

## Der Einfluss des Windes auf die Richtung des nächtlichen Vogelzuges

Radarbeobachtungen über dem Schweizerischen Mittelland<sup>1</sup>

Von PETER STEIDINGER

Zoologisches Institut der Universität Zürich

### I. Einleitung

Durch Beobachtungen am Überwachungsradar des Flughafens Zürich-Kloten konnte die schweizerische «Arbeitsgemeinschaft für Radar-Vogelzugstudien» unter der Leitung von Herrn Dr. E. SUTTER viele wichtige Fragen über den Verlauf des Vogelzuges im Schweizerischen Mittelland abklären (SUTTER, 1957a, b, 1961; GEHRING, 1963; STEIDINGER, 1968). Aus diesen Beobachtungen konnten aber keine genauen Aussagen über die Flughöhen der Vögel gemacht werden, und der Landeradar (Precision Approach Radar) konnte für Höhenmessungen des Vogelzuges nur beschränkt eingesetzt werden. Zudem waren mit diesem Gerät die Vögel wegen seiner herabgesetzten Empfindlichkeit nur in einem Bereich von 50 m bis etwa 600 m über Boden zu beobachten. Um die Probleme der Witterungsabhängigkeit des Vogelzuges zu analysieren, ist aber die Kenntnis der Flughöhen eine wichtige Voraussetzung. Dies gilt in besonderem Masse für die Untersuchung des Windeinflusses auf die Richtung des Vogelzuges, da sich Windgeschwindigkeit und Windrichtung mit der Höhe relativ stark ändern können.

Angeregt durch die Arbeit von SCHAEFER (1966) verwendete GEHRING (1967a und b) für seine Zugbeobachtungen in den Walliser Alpen ein mobiles militärisches Zielverfolgungsgerät vom Typ «Fledermaus». Schon bei diesen ersten Beobachtungen stellte sich heraus, dass sich das genannte Gerät ausgezeichnet für Vogelzugstudien eignet.

Von der Herstellerfirma Contraves AG wurde der Arbeitsgemeinschaft für die Zugperioden im Frühjahr und Herbst 1968 eine «Superfledermaus», eine Weiterentwicklung des von GEHRING verwendeten Feuerleitgeräts, und im Herbst 1970 ein xy-Rechner zur Verfügung gestellt. Dafür sei hier der Direktion der Firma Contraves AG und besonders auch Abteilungsleiter A. BERTSCHI und Sektionsleiter W. SIEGENTHALER mit ihrem Team, sowie Ing. E. FREI der beste Dank ausgesprochen. Dieser Dank richtet sich auch an Herrn Dr. J. JOSS vom Osservatorio Ticinese der Meteorologischen Zentralanstalt. Sie alle zeigten ein grosses Interesse für unsere Arbeit und opferten viele Stunden ihrer Freizeit, um uns bei der Überwindung der technischen Schwierigkeiten zu helfen, die sich bei der Weiterentwicklung unseres Projekts immer wieder ergaben.

Für die Beobachtungsperioden im Frühjahr 1969 und im Herbst 1970 stand uns eine «Superfledermaus» der Armee zur Verfügung. Wir danken vor allem Herrn Oberstkorpskommandant E. STUDER, Waffenchef der Flieger- und Fliegerabwehrtruppen im Eidgenössischen Militärdepartement, der uns die Benützung der Armeegeräte ermöglichte und Herrn M. TANNER, Leiter der Radarabteilung im Eidgenössischen Zeughaus Emmen, der mit seiner Arbeitsgruppe für die Vorbereitung und den Unterhalt der Radaranlage sorgte und sich mit Rat und Tat an der Verbesserung der Methodik beteiligte.

Unser Dank gilt auch Herrn Direktor O. WEBER von der Flugwetterzentrale Zürich-Kloten, der uns die meteorologischen Unterlagen der Zentrale zur Verfügung

<sup>1</sup> Unterstützt durch die *Stiftung Dr. Fritz Hoffmann-La Roche zur Förderung wissenschaftlicher Arbeitsgemeinschaften in der Schweiz* und durch den *Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung*.

stellte, Herrn A. URFER von der meteorologischen Zentralanstalt in Zürich, der für uns täglich eine Witterungsanalyse vornahm und Herrn Dr. W. GEHRING für die Korrektur der englischen Zusammenfassung.

Der Firma Dübendorfer und dem Tiefbauamt des Kantons Zürich danken wir für die Erlaubnis, unsere Radarstation in ihren Kiesgruben zu errichten und den Herren W. SCHOCH und R. DEUBER für die aktive Mitarbeit beim Ausbau der Stellungsorte.

Herzlich gedankt sei ferner allen freiwilligen Mitarbeitern. Als solche haben während mindestens einer Woche im Rahmen unseres Programms mitgewirkt: U. BÜHLER, H. CUENI, G. FINGERLIN, H. FRUTTIGER, K. FÜGLISTER, A. GLATT, R. GLATTHAAR, U. HERSBERGER, CH. LEUBIN, REGULA LANG, T. MAURER, B. NYFFENEGGER, B. PERRET, E. ROTH, CH. SCHEIDEGGER, M. SCHMID, MATHILDE SCHOMMER, E. WARTENWEILER, H. B. WYSS und N. ZBINDEN. Ohne ihre Hilfe wären die Beobachtungen nicht in diesem Rahmen möglich gewesen.

Ganz besonders danke ich aber Herrn Prof. Dr. G. WAGNER, der diese Arbeit leitete, und meinem Freund B. BRUDERER, der die Verantwortung für die Arbeit am Radargerät und die Gesamtplanung inne hatte, sowie meiner Frau für ihre grosse Unterstützung besonders beim Zeichnen der Abbildungen.

## II. Material und Methode

### 1. Radargerät

Das mobile Feuerleitgerät «Superfledermaus» arbeitet auf einer Wellenlänge von 3 cm mit einer Impulsleistung von über 150 kW, einer extrem kurzen Impulsdauer und einer hohen Impulswiederholungsfrequenz. Mit seiner Hilfe kann der Raum rund um das Gerät nach Luftzielen abgesucht und anschliessend ein entdecktes Ziel automatisch verfolgt werden. Der momentane Standort eines automatisch verfolgten Objektes lässt sich anhand der Messuhren, welche die Distanz, den Seitenwinkel und den Elevationswinkel angeben, bis auf wenige Meter genau ermitteln. Diese überaus hohe Messgenauigkeit wird dank einer sehr engen Bündelung der Radarstrahlen und dank der kurzen Impulsdauer erreicht. Einzelne Kleinvögel lassen sich bis zu einer Entfernung von etwa 4 km automatisch verfolgen (BRUDERER, 1969 und 1971). Genauere Angaben über technische Daten können infolge der militärischen Geheimhaltung nicht publiziert werden. Sie sind aber für den Vorläufer der «Superfledermaus», die «Fledermaus», in einer Arbeit von BRAUN (1957) veröffentlicht.

### 2. Stellungsorte

Bei der Wahl der Stellungsorte für das Radargerät waren die folgenden Anforderungen zu berücksichtigen: 1. Der Radar musste sowohl den hohen als auch den niedrigen Vogelzug erfassen können. 2. Es sollten möglichst keine Standzeichen, also Störechos von Hügeln, Bäumen, Häusern usw. auftreten. 3. In der Nähe der Stellung musste ein Starkstromanschluss möglich sein, da der Netzstrom wesentlich billiger ist als der Betrieb eines Stromaggregates.

