

## Radar- und Feldbeobachtungen über den Verlauf des Vogelzuges im Schweizerischen Mittelland: Der Tagzug im Herbst (1957—1961)

von WALTER GEHRING, Zürich<sup>1)</sup>

Seit 1956 werden am Radar des Flughafens Zürich-Kloten von einer Arbeitsgruppe unter der Leitung von Herrn Dr. E. SUTTER systematische Vogelzugbeobachtungen durchgeführt. Diese «Arbeitsgemeinschaft für Radar-Vogelzugstudien», an der die Schweizerische Vogelwarte Sempach, das Naturhistorische Museum Basel und die Wetterwarte des Flughafens Kloten beteiligt sind, vereinigt teils am Radar, teils im Feld arbeitende Beobachter und schliesst jeweils auch einen Meteorologen ein, der uns die benötigten Wetterdaten beschafft.<sup>2)</sup>

Nachdem SUTTER (1957 a, 1957 b, 1961) über die Beobachtungsmethode und in zwei vorläufigen Mitteilungen über den Nachtzug berichtet hat, soll mit dieser Arbeit eine Reihe von Untersuchungen eröffnet werden, die sich mit der genaueren Analyse des gesammelten Materials befassen. Der vorliegende Beitrag bringt eine Übersicht über die bisherigen Tagzugbeobachtungen und versucht zugleich, im Zusammenhang mit der Anfangsphase des Zuges in der Morgendämmerung, den Wettereinflüssen und dem Orientierungsproblem einige spezielle Fragen zu behandeln. Interessante Vergleichsmöglichkeiten zu unseren Binnenlandverhältnissen boten dabei die Resultate, die D. LACK (1958—1963) bei ähnlichen Beobachtungen im Gebiet der Nordsee bei Norfolk gewonnen hat.

Besonderen Dank schulde ich Herrn Dr. E. SUTTER, Basel, der die Leitung dieser Arbeit übernommen hat und mir mit Rat und Tat zur Seite stand, Herrn Prof. Dr. E. HADORN, Zürich, für die kritische Durchsicht des Manuskriptes, Herrn und Frau Dr. URFER, Kloten, für die Zusammenstellung der Wetterdaten und die Beratung in allen meteorologischen Fragen, den Herren Dr. K. DAUMER und Dr. R. JANDER für die wertvolle Mithilfe bei der Bearbeitung des Orientierungsproblems, Herrn Prof. Dr. M. WALDMEIER für astronomische Daten, Herrn Dr. R. L. DE HAAN für die Übersetzung der Zusammenfassung, Herrn Dr. U. GLUTZ VON BLOTZHEIM, Sempach, sowie meinen Kollegen R. APPENZELLER, H. BRIEGEL, S. FISCHER, B. KEIST, O. KRAUER, R. KUNZ, W. LEUTHOLD, P. WILLI und vielen anderen, die mit ihrer Arbeit am Radar und im Feld einen wesentlichen Beitrag zu unserer Studie geleistet haben. Nicht zuletzt sei auch dem Flugsicherungsdienst der Radio Schweiz AG. und allen seinen Mitarbeitern für ihr grosszügiges Entgegenkommen und ihre stete Hilfsbereitschaft bei der Benutzung der Radargeräte herzlich gedankt.

### Arbeitsmethoden

Die Untersuchungen erstrecken sich über fünf aufeinanderfolgende Herbstzugperioden in den Jahren 1957 bis 1961 und umfassen rund 100 Beobachtungstage, die zur Hauptsache auf den Oktober entfallen. Die Beobachtungszeit beschränkt sich meist auf die Morgenstunden, der Zug am Nachmittag ist jedoch auch durch

<sup>1)</sup> Diplomarbeit aus dem Zoologischen Institut der Universität Zürich.

<sup>2)</sup> Die Tätigkeit der Arbeitsgemeinschaft 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* ermöglicht.

ein ansehnliches Material dokumentiert. Das Zugeschehen auf dem Radarschirm wurde sowohl direkt beobachtet und im Protokoll festgehalten, als auch fotografiert und gefilmt. Die Technik der fotografischen Registrierung des Radarbildes ist bei SUTTER (1957 a) beschrieben. Parallel zu den Radarbeobachtungen erfolgten nach Möglichkeit auch Feldbeobachtungen an günstigen Stellen im Gelände. Ausserdem wurden die nötigen Wetterdaten gesammelt und spezielle Windmessungen in der freien Atmosphäre durchgeführt.

Wir verwendeten hauptsächlich den *Überwachungsradar* (Surveillance Radar Equipment = SRE). Das Gerät hat eine Reichweite von 60 Seemeilen, dreht sich horizontal und benötigt 6 Sec. für eine Umdrehung. Für unsere Zwecke wählten wir gewöhnlich die Einstellung mit einem Beobachtungsradius von 10 Seemeilen (nautische Meilen = n. M. = 18,5 km), vgl. Abb. 1. Weitere technische Daten sind bei SUTTER (1957 a) angegeben; die Empfindlichkeit des Gerätes ist jedoch seit 1957 um etwa 25 % erhöht worden (s. u.). Zur Bestimmung von Flughöhen konnte der *Landeradar* (Precision Approach Radar = PAR) benützt werden, dessen Empfindlichkeit durch den Einbau eines Regenfilters leider wesentlich herabgesetzt wurde.

Für die vorliegende Arbeit wurden rund 9000 Aufnahmen und 1000 m Film ausgewertet. Die Methodik der Auswertung wurde in verschiedenen Punkten wesentlich ausgebaut, weshalb im folgenden auf diese Fragen etwas näher eingegangen wird.

## A. Radarbeobachtung

### 1. Empfindlichkeit des Radargerätes

Die Echos von Vögeln erscheinen auf dem Radarschirm als kleine aufleuchtende Punkte und liegen meist nur wenig über der Empfindlichkeitsschwelle der gebräuchlichen Radargeräte. Die Versuche von E. WEITNAUER (1960) haben uns über die Empfindlichkeit unseres Gerätes Aufschluss gegeben. Es wurden gruppenweise lebende Mauersegler (*Apus apus*) in einer Höhe von 1200 m/B (= Meter über Boden) aus dem Flugzeug geworfen und gleichzeitig wurde am Radar beobachtet, ob von diesen ein Echo registriert werde. Dabei zeigte es sich, dass drei Mauersegler in einer Entfernung von 5 n. M. (= halber Beobachtungsradius) noch ein deutliches Echo ergaben, während zwei Individuen nur noch als kleiner, undeutlicher Punkt auf dem Radarschirm erschienen.

Von diesem Befunde ausgehend schätzen wir, dass folgende Schwärme oder Einzelvögel in 5 n. M. Entfernung noch einen deutlichen Lichtpunkt auf dem Radarschirm ergeben: 4 Finken, Stelzen, Pieper oder Meisen, 3 Lerchen, Stare oder Drosseln, eine Taube, Krähe oder ein Mäusebussard. Ein Kleinvogelschwarm von mindestens 3 bis 4 Individuen oder ein grösserer Einzelvogel erzeugen also ein Echo. Der arttypische Abstand zwischen den Individuen während des Fluges ist innerhalb bestimmter Grenzen konstant und wurde bei dieser Schätzung mitberücksichtigt. Die Empfindlichkeit des Gerätes hängt jedoch auch von der Qualität seiner Abstimmung ab, die von Tag zu Tag schwanken kann.

### 2. Grösse der Echos

Die Echogrösse, d. h. die Ausdehnung des Lichtflecks auf dem Radarschirm, ist wohl mit der Grösse des Vogelschwarmes korreliert, ihr aber nicht proportional. Kleine Schwärme erzeugen relativ zu grosse Echos. Die Echos von grossen Schwär-

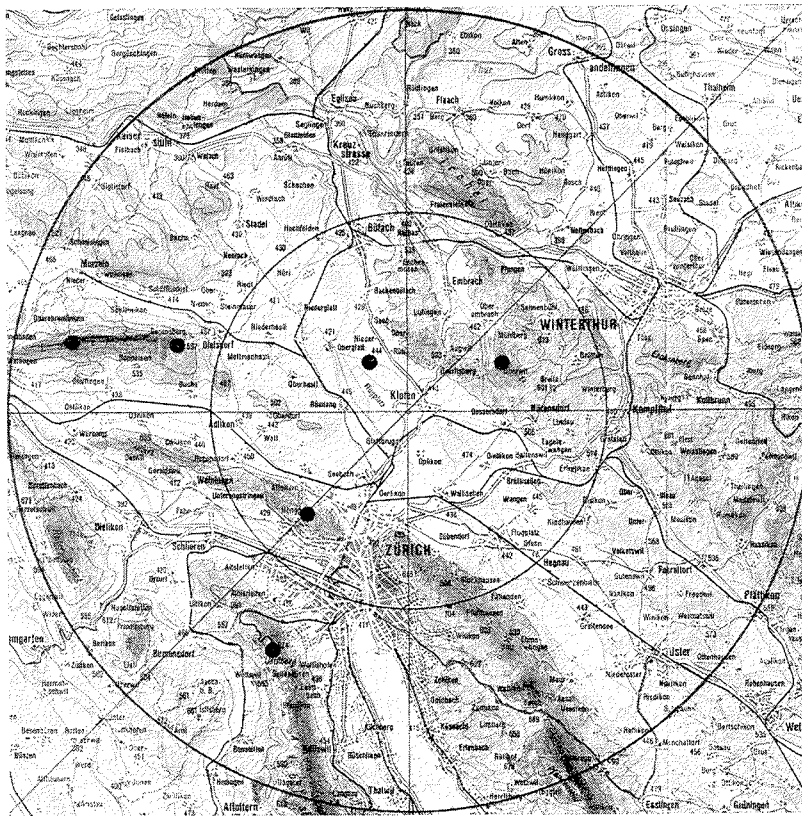


Abb. 1. Karte des Beobachtungsgebietes.

Der Radius beträgt 10 Seemeilen (18,5 km). Eingetragen sind der 5- und der 10-Meilenkreis, die Nord-Süd-, die Ost-West- und die Nordost-Südwest-Achse sowie als Punkte einige Beobachtungsposten: Von W nach E folgen in der Nordhälfte Lägers (856 m), Regensberg (590 m/M), Klotenerried (420 m/M) und Breitenloo (610 m/M), in der Südhälfte von oben nach unten Höngerberg (530 m/M) und Uetliberg (874 m/M).

men (z. B. Tauben oder Krähen) können diejenigen von grossen Verkehrsflugzeugen übertreffen (Abb. 2). Grosse, lockere Schwärme erscheinen möglicherweise als mehrere Einzelechos auf den Aufnahmen. Es fällt auf, dass die Tagzugechos viel grösser und prägnanter sind als diejenigen der Nachtzügler (vergl. Tafel 2, Bild *a* und *d*), was offenbar damit im Zusammenhang steht, dass die Tagzügler in grösseren, geschlossenen Schwärmen fliegen, während die Nachtzügler einzeln oder in kleinen, lockeren Gruppen wandern (SUTTER, 1957 b).

### 3. Form und Anordnung der Echos

Im allgemeinen kann aus dem Radarbild nicht auf die Art der ziehenden Vögel geschlossen werden. Es gibt jedoch Ausnahmen: grosse Krähenschwärme (*Corvus frugilegus*, *C. corone*) ergeben grosse Echokomplexe von rundlichem oder ovalem Umriss, die innerhalb kurzer Zeit ihre Gestalt wechseln können, während

grosse Taubenschwärme (*Columba palumbus*) oft rechteckige Echos erzeugen, deren Längsseite senkrecht zur Zugrichtung steht (Abb. 2 und 3). Auch die Aufteilung solcher «Riesenechos» in zwei kleinere kann beobachtet werden. Bei günstiger Wetterlage erscheinen bisweilen kettenartig angeordnete Echos, die von Bussarden (*Buteo buteo*) stammen. Bussarde ziehen einzeln oder in kleinen Gruppen, wobei sie in einem Abstand von einigen hundert Metern hintereinander fliegen (Abb. 4). Diese «Ketten» werden auf dem Radarfilm besonders deutlich. Unter günstigen Umständen kann also die Form und Anordnung der Echos für die Artbestimmung herangezogen werden.

Abb. 2

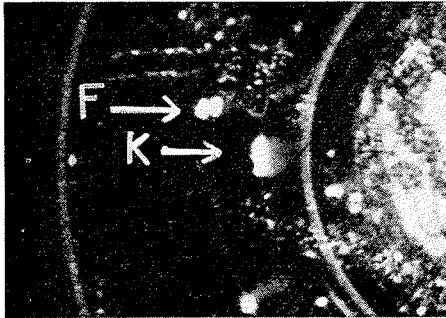


Abb. 4

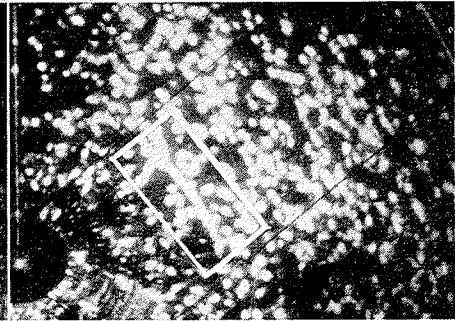
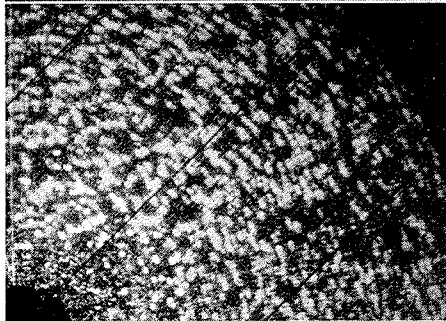
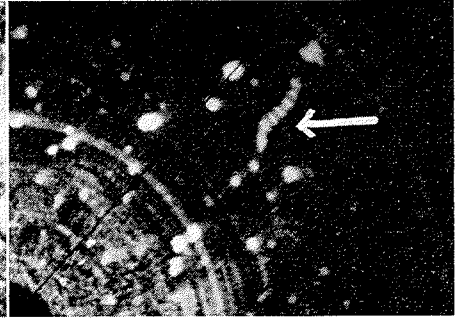


Abb. 3

Abb. 5

Abb. 2: Echo eines grossen Krähenschwarmes (K) (*Corvus frugilegus*) im Vergleich zu demjenigen eines Verkehrsflugzeuges (F), 17. Oktober 1957, 12.00 Uhr. Belichtungszeit 12 Sec. (= 2 Umdrehungen der Antenne). Das Flugzeug bewegt sich mit grosser Geschwindigkeit und erzeugt deshalb zwei getrennte Echos.

Abb. 3: Taubenechos (*Columba palumbus*) sind an ihrer rechteckigen Form erkennbar (6 Sec.-Aufnahme vom 4. Oktober 1961, 6.30 Uhr). Das Bild zeigt starken Taubenzug über dem Hochnebel, dessen Obergrenze bei 400 m/B liegt. Die Zahl der Kleinvogelschwärme, die durch kleine rundliche Punkte wiedergegeben werden, ist relativ gering (s. auch Text S. 48).

Abb. 4: «Bussardketten» (12 Sec.-Aufnahme vom 23. Oktober 1957, 12.10 Uhr). Der Pfeil deutet auf eine Kette hintereinander fliegender Bussarde (*Buteo buteo*).

Abb. 5: Fünf Kilometer breites Echo im NE-Sektor (innerhalb Rechteck), das vermutlich von einem riesigen Starenflug (*Sturnus vulgaris*) stammt (6. Oktober 1959, 7.43 Uhr, Belichtungszeit 12 Sec.).

#### 4. Zahl der Echos

Die Echozahl wurde anhand einer Vergleichsskala auf dem projizierten Negativ geschätzt innerhalb einer Fläche von 4 Quadratmeilen. Die Vergleichsskala umfasst folgende sechs Dichtestufen (Abb. 6):

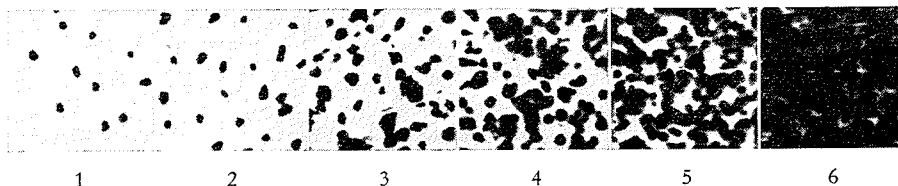


Abb. 6. Dichteskala zur Schätzung der Echozahl auf den Radaraufnahmen im Negativ. Die Zahlen 1—6 bezeichnen die Dichtestufen.

Dichtestufe	Echozahl / 4 n. M. <sup>2</sup>	Zugdichte
D 1	10	sehr schwach
D 2	20	schwach
D 3	50	schwach bis mässig
D 4	100	mittel
D 5	150	stark
D 6	200 und mehr	sehr stark

Für die Dichtebestimmung waren 3 bis 6 Aufnahmen pro halbe Stunde verfügbar, so dass sich der Zeitpunkt von Änderungen in der Zugfrequenz sehr genau ermitteln liess.

Die früher befolgte, recht zeitraubende Methode des Auszählens der Echos wurde aufgegeben, da eine exakte Bestimmung der Echozahl unmöglich ist, und zwar aus folgenden Gründen: *a)* Die Echozahl hängt sehr stark von der Flughöhe der ziehenden Vögel ab, wie später noch genauer gezeigt wird. Niedrig über dem Boden fliegende Vögel werden vom Radar nicht registriert. *b)* Die Empfindlichkeit und damit die Echozahl wird von der Qualität der Abstimmung des Radargerätes beeinflusst. *c)* Das Beobachtungsfeld tangential schneidende Vögel werden von unserem Gerät viel schlechter oder gar nicht erfasst, so dass die beiden Quadranten senkrecht zur Zugrichtung praktisch ausfallen. Dies hängt mit der MTI-Vorrichtung (Moving targets indicator) zusammen.

Die Schätzung der Echozahl, die auch von LACK (1958) angewendet wird, erweist sich für unsere Zwecke als völlig genügend. In einer Hinsicht ist sie sogar der Zählmethode überlegen: Bei der Schätzung wird nämlich die Echogrösse, die von der Grösse der Vogelschwärme abhängt, mitberücksichtigt, weil nicht eigentlich die Echozahl auf dem Negativ mit derjenigen auf der Dichtestufenskala verglichen wird, sondern das Ausmass der Schwärzung oder die Grösse des hellen Zwischenraumes zwischen den Echos. Dies ist vor allem in der kurzen Anfangsphase des Tagzuges, in welcher die Echogrösse stark zunimmt, von Bedeutung.

