeil im Oktoberdiagramm zeigt die nach Batschelet (1978) statistisch berechnete mittlere Zugrichtung (Richtung des mittleren Richtungsvektors);  $n$  = Anzahl Tage. Südflug ist hier nicht berücksichtigt, soweit er an Tagen mit dominierender Zugrichtung nach SW neben dieser auftrat. – *Frequency of the observed preferred migratory directions (at the time of daily peak migration) in September (a) and October (b). The arrow in the October diagram indicates the mean direction (Batschelet 1978).  $n$  = no. of days. Southward migration has not been considered here when it occurred on days with predominantly SW migration.*

nissen, indem die am Radar ermittelten Zugrichtungen nur zur Finkenzugzeit den durch Ringfunde belegten Herkunftsrichtungen entsprechen, während sie zur Schwalbenzugzeit von diesen etwas abweichen.

Die Alpen erstrecken sich südlich des östlichen Teiles des Schweizerischen Mittellandes entlang einer Achse, die von  $60^\circ$  nach  $240^\circ$  verläuft. Die Winde erfahren am Beobachtungsort vor allem dann starke Ablenkungen, wenn sie aus dem W- bis NW-Sektor kommen, da Alpen und Jura zusammen einen kanalisierenden Effekt ausüben (Atlas der Schweiz 1970). Dies kommt auch in der Darstellung der Winde an den Beobachtungstagen zum Ausdruck (Abb. 9). Für Winde aus dem E-Sektor ist im Herbst keine auffällige Ablenkung durch die Alpen feststellbar (M. Schüepp mündl., Abb. 9). Da man einen Einfluß auf die mittlere Herbstzugrichtung nur von Winden aus dem E-Sektor erwartet, scheidet der Faktor Wind als Einfluß nehmende Größe aus. Die zu klärende Frage lautet darum allein, ob die Alpen die Zugrichtungen beeinflussen.



**Abb. 9.** Häufigkeit der verschiedenen Windrichtungen an den regenfreien Beobachtungstagen. – *The frequency of wind directions on rain-free observation days. Tage = days.*



**Abb. 10.** Streuung der Zugrichtungen im September und Oktober: Prozentuale Aufteilung der Beobachtungstage innerhalb der Höhenverteilungsklassen nach der Größe des Streuungssektors (Str). – *The scatter of the directions of migration in September and October: Within the altitude classes, the observation days are separated according to size of the sector of scatter (Str). Tiefer Zug = low altitude migration; vorwiegend tiefer Zug = predominantly low altitude migration; hoher Zug = high altitude migration.*

Zur Schwalbenzugzeit herrscht keine Übereinstimmung zwischen der im Schweizerischen Mittelland beobachteten mittleren Zugrichtung und dem Alpenverlauf. Die Schwalben weichen nicht entsprechend dem Alpenrand von ihrer weiter nördlich eingehaltenen Zugrichtung ab. Zur Finken zugzeit deutet sich nach den vorliegenden Daten eher eine Übereinstimmung zwischen der Herkunftsrichtung, der mittleren Zugrichtung in der Schweiz und dem regionalen Alpenverlauf an. Beim Nachtzug liegt ein größerer Teil der Herkunftsgebiete nördlich der Mittellandachse, so daß der alpenparallele Zug durch den Verlauf der Alpen beeinflusst sein kann (Bruderer 1975). Dieses Argument entfällt für den Buchfinkenzug: die im Schweizerischen Mittelland beobachtete Zugrichtung wird offenbar bereits in recht großer Entfernung von den Alpen eingehalten (Schifferli 1963). Weiter zu untersuchen ist das dem Alpenbogen entsprechende Südwärts-Drehen der Zugrichtungen südwestlich der Schweiz.

#### 4.2. Streuung der Richtungen

Im Folgenden soll ermittelt werden, unter welchen Umständen die Richtungen besonders stark bzw. wenig um die mittlere Zugrichtung streuen. Es werden nur Fälle untersucht, in denen die mittlere Richtung nach SW zeigt.