Da einzelne Kleinvögel bis in eine Entfernung von 4 km automatisch verfolgt werden können, also bei senkrechter Antenne in einer Höhe von 4000 m über der Station noch registriert werden, verursacht die Erfassung des hohen Zuges keine Schwierigkeiten. Nur sehr wenige Vögel ziehen in Höhen um 4000 m. 95 Prozent des registrierten Vogelzuges war im Frühjahr 1969 niedriger als 2500 m über Boden (BRUDERER, 1971). Um auch den niedrigen Zug erfassen zu können, wählten wir unsere Stellungen in der Ebene. So konnte der Zug in unserer günstigsten Stellung schon ab 30 m über der Ebene erfasst werden (BRUDERER, 1971).

Zur Vermeidung von Standzeichen wählten wir Kiesgruben als Stellungsorte. Die Gruben müssen einerseits so tief sein, dass von der Oberkante der Radarantenne aus möglichst keine Objekte sichtbar sind, die Störechos verursachen könnten. Andererseits muss aber ein möglichst grosser Ausschnitt des Himmels sichtbar sein, damit der Beobachtungssektor nicht zu stark eingeschränkt wird.

Für unsere Beobachtungen im Frühjahr 1969 wählten wir eine Kiesgrube südlich Bachenbülach (Koordinaten 682 950/261 150, 420 m ü. M.), etwa 5 km nördlich des Flughafens Zürich-Kloten. Diese Kiesgrube erwies sich als beinahe ideale Radarstellung. Sie lag in der Ebene, und ein Stromanschluss war in der Nähe möglich. Das Radarbild in der Grube war nur äusserst wenig gestört durch Standzeichen, die wir überdies kannten und bei der Wahl unserer Beobachtungssektoren berücksichtigen konnten.

Im Verlaufe der Jahre 1969/70 wurde die von uns benützte Grube infolge eines Strassenbaues zugedeckt, so dass wir für die Herbstzugbeobachtungen 1970 in eine Nachbargrube (Koordinaten 683 300/261 100) auswichen.

### *3. Beobachtungsprogramm und Auswertungsmethodik*

Für die vorliegende Arbeit wurden die Beobachtungen des Frühjahrszuges 1969 ausgewertet, welche vom 3. April bis zum 25. April dauerten. Zusätzlich wurde eine Nacht des Herbstes 1970 berücksichtigt, da die Windverhältnisse und der Zugverlauf dieser Nacht für die Interpretation einer interessanten Beobachtung im Frühjahr 1969 sehr wertvoll sind. Unser Arbeitsprogramm im Verlaufe einer Nacht umfasste je nach Wetterlage zwei bis drei Windmessungen, die quantitative Erfassung des Vogelzuges (BRUDERER, 1971; BRUDERER und STEIDINGER, im Druck) sowie die Registrierung der Flugwege und der Echosignaturen einzelner Vögel.

#### *a. Windmessungen*

Die Windmessungen wurden abends bei Arbeitsbeginn, um Mitternacht und am Vormittag zwischen 8.00 und 10.00 Uhr mit Hilfe eines Ballons durchgeführt, den wir mit dem Radar automatisch verfolgten. Dabei wurden jeweils die Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten bis in eine Höhe von 4000 m über Boden bestimmt. Zusätzlich zu unseren eigenen lokalen Windmessungen standen uns das gesamte meteorologische Material der Flugwetterzentrale des Flughafens Zürich-Kloten sowie die Wetterberichte des deutschen Wetterdienstes zur Verfügung. Überdies nahm Herr A. URFER von der Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich für uns täglich eine Witterungsanalyse vor.

Um den mit Wasserstoff gefüllten Ballon mit dem Radargerät automatisch verfolgen zu können, befestigten wir am Ballon einen Reflektor, bestehend aus einer Hohlkugel von etwa 15 cm Durchmesser, die wir aus Aluminiumfolie formten. Die Ballons können so 15—20 km weit verfolgt werden. In dieser Entfernung haben sie bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von 60 km/h und mit einer Steiggeschwindigkeit von etwa 3,5 m/sec eine Höhe von 4000 m über Boden erreicht.

Auf den Messuhren des Radargerätes konnten Entfernung, Seiten- und Elevationswinkel des Ballons laufend abgelesen werden. Sie wurden in Zeitintervallen von 30 Sekunden photographiert. Bei der Auswertung übertrugen wir die Raumkoordinaten von den über 1300 Photonegativen von Windmessungen auf Tabellen, wofür uns unentgeltlich ein Kodagraph-Bildbetrachter der Firma Con-

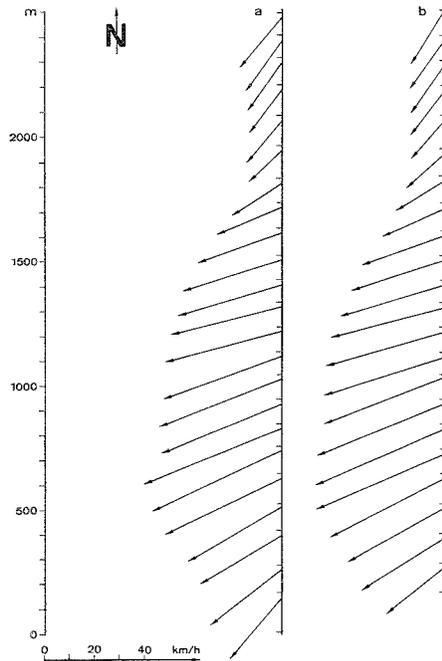


ABB. 1. Windmessung vom 4. April 1969, 20.45—20.57 Uhr. a: unter Verwendung der nicht ausgeglichenen Daten. — b: unter Verwendung der ausgeglichenen Daten (vgl. unten). — Ordinate: Höhe über der Antenne in Metern. Die Marken zwischen den Pfeilbasen geben die Intervallsgrenzen der Messungen an. Aus der Richtung und der Länge eines Pfeils ist die Windrichtung (Norden = senkrecht nach oben) und die Windgeschwindigkeit im entsprechenden Höhenintervall ersichtlich.

traves AG zur Verfügung stand. In der Eingliederungsstätte Brunau wurden anhand der Tabellen Karten gelocht, und am Computer im Rechenzentrum der Universität berechneten wir mit Hilfe dieser Lochkarten von 48 Windmessungen die Windrichtungen und die Windgeschwindigkeiten in den verschiedenen Höhenlagen. Das Programm für diese Berechnungen wurde durch Herrn A. LEIBACHER nach Anweisungen von Herrn Dr. F. HAMPEL vom Statistischen Beratungsdienst der Universität Zürich ausgearbeitet. Abb. 1a zeigt die graphische Darstellung einer solchen Windmessung bis in eine Höhe von 2500 m über Boden.

Die drei Windmessungen, die wir im Verlaufe einer Nacht durchführten, stellten drei Stichproben dar, aus denen auf die Windverhältnisse im Verlaufe der ganzen Nacht geschlossen werden musste. Einzelne Böen und kurze Windstöße interessierten uns weniger als der mittlere Wind in einer bestimmten Höhenlage. Deshalb wurden sprunghafte Unterschiede in Windrichtung und Windgeschwindigkeit, die relativ selten in benachbarten Höhenlagen als Folge von Böen auftraten, durch unser Computerprogramm korrigiert, indem die den Berechnungen zugrunde liegenden räumlichen (kartesischen) Koordinaten der Ballonpositionen mit Hilfe von gleitenden Mitteln aus je drei Beobachtungen ausgeglichen wurden. In den meisten Nächten stimmten die ausgeglichenen Windberechnungen mit den direkt gemessenen sehr gut überein (vgl. Abb. 1a und 1b).

Mehr als drei Windmessungen pro Nacht wären selbstverständlich wünschenswert gewesen. Da aber die Zeit, die wir für Windmessungen aufwendeten, von der Beobachtungszeit für Vögel abging, waren wir gezwungen, hier einen Kompromiss zu schliessen. Wir mussten vor allem darauf bedacht sein, in bezug auf die Zugrichtung der Vögel ein statistisch ausreichendes Material zu erhalten. In

den meisten Nächten änderte der Wind glücklicherweise nicht grundlegend, so dass uns zwei bis drei Windmessungen genügten.