Die Schätzung wurde innerhalb des 5-Meilenkreises vorgenommen, weil tiefer fliegende Vögel in grösserer Entfernung nicht mehr registriert werden, und zwar in einem Sektor, in dem sich der oben erwähnte «MTI-Effekt» nicht auswirkt. Die Zahl der Echos ist — abgesehen von den erwähnten Einschränkungen — mit der Zahl der ziehenden Vögel korreliert. Diese lässt sich aus parallel geführten Feldbeobachtungen wenigstens grössenordnungsmässig bestimmen (vgl. S. 42).

### 5. Bestimmung der Zugrichtung und deren Streuung

Die Flugbahn eines Vogelschwarmes kann am besten in einer Zeitaufnahme von 1 bis 5 Minuten Dauer festgehalten werden. Anhand dieser Aufnahmen lässt sich sowohl die Zugrichtung als auch die Zuggeschwindigkeit ermitteln. Aus der Gesamtheit der Flugbahnen auf einer Zeitaufnahme wurden eine oder mehrere *Hauptzugrichtungen* durch Schätzung auf  $5^\circ$  genau bestimmt ( $0^\circ$  = Norden,  $90^\circ$  = Osten, usw.; ein Vogel, der genau von Norden nach Süden fliegt, hat also die Richtung  $180^\circ$ ). Die *Streuung* der Flugrichtungen wird nach der folgenden Skala angegeben:

- |                         |   |
|-------------------------|---|
| S 1 = kleine Streuung:  | 90% aller Flugbahnen weichen weniger als $\pm 15^\circ$ von der Hauptzugrichtung ab |
| S 2 = mässige Streuung: | 90% aller Flugbahnen weichen weniger als $\pm 30^\circ$ von der Hauptzugrichtung ab |
| S 3 = starke Streuung:  | eine Hauptzugrichtung ist gerade noch erkennbar                                     |
| S 4 =                   | keine Hauptzugrichtung mehr erkennbar.  |

Diese Skala hat sich in der Anwendung als günstig erwiesen. Eine genauere quantitative Methode ist kaum anwendbar, da mit dem Radar in unserem Gebiet nicht nur ziehende Vögel, sondern auch die Schlafplatz- und Nahrungsflüge sowie alle übrigen Ortsveränderungen der Vögel registriert werden, die sich nicht in unmittelbarer Bodennähe abspielen.

### 6. Bestimmung der Fluggeschwindigkeit

Aus Messungen der Flugwege auf Zeitaufnahmen von bekannter Dauer können die Fluggeschwindigkeiten berechnet werden. Dabei gehen wir von der Voraussetzung aus, dass der Flug horizontal verläuft, was im allgemeinen auch zutrifft; ist die Flugbahn jedoch geneigt, so erhalten wir zu kleine Werte (vgl. S. 58).

### 7. Bestimmung der Flughöhe

Der Landeradar (PAR), der eine direkte Höhenmessung ermöglicht, war leider nur beschränkt verwendbar, da er wegen seiner geringen Empfindlichkeit die Vögel nur in einem Höhenbereich von etwa 50 bis 900 m erfasst (vgl. SUTTER, 1957 a), was für unsere Zwecke oft ungenügend ist. Durch den Einbau eines Regenfilters im Jahre 1958 wurde seine Empfindlichkeit noch mehr herabgesetzt, so dass seither der Messbereich bloss noch etwa 600 m beträgt. Immerhin haben wir eine ganze Anzahl wertvoller Beobachtungen und Aufnahmen machen können, die vor allem eine Bestimmung der Zug-Untergrenze erlauben. Darin ergänzen sie die Resultate unserer zweiten Höhenbestimmungsmethode, die speziell im Verlaufe dieser Arbeit entwickelt wurde und namentlich Informationen über die Zug-Obergrenze liefert.

Bei unseren Arbeiten am Überwachungsradar (SRE) zeigte es sich, dass die grössten Entfernungen, in welchen noch Echos auftreten, an den verschiedenen Beobachtungstagen erheblich variieren. Dies erklärt sich aus der unterschiedlichen Flughöhe. Der «Radarstrahl» ist um einen Winkel von  $0,5^\circ$  vom Boden abgehoben, lässt also einen unteren Bereich, dessen Höhe mit zunehmender Entfernung ansteigt, frei. Je höher ein Objekt fliegt, desto grösser ist die Entfernung, in der es noch vom Radar registriert wird (über den Empfindlichkeitsabfall s. u.). Dazu kommt der Einfluss des Geländereiefs. Da die Antenne auf dem Holberg (472 m/M) am Rand des Flughafens einen relativ niedrigen Standort aufweist, bestimmen die umliegenden Hügel und Berge weitgehend die effektive Elevation

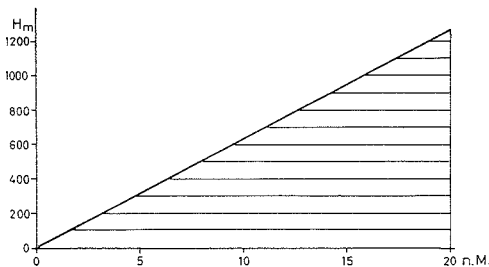


Abb. 7. Beziehung zwischen Flughöhe und Entfernung von der Antenne im NE-Sektor bei  $45^\circ$ . Abszisse: Entfernung von der Antenne in Meilen (n.M.), Ordinate: Flughöhe in Meter über Boden (Hm). Der schraffierte Bereich liegt im Radarschatten.

des Radarstrahles. Diese beträgt z. B. im NE-Sektor, bei einem Azimut von  $45^\circ$ , nahezu  $2^\circ$  (Abb. 7). Auf Grund von Höhenprofilen wurde eine *Flughöhenkarte* (Abb. 8) gezeichnet, die angibt, wie hoch ein Objekt mit einer gegebenen Position fliegen muss, damit es vom Radar erfasst wird. Wie man aus der Karte ersieht, eignet sich der NE-Sektor am besten für Höhenbestimmungen, da dort die Elevation am grössten ist, wobei wir für grössere Flughöhen den Beobachtungsradius bis auf 20 Meilen ausdehnen können. Bei einigermaßen einheitlicher Zug-Obergrenze stimmt das Verteilungsbild der Vogelechos ausgezeichnet mit dem «Höhenkurvenverlauf» auf der Karte überein (Abb. 9). Auch ergab sich in jenen Fällen, in denen die Flughöhe sowohl mit dem Überwachungs- wie mit dem Landeradar gemessen werden konnte, eine gute Übereinstimmung der Resultate.

Der Empfindlichkeitsabfall mit zunehmender Entfernung von der Antenne wirkt sich erst von etwa 20 Meilen an aus. In dieser Entfernung werden Kleinvogelschwärme bei Tag noch deutlich registriert, während sich grosse Taubenschwärme bis 26 Meilen weit (im W-Sektor) feststellen liessen. Die Flughöhenbestimmungen wurden, wenigstens bei genügender Echodichte, durch den Empfindlichkeitsabfall nur in jenen seltenen Fällen beeinträchtigt, in denen der Gross-

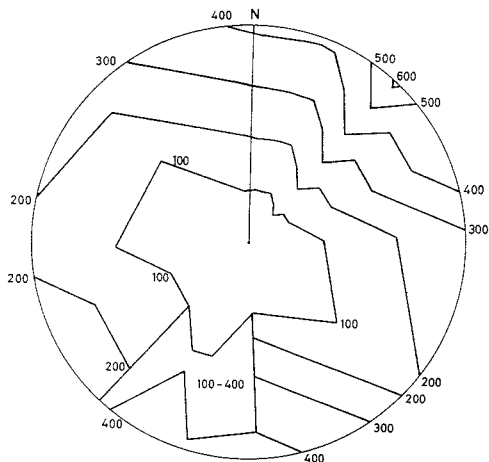


Abb. 8. Flughöhenkarte (10-Meilen-Bereich). Eingetragen sind die Flughöhenkurven und die Nordmarke. Die Karte gibt an, wie hoch ein Objekt in einer bestimmten Position fliegen muss, damit es vom Radar erfasst wird.



Abb. 9. Gute Übereinstimmung zwischen Höhenkurve (250 m, punktierte Linie) und Verteilungsbild der Echos im NE-Sektor (1. Oktober 1961, 6.23 Uhr, Belichtungszeit 1 Min.).

teil der Vögel mehr als 1300 m hoch zog (vgl. S. 56). Von diesen Ausnahmen abgesehen, blieb die charakteristische Einbuchtung im NE-Sektor stets innerhalb des 20-Meilenbereiches, und ihr scharfer Umriss liess erkennen, dass die Begrenzung des Echofeldes hier durch die gegebene Flughöhe und nicht durch abnehmende Empfindlichkeit bedingt war. Nachts hingegen ist diese Methode oft untauglich, weil sich der Empfindlichkeitsabfall bei den viel schwächeren Nachtzugechos bereits zwischen 5 und 10 Meilen bemerkbar macht. Auch am Tage ist eine Höhenbestimmung am SRE nicht möglich, wenn bei sehr geringer Zugdichte das Verteilungsbild der Echos unscharf begrenzt ist. Als weitere Fehlerquelle kommen die von DRURY und KEITH (1962) erwähnten «propagation anomalies», d. h. Abweichungen von der geradlinigen Ausbreitung der Radarwellen, in Frage, sie sind jedoch bei unserem Gerät bisher nie störend in Erscheinung getreten.

#### 8. Auswertung der Filmaufnahmen

Das Radarbild wurde nicht nur fotografiert, sondern auch in einem Zeitrafferfilm festgehalten. Pro Minute wurden 5 Bilder aufgenommen und das Einzelbild 12 Sec., d. h. während zwei Umdrehungen des «Radarstrahls», exponiert. Das Zuggeschehen konnte somit lückenlos erfasst werden. Der Film hat den grossen Vorzug, dass er die Zugbewegung wiedergibt, die aus den Fotografien oft nur schwer rekonstruiert werden kann. Einzelne Echos, die von der Hauptzugrichtung abweichen, sind nur im Film zu erkennen. Der Film wurde deshalb auch in dieser Beziehung besonders ausgewertet. Auch der Dichteanstieg beim Einsetzen des Tagzuges ist in der Zeitraffung sehr deutlich zu erkennen. Zur Auswertung wurde der Film in normaler Projektion betrachtet und der Zeitpunkt von Veränderungen im Zuggeschehen mit Hilfe eines Bildzählers bestimmt.

#### B. Sichtbeobachtung

Der Feldbeobachter liefert uns Informationen über die am Zug beteiligten Arten, die Individuenzahl pro Schwarm, die Zugrichtung und die Flughöhe. Die Resultate sind jedoch sehr stark durch die Lage des Beobachtungspostens, die Flughöhe der Vögel, die Sicht- und Witterungsverhältnisse beeinflusst. Das Zuggeschehen kann nur bis in eine Höhe von etwa 50 m über dem Beobachtungsposten vollständig erfasst werden, d. h. in dem Bereich, der für den Radar normalerweise ausfällt. Feld- und Radarbeobachtung ergänzen einander in dieser Beziehung: bei normaler Flughöhe (S. 56) erfasst der Feldbeobachter nur einen kleinen Teil des Zuggeschehens, das vom Radarbild vollständiger wiedergegeben wird; umgekehrt erscheinen auf dem Radarschirm bei geringer Flughöhe (Gegenwind) fast keine Echos, auch wenn im Feld starker Zug beobachtet wird.

#### C. Quantitativer Vergleich zwischen Radar- und Felddaten

Unter optimalen Bedingungen und bei erhöhter Lage des Feldbeobachtungspostens liefern die beiden Methoden weitgehend übereinstimmende Resultate. Solche Bedingungen lagen am 10. Oktober 1959 vor: Am Morgen lag dichter Bodennebel mit Obergrenze bei etwa 720 m/M und es herrschten nur schwache Winde von weniger als 5 Knoten (1 Knoten = 1,85 km/Std.). Drei zuverlässige Feldbeobachter (R. APPENZELLER, B. KEIST, P. WILLI) waren auf dem Uetliberg (870 m/M) postiert und beobachteten zwischen 7.15 und 11.15 Uhr. Die Vögel zogen über dem Nebel meist zwischen 800 und 900 m und waren vor dem hellen Hintergrund als dunkle Silhouetten gut sichtbar. Tatsächlich zeigen die durch Radar- und Sicht-



beobachtung ermittelten Frequenzkurven unter diesen Bedingungen einen ähnlichen Verlauf (Abb. 10).

In einer statistischen Untersuchung wurden die Ergebnisse der beiden Methoden für diesen Beobachtungstag verglichen und die Frage aufgegriffen, wieviele Vögel denn eigentlich diesen Lichtpunkten auf dem Radarschirm entsprechen. Dabei ging ich von der Voraussetzung aus, dass der Radar den Zug vollständig erfasst, wenn sich dieser in grösserer Höhe abspielt, d.h. dass jeder Vogelschwarm einen Echo-punkt ergibt, sofern er nicht zu klein ist und deshalb unter der Empfindlichkeitschwelle des Radars liegt. Der Anteil der Vogelschwärme unter der Empfindlichkeitschwelle am gesamten Zug ist klein und betrug an diesem Tag nur 1,7%. Die mittlere Zuggeschwindigkeit, die aus 243 gemessenen Flugstrecken bestimmt wurde, betrug 25 n.M./Std. (S. 58) oder rund 6 n.M./15 min. Wir schätzen den Beobachtungsradius der Feldbeobachter unter den gegebenen Sichtverhältnissen auf 1/3 n.M. (600 m). Sie erfassten also den Zug auf einer Linie von 2/3 Meilen (1200 m) quer zur Zugrichtung. In der Zeiteinheit von 15 Minuten ergibt das, wenn wir die mittlere Zuggeschwindigkeit einsetzen, ein Beobachtungsfeld von 2/3 Meilen Breite und 6 Meilen Länge, was einer Fläche von 4 Quadratmeilen gleichkommt. Die Zahl der im Feld in einer Viertelstunde beobachteten Vogelschwärme müsste demnach auf dem Radarbild der Echozahl innerhalb einer Fläche von 4 Quadratmeilen entsprechen.

In Abb. 11 ist auf der Abszisse die Zahl der Echos, auf der Ordinate die zugehörige Zahl der im Feld beobachteten Vogelschwärme aufgetragen. Die Werte zeigen eine enge Korrelation, die mit 1‰ Irrtumswahrscheinlichkeit gut gesichert ist. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,88. Die Punkte können durch eine Regressionsgerade mit der Steigung von  $13^{\circ} 4'$  wiedergegeben werden. Würden Feld- und Radarbeobachtung dasselbe Resultat liefern, so müsste die Gerade eine Steigung von  $45^{\circ}$  haben. Es zeigt sich also, dass am Radar mehr Echos erscheinen als im Feld Vogelschwärme beobachtet werden, nämlich etwa 3,5 mal mehr bei mittlerer Zugdichte.

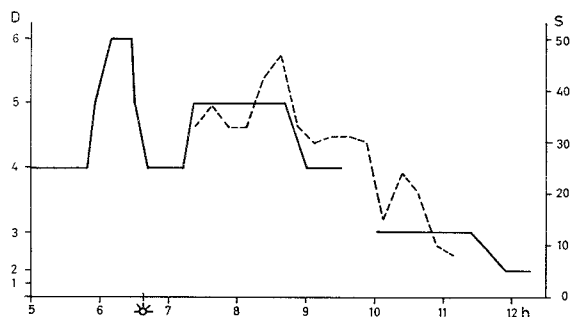


Abb. 10. Vergleich zwischen Radar- und Feldbeobachtung (10. Oktober 1959). Ausgezogene Linie: Zahl der Radarechos in Dichtestufen (D). Gestrichelte Linie: Anzahl der im Feld beobachteten Vogelschwärme pro Viertelstunde (S). Abszisse: Tageszeit und Sonnenaufgang.

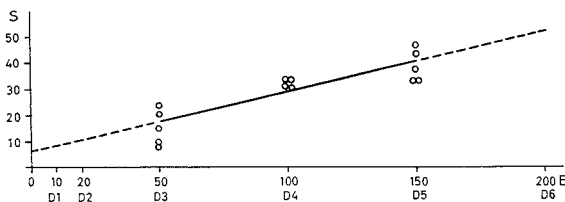


Abb. 11. Korrelation zwischen der Zahl der im Feld beobachteten Vogelschwärme (Ordinate) und der Zahl der Radarechos (Abszisse: E = Echozahl, D = Dichtestufe).

Dafür gibt es verschiedene Erklärungsmöglichkeiten: *a)* Ein Teil der Schwärme wurde bei dieser hohen Frequenz übersehen; *b)* etwa 10% der Vögel flogen zu hoch und entgingen daher der Beobachtung; *c)* ein Teil der grossen Schwärme ergaben möglicherweise auf dem Radarbild mehrere Einzelechos, so dass die Echozahl etwas höher wäre als die Schwarmzahl. Die Summe dieser Fehlerquellen dürfte die Differenz zwischen den Resultaten der beiden Methoden erklären. Im einzelnen hängt die Steigung der Regressionsgeraden bzw. die Übereinstimmung der Resultate stark von den Beobachtungsbedingungen im Feld ab. An zwei weiteren Beobachtungstagen mit ähnlichen Bedingungen war sie etwa gleich gross wie am 10. Oktober 1959, an den übrigen kleiner.

Vergleicht man die Echozahl nicht mit der Schwarmzahl, sondern mit der Zahl der Individuen, so erhält man mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit noch eine gesicherte Korrelation (Korrelationskoeffizient = 0,55). Die geringere Korrelation erklärt sich daraus, dass die Zahl der Vögel pro Schwarm grösseren Schwankungen unterworfen ist. Bei Kleinvogelzug beträgt die mittlere Schwarmgrösse, berechnet für zehn Beobachtungstage, 15 bis 20, sind Tauben oder Krähen in grösserer Zahl am Zug beteiligt, so kann sie auf das drei- bis vierfache ansteigen.

Aus der Echozahl und der mittleren Schwarmgrösse können wir berechnen, wieviele Vögel in einer Stunde eine Strecke von 1 km quer zur Zugrichtung überfliegen. Bei mittlerer Zugdichte (Dichtestufe 4) und einer durchschnittlichen Schwarmgrösse von 15 Vögeln liegt die Zahl in der Grössenordnung von 5000. Unter den gleichen Voraussetzungen und bei gleichmässiger Zugdichte befinden sich innerhalb des ganzen 10-Meilenbereichs etwa 120 000 Vögel.