*Streuung und Höhenverteilung:* Die Gegenüberstellung der Fälle mit einer Streuung von weniger als  $\pm 40^\circ$  mit denen von mehr als  $\pm 40^\circ$  für die drei Klassen der Höhenverteilungen (vgl. Kap. 2.2.) zeigt für September und Oktober die Tendenz, daß die größere Streuung bevorzugt bei tiefem und die geringere bevorzugt bei hohem Zug auftritt (Abb. 10). Möglicherweise gewinnen die Landschaftsstrukturen für einen Teil der tief fliegenden Schwärme eine größere Bedeutung, so daß der Streuungssektor dann größer wird. Andererseits findet tiefer Zug vor allem bei SW-Winden statt, der auch zu reinem Südzug führen kann (Hilgerloh in Vorb.).

**Tab. 5.** Erklärung des Grades der Richtungsstreuung durch Wetterfaktoren: Variablen aus den besten Schätzgleichungen; multiple Regressionsanalyse. – *The amount of spread of the directions attributed to weather agents. The variables stem from best estimations; multiple regression analysis.*

Monat	Wetterfaktor	t-Wert	C <sub>p</sub> -Kriterium	erklärte Varianz
September	Höhenwind aus NE	–2,98	–2,35	31,5%
	Luftdruck	–2,16		
Oktober	1. Höhenwind aus E	Sicht	–0,41	45,0%
		Nebel		
		Temperatur		
	2. Höhenwind aus E	Sicht	–0,22	43,9%
		Nebel		
	3. Höhenwind aus E	Temperatur	+0,23	42,6%

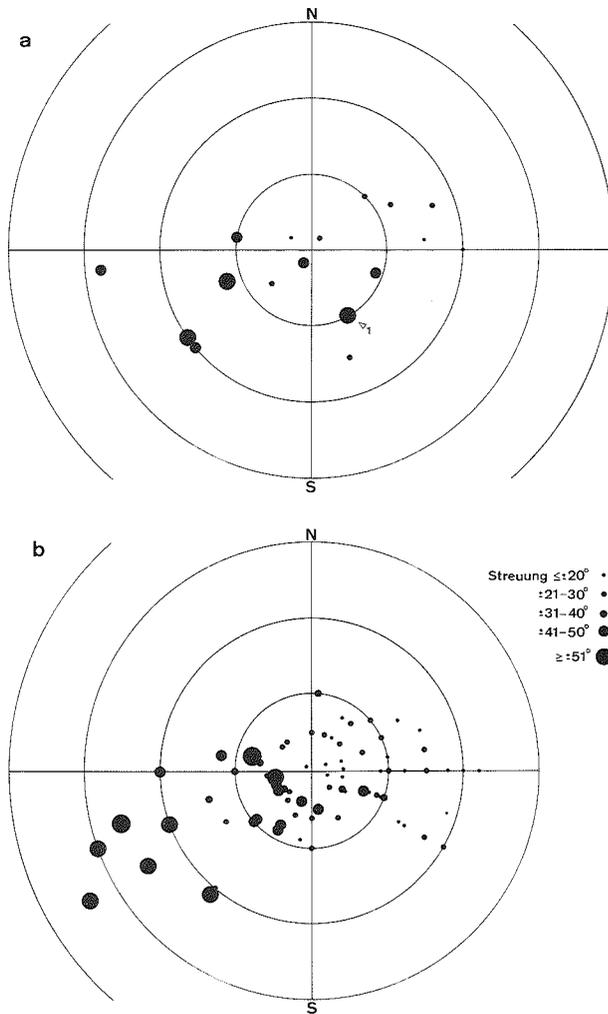
*Streuung und Wetterfaktoren:* Die Verbindung mit den Höhenverteilungen deutet eine Wetterabhängigkeit der Streuung an, die mit Hilfe der multiplen Regressionsanalyse nachgewiesen werden konnte. Tab. 5 entnehmen wir, daß im September die größte Streuung bei Südwestwind in der Höhe und tiefem Luftdruck herrscht und die geringste bei Rückenwind und hohem Luftdruck. Im Oktober streuen die Richtungen am stärksten bei westlichen Höhenwinden, guter Sicht und hohen Temperaturen, während östliche Höhenwinde, tiefe Temperaturen und schlechte Sicht eine Verkleinerung des Streuungssektors mit sich bringen. Wir stellen eine gewisse Übereinstimmung mit den Ergebnissen über den Einfluß der Wetterfaktoren auf die Schwankungen der Zugstärke fest. Die größte Streuung ist demnach bei schwachem Zug und die geringste bei starkem Zug zu erwarten. Für den Nebel ist wie bei den Zugstärkeschwankungen (vgl. Kap. 2.1.) folgender Zusammenhang nachzuweisen: während die einfache Korrelation zwischen der Streuung und dem Nebel negativ ist (Tab. 6), wird das Vorzeichen positiv, wenn die Sicht berücksichtigt wird.