#### b. Quantitative Erfassung des Vogelzuges

Zur quantitativen Erfassung des Zuges wurden um 21.00 Uhr, um Mitternacht und um 03.00 Uhr die Zugfrequenzen bestimmt. Bei besonders interessanten Wetterlagen wurden eine oder mehrere weitere Zählungen eingeschoben. Für alle diese Zugfrequenzbestimmungen wurden bei verschiedenen Antennenelevationen die Entfernungen der vom Radarstrahlenbündel erfassten Vögel auf 100 m genau abgelesen. Um eine genügende Ablesegenauigkeit zu erreichen, befestigten wir unmittelbar unter dem abgebildeten Radarstrahl auf dem Distanzindikator eine Distanzskala mit einer 100-m-Einteilung. Aus der Entfernung vom Radargerät, dem Elevationswinkel und dem Öffnungswinkel des Radarstrahlenbündels sowie der Zahl der Vögel, die in einem bestimmten Entfernungsintervall den Strahl durchquerten, wurden bei der Auswertung die Zugfrequenzen in verschiedenen Höhenlagen berechnet. Die Auswertung der quantitativen Daten hat BRUDERER (1971) übernommen.

#### c. Bestimmung der Zugrichtungen und der Zuggeschwindigkeiten

Ähnlich wie die Wetterballons wurden Einzelvögel und Vogelschwärme zur *Registrierung des Flugweges* automatisch verfolgt. Auch hier wurden in Intervallen von 30 Sekunden die Messuhren photographiert, wobei die Raumkoordinaten jedes verfolgten Objektes vier- bis fünfmal aufgenommen wurden. Bei der Auswertung übertrugen wir die Raumkoordinaten von den über 6900 Photonegativen über Flugwege auf Tabellen. In der Eingliederungsstätte Brunau wurden anhand der Tabellen wiederum Karten gelocht, und am Computer im Rechenzentrum der Universität berechneten wir daraus die Zugrichtungen und die Zuggeschwindigkeiten von etwa 1700 Einzelvögeln und Vogelschwärmen.

Die *Zugrichtung* (track) ist nach STEIDINGER (1968) definiert als die gegebenenfalls durch Windablenkung beeinflusste, tatsächliche Bewegungsrichtung, wie sie auf dem PPI-Schirm des Überwachungsradars zu beobachten ist. Sinngemäss definieren wir sie für die Arbeit mit der Superfledermaus als die aus den Raumkoordinaten direkt berechnete Horizontalkomponente der Bewegungsrichtung.

Die *Zuggeschwindigkeit* (ground speed) ist sinngemäss die direkt aus den Raumkoordinaten berechnete horizontale Geschwindigkeit. Die vom Computer berechneten Zugrichtungen und Zuggeschwindigkeiten wurden in graphischen Darstellungen aufgezeichnet (Abb. 2). Aus diesen Darstellungen ist ersichtlich, ob die Vögel in verschiedenen Höhenlagen oder zu verschiedenen Nachtzeiten unterschiedliche Zugrichtungen aufwiesen. Beim gezeigten Beispiel ist deutlich zu erkennen, dass die hoch fliegenden Vögel andere Zugrichtungen einhielten als die niedrig fliegenden.

#### d. Bestimmung der Kurse und der Eigengeschwindigkeiten

Aus Zugrichtung (track) und Zuggeschwindigkeit (ground speed) sowie Windrichtung und Windgeschwindigkeit in der entsprechenden Höhe wurde durch Vektoraddition (Abb. 4) der *Kurs* (heading) und die *Eigengeschwindigkeit* (air speed) jedes beobachteten Vogeles berechnet (Abb. 3). Der Kurs ist als die Richtung der Körperachse der Vögel definiert (STEIDINGER, 1968). Die Eigen-

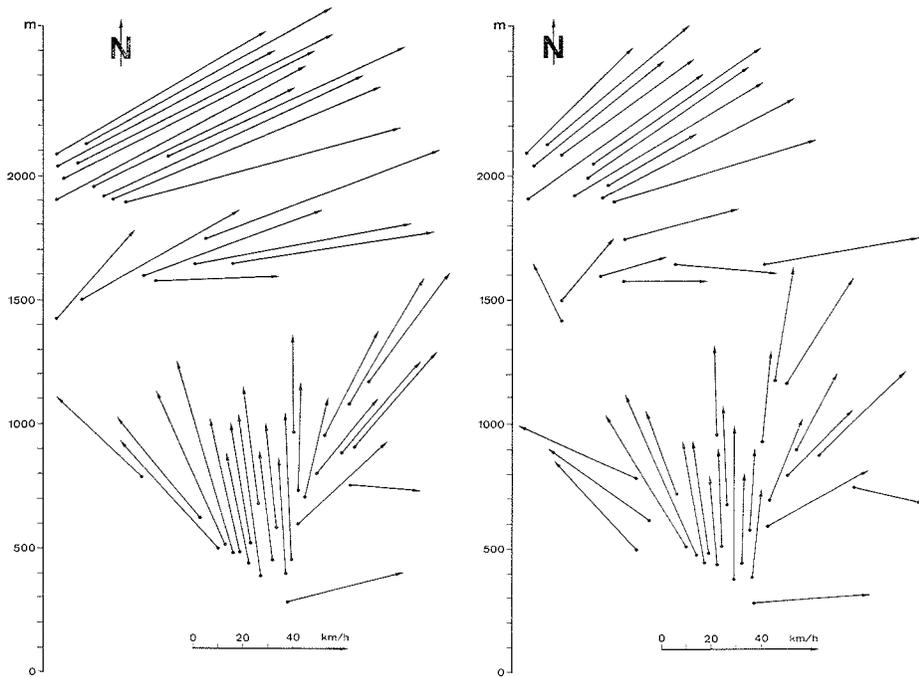


ABB. 2 (links) und ABB. 3 (rechts). Abb. 2 stellt die Zugrichtungen (*tracks*) und Abb. 3 die Kurse (*headings*) am 20. April 1969, 01.27—05.26 Uhr, in verschiedenen Flughöhen über der Radarstation dar. Jeder Punkt an der Basis eines Pfeiles zeigt — auf den Ordinatenmaßstab bezogen — die Flughöhe eines Einzelvogels oder eines lockeren Schwarmes. Aus der Richtung und der Länge der Pfeile sind in Abb. 2 die azimuthalen Zugrichtungen (Norden = senkrecht nach oben) und die Zuggeschwindigkeiten, in Abb. 3 die azimuthalen Kurse und die Eigengeschwindigkeiten ersichtlich (vgl. auch BRUDERER und STEIDINGER, im Druck).

geschwindigkeit (air speed) ist die relative Geschwindigkeit bezogen auf die umgebende Luftmasse.

Für die Berechnung des Kurses und der Eigengeschwindigkeiten wurde die zeitlich nächstgelegene Windmessung verwendet. Der so berechnete Kurs ist nicht absolut identisch mit dem tatsächlichen Kurs der Vögel, da kleine Windänderungen und einzelne Windstöße nicht berücksichtigt werden konnten (vgl. S. 23). Für die weitere Auswertung verwendeten wir jedoch vorwiegend die *Mediane* der Kurse, so dass sich kleine Ungenauigkeiten bei einzelnen Vögeln nicht bemerkbar machen und sich zum Teil sogar gegenseitig aufheben.