## Ergebnisse

### 1. Die artenmässige Zusammensetzung des Zuges

Die Artenzusammensetzung des Zuges wurde durch Feldbeobachtungen ermittelt. Unsere Feldbeobachtungen sind im Gegensatz zu jenen, die z. B. am «Observatoire ornithologique alpin du Col de Bretolet» ausgeführt werden (DE CROUSAZ und GODEL, 1958—61), ziemlich unvollständig. Den rund 100 Radarbeobachtungstagen stehen nur 33 quantitativ auswertbare Feldbeobachtungstage gegenüber. Nicht nur der Mangel an Mitarbeitern ist daran schuld, sondern auch die Witterungsbedingungen, vor allem der Nebel, der die Beobachtung oftmals verunmöglichte. Eine Prognose über die Nebelbildung und besonders über seine Obergrenze und lokale Verbreitung ist recht schwierig. Man kann auch nicht einfach den höchstmöglichen Beobachtungsposten besetzen, da dieser bei klarem Wetter oder Gegenwind sehr ungünstig liegt. Unsere Feldbeobachtungen sind auch deshalb lückenhaft, weil sie meist auf den frühen Morgen, an dem sich der grösste Teil des Zuges abspielt, beschränkt sind. Wir greifen daher nur die für die Interpretation der Radaraufnahmen wichtigen, allgemeinen Informationen heraus und verzichten auf eine spezielle Auswertung.

Über den prozentualen Anteil der verschiedenen Artengruppen gibt uns Abb. 12 eine Übersicht. Die absoluten Werte sind in Tab. 1 zusammengestellt. Beobachtungsprotokolle mit insgesamt weniger als 500 Vögeln wurden nicht in die Tabelle aufgenommen. Nachfolgend seien die wichtigsten Artengruppen kurz besprochen, wobei wir mit denjenigen beginnen, die im Oktober zahlenmässig am stärksten hervortreten.

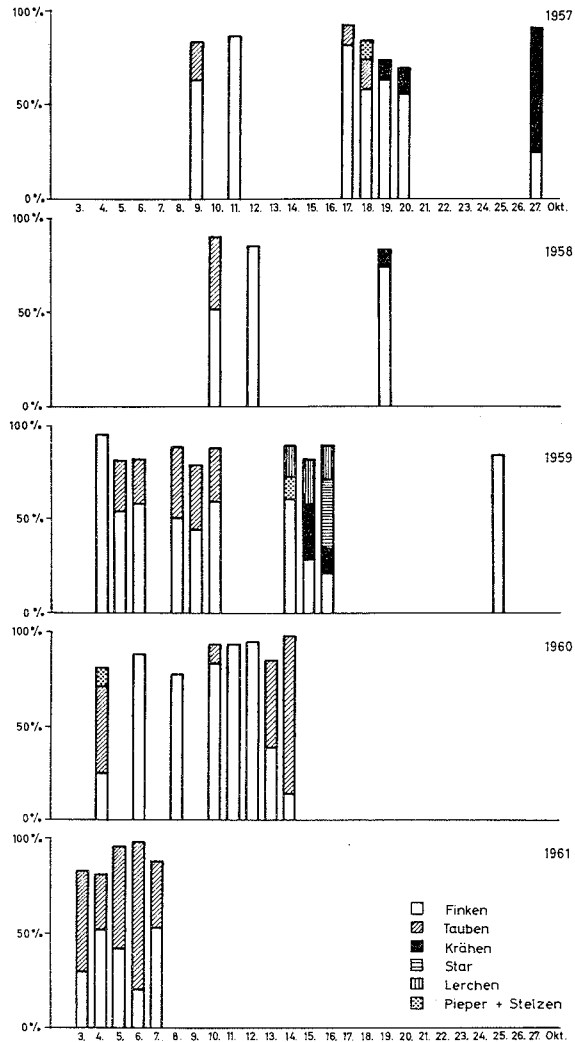


Abb. 12. Die prozentuale Artenzusammensetzung des Zuges (vgl. Tabelle 1). Ordinate: Prozentualer Anteil der verschiedenen Artengruppen (Anteile unter 10% sind nicht eingetragen). Abszisse: Beobachtungstage. *Anmerkung:* Der Anteil der Tauben und Krähen dürfte in manchen Fällen überbewertet sein, da der Beobachtungsradius für diese Artengruppen erheblich grösser als für die Kleinvögel ist.

**FINKENVÖGEL.** — Die Finken bilden die Hauptmasse der Durchzügler während der Beobachtungsperiode. Ihr Anteil beträgt im Mittel 57% und kann bis auf 94% ansteigen. Sie bestimmen daher weitgehend das Bild der Frequenzkurve (Abb. 14). Unter den ersten Tagzüglern, die in der Morgendämmerung erscheinen, dominieren fast stets die Finken, später können auch andere Arten das Gesamtbild des Zuges beeinflussen.

Die Finken ziehen mit grosser Regelmässigkeit, selbst bei ungünstigen Wetterbedingungen. Nach den uns vorliegenden Protokollen werden bei Westwindwetter, d.h. starkem Gegenwind, 7/8 bis 8/8 Bewölkung und zeitweisem Regen, etwa gleichviele Finken beobachtet wie bei ungestörter Wetterlage. Die Beobachtungsbedingungen sind allerdings bei Westwindwetter besser, da die Vögel sehr nied-

TABELLE 1. Die Artenzusammensetzung des Zuges (absolute Zahlen). Artengruppen, deren Anteil nie mehr als 10% betrug, wurden nicht berücksichtigt.

Datum	Ort und Zeit	Total	Finken	Tauben	Krähen	Star	Pieper, Stelzen	Lerchen
9. 10. 57	Uetliberg 5.45—9.00	542	342	107	—	15	11	—
11. 10. 57	Uetliberg 7.15—11.00	8316	7135	717	10	20	23	22
17. 10. 57	Uetliberg 7.20—10.05	1414	1144	155	—	—	26	41
18. 10. 57	Hönggerberg 8.15—11.30	1051	607	170	38	19	103	41
19. 10. 57	Hönggerberg 6.50—11.00	2430	1567	107	248	35	162	190
20. 10. 57	Fohlenmoos 6.30—17.00	774	430	31	108	9	43	11
27. 10. 57	Fohlenmoos 6.50—17.30	1669	418	4	1098	6	26	—
10. 10. 58	Uetliberg 7.10—11.20	12700	6491	4988	—	680	73	128
12. 10. 58	Oberwagenburg 6.50—9.00	4752	4061	235	—	27	117	328
19. 10. 58	Brütten 6.30—10.40	6421	4741	524	650	—	151	172
4. 10. 59	Hönggerberg 6.00—9.00	793	740	—	—	10	24	5
5. 10. 59	Hönggerberg 6.00—10.00	1960	1060	524	37	82	79	58
6. 10. 59	Hönggerberg 6.00—9.00	1723	1001	417	28	29	136	68
8. 10. 59	Uetliberg 7.10—10.20	2975	1473	1142	—	25	25	17
9. 10. 59	Uetliberg 7.10—11.20	3360	1461	1184	15	95	31	55
10. 10. 59	Uetliberg 7.10—11.20	9935	5857	2880	64	402	106	163
14. 10. 59	Hönggerberg 6.30—9.15	568	346	26	—	31	64	95
15. 10. 59	Etzel 9.05—12.45	1713	495	37	496	92	34	410
16. 10. 59	Etzel 7.00—12.40	1418	294	33	180	520	39	250
17. 10. 59	Uetliberg 7.10—11.15	4930	2729	537	854	210	99	288
25. 10. 59	Uetliberg 6.45—9.20	1001	842	5	—	—	12	40
4. 10. 60	Hönggerberg 6.00—9.00	2860	704	1322	—	226	276	26
6. 10. 60	Hönggerberg 5.55—10.30	6145	5434	9	7	96	290	37
8. 10. 60	Hönggerberg 7.00—9.30	2064	1613	3	—	41	156	37
10. 10. 60	Hönggerberg 6.20—10.45	8003	6605	790	4	47	233	79
11. 10. 60	Hönggerberg 6.25—9.00	4262	3943	3	3	82	139	4
12. 10. 60	Hönggerberg 8.55—10.45	1462	1370	4	—	3	47	—

Datum	Ort und Zeit	Total	Finken	Tauben	Krähen	Star	Pieper, Stelzen	Lerchen
13. 10. 60	Hönggerberg 6.30—9.05	5079	1962	2315	200	67	268	42
14. 10. 60	Uetliberg 6.00—11.45	38953	5626	32598	19	308	114	155
3. 10. 61	Regensberg 6.00—9.30	753	225	402	—	47	16	36
4. 10. 61	Regensberg 6.00—18.10	4794	2500	1377	4	410	147	157
5. 10. 61	Uetliberg 6.00—8.00	1093	461	593	—	—	10	4
6. 10. 61	Uetliberg 6.00—10.00	11421	2271	8814	180	43	13	27
7. 10. 61	Oberwaggenburg 6.00—8.45	3354	1775	1168	14	54	28	126

rig fliegen und gute Sichtverhältnisse die quantitative Erfassung des Zuges begünstigen. Es ist daher anzunehmen, dass bei schlechtem Wetter dennoch weniger Finken ziehen, als bei günstigem; immerhin scheint der Wettereinfluss relativ gering zu bleiben. Sogar bei starkem Regen wurde manchmal Finkenzug beobachtet: Am Morgen des 6. Oktober 1960 z. B. überquerten mehrere tausend Buchfinken bei strömendem Regen den Col de Bretolet in den Walliser-Alpen (DE CROUSAZ, 1961). Eine ähnliche Beobachtung liegt vom 9. Oktober desselben Jahres auch aus dem Mittelland vor. Die Finken sind offenbar viel weniger vom Wetter abhängig als die Tauben (s. u.). Es scheint jedoch wenig wahrscheinlich, dass die Finken auch bei Regen aufbrechen.

Die mittlere Schwarmgrösse beträgt bei den Finkenvögeln weniger als 20. Buch- und Bergfink ziehen meist in lockeren Gruppen, die Schwärme der *Carduelis*-Arten sind im allgemeinen etwas dichter.

Bei weitem der häufigste Durchzügler ist der Buchfink (*Fringilla coelebs*), der 87% aller Finken stellt. Dieser Befund stimmt gut mit den Fangdaten auf dem Col de Bretolet überein, wo der Buchfinkenanteil 80%<sup>1)</sup> beträgt. Häufig wurden auch Bergfink (*Fringilla montifringilla*), Erlenzeisig (*Carduelis spinus*), Hänfling (*C. cannabina*), Grünfink (*C. chloris*) und Distelfink (*C. carduelis*) beobachtet, während Kernbeisser (*Coccothraustes coccothraustes*), Girlitz (*Serinus serinus*), Gimpel (*Pyrrhula pyrrhula*), Zitronenzeisig (*Carduelis citrinella*), Birkenzeisig (*C. flammea*) und Kreuzschnabel (*Loxia curvirostra*) nur in kleineren Zahlen festgestellt wurden. Die Zahl der ziehenden Bergfinken ist schwierig zu bestimmen, da sich diese oft Buchfinkenschwärmen anschliessen.

**TAUBEN.** — Während die Finken bereits zu den ersten Tagzüglern gehören, die in der Morgendämmerung erscheinen, treten die Tauben erst nach Sonnenaufgang in Erscheinung. An sieben daraufhin untersuchten Beobachtungstagen fiel die erste (optische) Finkenbeobachtung im Mittel auf 6.20 Uhr, die erste Taubenbeobachtung erst auf 6.50 Uhr. Die Sonnenaufgangszeiten liegen zwischen 6.33 und 6.47 Uhr. Ausser an einem Massenzugtag wurden Tauben nie vor Sonnenaufgang beobachtet. Hingegen kann sich der Taubenzug noch weit in den Nachmittag hinein erstrecken, während der Finkenzug in der Regel am späteren Vormittag stark abflaut.

<sup>1)</sup> Berechnet für den 1.—8. Oktober 1961. Das Material wurde mir in freundlicher Weise von der Schweizerischen Vogelwarte zur Verfügung gestellt.

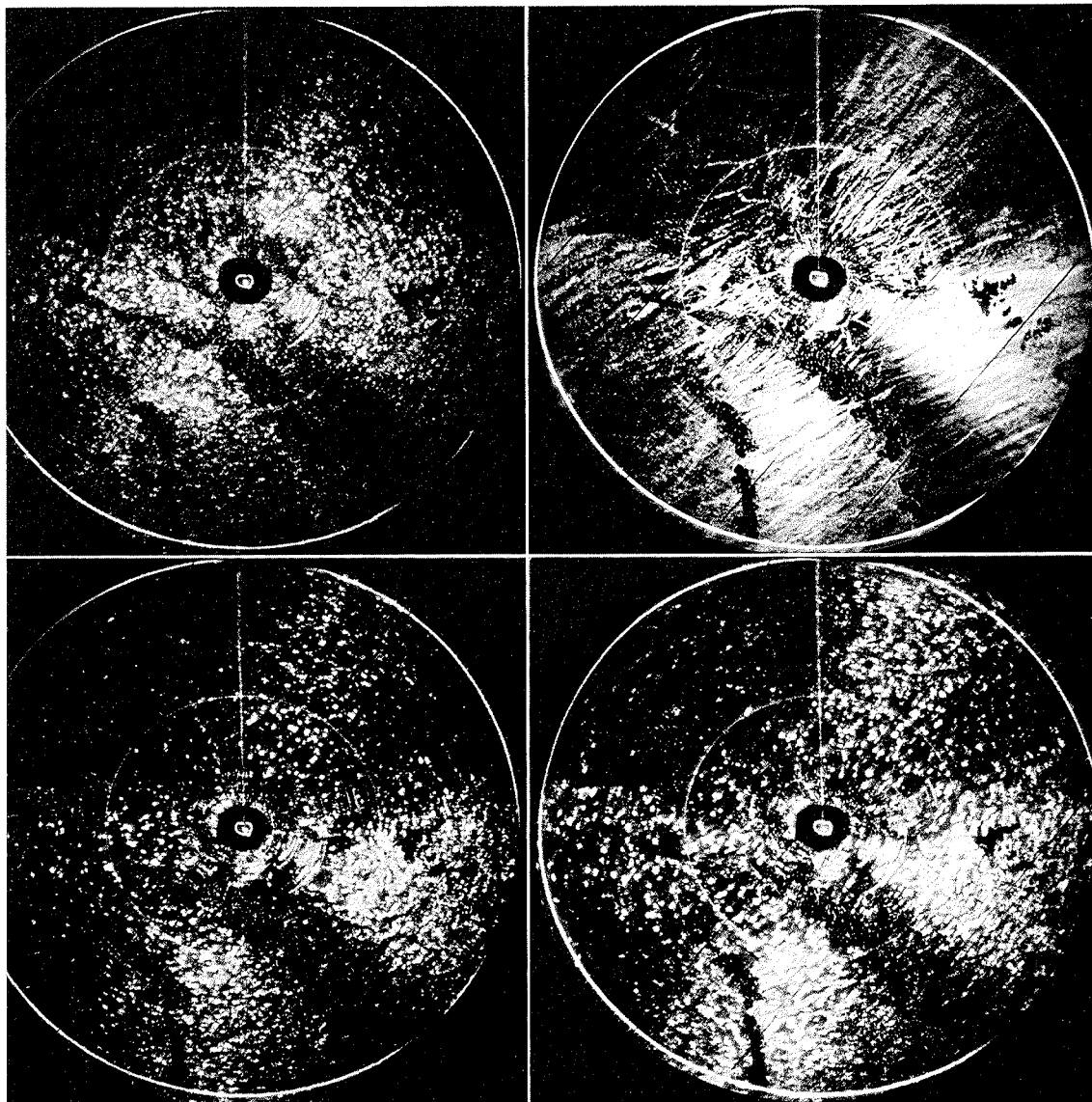
Die Tauben sind auch stärker wetterabhängig als die Finkenvögel. Dies zeigt u. a. die folgende Beobachtung aus dem Herbst 1960: Während einer sechstägigen Westwindwetterperiode mit starkem Gegenwind, starker Bewölkung und zeitweisem Regen wurden nur sehr wenige Tauben beobachtet. Als sich dann am 14. Oktober eine Wetterbesserung einstellte, kam es zu einem Massenzug: 33 000 Tauben überflogen innerhalb von 5 Stunden den Uetliberg. Es handelte sich also um eine Art «Zugstauung» infolge der ungünstigen Witterung. Die ersten Taubenechos erschienen ausnahmsweise schon kurz vor Sonnenaufgang um 6.35 Uhr auf dem Bildschirm (Sonnenaufgang 6.42 Uhr). Die erhöhte Zugbereitschaft wirkt sich also auch in einem verfrühten Aufbruch aus.

In bezug auf die Flughöhe besteht ebenfalls ein Unterschied zwischen Tauben und Finken. Die Tauben fliegen in grösserer Höhe und vorzugsweise über der Nebeldecke, so dass der Feldbeobachter unter dem Nebel kaum etwas vom Taubenzug bemerkt. Dies konnte ich am 4. Oktober 1961 in Regensberg feststellen: Bis 11 Uhr lag der Beobachtungsposten unter einer Hochnebeldecke von 300 bis 400 m Mächtigkeit. Dennoch herrschte mässiger, SW-gerichteter Finkenzug; aber Tauben wurden fast keine beobachtet. Nach 11 Uhr begann sich der Nebel allmählich aufzulösen, und plötzlich konnte ein reger Taubenzug in grösserer Höhe verfolgt werden, der sich offensichtlich bereits am Morgen über dem Nebel bewegt hatte (Abb. 13). Das Radarbild zeigte denn auch deutlich, dass ein grosser Teil der Vögel (hauptsächlich Tauben) schon am frühen Morgen über dem Nebel zog (Abb. 3). Später teilte mir Herr W. FUCHS brieflich mit, dass er in Sempach, wo sich die Hochnebeldecke schon um 9.00 Uhr auflöste, bereits zwischen 9.15 Uhr und 10.15 Uhr in grösserer Höhe sehr starken Taubenzug beobachten konnte. Auch an allen übrigen Tagen, an denen sich der Beobachtungsposten unter dem Nebel befand, wurde nur schwacher Taubenzug festgestellt, so dass man mit Sicherheit annehmen darf, der Taubenzug spiele sich hauptsächlich über dem Nebel ab.