Gehen wir von den einfachen Korrelationen (Tab. 6) aus, so ist der engste Zusammenhang mit dem NE- und E-Wind bzw. SW- und W-Wind in der Höhe gegeben. Die Korrelationswerte für die anderen Va-

**Tab. 6.** Einfache Korrelationen zwischen der Richtungsstreuung und den einzelnen Wetterfaktoren im Oktober. – *Simple correlations between the spread of directions and single weather agents in October.* Korrelationskoeffizient = *correlation coefficient*; Luftdruck = *air pressure*; Feuchtigkeit = *humidity*; other German terms explained in Tab. 2.

Wetterfaktor	Korrelationskoeffizient
Höhenwind aus E	–0,62
Höhenwind aus NE	–0,58
Höhenwind aus SE	–0,54
Temperatur	+0,32
Bedeckung	–0,25
Bodenwind aus NE	–0,25
Sicht	+0,20
Höhenwind aus N	–0,20
Nebel	–0,18
Bodenwind aus SE	+0,17
Luftdruck	–0,17
Feuchtigkeit	–0,15

riablen liegen wesentlich darunter. Somit wird dem Wind eine ähnliche Vorrangstellung eingeräumt wie bei reinem Südzug (Hilgerloh 1980). Die Darstellungen über den Zusammenhang mit dem Wind (Abb. 11) veranschaulichen, daß zwar die kleinste Streuung an Tagen mit östlichen Winden auftritt, aber große Streuungssektoren nicht nur bei Gegenwinden vorkommen. An Tagen mit Hochnebel beziehen sich die Streuungsangaben auf die Situation über dem Nebel. Im Fall 1 im September (Abb. 11a) lag über dem Gebiet eine ge-



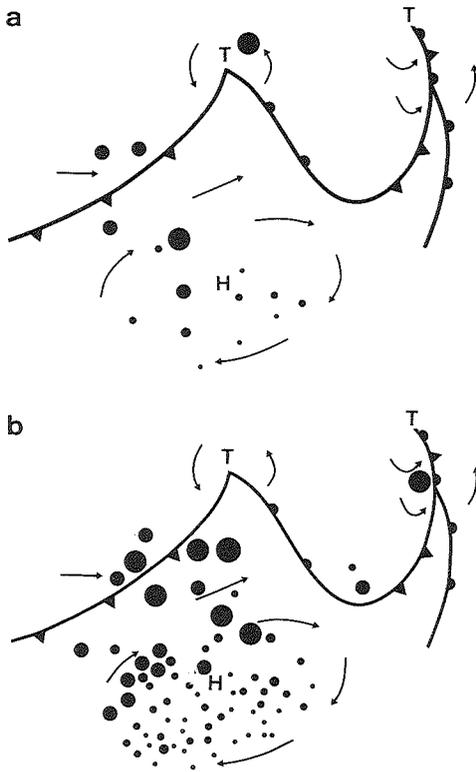
**Abb. 11.** Streuung der Zugrichtungen im September (a) und Oktober (b) in Relation zur Richtung und Geschwindigkeit des Höhenwindes. Darstellungsweise wie Abb. 1. Der im Septemberdiagramm vermerkte Fall 1 ist im Text erläutert. – *The scatter of the directions of migration in September (a) and October (b) in relation to the direction and velocity of high altitude winds. Diagram as in Abb. 1. The significance of the point 1 (September) is elaborated in the text.*