Auch die Kurse wurden in graphischen Darstellungen aufgezeichnet. So konnte festgestellt werden, ob die Vögel in verschiedenen Höhenlagen oder zu verschiedenen Nachtzeiten unterschiedliche Kurse aufwiesen. Zusätzlich konnten die Kurse mit den Zugrichtungen verglichen werden. Abb. 3 zeigt als Beispiel die Kurse für den Morgen des 20. April 1969. Es ist aus der Abbildung deutlich ersichtlich, dass für diesen Fall die Kurse der hoch fliegenden Vögel ebenfalls verschieden sind von denen der niedrig fliegenden, wie das bei den Zugrich-

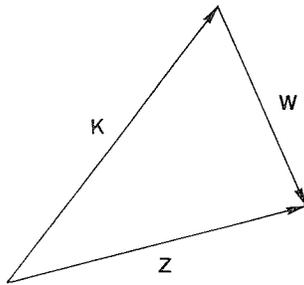


ABB. 4. Bestimmung des Kurses und der Eigengeschwindigkeit (Richtung und Länge des Vektors  $K$ ) aus Zugrichtung und Zuggeschwindigkeit (Richtung und Länge von  $Z$ ) sowie Windrichtung und Windgeschwindigkeit (Richtung und Länge von  $W$ ) durch Vektoraddition.

tungen (Abb. 2) der Fall war. Die möglichen Ursachen werden im Kapitel «Wind und Flughöhe» diskutiert.

#### e. Registrierung der Flugwege im Herbst 1970

Die Auswertung der photographischen Aufnahmen der Radarechos der Vögel und der Wetterballons ist sehr umständlich und zeitraubend. Deshalb erwarben wir für die Beobachtungsperiode 1970 einen «Houston Omnigraphic xyy'-Recorder», der uns die Flugwege von Vögeln und Ballons direkt aufzeichnet. Eine Nadel des Recorders zeichnet die Projektion des Flugweges in die Horizontalebene im Maßstab 1 : 50 000 ein. Aus dieser Projektion sind die Zug- bzw. die Windrichtungen ersichtlich. Durch einen Zeitgeber wurde zudem ein elektrischer Impuls auf den Schreiber gegeben, so dass in Intervallen von 36 Sekunden Zeitmarken gesetzt wurden. Aus den Distanzen zwischen diesen Zeitmarken kann die horizontale Zuggeschwindigkeit der Vögel berechnet werden. Die andere Nadel zeichnet mit einer anderen Farbe auf dasselbe Papier die Projektion des Flugweges in die yz-Ebene. Aus dieser Projektion ist direkt die Flughöhe ersichtlich.

Das Radargerät gibt die Entfernung, das Azimut und den Elevationswinkel eines automatisch verfolgten Objektes an, während unser Schreiber zur Aufzeichnung der Flugwege die kartesischen Koordinaten benötigt. Die Umrechnung besorgte ein zwischen Radargerät und Schreiber geschalteter xy-Rechner (Koordinatenwandler).

#### f. Registrierung von Echosignaturen

Von Vögeln, deren Flugwege festgehalten wurden, registrierten wir auch die Intensität und die Fluktuationen der reflektierten und von der Antenne wieder aufgefangenen Wellenenergie, indem wir die Spannungsschwankungen der automatischen Verstärkungsregulierung des Radargerätes über einen Modulator einem Revox-Tonbandgerät zuführten. Auf der einen Spur des Magnetbandes wurden die Signale der Verstärkungsregulierung aufgezeichnet; auf die zweite Spur konnten gleichzeitig über ein Mikrofon Angaben gesprochen werden, die bei der Auswertung eine Korrelation mit den Flugwegen ermöglichten. Die so auf Magnetband festgehaltenen Signale der automatischen Verstärkungsregulierung wurden zur Auswertung mit Hilfe eines Tintenschreibers, für genauere Analysen mit Hilfe eines Oszillographen und einer Kamera mit kontinuierlichem Vorschub oder mit einem Lichtstrahlenschreiber aufgezeichnet und optisch ausgewertet (BRUDERER, 1969).

Durch die Analyse solcher Echosignaturen konnte eindeutig entschieden werden, ob sich bei der automatischen Verfolgung ein Einzelvogel, oder ob sich

gleichzeitig mehrere Individuen im Radarstrahlenbündel aufhielten. Echosignaturen von Einzelvögeln lassen das Flügelschlagmuster (Wing-beat Pattern, SCHAEFER, 1966) des betreffenden Vogels erkennen. Es ist zu erwarten, dass sich mit Hilfe dieser Flügelschlagmuster und des absoluten Rückstreuquerschnittes (BRUDERER und JOSS, 1969) in absehbarer Zeit einzelne am Radar beobachtete Arten identifizieren lassen. Da beim Nachtzug die Abstände von Individuum zu Individuum so gross sind, dass sich in der Regel nur ein Einzelvogel im Radarstrahlenbündel bewegt (BRUDERER, 1971; BRUDERER und STEIDINGER, im Druck) wäre es dann möglich, Zugdichte, bevorzugte Zughöhe, Zugrichtungen, Zuggeschwindigkeiten und Witterungsabhängigkeit des Nachtzuges für einzelne Arten zu untersuchen.

Wir haben seit 1969 eine grosse Zahl solcher Flügelschlagmuster gesammelt. BRUDERER (1971) hat sie nach ihrer Ähnlichkeit geordnet und so einen Katalog von «Echoarten» und «Echotypen» zusammengestellt. Die Zuordnung seiner «Echoarten» zu taxonomischen Arten ist nur möglich, wenn die Flugparameter einer taxonomischen Art bekannt sind. Die Zuordnung war bis dahin nur für einzelne Tagzieher möglich, indem diese am Zielfernrohr des Radargerätes identifiziert werden konnten.

### III. Ergebnisse

#### 1. Dauer des Nachtzuges

Der Nachtzug setzte im April 1969 in der Regel etwa um 20.00 Uhr ein. Um mögliche Verfälschungen der Zugrichtungen und der Geschwindigkeiten während der Aufbruchphase zu eliminieren, berücksichtigten wir in der Auswertung nur Echos, die nach 21.00 Uhr beobachtet wurden. Als Ende des Nachtzuges definierten wir den Zeitpunkt, in dem die ersten Schwärme auftraten. Unsere Analysen der Echosignaturen bestätigen nämlich, dass die Vögel nachts mit grossen Abständen von Individuum zu Individuum ziehen (BRUDERER, 1971; BRUDERER und STEIDINGER, im Druck). Darauf haben schon SIVONEN (1936) nach Erhebungen über die Frequenz der Zugrufe von Drosseln und LOWERY und NEWMAN (1955) nach Beobachtungen der Vögel vor der Mondscheibe sowie SUTTER (1957 b), EASTWOOD und RIDER (1966), STEIDINGER (1968) aufgrund von Radarbeobachtungen hingewiesen. Tatsächlich verfolgten wir nachts jeweils nur einen einzelnen Vogel mit der Automatik unseres Radars, was die Registrierung von Echosignaturen und die Bestimmung von Radarquerschnitten frei fliegender Einzelvögel ermöglicht (BRUDERER, 1969; BRUDERER und JOSS, 1969). Am Tag dagegen ziehen die Vögel in dichten Gruppen und Schwärmen, so dass sich gleichzeitig mehrere Vögel im Radarstrahlenbündel bewegen. Der Übergang zum Flug in Gruppen bei Tagesanbruch ( $\frac{1}{2}$  Std. vor Sonnenaufgang bis Sonnenaufgang) ist recht scharf (BRUDERER, 1971). Das Auftreten der ersten dichten Gruppen ist deshalb wahrscheinlich das beste verfügbare Kriterium zur Abgrenzung von Nacht- und Tagzug.