Die ziehenden Tauben werden vom Radar auch deshalb gut registriert, weil sie grosse, dichte Schwärme bilden, die mehrere hundert Exemplare umfassen können. Diese Schwärme erzeugen grosse Radarechos, die eine charakteristische Form zeigen (Abb. 3). Im Feld sind sie über viel grössere Distanzen sichtbar als Kleinvogelschwärme. Es ist daher anzunehmen, dass die vom Feldbeobachter ermittelten Zahlen für Tauben und für Kleinvögel (Tab. 1) nicht direkt miteinander vergleichbar sind, und dass der Taubenanteil verhältnismässig zu gross erscheint. Dasselbe gilt auch für die Krähen.

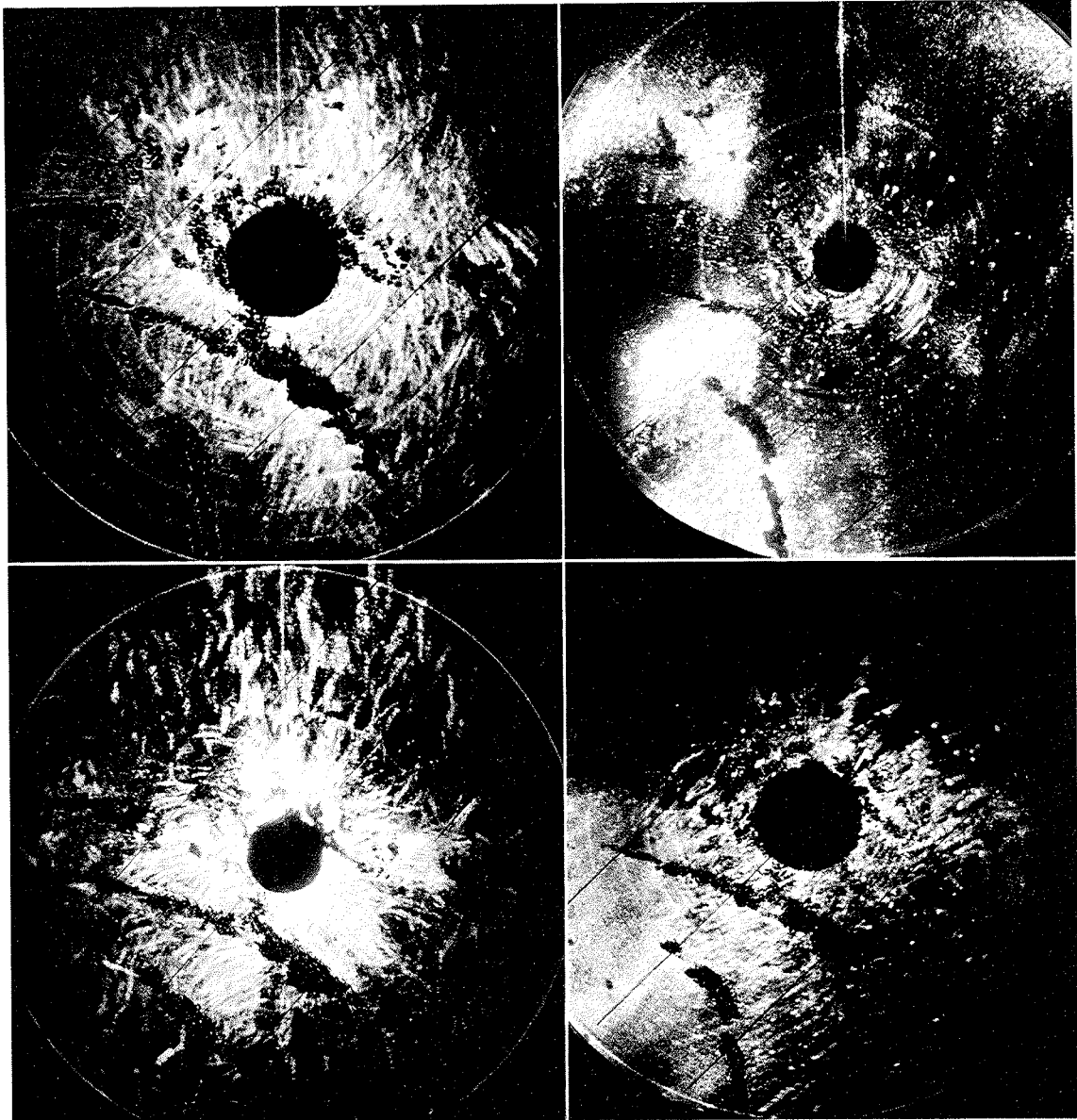
Die weitaus häufigste Art ist die Ringeltaube (*Columba palumbus*). Die Zahl der Hohltauben (*C. oenas*) ist schwer abzuschätzen, da diese oft gemeinsam mit Ringeltauben ziehen und daher leicht übersehen werden. Nach groben Schätzungen dürften sie weniger als 5% aller Tauben ausmachen. Reine Hohltaubenschwärme sind ziemlich selten und umfassen nur wenige Individuen.

**KRÄHEN.** — Wie aus Abb. 12 zu entnehmen ist, ziehen die Krähen — es sind vor allem Saatkrähen (*Corvus frugilegus*) — erst in der zweiten Oktoberhälfte in grösserer Zahl. Auch sie bilden grosse dichte Schwärme, scheinen jedoch stärker als die Tauben von Leitlinien beeinflusst zu werden (vgl. SUTTER, 1948), so dass die Wahl des Beobachtungspostens nicht ohne Einfluss auf das Resultat ist. Leider liegt das Rheintal, das eine starke Leitlinienwirkung ausübt, in einem ungünstigen Sektor des Radarfeldes. Ausser den Saatkrähen ziehen noch in kleinerer Zahl Dohlen (*Corvus monedula*), die sich unter die Saatkrähen mischen, Raben-



TAFEL 2. Tagzugbeginn bei ungestörter Wetterlage (4. Oktober 1959). — *a* (oben links): Nachtzugbild (5.30 Uhr, Belichtungszeit 6 Sec.). — *b* (unten links): Aufbruchphase (6.10 Uhr, Belichtungszeit 6 Sec.). Die aufbrechenden Tagzügler sind als Verdichtungen von feinen, etwas diffusen Echos im ESE und S des Beobachtungsfeldes sichtbar. — *c* (oben rechts): Zeitaufnahme der Aufbruchphase (6.10 Uhr, Belichtungszeit 3 Min.). Die feinen Echos im SE zeigen eine einheitliche WSW-Richtung. Im NE sind bis zur 5-Meilenlinie noch die deutlich markierten Echos von Nachtzüglern zu sehen. — *d* (unten rechts): Starke Zunahme der Echogrösse um 6.20 Uhr, die dadurch zustande kommt, dass sich die Vögel zu grösseren Schwärmen zusammenschliessen. Der Zufluss von Echos aus dem NE beginnt einzusetzen. (Belichtungszeit 6 Sec.)

a



b

TAFEL 3. *a*: Durch Westwind nach S und SE abgelenkte Bewegung. Wind  $270^{\circ}/13$  Knoten in 200—300 m/B; Bewölkung  $3/8$  Cumulus. (13. Oktober 1960, 6.15 Uhr, Belichtungszeit 3 Min.) — *b*: Zwei einander überlagernde Zugbewegungen; in der Bildmitte niedrig fliegende, normal SW-gerichtete Vögel, im N-Sektor hochfliegende, von dem in der Höhe stärkeren Wind nach S abgelenkte Vögel. Lokaler Bodennebel. (29. September 1958, 6.25 Uhr, Belichtungszeit 3 Min.) — *c*: Mitwindbewegung in Gegenzugrichtung; die Echos NE-gerichteter, vor dem Wind her treibender Vögel sind deutlich erkennbar. Wind  $240^{\circ}/20$  Knoten, Bewölkung  $6-8/8$  Altostratus; die hellen Flächen sind Regengebiete. (14. Okt. 1958, Belichtungszeit 6 Sec.) — *d*: Zug im Regen; die Vögel stossen auf ein von SW kommendes Regenfeld, ziehen aber weiter. (3. Okt. 1960, 7.10 Uhr, Belichtungszeit 2 Min.)



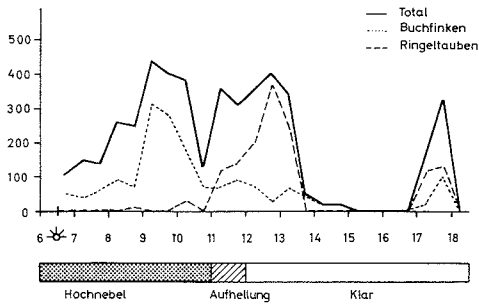


Abb. 13. Beziehung zwischen der Zahl der beobachteten Ringeltauben (*Columba palumbus*) und der Auflösung des Hochnebels am 4. Oktober 1961 (s. Text). Ordinate: Zahl der beobachteten Vögel pro Viertelstunde; Abszisse: Tageszeit und Sonnenaufgang.

krähen (*C. corone corone*) und selten auch Nebelkrähen (*C. corone cornix*). Die charakteristische Form der Radarechos ist bereits erwähnt worden (Abb. 2).

STAR. — Es fällt auf, dass der Star (*Sturnus vulgaris*), dessen Hauptdurchzug zwischen Mitte September und Ende Oktober, also während der Beobachtungsperiode, stattfindet, nur in relativ kleinen Zahlen in den Protokollen erscheint, während er in Südschweden (RUDEBECK, 1950) nach dem Buchfinken der häufigste Durchzügler ist. Dazu kommt noch, dass die Richtungsverhältnisse bei dem von uns beobachteten Starenzug sehr eigenartig erscheinen. Auf 9 Beobachtungstage mit reiner SW- bis WSW-Bewegung kommen nämlich 5 Tage, an denen ein grosser Teil der Stare im Gegensatz zu allen andern Durchzüglern nach NE, d. h. in der Gegenzugrichtung flog, und am Nachmittag des 28. Septembers 1959 wurde sogar eine reine NE-Bewegung festgestellt. Die Ursache für diesen eigenartigen «Gegenzug», der auch andernorts beobachtet wird, kann vorläufig nicht angegeben werden. Auch am Radar sind stets einzelne Echos zu beobachten, die gegen den südwestwärts gerichteten «Strom» fliegen und offenbar von Staren oder andern Vögeln stammen, die in Gegenzugrichtung fliegen. Es ist möglich, dass sich der eigentliche Starenzug besonders bei klarem Wetter und Rückenwind in grosser Höhe abwickelt und daher nicht beobachtet werden kann. Ein entsprechender Hinweis wurde uns schon von Astronomen gegeben (vgl. SUTTER, 1950). Ein grosser Teil der Stare zieht jedoch in der Abenddämmerung und nachts, was mit Mondbeobachtungen in Kloten und Fängen auf dem Col de Bretolet (GODEL und DE CROUSAZ, 1958) belegt werden kann.

Am 6. Oktober 1959 wurde ein ca. 5 km breites Echo aufgenommen, das vermutlich von einem riesigen Starenschwarm stammt (Abb. 5).

PIEPER und STELZEN. — Den Zug der Pieper und Stelzen hat DE CROUSAZ (1961) ausführlich behandelt. Für unsere Radarbeobachtungen ist wichtig, dass diese Vögel in kleinen, sehr lockeren Schwärmen oder einzeln wandern und deshalb auf dem Radarschirm kaum ein Echo erzeugen. Die Gruppe fällt für uns zahlenmässig nicht besonders ins Gewicht, da der Baumpieper (*Anthus trivialis*), die Schafstelze (*Motacilla flava*) und die Bergstelze (*M. cinerea*) grösstenteils vor der Beobachtungsperiode ziehen. Im Oktober werden vor allem Bachstelzen (*M. alba*), Wiesenpieper (*Anthus pratensis*) und Wasserpieper (*A. spinoletta*) beobachtet. Ähnlich wie beim Star wurde auch bei der Bachstelze an bestimmten Beobachtungstagen Gegenzug festgestellt.

LERCHEN. — Anfang Oktober überwiegen meist die Heiderlerchen (*Lullula arborea*), die jedoch nie in grosser Zahl beobachtet worden sind. Später nahmen

die Feldlerchen (*Alda arvensis*) zu und erreichen an bestimmten Tagen die 10%-Grenze. Die durchschnittliche Schwarmgrösse lag unter 20. Schwärme mit über 50 Exemplaren waren selten, während einzeln ziehende Lerchen regelmässig beobachtet wurden. Tage mit ausgesprochen starkem Lerchenzug, wie sie in der zweiten Oktoberhälfte mitunter vorkommen, fehlen in unserem Material. Auch die Lerchen ziehen teilweise nachts.

**DROSSELN.** — Der Anteil der Drosseln am gesamten Zug ist deshalb klein, weil die Drosseln mit Ausnahme von Mistel- und Wacholderdrossel (*Turdus viscivorus*, *T. pilaris*) vorwiegend nachts ziehen. Die Misteldrossel wurde regelmässig, jedoch selten in grosser Zahl beobachtet, während die Wacholderdrossel an manchen Beobachtungstagen ausblieb. Auch Singdrossel und Rotdrossel (*T. philomelos*, *T. iliacus*) wurden oft tagsüber festgestellt; ziehende Amseln (*T. merula*) sind dagegen bei Tag eher selten.

**SCHWALBEN.** — Der Hauptdurchzug der Schwalben findet bereits Mitte bis Ende September statt; während unserer Beobachtungsperiode treten sie daher selten auf. Rauch- und Mehlschwalben (*Hirundo rustica*, *Delichon urbica*) wurden häufiger beobachtet, Uferschwalben (*Riparia riparia*) nur selten.

**MEISEN.** — Unsere Beobachtungen vom Meisenzug sind im Verhältnis zu jenen auf dem Col de Bretolet sehr spärlich. Das Mittelland wird anscheinend in breiter Front überflogen, während in den Pässeinschnitten der Alpen grössere Konzentrationen auftreten, da die Meisen sehr niedrig fliegen. Als häufigste Arten wurden wie auf dem Col de Bretolet die Tannenmeise (*Parus ater*), die Kohlmeise (*P. major*) und die Blaumeise (*P. caeruleus*) festgestellt. Von der Schwanzmeise (*Aegithalos caudatus*) liegen nur zwei Beobachtungen vor. Infolge der geringen Flughöhe wird der Meisenzug vom Radar kaum registriert.

**AMMERN.** — Einzelne Rohrammern (*Emberiza schoeniclus*) und Goldammern (*E. citrinella*) wurden regelmässig festgestellt.

**HECKENBRAUNELLE.** — Zu den ersten Tagzüglern, die in der Morgendämmerung noch vor Sonnenaufgang aufbrechen, gehören bei uns stets vereinzelt Heckenbraunellen (*Prunella modularis*), die sich durch ihren hohen metallischen Ruf zu erkennen geben. Auch später fliegen sie einzeln; Schwarmbildung wurde nie beobachtet.

**EICHELHÄHER.** — Im Herbst 1959 wurde ziemlich starker Eichelhäherzug (*Garrulus glandarius*) in westlicher bis nordwestlicher Richtung verzeichnet. So beobachtete ich am 1. Oktober 1959 zwischen 14.30 und 15.30 Uhr 91 ziehende Exemplare auf dem Höngerberg. Die letzte Zugbeobachtung stammt vom 27. Oktober 1959. Aus den übrigen Jahren liegen nur sehr wenige Beobachtungen vor. Solche Zugbewegungen, sowie Nahrungs- und Schlafplatzflüge, können eine Zunahme der Richtungsstreuung auf dem Radarbild vortäuschen.

**RAUBVÖGEL.** — Unsere Beobachtungen über den Raubvogelzug sind deshalb unvollständig, weil die «Segler» unter den Raubvögeln bevorzugt bei günstigen Aufwinden, d. h. oft am Nachmittag ziehen, während sich unsere Beobachtungen meist auf den frühen Vormittag beschränkten. Unsere häufigsten Durchzügler im Oktober sind Mäusebussard (*Buteo buteo*), Sperber (*Accipiter nisus*) und Turmfalk (*Falco tinnunculus*). Ferner wurden folgende Raubvögel beobachtet: Habicht (*Accipiter gentilis*), Rotmilan (*Milvus milvus*), Kornweihe (*Circus cyaneus*), Wanderfalk (*Falco peregrinus*), Baumfalk (*Falco subbuteo*) und Merlin (*Falco columbarius*).

## 2. Die Zugfrequenz im Tagesverlauf

Wir wollen zunächst die normalen Verhältnisse bei ungestörter Wetterlage betrachten. Dazu wählen wir die Beobachtungstage mit *Bodennebel*, an welchen der Zug in der für den Radar günstigen Höhe abläuft. Die Dicke der Nebelschicht variiert dabei zwischen etwa 50 und 400 m. Tage mit nur lokalem Bodennebel sind nicht berücksichtigt. Als Mass für die Zugfrequenz nehmen wir die Zahl der Radarechos.

Das Bild der Frequenzkurven für die 21 Beobachtungstage mit Bodennebel ist sehr einheitlich; wir greifen als Beispiel den 12. Oktober 1957 heraus (Abb. 14): Gegen den Morgen hin beginnt der Nachtzug abzuklingen, die Zugfrequenz nimmt ab und erreicht um 6.10 Uhr ein Minimum; gleichzeitig wird eine Gruppe neuer Echos sichtbar. Sie haben etwa die gleiche Grösse wie Nachtzugechos, erscheinen aber etwas diffus. Es sind die ersten Tagzügler, die eine halbe Stunde vor Sonnenaufgang von den Rastplätzen aufbrechen. Nacht- und Tagzug überlagern einander also. Die Echodichte steigt rasch an und erreicht ihr Maximum um 6.20 Uhr. Nun erfolgt eine rasche Zunahme der Echogrösse. Die Echos werden auch prägnanter und zeigen scharfe Konturen. Es macht also den Anschein, als würden die Tagzügler in kleinen, lockeren Schwärmen aufbrechen und sich erst später zu grossen, dichteren Formationen zusammenschliessen. Gleichzeitig mit der Grössenzunahme der Echos nimmt deren Anzahl ab. Bei unserer Schätzungsmethode (S. 39) wird dieser Einfluss der Echogrösse auf die Frequenzbestimmung jedoch weitgehend ausgeschaltet und macht weniger als eine Dichtestufe aus. Bereits um 6.45 Uhr ist das Maximum überschritten und die Frequenz nimmt um eine Einheit ab. Bis 10 Uhr bleibt sie dann annähernd konstant, worauf gegen Mittag hin eine ziemlich kontinuierliche Abnahme erfolgt. Am Nachmittag stellen wir nur noch eine schwache Bewegung fest. 18.20 Uhr setzt der Nachtzug ein; die grossen Echos der Tagzügler sind aber noch bis 18.30 Uhr erkennbar.