geschlossene Wolkenschicht von 400 m Dicke, die von den Vögeln nicht überflogen wurde. Die besonders große Streuung ist im Zusammenhang mit der Tatsache zu sehen, daß die geschlossene Wolkendecke bereits seit mehreren Tagen bestand.

Die einfache Korrelation zwischen der Bedeckung und dem Streuungssektor beträgt 0,21 im September und 0,25 im Oktober (Tab. 6). Mit diesen Werten hebt sie sich von denen der anderen Variablen nicht ab. Der Faktor Bedeckung verliert völlig an Bedeutung, wenn der Höhenwind bereits

zur Erklärung der Streuung herangezogen wird (in keiner der besten Gleichungen kommt die Variable Bedeckung vor), da Bedeckung und Höhenwind miteinander korreliert sind (vgl. Kap. 3).

Lassen sich die Wetterfaktoren, die die Streuung fördern bzw. verkleinern, mit bestimmten Großwetterlagen in Verbindung bringen? Im September sind die kleinsten Streuungssektoren auf der S- und SE-Seite von Hochdruckgebieten zu finden (Abb. 12), während große Richtungsdivergenzen im Tiefdruckgebiet sowie auf der



**Abb. 12.** Streuung der Zugrichtungen im September (a) und Oktober (b) in Relation zur Großwetterlage. Signaturen wie in Abb. 11, Darstellungsweise wie Abb. 2. – *The scatter of the directions of migration in September (a) and October (b) in relation to the general weather situation. Diagram as in Abb. 2, symbols as in Abb. 11.*

NW-Seite vom Hoch zu beobachten sind. Im Oktober befindet sich an Tagen mit einem kleinen Streuungssektor der Beobachtungsort im Zentrum oder auf der Südhälfte eines Hochdruckgebietes. Große Streuungen können bei allen anderen Wetterlagen vorkommen. Sie treten verstärkt bei Tiefdruckwetterlagen auf.

#### 4.3. Diskussion

Die größte Divergenz der Richtungen tritt bei westlichen bis südwestlichen Winden auf. Bei konstanter Streuung der Kursrich-

tungen (headings) bewirkt ein Gegenwind stets eine größere Streuung der Zugrichtungen (tracks) als ein Rückenwind. Weitere Faktoren können die Streuung beeinflussen: jene Populationen mögen besonders stark am Zug beteiligt sein, die eine mehr südliche Richtung einschlagen müssen, um ihr Winterquartier zu erreichen. In Kap. 3 wurde ausgeführt, daß diese Windbedingungen im allgemeinen tiefen Zug mit sich bringen. Die Leitlinienwirkung der Topographie ist für tieffliegende Vögel wesentlich größer als für hochfliegende (Alerstam & Ulfstrand 1972, Gruys-Casimir 1975). Entsprechend wird auch diese Komponente zu einer Vergrößerung des Streuungssektors führen.