#### 2. Wind und Flughöhe

Das Beispiel der Nacht vom 19./20. April 1969 wurde ausführlich von BRUDERER und STEIDINGER (im Druck) behandelt. Die Ergebnisse sollen hier kurz zusammengefasst und besprochen werden, da sie vermutlich eine wichtige Reaktion der Vögel gegenüber dem Wind zeigen: Die Vögel flogen in der zweiten

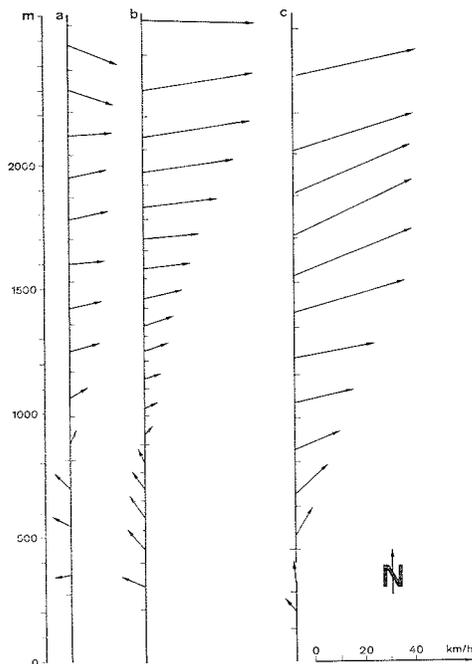


ABB. 5. Windmessungen. a: 19. April 1969, 17.51—18.13 Uhr. — b: 20. April 1969, 0.53—1.09 Uhr. — c: 20. April 1969, 8.09—8.21 Uhr. — Ordinate: Höhe über der Radarstation in Metern. Die Marken zwischen den Basen der Pfeile geben die Intervallsgrenzen der Messungen an. Aus der Richtung und der Länge eines Pfeils ist die Windrichtung und die Windgeschwindigkeit im entsprechenden Höhenintervall ersichtlich (vgl. auch BRUDERER und STEIDINGER, im Druck).

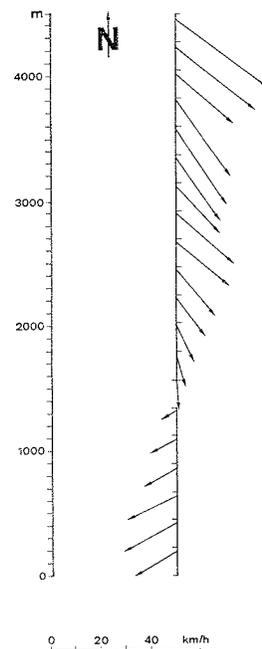


ABB. 6. Windmessung vom 22. September 1970, 18.50 bis 19.10 Uhr. Weitere Erklärungen vgl. Abb. 5.

Hälfte jener Nacht deutlich in einer Flughöhe, in der sie günstige Winde (Abb. 5) vorhanden. Die mehr östlich ziehenden Vögel flogen höher als die nach Norden und Nordwesten ziehenden (Abb. 2). Da auch die Kurse der höher fliegenden Vögel mehr östlich und die der niedrig fliegenden nach Norden und Nordwesten wiesen (Abb. 3), kann es sich hier nicht um passive Winddrift handeln. Vielmehr wählten die Vögel offenbar selbst diejenige Flughöhe, die für ihren Zug günstige Windverhältnisse aufwies.

Dieses Ergebnis deckt sich gut mit den Befunden von BELLROSE (1967), der anhand von Radarbeobachtungen im Mittleren Westen der USA feststellte: «Our radar findings demonstrate that birds have a phenomenal understanding of winds. They select nights and altitudes having favorable directional winds and favourable wind speeds.»

In der Nacht vom 22./23. September 1970 herrschten für den Herbstzug ähnliche Windverhältnisse wie in der Nacht vom 19./20. April 1969 für den Frühjahrszug. Da eine zusätzliche Beobachtung über die Abhängigkeit der Flughöhe vom Wind für die Interpretation des Zugeschehens in der Nacht vom

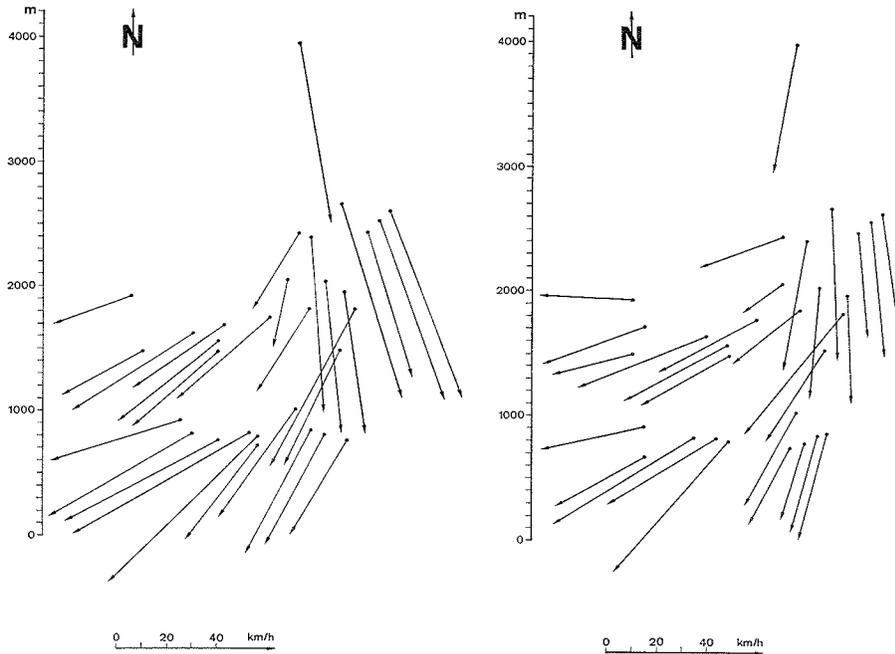


ABB. 7 (links) und ABB. 8 (rechts). Zugrichtungen (Abb. 7) und Kurse (Abb. 8) vom 22. September 1970, 19.30—24.00 Uhr, in verschiedenen Flughöhen über der Radarstation. Weitere Erklärungen vgl. Abb. 2 und 3.

19./20. April 1969 sehr wertvoll ist, wurde die Nacht vom 22./23. September 1970 als einzige Nacht dieser Beobachtungsperiode für die vorliegende Arbeit ausgewertet. Infolge der starken Störechos im Herbst 1970 am Standort bei Bachenbülach konnte allerdings nicht quantitativ gearbeitet werden, weshalb wir den Radarbetrieb jeweils um Mitternacht einstellen. Daher steht für den 22./23. September nur eine Windmessung zur Verfügung (Abb. 6). Diese zeigt, dass bis in eine Höhe von 1400 m über Boden nordöstliche und über 1400 m nordwestliche Winde wehten.

Auch in dieser Nacht zogen die Vögel deutlich in einer Höhe mit günstigen Winden (Abb. 7 und 8). Die Vögel, die nach Südosten und Süden wanderten, flogen höher als die Vögel mit südwestlicher Zugrichtung. Ein Vergleich der Zugrichtungen mit den entsprechenden Kursen zeigt, dass die Vögel nicht passiv durch den Wind in der entsprechenden Richtung verdriftet wurden, sondern sie wählten offenbar auch in diesem Fall aktiv eine Höhe, die hinsichtlich ihrer Zugrichtung günstige Windverhältnisse aufwies.