Im einzelnen variieren die Verhältnisse etwas an den verschiedenen Beobachtungstagen, der 12. Oktober 1957 kann jedoch als Normalfall betrachtet werden. In der Abenddämmerung wird hingegen oft noch ein Frequenzanstieg festgestellt, bevor der Nachtzug einsetzt (S. 56). Dieser sogenannte Dämmerungszug blieb an diesem Tage aus.

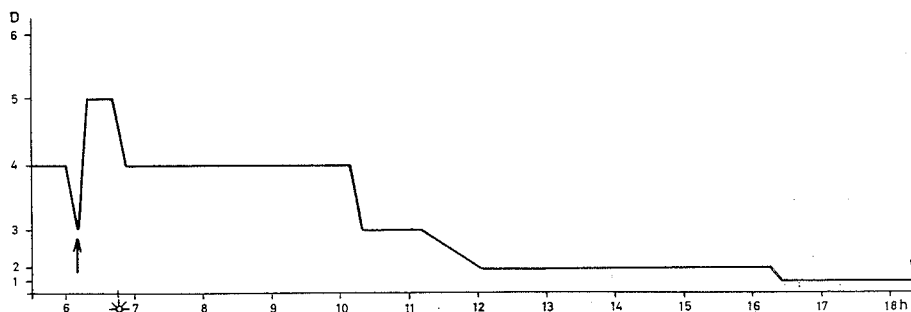


Abb. 14. Beispiel einer normalen tageszeitlichen Frequenzkurve (12. Oktober 1957). Ordinate: Frequenz in Dichtestufen, Abszisse: Tageszeit und Sonnenaufgang. Die Pfeile deuten auf den Tag- bzw. Nachtzugbeginn.

### *Der Tagzugbeginn*

Auf dem Radarbild kann der Tagzugbeginn meist auf wenige Minuten genau bestimmt werden. Etwa eine halbe Stunde vor Sonnenaufgang zeigt sich plötzlich ein «nebelartiger Schleier» von kleinen, diffusen Echos in einer bestimmten Region des Bildschirms (Tafel 2, Bild *b*). Dieser Schleier breitet sich aus und füllt bald das ganze Beobachtungsgebiet. Nach etwa 10 Minuten werden die Echos grösser und prägnanter, und das typische Tagzugbild erscheint. Der Tagzugbeginn lässt sich auch anhand der Frequenzkurve bestimmen, die normalerweise zu diesem Zeitpunkt einen plötzlichen Anstieg zeigt (Abb. 14). Diese schlagartige Zunahme ist infolge der Zeitraffung besonders deutlich auf dem Radarfilm zu erkennen. Auch die Streuung der Flugrichtungen nimmt beim Erscheinen der Tagzügler meist ab, oder die Hauptzugrichtung ändert sich.

Auf diese Weise konnte an 17 von 21 Tagen mit ungestörter Wetterlage und Bodennebel der Beginn des Tagzuges bestimmt werden. Er variiert etwa zwischen 5.30 und 6.30 Uhr. Seine Abhängigkeit vom Zeitpunkt des Sonnenaufgangs ist kaum mehr erkennbar (Abb. 15). Die Aufbruchzeiten am 9. Oktober 1957, 1958 und 1959 z. B. differieren fast um eine Stunde. Hingegen ist es auffallend, dass an sehr starken Zugtagen der Aufbruch am frühesten erfolgt. Tatsächlich kann eine Korrelation zwischen dem Zeitpunkt des Aufbruchs und der Zugfrequenz nachgewiesen werden (Abb. 16, Korrelationskoeffizient  $r = 0,73$ ;  $P < 0,001$ ). Als Mass für die Zugfrequenz wurde das erste Frequenzmaximum des betreffenden Tages gewählt, als Mass für den Zeitpunkt des Aufbruchs die Zeitdifferenz zwischen Aufbruch und Sonnenaufgang. Wir können daraus folgern, dass der Aufbruch um so früher erfolgt, je höher anschliessend die Zugfrequenz wird. Die Zugfrequenz variiert bei dieser ungestörten Wetterlage zwischen D3 und D6 (mässiger bis sehr starker Zug).

Es stellt sich nun die Frage, weshalb die Zugaktivität, die sich im Zeitpunkt des Aufbruchs und in der Zugfrequenz äussert, an den einzelnen Tagen mit ungestörter Wetterlage so beträchtliche Unterschiede zeigt. Wetterfaktoren während der Aufbruchzeit oder in der vorangegangenen Nacht können damit nicht in Zusammenhang gebracht werden. An allen ausgewählten Beobachtungstagen herrschte Bodennebel. Da sich Bodennebel nur bei Windstille oder äusserst schwachen Bodenwinden bildet, kann der Wind als auslösender oder hemmender Faktor nicht in Frage kommen. Auch ein Einfluss der Dicke der Nebelschicht, des Zeitpunktes der Nebelbildung, des Temperaturverlaufs während der Nacht und des Luftdrucks war nicht nachzuweisen. Offenbar ist die Zugbereitschaft der Vögel, die von verschiedenen endo- und exogenen Faktoren beeinflusst wird, für den Aufbruch entscheidend. Die unterschiedliche Zugfrequenz und Aufbruchzeit an Tagen mit sehr ähnlichen Wetterbedingungen lässt sich wohl darauf zurückführen, dass bei uns einzelne «Wellen» von Vögeln in erhöhter Zugbereitschaft eintreffen. Der Zustrom von Vögeln aus NE wird nicht kontinuierlich sein, da die Brut- und Rastgebiete ungleichmässig verteilt sind. Auch der Zeitpunkt des Wegzuges, die Grösse der verschiedenen Populationen und die Wetterverhältnisse in den Herkunftsgebieten haben sicher einen Einfluss auf die bei uns gemessene Zugfrequenz. Diese wird deshalb im Durchzugsgebiet unabhängig vom Wetter, also auch bei gleichen oder doch sehr ähnlichen Wetterbedingungen, von Tag zu Tag erheblich variieren.

Die grosse Bedeutung der *Zugbereitschaft* kommt an Beobachtungstagen, an denen zahlreiche Vögel trotz ungünstigen Wetterbedingungen frühzeitig aufbre-

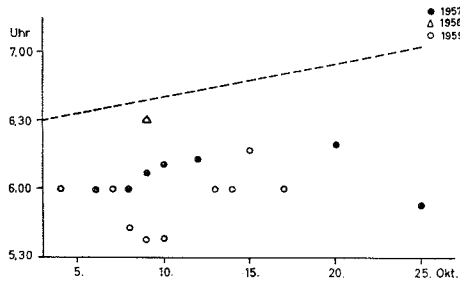


Abb. 15. Zusammenhang zwischen Aufbruchzeit (Ordinate) und Sonnenaufgang (gestrichelte Linie) an 17 Beobachtungstagen (Abszisse) mit ungestörter Wetterlage.

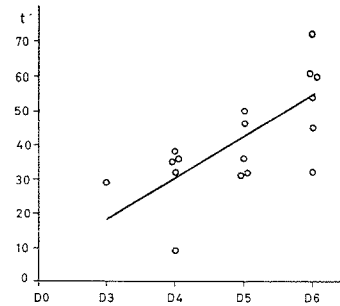


Abb. 16. Korrelation zwischen Aufbruchzeit und Zugfrequenz. Ordinate: Zeitdifferenz (t) zwischen Aufbruch und Sonnenaufgang in Minuten. Abszisse: Maximale Dichtestufe (1. Frequenzmaximum) des betreffenden Tages.

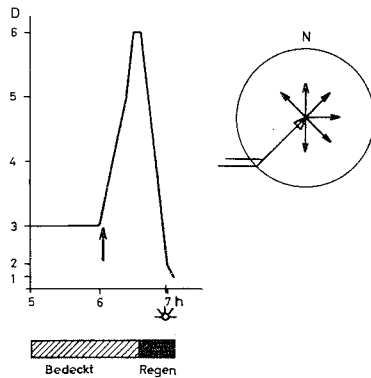


Abb. 17. Aufbruch in Gegenzugrichtung (22. Oktober 1957). Links: Zugfrequenzkurve in Dichtestufen (Ordinate). Der Pfeil bezeichnet den Tagzugbeginn. Abszisse: Tageszeit und Sonnenaufgang. Rechts: Kleine Pfeile = Flugrichtungen, grosser Pfeil = Windrichtung und -stärke (20 Knoten aus SW).

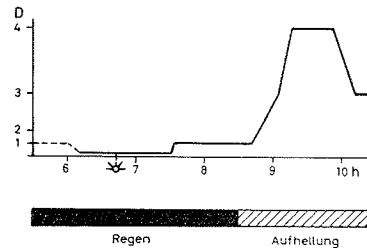


Abb. 18. Verzögerter Aufbruch infolge des schlechten Wetters (12. Oktober 1959). Starker Frequenzanstieg beim Eintreten einer Aufhellung um 9 Uhr. Ordinate: Zugfrequenz in Dichtestufen (gestrichelte Linie: Nachtzug); Abszisse: Tageszeit und Sonnenaufgang.

chen, besonders deutlich zum Ausdruck (Abb. 17): Am Morgen des 22. Oktober 1957 zwischen 6 und 7 Uhr war der Himmel bedeckt mit 2-6/8 Stratocumuli und 8/8 Altostratus, und es wehte ein mässiger SW-Wind von 10—20 Knoten. Trotzdem brachen die Tagzügler um 6 Uhr in grosser Zahl auf, und bereits um 6.30 Uhr erreichte der Zug im SE-Sektor die maximale Dichtestufe. Die Vögel flogen in Höhen bis zu 500 m/B und wurden vom Wind direkt in die Gegenzugrichtung abgetrieben. Später setzte Regen ein und die Zugfrequenz nahm rasch ab. Bei mässigem bis starkem Gegenwind treten solche Mitwindbewegungen, allerdings meist in geringerem Ausmass, regelmässig auf (S. 60). Offenbar ist der Zugtrieb der Vögel an diesen Tagen so stark, dass sie aufbrechen und in grösserer Höhe fliegen, obwohl sie dann vom Wind in die Gegenzugrichtung abgetrieben werden.

In andern Fällen ist der *hemmende Einfluss des Wetters* ausschlaggebend: Am 12. Oktober 1959 z.B. wurde der morgendliche Aufbruch durch den andauernden Regen (Staulage mit 8/8 Bewölkung) verzögert (Abb. 18). Um 9 Uhr setzte eine Aufhellung ein, und es kam zu einem starken Frequenzanstieg, der wahrscheinlich der Aufbruchsphase entspricht. Gegen 10 Uhr nahm der Zug wieder ab. Die Möglichkeit kann allerdings nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass der Zug bereits am frühen Morgen eingesetzt hatte, die Flughöhe jedoch für die Radarbeobachtung zu gering war.

Die ersten Tagzügler können an verschiedenen Orten des Beobachtungsgebietes erscheinen, die *Rastplätze* sind also ungleichmässig verteilt (Tafel 2, Bild *b* und *c*). Eine genaue Lokalisierung ist in unserem Beobachtungsgebiet nicht möglich, da die Vögel eine bestimmte Höhe erreichen müssen, bevor sie vom Radar registriert werden. Der Aufbruch kann auch ausserhalb des Beobachtungsgebietes früher erfolgen als innerhalb. Die ersten Tagzügler erscheinen dann als grosse, prägnante Echos am Rande des NE-Sektors, und die typische Anfangsphase mit den diffusen Echos bleibt aus. Diese Fälle wurden für die Berechnung der Korrelation zwischen Aufbruchzeit und Zugfrequenz nicht verwendet.

Im Feld kann die Anfangsphase des Tagzuges kaum erfasst werden, da die Lichtverhältnisse noch zu schlecht sind. Die ersten Flugrufe werden bis zu einer halben Stunde vor der ersten optischen Beobachtung vernommen. Es wurden dabei folgende Arten festgestellt: Heckenbraunelle (*Prunella modularis*), Buchfink (*Fringilla coelebs*), Erlenzeisig (*Carduelis spinus*), Wiesenpieper (*Anthus pratensis*), Baumpieper (*A. trivialis*), Bachstelze (*Motacilla alba*), Feldlerche (*Alauda arvensis*) (auch Nachtzügler!) und Misteldrossel (*Turdus viscivorus*). Die interessante Anfangsphase fällt wohl zur Hauptsache in diesen Zeitraum, in welchem eine optische Beobachtung noch nicht möglich ist. Immerhin konnte ich auf dem Col de Bretolet, wo der Tagzug wohl infolge der Entfernung der Rastplätze etwas später einsetzt, eine Zunahme der Schwarmgrösse zwischen 6 und 7 Uhr feststellen (Tab. 2). Es scheint daher gut möglich, dass der Aufbruch in kleinen Gruppen erfolgt, die sich später zu grösseren Schwärmen zusammenschliessen, was der Echogrössenzunahme auf dem Radarbild entsprechen würde. Es muss aber einschränkend gesagt werden, dass die Schwarmgrösse allgemein mit steigender Zugfre-

TABELLE 2. Zunahme der Schwarmgrösse beim Buchfinken (*Fringilla coelebs*) während der ersten Zugstunde. (Beobachtungsprotokoll vom Col de Bretolet, 10. Oktober 1961, 6—7 Uhr.) Die Schwärme sind in der zeitlichen Reihenfolge ihres Eintreffens aufgeführt. Die Zahlen bezeichnen die Individuenzahl pro Schwarm.

6.15—6.30 Uhr	6.30—6.45 Uhr	6.45—7.00 Uhr
4	2	ca. 100
2	17	ca. 100
3	1	16
3	13	10
1	2	3
1	5	8
6	4	3
5	16	24
11	15	29
	4	ca. 30
	ca. 100	ca. 50
	22	ca. 100
	ca. 30	ca. 50
	ca. 30	

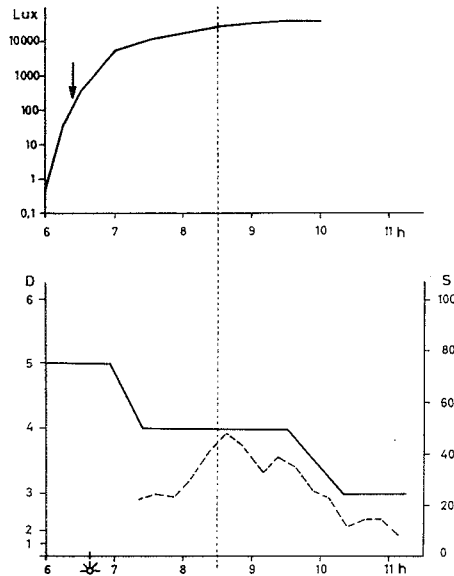


Abb. 19. Einfluss der Helligkeit auf die Resultate der Feldbeobachtung. *Oben:* Im Zenith gemessene Helligkeit in Lux bei klarem Himmel über dem Nebel. Der Pfeil deutet auf den Zeitpunkt der ersten optischen Beobachtung im Feld. *Unten:* Radarfrequenzkurve in Dichtestufen (ausgezogene Linie) und Zahl der im Feld beobachteten Vogelschwärme pro Viertelstunde (gestrichelte Linie) am 10. Oktober 1958. Der im Feld beobachtete Frequenzanstieg bis 8.30 Uhr ist auf die Zunahme der Helligkeit zurückzuführen (punktierter Linie). Nach 8.30 Uhr stimmen die beiden Frequenzkurven gut überein. Abszisse: Tageszeit und Sonnenaufgang.

quenz zunimmt (SUTTER, 1940; DE CROUSAZ, 1961), allerdings kaum in dem Masse, wie in der erwähnten Beobachtung.

#### *Die Frequenzmaxima*

Eine auffällige Diskrepanz zwischen Radar- und Feldbeobachtung besteht hinsichtlich der Lage des Frequenzmaximums. Die Radarfrequenzkurve zeigt ihr Maximum normalerweise innerhalb der ersten Zugstunde, d. h. vor 7 Uhr (Abb. 14), die Frequenzkurve der Feldbeobachtung jedoch frühestens zwischen 7 und 8, oft auch erst zwischen 9 und 10 Uhr. Die Feldbeobachtungskurve zeigt also noch einen Anstieg, während die Radarkurve bereits im Absinken begriffen ist oder, wie in Abb. 19, horizontal verläuft. Dies erklärt sich aus den Lichtverhältnissen, wie eine Reihe von Helligkeitsmessungen eindeutig zeigte. Die Helligkeit wurde am Beobachtungsort mit einem Lunasix-Belichtungsmesser im Zenith gemessen. Sie nimmt bis 8.30 Uhr stark zu (Abb. 19) und bleibt dann mehr oder weniger konstant bis 10 Uhr. Der Anstieg in der Feldbeobachtungskurve spiegelt offenbar einfach die zunehmende Besserung der Beobachtungsbedingungen wider. Es kommt noch dazu, dass am frühen Morgen die Sonne in einem ungünstigen Winkel zum Beobachter steht. Um 7 Uhr beträgt der Winkel zwischen Sonne und Zugrichtung rund  $45^\circ$ , so dass der Beobachter geblendet wird. Erst etwa um 10 Uhr, wenn die Sonne auf  $90^\circ$  zur Zugrichtung «gedreht» hat, hört dieser Störungseffekt auf.

Nach Erreichen des Frequenzmaximums der Feldbeobachtungskurve zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit der Radarkurve (vgl. Abb. 19 und 10), was darauf schließen lässt, dass sich von diesem Zeitpunkt an die Beobachtungsbedingungen im Feld nicht mehr wesentlich ändern.

In indirekter Weise bestätigt die Feldbeobachtung jedoch das frühe Zugmaximum, das durch den Radar aufgedeckt wurde. An Rastplätzen kann man nämlich schon um 7 Uhr einfallende Schwärme von Tagzüglern beobachten; das deutet darauf hin, dass das wirkliche Frequenzmaximum bereits überschritten ist.

An manchen Beobachtungstagen zeigt sich ein *zweites Frequenzmaximum* zwischen 7.30 und 9 Uhr (Abb. 10) oder das erste Maximum tritt verspätet auf. Dies entspricht wiederum unserer Vorstellung, dass der Strom der Zugvögel nicht immer gleichmässig fliesst, sondern dass Verdichtungen entstehen, die sich wellenförmig ausbreiten. Bildet sich eine grössere Welle im NE unseres Beobachtungsgebietes, so entsteht ein zweites Frequenzmaximum, das infolge der fortgeschrittenen Tageszeit kleiner ist als das ursprüngliche im Aufbruchgebiet.

Die Lage der Frequenzmaxima hängt auch von der *Artenzusammensetzung* des Zuges ab. Wie wir bereits erwähnt haben, treten die Tauben später auf als die Finken, und ihr Frequenzmaximum liegt ebenfalls später. Das Zahlenverhältnis Tauben zu Finken muss demnach auf die Lage der Frequenzmaxima einen Einfluss haben.