Die Wirkung einer geschlossenen Wolkendecke auf die Streuung wird an Tagen mit Hochnebel deutlich. Unter dem Stratus streuen die Richtungen immer stärker als darüber. Als erstes wird man vermuten, daß dies mit der fehlenden Sicht der Sonne unter dem Nebel zusammenhängt und es als Orientierungsschwäche interpretieren. Wichtig erscheint hier die Tatsache, daß die meisten Vögel weiterhin die Hauptrichtung des Herbstzuges einhalten. Insofern werden die Orientierungsschwierigkeiten nur für einen Teil der Durchzügler gelten. Die Richtungen streuen nur dann wesentlich mehr, wenn der Stratus bereits am Vortag über dem Gebiet lag (Gehring 1963, Hilgerloh in Vorb.). Da der Zug unter dem Stratus eher tief ist, kommt die Leitlinienwirkung bei der Richtungsstreuung in jedem Fall zum Tragen.

**Danksagung.** Mein Dank gilt vor allem Dr. B. Bruderer für seine Hilfsbereitschaft, zahlreiche Anregungen und die Durchsicht dieser und einer älteren Fassung des Manuskripts. Herrn Prof. Dr. W. Schultz danke ich für die Nennung des Themas der Dissertation, von der in dieser Veröffentlichung ein Teil wiedergegeben wird. Dr. E. Sutter überließ mir freundlicherweise das Filmmaterial sämtlicher unter seiner Leitung durchgeführten Radarbeobachtungen und sah das Manuskript kritisch durch. Bei den Untersuchungen über die Quantifizierung der Radarbilder konnte ich mich auf die Ratschläge von dipl. el. ing. ETH P. Steiner stützen. Dipl. math. ETH W. Stahel stellte sich freundlicherweise für die Beratung bei der statistischen Auswertung zur

Verfügung. Bei meteorologischen Fragen wandte ich mich an Dr. M. Schüpp. Die in meiner Arbeit verwendeten meteorologischen Daten erhielt ich in der Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich. Wertvolle Diskussionen führte ich mit Dr. R. Winkler sowie Dr. R. Bloch. Bei der Zusammenarbeit mit der Vogelwarte Sempach konnte ich immer mit großem Entgegenkommen rechnen. Prof. Dr. V. Ziswiler stellte mir während meiner Auswertungen in Zürich liebenswürdigerweise einen Arbeitsplatz am Zoologischen Museum zur Verfügung, während mir das Rechenzentrum der Universität Zürich gratis Rechenzeit gewährte. Finanzielle Unterstützung erfuhr ich durch die Graduiertenförderung der Universität Kiel und im letzten Jahr durch meinen Vater. B. Zuur übersetzte die Abbildungs- und Tabellen-Legenden ins Englische. Alle hier Genannten trugen wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit bei. Ihnen möchte ich hiermit meinen herzlichen Dank aussprechen.

### Zusammenfassung, Summary

In der vorliegenden Arbeit werden Untersuchungen über den Einfluß des Wetters auf den herbstlichen Tagzug von Vögeln im Schweizerischen Mittelland durchgeführt. Sie basieren auf Radarbeobachtungen, die mit Methoden der Regressionstechnik ausgewertet werden. Dabei stehen drei Aspekte des Zuges hinsichtlich des Wettereinflusses im Mittelpunkt: die Intensitätsschwankungen des Zuges von Tag zu Tag, die Zughöhe sowie die Streuung der Zugrichtungen.

Der Untersuchung liegen Beobachtungen zugrunde, die während 6 Jahren mit einem Überwachungsradar durchgeführt wurden. Durch Aufspaltung der gesamten Herbstzugsphase konnten zwei Artengruppen einander gegenübergestellt werden: In der ersten Phase (September) dominieren die Schwalben (Rauchschwalbe *Hirundo rustica* und Mehlschwalbe *Delichon urbica*), in der zweiten (Oktober) die Buchfinken *Fringilla coelebs*.

Die Schwankungen der Zugintensität ließen sich in den beiden Phasen zu 50% bzw. 60% durch einzelne Wetterfaktoren erklären (multiple Regressionsanalyse). Tage mit intensivem Zug sind am häufigsten in Hochdruckwetterlagen mit Rückenwind anzutreffen und etwas seltener – zumindest in der Finkenzugzeit – bei Hochdrucklagen mit schwachem Gegenwind. Fällt der Zug an einem Tag durch ungünstige Umweltbedingungen aus, so findet am folgenden Tag überdurchschnittlich intensiver Zug statt.