Bemerkenswert ist, dass die Vögel in der Nacht vom 22./23. September 1970 schon in der ersten Hälfte der Nacht in einer Höhe mit günstigen Winden zogen, während dies in der Nacht vom 19./20. April 1969 erst in der zweiten Hälfte der Nacht der Fall war. Ein Vergleich der Windmessungen zeigt, dass im ersten Teil der Nacht vom 19./20. April 1969 der Wind nur sehr schwach war. Am Anfang der Nacht vom 22./23. September 1970 war dagegen eine mässige Windgeschwindigkeit vorherrschend. Diese Befunde führen uns zur Annahme, dass die geringe

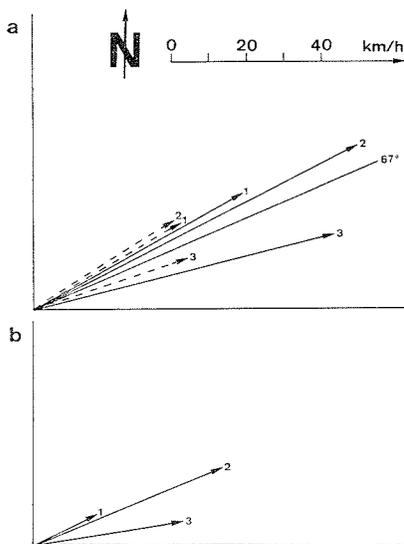


ABB. 9. Zug und Kurs bei direktem Rückenwind. a: Ein ausgezogener Vektor gibt den Median der Zugrichtungen und -geschwindigkeiten; ein unterbrochener Vektor zeigt den Median der Kurse und der Eigengeschwindigkeiten einer Nacht. — b: Mittlere Windvektoren. — 1 = 14./15. April 1969. 2 = 20./21. April 1969. 3 = 24./25. April 1969.  $67^\circ$  = Mittelwert der drei Zugrichtungsmediane.

Windstärke im ersten Teil der Nacht vom 19./20. April 1969 dafür verantwortlich ist, dass in dieser Zeit noch keine Abhängigkeit der Zughöhe von der Windrichtung festgestellt werden konnte. Offenbar war die Richtung des in allen Höhenlagen noch schwachen Windes für die Vögel unbedeutend. Erst der in der zweiten Nachthälfte verstärkte Wind bewirkte, dass die Vögel eine Zughöhe mit günstigen Windverhältnissen aufsuchten. Das Auffinden einer Höhe mit optimalen Winden wird möglicherweise durch die Zugrufe höher und niedriger fliegender Artgenossen begünstigt (BRUDERER und STEIDINGER, im Druck).

### 3. Zugrichtungen und Kurse bei direktem Rückenwind

Um die Frage abzuklären, ob die Zugrichtungen der Vögel durch Seitenwind abgelenkt werden, oder ob die Winddrift korrigiert wird, bestimmten wir vorerst eine mittlere Zugrichtung bei direktem Rückenwind als Vergleichsbasis. Zu den Nächten mit direktem Rückenwind (im Gegensatz zu seitlichem Rückenwind) zählten wir jene Fälle, bei denen der Zugrichtungsmedian nicht mehr als  $5^\circ$  vom Kursmedian abwich. (Mit Medianen wurde gearbeitet, da diese unempfindlicher sind als gewöhnliche arithmetische Mittel gegenüber vereinzelt Vögeln mit einem stark abweichenden Kurs. Zudem liessen sich die Mediane sehr leicht anhand der schon angefertigten graphischen Darstellungen bestimmen.)

In drei der 14 Nächte, die in der vorliegenden Studie bearbeitet wurden, war der Unterschied zwischen Zugrichtungsmedian und Kursmedian kleiner als  $5^\circ$ . Die Mediane dieser drei Nächte sind zusammen mit jenen der Zuggeschwindigkeiten und der Eigengeschwindigkeiten in Tabelle 1 und Abb. 9 zusammengefasst. Die Mittelwerte der Zugrichtungsmediane ( $67^\circ$ ) und der Kursmediane ( $64^\circ$ ) der drei Nächte mit direktem Rückenwind dienen in den folgenden Untersuchungen über Zugrichtungen und Kurse bei Seitenwind als Vergleichsbasis. Für diese Untersuchungen benötigen wir auch die mittleren Windvektoren, wie sie in Abb. 9 für die drei Nächte mit direktem Rückenwind dargestellt sind. Sie

TABELLE 1. Nächte mit direktem Rückenwind. Mediane der Zugrichtungen und der Kurse sowie der Zug- und der Eigengeschwindigkeiten.

Datum	Zugrichtung	Zuggeschwindigkeit	Kurs	Eigengeschwindigkeit
14./15. 4. 69	61°	64 km/h	60°	46 km/h
20./21. 4. 69	63°	98 km/h	59°	44 km/h
23./24. 4. 69	76°	84 km/h	72°	44 km/h
Mittelwerte	67°	82 km/h	64°	45 km/h

TABELLE 2. Nächte mit seitlichem Rückenwind. Mediane der Zugrichtungen und der Kurse sowie der Zug- und der Eigengeschwindigkeiten.

Datum	Zugrichtung	Zuggeschwindigkeit	Kurs	Eigengeschwindigkeit
10./11. 4. 69	67°	60 km/h	49°	36 km/h
13./14. 4. 69	66°	71 km/h	42°	46 km/h
17./18. 4. 69	60°	47 km/h	34°	41 km/h
22./23. 4. 69 <sup>1</sup>	58°	92 km/h	38°	38 km/h
24. 4. 69 <sup>2</sup>	65°	84 km/h	41°	44 km/h
Mittelwerte	63°	71 km/h	41°	41 km/h

<sup>1</sup> Beobachtungen waren nur bis 2.07 Uhr möglich, da es nachher regnete.

<sup>2</sup> Beobachtungen waren erst nach 2.30 Uhr möglich, da bis zu diesem Zeitpunkt Regen fiel.

wurden durch Subtraktion der Kursvektoren von den entsprechenden Zugrichtungsvektoren bestimmt.

#### 4. Zugrichtungen und Kurse bei seitlichem Rückenwind

In fünf der 14 Nächte, die in der vorliegenden Studie bearbeitet wurden, herrschte seitlicher Rückenwind. Auch für diese fünf Nächte wurden die Mediane der Zugrichtungen und Zuggeschwindigkeiten sowie der Kurse und Eigengeschwindigkeiten bestimmt (Tab. 2). In Abb. 10 sind die Werte der Tabelle 2 sowie die mittleren Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten als Vektoren dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass in diesen fünf Nächten mit seitlichem Rückenwind alle Zugrichtungsmediane nahe der mittleren Zugrichtung bei direktem Rückenwind (67°) liegen, während alle Mediane der Kurse mehr nach Norden weisen (Mittel 41°).

Der Mittelwert der Zugrichtungsmediane bei seitlichem Rückenwind (63°) wurde im t-Test<sup>1</sup> verglichen mit dem Mittelwert der Zugrichtungsmediane bei direktem Rückenwind (67°). Dabei konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Vergleichen wir dagegen den Mittelwert der Kursmediane bei seitlichem Rückenwind (41°) mit dem Mittelwert der Kursmediane bei direktem Rückenwind (64°), so erhalten wir einen statistisch gesicherten Unterschied ( $p < 0,01$ ). Diese Befunde, nach denen die Kursmediane bei seitlichem Rückenwind gesichert abweichen von den Kursmediane bei direktem Rückenwind, während die entsprechenden Zugrichtungsmediane sich decken, deuten darauf hin, dass die beobachteten Vögel die *Winddrift korrigierten*.

<sup>1</sup> Die Anwendung von kreisstatistischen Methoden ist nicht notwendig, da wir es hier mit relativ engen Kreissektoren zu tun haben.