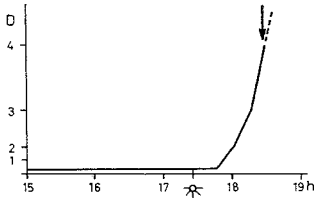


Abb. 20. Dämmerungszug am 25. Oktober 1957. Anstieg der Zugfrequenz (Ordinate) ab 17.45 Uhr. Der Pfeil markiert den Beginn des Nachtzuges. Abszisse: Tageszeit und Sonnenuntergang.

In der Abenddämmerung ist oft ein Frequenzanstieg zu beobachten. Wir bezeichnen ihn als *Dämmerungszug*. In der Radarfrequenzkurve geht er fließend in den Nachtzug über (Abb. 20), im Feld jedoch kann er nur so lange verfolgt werden, als es die Lichtverhältnisse erlauben (Abb. 13). Dieser Dämmerungszug zeigt im Mittelland eine ähnliche Artenzusammensetzung wie der normale Tagzug. Die grossen Taubenechos sind auf dem Radar noch zu sehen, wenn der Nachtzug bereits eingesetzt hat. Die beiden Zugbewegungen überlappen einander also auch in der Abenddämmerung.

### 3. Die Flughöhe

Erst seitdem man Radargeräte für die Vogelzugforschung verwendet, weiss man über die Flughöhe der ziehenden Vögel genauer Bescheid. Sie hängt sehr stark von den Wetterbedingungen, vor allem von den Wind- und Nebelverhältnissen ab. Bei klarem Wetter und schwachen Winden konnten bei uns Tagzieher bis in 1000 m/B festgestellt werden. Bei ungestörter Wetterlage mit *Bodennebel* fliegt die Mehrzahl der Vögel direkt über der Nebeldecke. Die Echodichte auf dem Radarbild nimmt mit zunehmender Höhe rasch ab. So wurden z. B. am 11. Oktober 1957 bei einer Nebelobergrenze von 220 m/B am meisten Echos zwischen 200 und 300 m/B beobachtet, einzelne jedoch bis 800 m/B. Im Nebel drin wurde nur eine schwache Zugbewegung festgestellt, die z. T. von aufbrechenden und einfallenden Vögeln herrührte (Abb. 21).

Bei *Hochnebel*, der oft mit schwachem NE-Wind (Rückenwind) einhergeht, liessen sich meist zwei Zugbewegungen beobachten, die eine über dem Nebel, die andere darunter (s. auch S. 48). Bei Zug über einer Hochnebeldecke wurden die grössten Flughöhen erreicht. Als Beispiel möchte ich den 8. Oktober 1958 herausgreifen, an welchem das Beobachtungsgebiet unter einer 1000 m mächtigen Hochnebeldecke mit Obergrenze in 1400 m/B lag. Die maximalen Flughöhen konnten



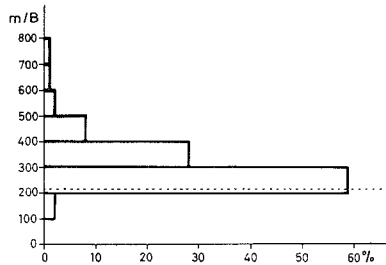


Abb. 21. Flughöhe bei Bodennebel am 11. Oktober 1957, 9-10 Uhr. Abszisse: Prozent der am Landeradar registrierten Echos in der betreffenden Flughöhe (Ordinate) in m/B ( $n = 624$  Echos = 100%); punktierte Linie: Nebelobergrenze.

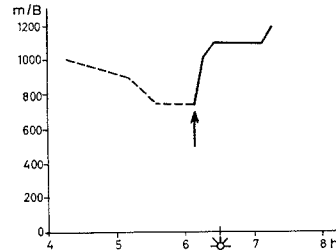


Abb. 22. Zug-Obergrenze in m/B (Ordinate) beim Übergang vom Nacht- zum Tagzug am 3. Okt. 1961 (SRE-Messungen). Abszisse: Tageszeit und Sonnenaufgang. Die Messungen vom Nachtzug (gestrichelte Linie) sind als Mindestwerte aufzufassen, die Abnahme gegen den Morgen hin kommt jedoch deutlich zum Ausdruck. Der Pfeil bezeichnet den Tagzugbeginn. Wetter: Hochnebel mit Obergrenze bei 1100 m/B, schwache Bise.

leider nicht gemessen werden, aber wir dürfen annehmen, dass die Mehrzahl der Vögel in einer Höhe von 1400—1600 m/B flog.

Dass auch Kleinvögel tatsächlich in so grosser Höhe ziehen, können wir durch einige Buchfinkenfedern (*Fringilla coelebs*) belegen, die Herr URFER am 3. Oktober 1961 von den Flügeln einer Convair-Maschine abkratzte. Die Hochnebelobergrenze lag an diesem Tag in 1500—1600 m/M., und die Vögel waren, nach Aussage der Piloten, in 2000 m Höhe über Rottweil mit der Maschine kollidiert. Diese Extremwerte stehen jedoch immer noch weit hinter denjenigen zurück, die LACK (1960b) für den Zug über der Nordsee gemessen hat. Er registrierte nämlich kleine Nachtzügler ausnahmsweise noch bis in eine Höhe von 21 000 Fuss (6400 m). Der normale Einzug der britischen Wintergäste (Passeres) erfolgt jedoch unterhalb 5000 Fuss (1500 m), und zwar fliegen die Vögel nachts höher als bei Tag. Wenn wir diese Resultate mit den unsrigen vergleichen, stellen wir fest, dass die Flughöhe über dem Meer im allgemeinen höher liegt als über dem Land, worauf schon DEELDER (1949) auf Grund seiner Feldbeobachtungen an Buchfinken im holländischen Küstengebiet hingewiesen hat.

Bei *W- bis SW-Windwetter* zeigt sich der Einfluss des Windes sehr deutlich. Schon ein Gegenwind von etwa 5—10 Knoten aus SW drückt die Flughöhe bis auf 200 m herunter. Bei Gegenwind über 10 Knoten findet der Zug direkt in Bodennähe (0—50 m/B) statt, wobei die Vögel möglichst im Windschatten fliegen. Dieser bodennahe Zug wird vom Radar nicht erfasst, während diese Verhältnisse für die Sichtbeobachtung besonders günstig sind. Hingegen konnten wir am Radar ein unseren Feldbeobachtern noch unbekanntes Phänomen feststellen. Bei diesen Windverhältnissen verläuft nämlich in einer Höhe von etwa 100—300 m/B, selten bis 500 m/B, regelmässig eine schwache Bewegung in Gegenzugrichtung. Ein Beispiel einer solchen Mitwindbewegung ist schon auf S. 53 erwähnt worden. Wir werden im Kapitel über die Zugrichtung noch genauer auf dieses eigenartige Verhalten eingehen.

Ein interessantes Resultat ergaben auch die Flughöhenmessungen beim *Übergang vom Nacht- zum Tagzug*: Am 3. Oktober 1961 z. B. sank die Zug-Obergrenze

in der Übergangsphase nie unter 750 m/B (Abb. 22). Die Tagzügler erreichen also diese Flughöhe, bevor die Nachtzügler gelandet sind. Diese Überlagerung der beiden Zugbewegungen, an denen verschiedene Arten beteiligt sind, ist regelmässig zu beobachten.

#### 4. Die Zuggeschwindigkeit

In der Abb. 23 sind die Geschwindigkeitsmessungen von 243 Vogelschwärmen für den 10. Oktober 1959 aufgetragen. An diesem Tag wurden nur schwache Winde gemessen (unter 6 Knoten) und der Zug zeigte eine normale Artenzusammensetzung (57% Buchfinken *Fringilla coelebs*, 29% Ringeltauben *Columba palumbus*). Trotz der heterogenen Artenzusammensetzung sind die Werte normal

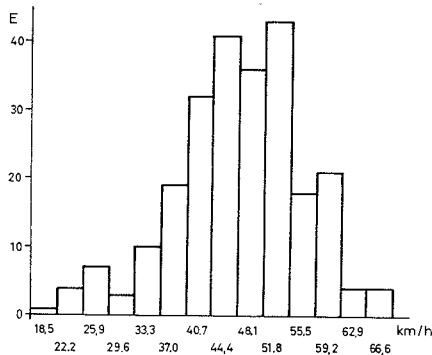


Abb. 23. Zuggeschwindigkeit von 243 Vogelschwärmen am 10. Oktober 1959, 7.40—12.15 Uhr. Abszisse: Geschwindigkeit in km/h. Ordinate: Zahl der Echos (E) mit der betreffenden Geschwindigkeit. (Wetterdaten vgl. S. 42)

verteilt. Die kleinsten Messresultate können davon herrühren, dass die betreffenden Schwärme nicht horizontal flogen oder sich während der Aufnahmezeit auflösten. Die mittlere Zuggeschwindigkeit betrug  $46 \pm 6$  km/Std. und entspricht etwa derjenigen von Finkenvögeln. Für Tauben wurde an vier Beobachtungstagen eine mittlere Geschwindigkeit von 55 km/Std. (44—71 km/Std.), für grosse Krähschwärme eine solche von 53 km/Std. (46—63 km/Std.) gemessen. (Die Windstärke betrug an diesen Tagen weniger als 5 Knoten.) Diese Resultate stimmen gut mit denjenigen direkter Messungen von MILDENBERGER (1950) überein. Die beiden Artengruppen lassen sich also auf Grund ihrer Zuggeschwindigkeiten auf dem Radarbild nicht unterscheiden; die Echos grosser Schwärme weisen jedoch eine charakteristische Form auf (S. 38).

#### 5. Die Zugrichtung im Zusammenhang mit dem Orientierungsproblem

##### *Primärriichtung*

Mit Hilfe des Radars kann die angeborene Zugrichtung der Vögel, die nach GEYR VON SCHWEPENBURG (1949) als Primärriichtung bezeichnet wird, sehr genau gemessen werden. Wir wählen dazu wiederum die Tage mit ungestörter Wetterlage und Bodennebel. Da die Vögel an diesen Tagen über einer Nebeldecke fliegen und keine Windablenkung erfahren, halten sie unbeeinflusst von Landschaft und Witterung ihre angeborene Zugrichtung ein. In unserem Gebiet stellten wir eine einheitliche Primärriichtung zwischen SW und WSW fest. Der Mittelwert der Hauptzugrichtungen von 21 Beobachtungstagen zu der Tageszeit mit maximaler

Zugfrequenz (erste Zugstunde) beträgt  $234^\circ \pm 4^\circ$ . Wir definieren die *Primärri-  
chtung* als ungestörte, mittlere Zugrichtung zu der Tageszeit mit maximaler Zug-  
frequenz. Die Einschränkung in bezug auf die Tageszeit muss deshalb gemacht wer-  
den, weil sich die Zugrichtung im Laufe des Tages ändert (S. 61).

Der Mittelwert der Richtungsstreuungen an den einzelnen Beobachtungstagen  
mit ungestörter Wetterlage beträgt 1,3 Einheiten, d. h. 90% aller Flugbahnen wei-  
chen nicht mehr als  $\pm 20^\circ$  von der Primärri-  
chtung ab.

#### *Einfluss des Windes*

An 32 von 81 auswertbaren Beobachtungstagen zeigte die Hauptzugrichtung  
eine Abweichung von der Primärri-  
chtung. Diese Abweichungen können durch den  
Windeinfluss erklärt werden (Tab. 3). Schon Windstärken von 5—10 Knoten be-  
wirken eine messbare Ablenkung. Es scheint, dass die Flugrichtung die Resultie-  
rende aus der Primärri-  
chtung und der Windrichtung ist, wobei diese beiden Rich-  
tungen mit den entsprechenden Geschwindigkeiten als Vektoren einzusetzen sind  
(LACK, 1962 b). Exakte Berechnungen sind jedoch vorläufig nicht möglich, da in  
keinem Fall die Richtung, Geschwindigkeit und Flughöhe eines Vogelschwarms, so-  
wie die Windstärke und -richtung in der betreffenden Höhe gleichzeitig gemessen  
werden konnten.

Sicher ist jedenfalls, dass die Vögel vom Winde abgetrieben werden und diese  
Ablenkung auch über grosse Strecken nicht wirksam korrigieren (Tafel 3, Bild a);  
der Flug wird trotzdem fortgesetzt. Wahrscheinlich stellen sie sich wohl in die  
Primärri-  
chtung ein, fliegen aber infolge des Windeinflusses schräg zu ihrer Längs-  
achse, wie man dies auch im Feld beobachten kann, und weichen dabei von der  
Primärri-  
chtung ab. Eine Richtungskorrektur am folgenden Tag konnte nicht nach-  
gewiesen werden. Dies gilt jedoch nur für Vögel, die in mehr als 50 m Höhe flie-  
gen. In Bodennähe, wo die Winde im allgemeinen schwächer sind, können sie ihre  
Richtung beibehalten, indem sie die Windablenkung wahrscheinlich mit Hilfe von

TABELLE 3. Einfluss des Windes auf die Zugrichtung. Angegeben ist die Zahl der Beob-  
achtungstage mit den betreffenden Verhältnissen.

Wind	Zugrichtung			
	Primärri- chtung SW-WSW	Ablenkung nach S-SE	Ablenkung nach W-NW	Mitwindbewegung nach N-E
Schwach variabel < 5 Knoten	49	—	—	—
Seitenwind aus W-NW > 5 Knoten	—	10	—	—
Seitenwind aus S-SE < 5 Knoten	—	—	4	—
Gegenwind aus W-SW > 10 Knoten	—	2+1 <sup>1)</sup>	—	15

<sup>1)</sup> < 10 Knoten

Landmarken korrigieren. In seltenen Fällen werden diese Vögel auch vom Radar registriert (Tafel 3, Bild *b*).

Bei veränderlichem W- bis SW-Windwetter mit Windstärken von mehr als 10 Knoten und mässiger bis starker Bewölkung (5-8/8) kommt es in Höhen über 50 m sogar regelmässig zu einer *Mitwindbewegung* (Tafel 3, *c*), wobei die Flugrichtungen zwischen N und E streuen. Diese Bewegung konnte bisher nur mit Hilfe des Radars nachgewiesen werden. Im allgemeinen sind nur wenige Schwärme daran beteiligt. Wie die Feldbeobachtung zeigt, fliegen die meisten Vögel in Bodennähe und können ihre Zugrichtung beibehalten. In Ausnahmefällen kann jedoch die Mitwindbewegung auch die maximale Dichtestufe erreichen. Dass diese Bewegung tatsächlich unter dem Einfluss des Windes zustandekommt, geht daraus hervor, dass bei mässigem Gegenwind alle Grade der Ablenkung von  $45^\circ$  bis  $180^\circ$  vorkommen. Erst bei grösserer Windgeschwindigkeit, die jedoch die normale Eigengeschwindigkeit der Vögel nicht zu erreichen braucht, bewegen sich alle vom Radar erfassten Schwärme in Gegenzugrichtung. Da die Mitwindbewegung auch bei nur 5/8 Bewölkung auftrat, kommt diesem Witterungsfaktor wohl nur eine untergeordnete Bedeutung zu. Es stellt sich nun die Frage, ob die Vögel, die mit stark streuenden Flugrichtungen vor dem Wind heritreiben, desorientiert sind. Der normale, SW-gerichtete Zug in Bodennähe zeigt eindeutig, dass die Vögel bei diesen Wetterbedingungen noch navigieren können. In grösserer Höhe versuchen sie wenigstens bei mässigem Gegenwind ihren SW-Kurs beizubehalten und fliegen erst bei grösserer Windstärke in die Gegenzugrichtung. Es scheint sich also eher um eine extreme Form der Windablenkung oder um ein Fluchtverhalten zu handeln, als um Desorientierung.

Ob starker Seitenwind ebenfalls zu einer Mitwindbewegung führt, kann anhand unseres Materials noch nicht entschieden werden.

#### *Desorientierung*

Nur an zwei Beobachtungstagen waren die Vögel völlig *desorientiert*. Es waren Tage mit sehr mächtigen Hochnebelschichten: Am 8. Oktober 1958 lag über dem Beobachtungsgebiet ein Nebelmeer, das bis nach München reichte. Die Nebeluntergrenze lag bei 400 m/B, die Obergrenze bei 1400 m/B. Der Wind war sowohl über wie auch unter dem Nebel schwach (unter 5 Knoten). Der Aufbruch der Tagzügler erfolgte um 6.10 Uhr. Die Echodichte zeigte schwachen bis mässigen Zug. Die Vögel flogen unter dem Nebel und waren völlig desorientiert. Zuerst war noch eine eigenartige Tendenz zu erkennen, nach WNW oder W zu fliegen. Nach 7 Uhr war keine Vorzugsrichtung mehr festzustellen (Tafel 4, Bild *a*). Dieser Zustand dauerte bis 8.45 Uhr. Dann erschienen plötzlich Echos in grosser Höhe am Rande des NE-Sektors, die einen einheitlichen SW-Kurs einhielten (Tafel 4, Bild *b*, Aufnahme von 9.20 Uhr). Ein Strom dieser Echos überflutete im Verlaufe der nächsten Stunde den ganzen Bildschirm, so dass die Frequenz, die vor 7 Uhr noch um eine Stufe gesunken war, wieder auf D 3 anstieg (mässiger Zug) (Tafel 4, Bild *c*). Diese Vögel waren im NE des Beobachtungsgebietes aufgebrochen, hatten die Hochnebeldecke durchflogen und zogen auf ihrem normalen Kurs über dem Nebel. Es ist möglich, dass sie in einem Gebiet gestartet sind, über dem die Nebeldecke nur etwa 300 m mächtig war, da die Nebeluntergrenze im NE des Beobachtungsgebietes stark variierte.

Dieses Beispiel zeigt deutlich, dass bei dicken Hochnebelschichten die Navigation verunmöglicht ist und spricht somit dafür, dass sich die Vögel nach der Sonne

orientieren. Aus dem zweiten, sehr ähnlichen Fall von Desorientierung, den wir am 15. Oktober 1957 aufnehmen konnten, geht hervor, dass die Sonne auch durch eine Nebelschicht von 500—600 m nicht mehr lokalisiert werden kann. Dagegen wurde bei Nebelschichten von weniger als 500 m Mächtigkeit stets eine gerichtete Bewegung beobachtet. Am Vortag des 15. Oktober war der Himmel ebenfalls bedeckt, aber die Vögel zogen teilweise über der Hochnebeldecke und konnten sich dort orientieren. Da sie tags darauf desorientiert waren, dürfen wir annehmen, dass sie die Zugrichtung nicht auf Grund einer Gedächtnisleistung — z.B. unter Zuhilfenahme einer Landmarke — bestimmen, falls die Sonne verdeckt bleibt.