Die Zughöhe wird in beiden Phasen überwiegend durch den Wind bestimmt (Diskriminanzanalyse). Hoher Zug findet bei nordöstlichen und östlichen und tiefer bei Winden aus dem SW- bis W-Sektor statt.

Für die mittlere Zugrichtung ließ sich kein Alpeinfluß nachweisen.

Der Winkel, in dem die Zugrichtungen streuen, war bei Gegenwind und Tiefdruckbedingungen am größten und bei Rückenwind und Hochdruckwetterlagen am kleinsten (multiple Regressionsanalyse).

### *Effects of weather conditions on the intensity of diurnal migration, flight height and directional scatter in the Swiss Lowlands*

This paper describes studies on the influence of the weather on the diurnal autumn migration in the Swiss Lowlands. They are based on radar observations and their analysis by regression-methods. The weather influence on three aspects of migration is investigated: variations in the intensity of migration, in the flight height and in the scatter of directions.

The investigations are based on observations with a surveillance radar over a period of six years. By dividing the autumnal observation period in two parts, two groups of species can be studied separately: mainly Swallows and House Martins in September, and mainly Chaffinches in October.

During both phases 50% and 60% respectively of the variations in the intensity of migration can be explained by single weather factors (multiple regression analysis). Days with heavy migration occur most often in high pressure zones with tailwinds and – in the migration period of chaffinches – also in high pressure zones with weak headwinds. A day without migration because of bad weather is followed by a migration intensity above average.

During both phases the height of migration is predominantly determined by the wind (discriminant analysis). Birds migrate in high altitude with winds from the NE and E and fly in low altitude with winds from SW to W.

A clear influence of the Alps on the mean direction of migration cannot be seen.

The directions of migration scatter the most with headwinds and in low pressure zone and the least with tailwinds and in high pressure zones (multiple regression analysis).

### Literatur

- ALERSTAM, T. (1975): Redwing (*Turdus iliacus*) migration towards southeast over Southern Sweden. Vogelwarte 28: 2–17.
- ALERSTAM, T. & S. ULFSTRAND (1972): Radar and field observations of diurnal bird migration in South Sweden, autumn 1971. *Ornis Scand.* 3: 99–139. – (1974): A radar study of the autumn migration of Wood Pigeons *Columba palumbus* in Southern Scandinavia. *Ibis* 116: 522–542. – (1975): Diurnal migration of passerine birds over South Sweden in relation to wind direction and topography. *Ornis Scand.* 6: 135–149.