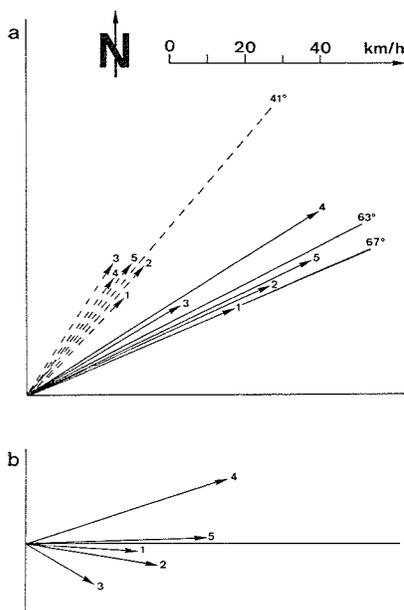


ABB. 10. Zug und Kurs bei seitlichem Rückenwind. Erklärungen siehe Abb. 9. — 1 = 10./11. April 1969. 2 = 13./14. April 1969. 3 = 17./18. April 1969. 4 = 22./23. April 1969. (Beobachtungen waren nur bis 02.07 Uhr möglich, da es nachher regnete.) 5 = 24. April 1969. (Beobachtungen waren erst nach 02.30 Uhr möglich, da bis zu diesem Zeitpunkt Regen fiel.)  $67^\circ$  = Mittelwert der Zugrichtungsmediane bei direktem Rückenwind (Abb. 9).  $63^\circ$  = Mittelwert der Zugrichtungsmediane bei seitlichem Rückenwind.  $41^\circ$  = Mittelwert der Kursmediane bei seitlichem Rückenwind.

### 5. Zugrichtungen und Kurse bei seitlichem Gegenwind

In fünf Nächten der Beobachtungsperiode 1969 herrschte seitlicher Gegenwind. Die Mediane der Zugrichtungen, der Zuggeschwindigkeiten, der Kurse und der Eigengeschwindigkeiten sind in Tabelle 3 und Abb. 11 zusammengefasst. Ein Vergleich mit Abb. 9 zeigt, dass in den fünf Nächten mit seitlichem Gegenwind die Kursmediane sehr ähnlich liegen wie die Kursmediane bei direktem Rückenwind. Die Mittelwerte betragen in beiden Fällen  $64^\circ$ . Die Zugrichtungsmediane bei seitlichem Gegenwind (Mittelwert  $43^\circ$ ) weichen dagegen ab von den Zugrichtungsmedianen bei direktem Rückenwind (Mittelwert  $67^\circ$ ). Im t-Test unterscheiden sich die beiden Mittelwerte der Zugrichtungsmediane bei einem  $p < 0,05$  voneinander.

Diese Befunde legen zunächst den Schluss nahe, dass die Zugvögel bei seitlichem Gegenwind die Winddrift nicht korrigieren. Es scheint aber unwahrscheinlich, dass sie nur bei seitlichem Rückenwind, nicht aber bei seitlichem Gegenwind korrigieren. Auch die Annahme, dass bei seitlichem Gegenwind andere

TABELLE 3. Nächte mit seitlichem Gegenwind. Mediane der Zugrichtungen und der Kurse sowie der Zug- und der Eigengeschwindigkeiten.

Datum	Zugrichtung	Zuggeschwindigkeit	Kurs	Eigengeschwindigkeit
5./6. 4. 69	$19^\circ$	37 km/h	$64^\circ$	65 km/h
6./7. 4. 69	$55^\circ$	44 km/h	$75^\circ$	57 km/h
7./8. 4. 69	$47^\circ$	32 km/h	$66^\circ$	49 km/h
8./9. 4. 69	$47^\circ$	36 km/h	$58^\circ$	45 km/h
9./10. 4. 69	$47^\circ$	32 km/h	$59^\circ$	52 km/h
Mittelwerte	$43^\circ$	36 km/h	$64^\circ$	54 km/h

Arten ziehen, welche die Windablenkung nicht korrigieren, scheint uns unwahrscheinlich und wurde deshalb nur kurz in Erwägung gezogen. Sehr gut lässt sich aber die Interpretation, die EVANS (1966) nach Beobachtungen in England sowie NISBET und DRURY (1967; vgl. auch STEIDINGER, 1968, S. 211) für ihre Befunde aus Vogelzugbeobachtungen am Radar von Cape Cod (Massachusetts) gaben, auf unser Beispiel anwenden. Danach würden bei seitlichem Gegenwind jene Vögel, für die beinahe direkter Gegenwind herrscht, den Zug weitgehend einstellen. In unserem Beispiel wären es offenbar die Vögel mit ostnordöstlicher bis östlicher Zugrichtung, die infolge des ungünstigen Gegenwindes eine geringere Zugdichte aufwiesen als die mehr nördlich ziehenden. Dies bewirkt, dass sowohl die Zugrichtungsmidiane als auch die Kursmediane nach Norden verschoben sind, aber nun nicht infolge einer tatsächlichen Windablenkung, sondern infolge einer *einseitigen Zughemmung*, die der Wind vor allem auf die mehr östlich ziehenden Vögel ausübte. Nach dieser Interpretation würde also eine *Windablenkung vorgetäuscht*, obwohl die ziehenden Vögel die Winddrift korrigierten.

Bei seitlichem Gegenwind wären demnach bezüglich des Kurses der von uns erfassten Vögel die zwei folgenden gegensätzlichen Wirkungen zu erwarten:

1. Die Vögel, welche trotz des ungünstigen Windes ziehen, korrigieren die Winddrift. Dies bewirkt in unserem Beispiel eine Verschiebung der Kursmediane in östlicher Richtung. (Wir wollen bei diesen Untersuchungen vorerst nur die Kurse berücksichtigen und am Schluss kurz zeigen, dass für die Zugrichtungen dieselben Überlegungen Gültigkeit haben.)

2. Seitlicher Gegenwind, in unserem Beispiel von rechts, ist vor allem für die mehr nach Osten wandernden Vögel ungünstig, so dass diese den Zug in höherem Grade einstellen als die mehr nach Norden wandernden. Dies bewirkt eine Verschiebung der Kursmediane nach Norden.

Falls nun die nach Punkt 1 und 2 zu erwartenden Wirkungen etwa gleich stark sind, heben sie sich gegenseitig auf. Dies hat zur Folge, dass sich dann die Kursmediane bei seitlichem Gegenwind etwa decken müssten mit den Kursmediane bei direktem Rückenwind. Wie wir oben gesehen haben, trifft dies für unser Beispiel genau zu. Die entsprechenden Mittelwerte weisen beide ein Azimut von  $64^\circ$  auf.

Diese Interpretation der Kurse wird gestützt durch einen Vergleich der Kursvektoren der Abb. 11a unter Berücksichtigung der entsprechenden Windvektoren der Abb. 11 b. Wir sehen, dass der Wind der Nacht vom 6./7.4.69 (Nr. 2) am wenigsten den Charakter eines Gegenwindes aufweist. In dieser Nacht wirkte sich daher die einseitige Zughemmung schwächer aus als die Korrektur der Winddrift, was im stark östlich gerichteten Kursvektor (Nr. 2) zum Ausdruck kommt.

Der mittlere Wind in den übrigen vier Nächten der Abb. 11 hat wesentlich mehr den Charakter eines direkten Gegenwindes, so dass die einseitige Zughemmung viel stärker in Erscheinung tritt. Dies hat zur Folge, dass die Kursmediane in diesen vier Fällen deutlich mehr nach Norden gerichtet sind und damit eine ähnliche Richtung aufweisen wie in den Nächten mit direktem Rückenwind (Abb. 9).