Auffallend ist, dass die einzelnen Flugbahnen auch bei stärkster Streuung der Richtungen oft über mehrere Kilometer geradlinig verlaufen (Tafel 4, Bild *a*), ein Phänomen, das schon SUTTER (1961) für den Nachtzug beschrieben hat. Anscheinend besitzen die Vögel die Fähigkeit, eine eingeschlagene Richtung beizubehalten, auch wenn der Navigationsmechanismus, der zur Bestimmung der Zugrichtung dient, ausgefallen ist.

Nach LACK (1962 b, 1963) scheinen desorientierte Bewegungen über dem Meer am Tage ebenso häufig wie nachts aufzutreten, während sie über dem Land tagsüber nur ausnahmsweise (im Herbst bisher überhaupt nicht) festzustellen waren. Für unsere Binnenlandverhältnisse gilt, dass Fälle von Desorientierung nachts entschieden häufiger sind, was bei einer Orientierung nach Fixsternen (SAUER, 1957) auch zu erwarten ist, da diese schon unter einer relativ dünnen Wolkenschicht unsichtbar werden.

#### *Tageszeitliche Änderungen der Zugrichtung*

Bei ungestörter Wetterlage zeigen sich unabhängig vom Wind bestimmte tageszeitliche Änderungen der Hauptzugrichtung. Der Zug beginnt SW-gerichtet, dreht im Verlaufe des Vormittags gegen WSW und am Nachmittag wieder zurück auf SW (Tafel 5).

In Abb. 24 sind die Mittelwerte der Zugrichtungen an 6 Beobachtungstagen und ihre Sicherheitsgrenze ( $t \times$  mittlerer Fehler des Mittelwertes, wobei  $t$  für  $N-1$  Freiheitsgrade und 5% Irrtumswahrscheinlichkeit eingesetzt wurde) aufgezeichnet. Werte, die ausserhalb der Sicherheitsgrenzen liegen, sind signifikant verschieden vom Mittelwert. Die Abweichung von der Primärrichtung (PR) ist daher statistisch gesichert. Die grösste Abweichung wurde zwischen 11 und 12 Uhr MEZ gemessen und beträgt  $12^\circ$ . Es können daher nur Tage mit geringer Richtungsstreuung für die Untersuchung verwendet werden. Besonders schwierig sind genaue Messwerte über die Zugrichtung am Nachmittag zu erhalten, da die Zugfrequenz meist sehr niedrig ist.

Als Ursache für die Drehung der Zugrichtung kann der Wind ausgeschlossen werden, da die Windstärken an diesen Tagen sehr gering und die Windrichtungen sehr variabel waren. Die Drehung der Zugrichtung war bei Hochnebel und Rückseitenwetter (S. 64) ebenfalls festzustellen. Auch die Änderung der Artzusammensetzung im Laufe des Tages kommt als Ursache nicht in Frage. Dies ergibt sich aus der Untersuchung der Richtungsstreuungen: Am 12. Oktober 1957 z.B. streuten die gemessenen Richtungen um 7 Uhr zwischen  $220$  und  $240^\circ$ , um 11 Uhr zwischen  $240$  und  $250^\circ$ . Alle beteiligten Arten müssen also diese Drehung ausgeführt haben. Ausserdem zieht keine der häufigen Arten nur zu einer bestimmten Tageszeit. Wohl treten die Tauben erst eine halbe Stunde später auf als die Finken;

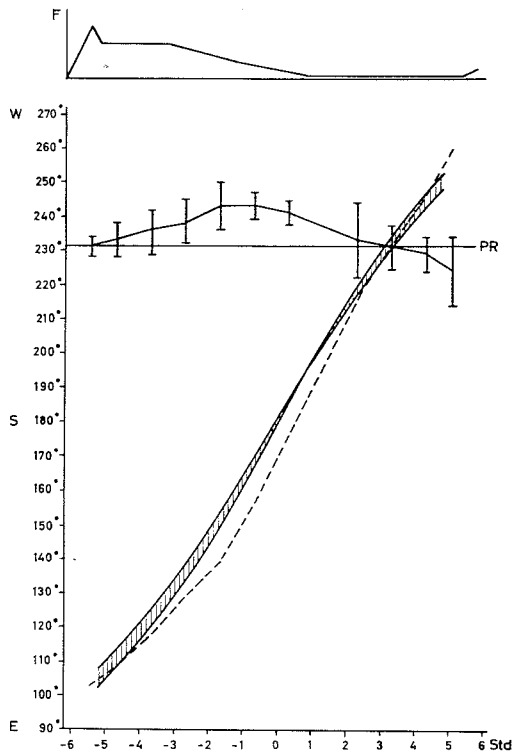


Abb. 24. Drehung der Zugrichtung. Oben: Schematische Zugfrequenzkurve (F). Darunter: Mittelwerte der Zugrichtungen an 6 Beobachtungstagen und ihre Sicherheitsgrenzen. Deutliche Drehung nach WSW und gesicherte Abweichung von der Primärrichtung (PR). Schraffierte Fläche: Sonnenazimutkurven für die 6 Beobachtungstage. Gestrichelte Linie: Die von den Vögeln angenommene Sonnenazimutkurve. Abszisse: Tageszeit (Wahre Sonnenzeit in Stunden vor und nach dem Meridiandurchgang; 0 = ca. 12.12 Uhr MEZ). Ordinate: Richtung in Grad und entsprechende Himmelsrichtungen.

aber die erste halbe Stunde kann für die Messungen ohnehin nicht verwertet werden, da die Streuung der Richtungen zu gross ist.

Einen Hinweis, worauf die beobachtete Drehung der Zugrichtung beruhen könnte, geben uns die Arbeiten von KRAMER (1950) und HOFFMANN (1953 a, b; 1954). Sie haben nachgewiesen, dass die Vögel ihre Richtung aus dem Sonnenazimut bestimmen können und dabei die relative Wanderung der Sonne einrechnen. Die beobachteten Abweichungen von der Primärrichtung lassen sich mit der Annahme erklären, dass die Vögel die aktuelle Sonnenazimutkurve, die sich mit Jahreszeit und geographischer Breite ändert, nicht genau kennen. Aus der Zugrichtung lässt sich die von den Vögeln angenommene Sonnenazimutkurve berechnen. Sie ist in Abb. 24 gestrichelt gezeichnet. Ferner sind die wirklichen Sonnenazimutwinkel für den 6. bis 25. Oktober (schraffierte Fläche) eingetragen. Die Sonnenazimutkurve der Vögel weicht davon also um maximal  $12^\circ$  ab. Auf der Abszisse ist die wahre Sonnenzeit aufgetragen, die wahrscheinlich für die Vögel massgebend ist. Würden die Vögel die Winkelgeschwindigkeit der Sonne gleichförmig mit  $15^\circ$  pro Stunde einschätzen, so wäre ihre Azimutkurve eine Gerade, und sie müssten im gegenteiligen Sinne von der Primärrichtung abweichen. Dies ist zweifellos nicht der Fall. Es scheint vielmehr, dass sie die Winkelgeschwindigkeit der Sonne am Vormittag zu gross, am Nachmittag zu klein einschätzen. Ihre Azimutkurve stimmt besser mit einer jahreszeitlich früheren oder einer südlicheren Sonnenazimutkurve überein.

Für die weitere Interpretation der beobachteten Richtungsänderungen müssen die Resultate von kommenden Beobachtungen im Frühling, die eine analoge Abweichung auf dem Heimzug ergeben sollten, abgewartet werden. Eine ähnliche Drehung der Zugrichtung nach W ist von SUTTER (1957b) auch beim Nachtzug beobachtet worden; genauere quantitative Untersuchungen, die zu einem Vergleich führen könnten, stehen aber noch aus.

Auf Grund der Tatsache, dass die Flugrichtungen trotz der heterogenen Artenzusammensetzung bei günstigen Wetterbedingungen nur um etwa  $10^\circ$  streuen und die gleichen tageszeitlichen Änderungen zeigen, dürfen wir wohl annehmen, dass die beteiligten Arten, die z. T. verschiedenen Ordnungen angehören, über den gleichen Navigationsmechanismus verfügen.

#### 6. Das Zugverhalten bei verschiedenen Wetterlagen

Der Einfluss des Wetters auf die Zugfrequenz ist schwierig zu ermitteln, da die auf dem Radarbild bestimmte Echozahl stark von der Flughöhe der Vögel abhängt. Diese Abhängigkeit, die besonders beim Tagzug ins Gewicht fällt, ist bis jetzt zu wenig beachtet worden. Wir müssen auf eine Analyse der Wirkung einzelner Wetterfaktoren verzichten und beschränken uns auf eine knappe zusammenfassende Darstellung.

Bei *ungestörter Wetterlage* ist die Zugfrequenz im allgemeinen hoch. Das Mittel der Frequenzmaxima an 33 Beobachtungstagen beträgt 4,9 Einheiten. Die tageszeitlichen Veränderungen der Zugfrequenz sind auf S. 51 geschildert worden (Abb. 14). Bei klarem Wetter werden Flughöhen bis mindestens 1000 m/B gemessen, bei Bodennebel fliegt die Mehrzahl der Vögel direkt über der Nebeldecke. Die Primärrichtung liegt zwischen SW und WSW. Die Zugrichtung zeigt regelmässige tageszeitliche Veränderungen (s. oben) und die Streuung der Zugrichtungen ist klein (1,3 Einheiten im Mittel).

Bei den gestörten Wetterlagen unterscheiden wir vier Kategorien:

a) *Bisenlage*.<sup>1)</sup> — Die Bisenlage im Herbst ist charakterisiert durch E- bis NE-Wind (Rückenwind), der meist begleitet ist von Hochnebel. Das Zugverhalten ist sehr ähnlich wie bei ungestörter Wetterlage, die mittlere Zugfrequenz ist jedoch geringer: der Mittelwert berechnet aus 17 Beobachtungstagen beträgt 3,2 Dichtestufen. Bei Hochnebel findet eine Zugbewegung über dem Nebel und eine zweite darunter statt. Verläuft die letztere in Bodennähe, so wird sie vom Radar nicht erfasst. Dies könnte der Grund sein, weshalb wir bei Bisenlage eine geringere Frequenz erhalten als bei ungestörter Wetterlage. Nebeldecken bis zu 500 m Mächtigkeit stellen kein Hindernis dar. Erst bei noch dickeren Nebelschichten wird die Navigation verunmöglicht. Die Vögel können jedoch den Nebel durchstossen und zeigen dann eine gerichtete Zugbewegung in grosser Höhe (vgl. S. 60). Tauben und Krähen ziehen vorzugsweise über der Nebeldecke, während Kleinvögel wie Pieper, Stelzen, Lerchen, Meisen und der grössere Teil der Finken meist unter dem Nebel zu fliegen scheinen. Doch ist unser Vergleichsmaterial noch zu klein, um genauere Angaben zu machen, da die Hochnebelobergrenze meist über dem höchsten Beobachtungsposten liegt.

<sup>1)</sup> Die Bisenlage wird als gestörte Wetterlage bezeichnet, da ein ausgesprochener horizontaler, von E nach W gerichteter Druckgradient besteht.

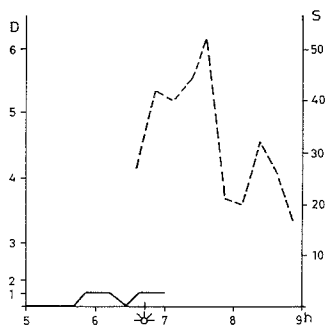


Abb. 25. Niedriger Zug bei W- bis SW-Windwetter (Gegenwind) am 11. Oktober 1960.

Auf dem Radarschirm erscheinen fast keine Echos (ausgezogene Linie = Dichtestufen), im Feld wird starker Zug in Bodennähe beobachtet (gestrichelte Linie: Zahl der im Feld beobachteten Vogelschwärme pro Viertelstunde). Abszisse: Tageszeit und Sonnenaufgang.

b) *Veränderliches W- bis SW-Windwetter.* — Bei dieser Wetterlage herrscht mässiger bis starker Wind aus W oder SW, und kurzdauernde Niederschläge wechseln mit föhnigen Aufhellungen ab. Die Beobachtungsbedingungen im Feld sind sehr günstig, sofern es nicht regnet, da der grösste Teil der Vögel wegen des Gegenwindes in unmittelbarer Bodennähe fliegt und den Windschatten auszunützen sucht. Dieser bodennahe, normal gerichtete Zug entgeht der Radarbeobachtung. Die mittlere Zugfrequenz am Radar beträgt daher nur 2,2 Einheiten ( $n=28$ ); im Feld ist sie jedoch wesentlich höher (vgl. Abb. 25): Es werden etwa gleichviele Finkenvögel beobachtet wie bei ungestörter Wetterlage, was allerdings auch mit den besseren Beobachtungsbedingungen (geringe Flughöhe) zusammenhängt. Die Tauben ziehen bei dieser Wetterlage nur in sehr kleiner Zahl, so dass die gesamte Zugfrequenz kleiner ist als bei klarem Wetter oder Bodennebel. Niederschläge scheinen den Zug stark zu behindern; es liegen jedoch auch Beobachtungen von Zug in strömendem Regen vor (9. 10. 1960). Auf dem Radarbild sind oftmals einzelne Echos im Regen oder zwischen den einzelnen Regenfeldern zu sehen (Tafel 3, Bild d), der bodennahe Zug kann jedoch nur im Feld beobachtet werden. In grösserer Höhe ist der Windeinfluss so stark, dass die Vögel in Gegenzugrichtung fliegen. Diese *Mitwindbewegung* stellt sich schon bei 10 Knoten Gegenwind ein und wird regelmässig beobachtet.

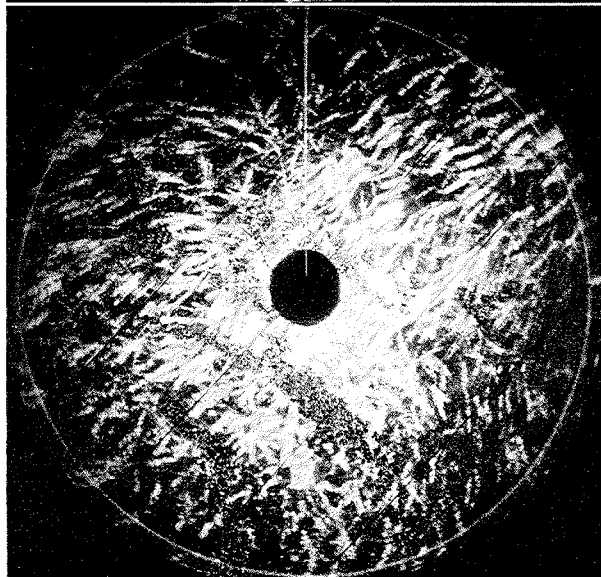
c) *NW- bis NE-Rückseitenwetter.* — Anschliessend an eine Störung stellt sich oftmals eine Wetterbesserung mit nordwestlichen bis nordöstlichen Winden ein. Diese Wetterlage wird als Rückseitenwetter bezeichnet. Da Wetterstörungen meist zu einer Art «Zugstau» führen, wie wir dies für Tauben nachweisen konnten (S. 48), ist die Zugfrequenz bei anschliessender Wetterbesserung hoch. Das Mittel aus fünf auswertbaren Beobachtungstagen liegt bei 4,6 Einheiten, also etwa gleich hoch wie bei ungestörter Wetterlage. Setzt die Aufhellung schon vor der Morgendämmerung ein, so ist der Zugverlauf normal; erfolgt die Wetterbesserung erst später, so kann der morgendliche Aufbruch verzögert sein (Abb. 18).

d) *NW- bis NE-Stau.* — Bei Staulage ist der Himmel bedeckt und es fällt anhaltender Regen. Der ganze Radarschirm ist von einer grossen Regenechofläche bedeckt, in der nur ganz vereinzelte Vogeleos auftauchen. Der Zug wird wohl durch den Regen stark gehemmt; eine schwache Bewegung in Bodennähe kann auf Grund der Radaraufnahmen jedoch nicht ausgeschlossen werden.

### Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurde versucht, durch Koordination von Radar- und Feldbeobachtungen ein umfassenderes Bild vom Tagzug über dem schweize-



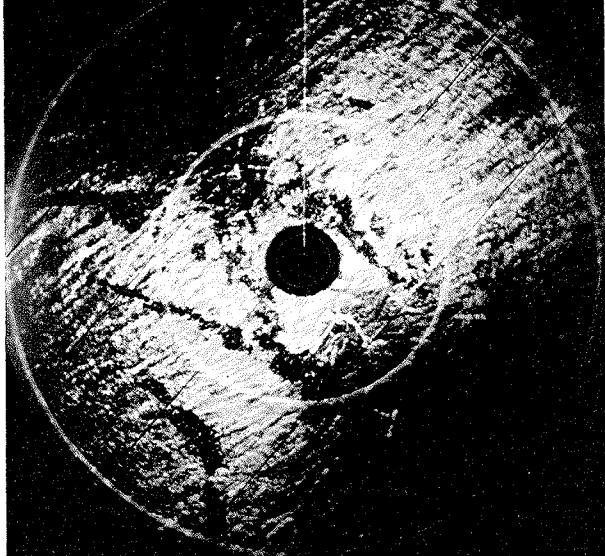
*a**b**c*

TAFEL 4. Desorientierung unter einer aussergewöhnlich mächtigen Hochnebelschicht am 8. Oktober 1958 (vgl. S. 60). (Belichtungszeit je 2 Min.)

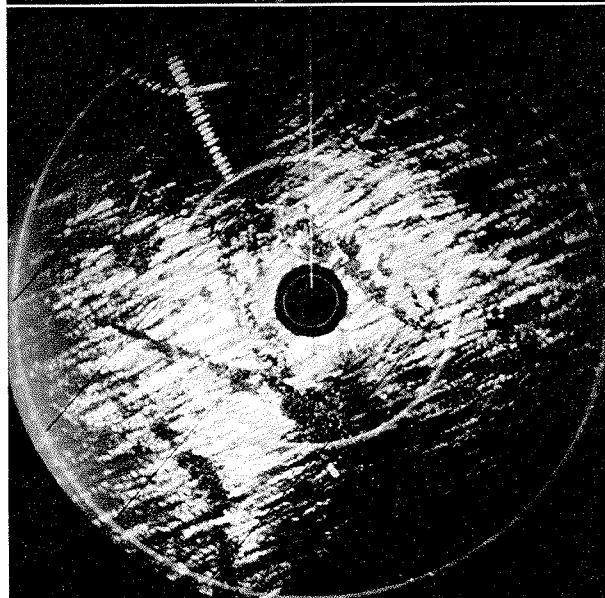
*a.* 7.38 Uhr: Eine Vorzugsrichtung ist nicht zu erkennen. Die Vögel fliegen unter dem Nebel und sind völlig desorientiert.