- BATSCHLET, E. (1978): Second-order statistical analysis of directions. In: Animal migration, navigation, and homing (K. Schmidt-König & W.T. Keeton eds.). Berlin, Heidelberg, New York.
- BOCHMANN, C. VON (1934): Über den Zug der Buchfinken (*Fringilla coelebs* L.). Vogelzug 5: 176–183.
- BRUDERER, B. (1967): Zur Witterungsabhängigkeit des Herbstzuges im Jura. Orn. Beob. 64: 57–90. – (1971): Radarbeobachtungen über den Frühlingszug im Schweizerischen Mittelland. (Ein Beitrag zum Problem der Witterungsabhängigkeit des Vogelzuges.) Orn. Beob. 68: 89–158. – (1975): Zeitliche und räumliche Unterschiede in der Richtung und Richtungsstreuung des Vogelzuges im Schweizerischen Mittelland. Orn. Beob. 72: 169–179.
- CROUSAZ, G. DE (1960): Activités de l'Observatoire ornithologique alpin du col de Bretolet en 1959. Nos Oiseaux 25: 169–194.
- DANIEL, C. & F. WOOD (1971): Fitting equations to data. New York.
- DEELDER, C. L. (1949): On the autumn migration of the Scandinavian Chaffinch (*Fringilla c. coelebs* L.). Ardea 37: 1–88.
- DIXON, W. J. & M. B. BROWN (1977): BMDP-77 (Biomedical computer programs P-series). Los Angeles.
- DORKA, D. (1966): Das jahres- und tageszeitliche Zugmuster von Kurz- und Langstreckenziehern nach Beobachtungen auf den Alpenpässen Cou/Bretolet (Wallis). Orn. Beob. 63: 165–223.
- EASTWOOD, E. & G. RIDER (1965): Some radar measurements of the altitude of bird flight. Brit. Birds 58: 393–426.
- Eidgenössische Landestopographie (1970): Atlas der Schweiz, Blatt 13 (Klima und Wetter III). Wabern-Bern.
- 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.
- GEIL, S., H. NOER & J. RABØL (1974): Forecast models for bird migration in Denmark. Bird Strike Committee Denmark.
- GÉROUDET, P. (1959): Une migration massive d'Hirondelles au Col de Bretolet. Nos Oiseaux 25: 78–87.
- GRUYS-CASIMIR, E. (1965): On the influence of environmental factors on the autumn migration of Chaffinch and Starling: a field study. Arch. Neerl. Zool. 16: 175–279.
- HILGERLOH, G. (1977): Der Einfluß einzelner Wetterfaktoren auf den Herbstzug der Singdrossel (*Turdus philomelos*) über der Deutschen Bucht. J. Orn. 118: 416–435. – (1980): Einfluß des Wetters auf den Tagzug von Singvögeln (dargestellt am Beispiel des Herbstzuges im Schweizerischen Mittelland). Diss. Univ. Kiel.
- JELLMANN, J. (1979): Zughöhen ziehender Vögel in Nordwestdeutschland nach Radarmessungen. Vogelwarte 30: 118–134.
- LACK, D. (1963): Migration across the southern North Sea studied by radar. Part 4. Autumn. Ibis 105: 1–54.
- NIE, HILL, JENKINS, STEINBRENNER & BENT (1975): SPSS (Statistical package for the social sciences). London, Paris.
- RABØL, J. (1974): Correlation between coastal and inland migratory movements. Dansk orn. Foren. Tidsskr. 68: 5–14.
- RICHARDSON, W. J. (1974): Multivariate approaches to forecasting day-to-day variations in the amount of bird migration. In: A conference on the biological aspects of the bird-aircraft collision problem (Proceedings, S.A. Gauthreaux ed.). – (1978): Timing and amount of bird migration in relation to weather: a review. Oikos 30: 224–272.
- RICHARDSON, W. J. & M. E. HAIGHT (1970): Migration departures from Starling roosts. Canad. J. Zool. 48: 13–39.
- RYCHNER, A. & CH. IMBODEN (1965): Herbstzugbeobachtungen auf dem Hahnenmoospaß. Orn. Beob. 62: 77–112.
- SCHIFFERLI, A. (1963): Vom Zug der Buchfinken (♂♂ und ♀♀) *Fringilla coelebs* in der Schweiz. Proc. XIIIth Int. Orn. Congr. Ithaca 1962: 468–474.
- SUTTER, E. (1952): Vogelzugbeobachtungen im Oberengadin im Herbst 1951. Orn. Beob. 49: 116–126.
- TINBERGEN, L. (1941): Over de trekwegen van vinken (*Fringilla coelebs* L.). Ardea 30: 42–73.
- US Weather Bureau (1946): Normal weather maps. Northern hemisphere sea level pressure.
- WINKLER, R. (1973): L'activité ornithologique au Col de Bretolet en 1972. Nos Oiseaux 32: 33–43.
- ZINK, G. (1970): The migrations of European Swallows *Hirundo rustica* to Africa from data obtained through ringing in Europe. Ostrich Suppl. 8: 211–222.

Dr. Gudrun Hilgerloh, Ostroher Weg 12, D-224 Heide