*b.* 9.20 Uhr: Im NE erscheinen normal SW-gerichtete Echos in grosser Höhe über dem Hochnebel.

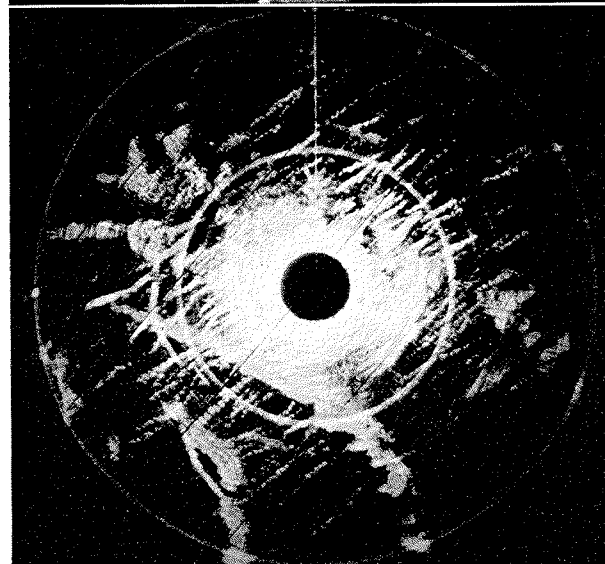
*c.* 10.45 Uhr: Normalgerichtete Bewegung über dem Hochnebel.



*a*



*b*



*c*

TAFEL 5. Drehung der Zugrichtung im Laufe des Tages (12. Oktober 1957, Belichtungszeit je 2 Min.)

*a.* 7.11 Uhr: Hauptzugrichtung  $230^{\circ}$ . Sehr geringe Streuung der Richtungen.

*b.* 10.50 Uhr: Die Hauptzugrichtung hat auf  $245^{\circ}$  gedreht. Im NW zwei Flugzeuge.

*c.* 17.18 Uhr: Die Hauptzugrichtung liegt wiederum bei  $230^{\circ}$ .

zerischen Mittelland zu gewinnen, als dies auf Grund nur einer Beobachtungsmethode möglich wäre. In quantitativer Hinsicht liefert die Radarmethode infolge der grossen Reichweite des Gerätes und der weitgehenden Unabhängigkeit von den Witterungs- und Lichtverhältnissen normalerweise die genaueren Resultate, während die direkte Beobachtung im Feld meist nur einen kleinen Ausschnitt des Zuges erfasst. Trotzdem ist die Feldbeobachtung von grosser Bedeutung für die Interpretation und Ergänzung der Radarergebnisse, da sie einerseits Informationen über die Artenzusammensetzung des Zuges und die Schwarmgrösse liefert und andererseits auch diejenigen Vögel registriert, die in Bodennähe fliegen und daher dem Radar entgehen. Letzteres ist besonders bei Gegenwind von Wichtigkeit, weil sich dann fast der gesamte Zug in unmittelbarer Bodennähe abspielt. Bei ungestörtem Wetter hingegen fliegt ein grosser Teil der Vögel so hoch, dass sie vom Feldbeobachter nicht wahrgenommen werden. Das Beobachtungsgebiet hat den grossen Vorzug, dass es die Besetzung erhöhter Beobachtungsposten erlaubt, so dass bei Bodennebel sowohl für die Feld- als auch für die Radarbeobachtung günstige Bedingungen vorliegen, da die meisten Vögel direkt über der Nebeldecke fliegen. Durch koordinierte Beobachtungen konnte somit die absolute Zugfrequenz unter gewissen Voraussetzungen bestimmt werden. Sie liegt viel höher, als man allein auf Grund der Feldbeobachtungen erwartet hatte, während eine Beurteilung der Zahl der Echos auf dem Radarschirm bisher unmöglich war.

Mit Hilfe des Radars konnte die normale tageszeitliche Frequenzkurve bei ungestörter Wetterlage ermittelt werden. Da der Aufbruch etwa eine halbe Stunde vor Sonnenaufgang erfolgt und das Frequenzmaximum innerhalb der ersten Zugstunde liegt, ist diese wichtige Phase des Zuges im Feld schwierig zu beobachten. Die zunehmende Helligkeit täuscht eine Zunahme der Zugfrequenz bis zwei Stunden nach Sonnenaufgang vor. In der vom Radar aufgedeckten Aufbruchphase schliessen sich anscheinend kleine, lockere Gruppen von Tagzüglern zu grösseren, geschlossenen Schwärmen zusammen.

Neue Ergebnisse brachte auch die Analyse der Zugrichtungen, für deren Messung sich Radaraufnahmen vorzüglich eignen. In dieser Beziehung weist das Beobachtungsgebiet ebenfalls einen besonderen Vorteil auf, indem bei uns die Vögel eine einheitliche Primärrichtung einhalten, die zwischen SW und WSW liegt. Die Untersuchung ist daher einfacher als z. B. über der Nordsee (LACK, 1962 b, 1963). Überraschenderweise zeigt die Zugrichtung regelmässige tageszeitliche Änderungen. Im Laufe des Vormittags drehen die Vögel nach WSW, weichen am Mittag am stärksten von der Primärrichtung ab und kehren am Nachmittag allmählich wieder auf ihren ursprünglichen Kurs zurück. Da diese regelmässige Drehung nicht durch eine Änderung in der Artenzusammensetzung des Zuges oder durch Windeinfluss erklärt werden kann, müssen wir annehmen, dass sie durch den Orientierungsmechanismus bedingt sei. Es scheint, dass die Vögel die aktuelle Sonnenazimutkurve nicht genau kennen. Für die weitere Interpretation müssen noch die Resultate von Frühlingsbeobachtungen abgewartet werden. In Laboratoriumsversuchen, in denen im allgemeinen grössere Streuungen auftreten, dürfte eine solche Abweichung von maximal  $12^\circ$  schwierig nachzuweisen sein. Da auf einer einzigen Radaraufnahme die Richtung von etwa 100 000 Vögeln ermittelt werden kann, vermag die Radarmethode hier einen Beitrag zur Lösung des Orientierungsproblems zu leisten. Die Hypothese der Orientierung nach der Sonne können wir durch den Befund stützen, dass die Vögel nur bei sehr mächtigen Nebelschichten desorientiert sind. — Das

noch wenig bekannte Phänomen der Mitwindbewegung ist bereits ausführlich diskutiert worden.

Abschliessend dürfen wir feststellen, dass durch reine Beobachtung mit verfeinerten Methoden in der Vogelzugforschung noch manche Frage geklärt werden kann.

#### ZUSAMMENFASSUNG

1. In fünf aufeinanderfolgenden Herbstzugperioden (1957—1961) wurden in Zürich-Kloten Radar- und Feldbeobachtungen ausgeführt. Das Radarbild wurde sowohl fotografiert als auch in einem Zeitrafferfilm festgehalten.
2. Radar- und Feldbeobachtung ergänzen einander: Im allgemeinen erfasst der Feldbeobachter nur die niedrig fliegenden Vögel, das Radargerät nur diejenigen, die sich oberhalb etwa 50 m über Boden bewegen.
3. Die Echozahl als Mass für die Zugfrequenz wurde anhand einer Vergleichsskala von 6 Dichtestufen geschätzt. Flughöhen konnten teils am Landeradar (PAR), teils auch am Überwachungsradar (SRE) bestimmt werden, wofür eine spezielle Methode entwickelt wurde.
4. Durch Vergleich von Radar- und Feldbeobachtung, die bei günstigen Bedingungen gut korrelierte Resultate liefern, konnte die absolute Zugfrequenz grössenordnungsmässig bestimmt werden. Wir schätzen die Zahl der Vögel, die bei mittlerer Zugdichte (Dichtestufe 4) innerhalb einer Stunde eine Strecke von 1 km quer zur Zugrichtung überfliegen, auf 5000.
5. Während der Beobachtungsperiode (Oktober) sind Finkenvögel und Tauben, ferner Krähen, Lerchen, Pieper, Stelzen und Stare zahlenmässig am stärksten vertreten.
6. Bei ungestörter Wetterlage zeigt die tageszeitliche Frequenzkurve einen charakteristischen Verlauf (Abb. 14). In der Aufbruchphase erscheinen die Tagzügler als feine, diffuse Echos auf dem Bildschirm, die sich sogleich in der normalen Zugrichtung bewegen. Anschliessend nimmt die Echogrösse stark zu, was wahrscheinlich darauf zurückzuführen ist, dass sich die Vögel zu grösseren, dichteren Schwärmen zusammenschliessen. Das Frequenzmaximum wird noch innerhalb der ersten Zugstunde erreicht. Aufbruchphase und Frequenzmaximum können nur mit Hilfe des Radars festgestellt werden, weil zu diesem Zeitpunkt die Helligkeit zu gering ist für die Feldbeobachtung.
7. Der Aufbruch erfolgt um so früher, je grösser anschliessend die Zugfrequenz wird. Anhand von Beispielen wird die Bedeutung der Zugbereitschaft und der Einfluss des Wetters auf den Aufbruch erläutert.
8. Kleine Passeres, namentlich Finkenvögel, scheinen bei veränderlichem Westwindwetter mit mässigem bis starkem Gegenwind eine fast ebenso hohe Zugdichte zu erreichen wie bei ungestörtem Wetter mit leichtem Wind. Ein exakter quantitativer Vergleich steht aber noch aus, da sich der Zug bei Gegenwind mehrheitlich in Bodennähe und damit unterhalb des Radarbereiches abspielt. Ringeltauben bevorzugen hingegen ungestörte Wetterlagen mit schwachen Winden.
9. Die Primärriechung, die definiert wird als ungestörte, mittlere Zugrichtung zu der Tageszeit mit maximaler Zugfrequenz, liegt in unserem Beobachtungsgebiet zwischen SW und WSW und beträgt  $234^{\circ} \pm 4^{\circ}$ .
10. Die Zugrichtung dreht bei ungestörtem Wetter im Verlaufe des Vormittags regelmässig nach WSW und am Nachmittag wieder zurück. Die maximale Abweichung von der Primärriechung wird am Mittag erreicht und beträgt  $12^{\circ}$ . Diese Abweichung wird durch die Annahme erklärt, dass die Vögel, die sich nach dem Sonnenkompass orientieren, die scheinbare Sonnenwanderung nicht genau einrechnen können.
11. Bei Hochnebeln von 500—1000 m Mächtigkeit waren die Vögel desorientiert, da sie offenbar die Sonne nicht mehr lokalisieren konnten.
12. Schon Windstärken von 5—10 Knoten bewirken bei hochfliegenden Vögeln eine messbare Ablenkung. Bei mässigem bis starkem Gegenwind kommt es sogar regelmässig zu einer Mitwindbewegung, die mehr oder weniger in Gegenzugrichtung verläuft.

## SUMMARY

1. Diurnal autumn migration has been studied in northern Switzerland during five years (1957—1961) by means of radar and visual observations. The radar records consist both of still photographs and moving pictures taken of PPI (Plan Position Indicator) scopes of a radar set at Zurich-Kloten.
2. Radar and visual observations tend to supplement each other: in general, only low flying birds are seen by the ground observers, while only those flying at altitudes above about fifty meters are detected by radar.
3. To estimate the relative volume of migration, a proportionate scale of echo density from 1 to 6 was established by actual count of the echoes per four square miles (p. 39, fig. 6). Altitude records were obtained partly with a height-finder (Precision Approach Radar, PAR) and partly on indirect evidence supplied by the PPI display (Surveillance Radar Equipment, SRE) (figs. 7, 8).
4. Under favorable circumstances, when both radar and visual observations yielded results which correlated well (fig. 10, 11), the absolute volume of migration could be assessed. We estimate, that in a movement of medium density (scale 4) about 5000 birds per hour pass over a line one kilometer long across the migratory flow.
5. During the main observation period (October), finches and pigeons, as well as rooks, larks, pipits, wagtails and starlings were most frequently represented (fig. 12, table 1).
6. In clear and stable weather, the daily density-time curve shows a typical pattern (fig. 14). The initial phase of diurnal migration, which occurs about half an hour before sunrise, is characterized by small, diffuse echoes, which however immediately exhibit the standard direction of day-migrants. Shortly afterwards, the echoes become larger, probably due to a tendency of the birds to form larger flocks. The initial phase is followed within the first hour by the daily maximum density. These points could be determined only with the use of radar, since at this time there is too little daylight for visual observations.
7. The earlier in the morning migration begins, the greater is the migration density which follows (fig. 16). The significance of the internal state of the migrants, and the effect of weather on the diurnal departure is discussed.
8. A critical evaluation of the quantitative radar and visual records leads to the conclusion, that the movements of small passerine day-migrants (especially finches) reach nearly equal densities in anticyclonic weather with light winds and in variable weather with moderate to strong headwinds. The latter movement occurs at ground level and is not detectable by radar. Wood pigeons however clearly preferred migrating in anticyclonic weather with light winds.
9. The standard direction («Primärriichtung») defined as the undeviated mean heading at the time of the maximum density, lies between SW and WSW, at  $234^{\circ} \pm 4^{\circ}$ .
10. In undisturbed weather the flight direction regularly turns toward WSW during the course of the morning, returning to the standard direction in the afternoon (fig. 24; plate 5). A maximal deviation is reached at midday and amounts to  $12^{\circ}$ . It can be explained by assuming that the birds, which are oriented by a «sun-compass», are unable to compute the angle of the sun's azimuth displacement with complete accuracy.
11. Birds are completely disoriented, when flying under a stratum of fog 500—1000 meters thick. Apparently they are unable to localize the sun. Such conditions were observed on two separate occasions.
12. Crosswind velocities of 5—10 knots or more cause a measurable lateral drift of high-flying birds. With moderate to strong headwinds such high-flying birds regularly turn downwind in a direction more or less opposite to the normal heading.

## LITERATUR

- DRURY, W. H., and KEITH, J. A. (1962): Radar studies of songbird migration in coastal New England. *Ibis* 104: 449—489.
- DE CROUSAZ, G. (1960): Activités de l'observatoire ornithologique alpin du Col de Bretolet en 1959. *Nos Oiseaux* 25 (268): 169—194.
- (1961): La migration d'automne des Motacillidés aux cols de Cou-Bretolet. *Nos Oiseaux* 26 (276): 78—104.

- DE CROUSAZ, PH. (1960): Activités de l'observatoire ornithologique alpin du Col de Bretolet en 1960. Nos Oiseaux 26 (276): 66—78.
- DEELDER, C. L. (1949): On the autumn migration of the Scandinavian chaffinch (*Fringilla c. coelebs* L.). Ardea 37: 1—88.
- GEYR VON SCHWEPENBURG, H. (1949): Zur Theorie der Zugrichtung. Ardea 36: 219—257.
- GODEL, M., und DE CROUSAZ, G. (1958): Studien über den Herbstzug auf dem Col de Cou-Bretolet: Beobachtungs- und Beringungsergebnisse 1951-1957. Orn. Beob. 58: 96—123.
- HOFFMANN, K. (1953 a): Die Einrechnung der Sonnenwanderung bei der Richtungsweisung des sonnenlos aufgezogenen Stars. Naturwiss. 40: 148.  
 — (1953 b): Experimentelle Änderung des Richtungsfindens beim Star durch Beeinflussung der «inneren Uhr». Naturwiss. 40: 608—609.  
 — (1954): Versuche zu der im Richtungsfinden der Vögel enthaltenen Zeitschätzung. Z. Tierpsych. 11: 453—475.
- KRAMER, G., und v. SAINT PAUL, U. (1950): Stare (*Sturnus vulgaris*) lassen sich auf Himmelsrichtungen dressieren. Naturwiss. 37: 526.
- LACK, D. (1958): Migrational drift of birds plotted by radar. Nature 182: 221—223.  
 — (1959 a): Migration across the North Sea studied by radar. Part. 1. Survey through the year. Ibis 101: 209—234.  
 — (1960 a): — Part. 2. The spring departure 1956—1959. Ibis 102: 26—57.  
 — (1962 a): — Part. 3. Movements in June and July. Ibis 104: 74—85.  
 — (1963): — Part. 4. Autumn. Ibis 105: 1—54.  
 — (1959 b): Watching migration by radar. Brit. Birds 52: 258—267.  
 — (1959 c): Migration across the sea. Ibis 101: 374—399.  
 — (1960 b): The height of bird migration. Brit. Birds 53: 5—10.  
 — (1962 b): Radar evidence on migratory orientation. Brit. Birds 55: 139—158.
- MILDENBERGER, H. (1950): Messungen von Höhe und Geschwindigkeit ziehender Vögel. Bonner zool. Beitr. 1: 55—57.
- RUDEBECK, G. (1950): Studies on bird migration. Var Fagelvarld, Supplementum 1.
- SAUER, F. (1957): Die Sternorientierung nächtlich ziehender Grasmücken (*Sylvia atricapilla*, *borin* und *curruca*). Z. Tierpsych. 14: 29—70.
- SUTTER, E. (1940): Ergebnisse der planmässigen Beobachtungen des Vogelzuges im Jura. Orn. Beob. 37: 133—141.  
 — (1948): Über den Herbstzug der Krähen in der Schweiz und in Süddeutschland. Orn. Beob. 45: 135—150.  
 — (1950): Über einen Fall von Starenzug in grosser Höhe. Orn. Beob. 47: 173—174.  
 — (1957 a): Radar als Hilfsmittel der Vogelzugforschung. Orn. Beob. 54: 70—96.  
 — (1957 b): Radar-Beobachtungen über den Verlauf des nächtlichen Vogelzuges. Rev. Suisse Zool. 64: 294—303.  
 — (1961): Einflüsse des Wetters auf die nächtliche Orientierung wandernder Vögel nach Beobachtungen am Radarschirm. Sonderbücherei der Funkortung, Diskussions-tagung in Essen vom 4.—8. Jan. 1960, 1 (8): 1—14.
- TEDD, J. G., and LACK, D. (1958): The detection of bird migration by high-power radar. Proc. Roy. Soc. B, 149: 503—510.
- WEITNAUER, E. (1960): Über die Nachtflüge des Mauerseglers, *Apus apus*. Orn. Beob. 57: 133—141.