Nachdem wir nun die Fälle mit direktem und seitlichem Rückenwind sowie seitlichem Gegenwind miteinander verglichen haben, wäre es interessant auch Zugrichtungen und Kurse bei direktem Seitenwind zu analysieren. Unter den

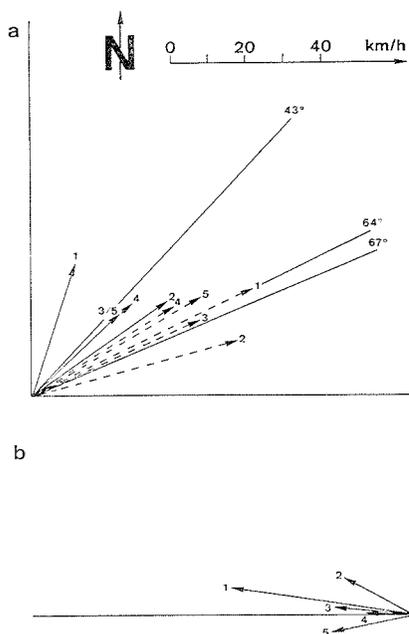


ABB. 11. Zug und Kurs bei seitlichem Gegenwind. Erklärungen siehe Abb. 9. — 1 = 5./6. April 1969. 2 = 6./7. April 1969. 3 = 7./8. April 1969. 4 = 8./9. April 1969. 5 = 9./10. April 1969.  $67^\circ$  = Mittelwert der Zugrichtungsmediane bei direktem Rückenwind (Abb. 9).  $64^\circ$  = Mittelwert der Kursmediane bei seitlichem Gegenwind.  $43^\circ$  = Mittelwert der Zugrichtungsmediane bei seitlichem Gegenwind.

bisher von mir untersuchten Nächten befinden sich aber keine derartigen Fälle. Sie dürften im Schweizerischen Mittelland, zumindest in den unteren 2000 m, infolge einer Ablenkung der Winde durch die Gebirgszüge relativ selten auftreten. Wir können uns jedoch überlegen, welche Kurse und Zugrichtungen bei direktem Seitenwind zu erwarten wären. Auch hier wollen wir vorerst nur die Kurse betrachten und erst am Schluss noch ganz kurz auf die Zugrichtungen eingehen.

Wir haben festgestellt, dass sich die Kursmediane bei seitlichem Rückenwind infolge Korrektur der Winddrift deutlich unterscheiden von den Kursmedianen bei direktem Rückenwind. Bei seitlichem Gegenwind jedoch wird die Wirkung der Winddriftkorrektur durch die Wirkung der einseitigen Zughemmung aufgehoben, so dass sich in diesen Fällen die Kursmediane von denen bei direktem Rückenwind nicht unterscheiden. Den direkten Seitenwind können wir als Uebergang von seitlichem Gegenwind zu seitlichem Rückenwind betrachten. (Der Umstand, dass seitlicher Gegenwind von rechts und seitlicher Rückenwind von links untersucht wurde, ist für diese Überlegungen nicht von Bedeutung.) Bei direktem Seitenwind dürfte nun die einseitige Zughemmung nicht so stark in Erscheinung treten, dass sie die Wirkung der Winddriftkorrektur ganz aufhebt, wie dies bei seitlichem Gegenwind der Fall ist. So erwarten wir einen Kurs, der abweicht von demjenigen bei seitlichem Gegenwind und damit auch von demjenigen bei direktem Rückenwind. Diese Abweichung dürfte aber schwächer sein als bei seitlichem Rückenwind, wo gar keine einseitige Zughemmung festzustellen ist, so dass sich die Winddriftkorrektur voll auf die Kurse auswirken kann.

Die Nacht vom 6./7. 4. 69 (Abb. 11a, Nr. 2) kommt den Verhältnissen bei direktem Seitenwind am nächsten. Hier weicht denn auch der Kursmedian recht stark ab vom Mittelwert der Kursmediane bei direktem Rückenwind. Wie oben

erwähnt, wird hier die Wirkung der Winddriftkorrektur weniger durch eine einseitige Zughemmung abgeschwächt als in den vier übrigen Nächten, die einen deutlicheren Gegenwind aufweisen. Es ist nun zu erwarten, dass bei direktem Seitenwind die Wirkung der einseitigen Zughemmung noch schwächer ist als in der Nacht vom 6./7. 4. 69, so dass sich die Korrektur der Winddrift in einer noch stärkeren Verschiebung der Kurse auswirken kann. Diese Verschiebung der Kurse bei direktem Seitenwind dürfte sich demnach nicht stark unterscheiden von derjenigen der Nächte mit seitlichem Rückenwind, in denen gar keine einseitige Zughemmung festzustellen ist.

Wahrscheinlich wirkt sich auch die *Geschwindigkeit* eines seitlichen Windes auf das Ausmass der Verschiebung der Kurse aus. Je stärker ein seitlicher Wind weht, desto mehr muss der Kurs geändert und eventuell die Eigengeschwindigkeit vergrößert werden, damit die Winddrift vollständig korrigiert wird. Es ist anzunehmen, dass die Windgeschwindigkeit auch einen Einfluss auf das Ausmass der einseitigen Zughemmung bei seitlichem Gegenwind hat. Aber das von uns untersuchte Material lässt diesbezüglich noch keine eindeutigen Schlüsse zu.

Die hier angeführten Überlegungen zu den Kursen könnten jetzt noch in ähnlicher Weise zu den Zugrichtungen gemacht werden. Da aber die Zugrichtungen direkt abhängig sind von den Kursen und von den Windrichtungen, lassen sich zwangsläufig auch die beobachteten Zugrichtungsmediane mit unserer Annahme einer Winddriftkorrektur einerseits und einer einseitigen Zughemmung bei seitlichem Gegenwind andererseits erklären, wie dies oben für die Kursmediane ausführlich gezeigt wurde.

#### IV. Diskussion

Zur Diskussion steht vor allem die Frage, ob die Vögel, die über das Schweizerische Mittelland ziehen, die Winddrift korrigieren. Unsere Untersuchungen der Zugrichtungen und der Kurse sprechen für eine Korrektur. Besonders deutlich ist diese bei seitlichem Rückenwind festzustellen. Auch zahlreiche andere Autoren fanden eine Korrektur der Winddrift durch die Zugvögel in den betreffenden Beobachtungsgebieten, zumindest bei nicht allzu heftigen Seitenwinden (vgl. z. B. BELLROSE und GRABER, 1963; EVANS, 1966; BELLROSE, 1967; EASTWOOD und RIDER, 1967; NISBET und DRURY, 1967; LACK, 1968).

Diesen Beobachtungen stehen Fälle von tatsächlicher, nicht korrigierter Winddrift über dem Meer gegenüber. In den von LACK (1968) erwähnten Fällen trafen Kleinvögel während ihres Zuges über die Nordsee auf *starken* Seitenwind und wurden abgelenkt. Auch GAUTHREAUX (1969) beobachtete eine echte Winddrift bei *starkem* Seitenwind über dem Golf von Mexiko.

Bei starkem Seitenwind über dem offenen Meer korrigieren also die Vögel eine Winddrift offenbar nicht oder nur sehr unvollständig. Bei direkten Seitenwinden und seitlichen Gegenwinden, deren Geschwindigkeiten die Eigengeschwindigkeiten der Vögel übersteigen, ist eine vollständige Korrektur auch gar nicht möglich (EVANS, 1966).

Während nun die Vögel über dem Festland die Möglichkeit haben, den Zug zu unterbrechen, wenn sie auf sehr ungünstige Windverhältnisse stossen, sind die landlebenden Zugvögel bei der Überquerung grosser Wasserflächen gezwungen weiterzufliegen, bis sie auf Land treffen. So lassen sich die unterschiedlichen Beobachtungen beim Zug über dem Meer und über dem Festland erklären. Trotz

unseren Befunden ist es allerdings nicht ausgeschlossen, dass auch über dem Festland einzelne Vögel zuerst erfolglos gegen einen aufkommenden sehr ungünstigen Wind ankämpfen und abgelenkt werden, bevor sie ihren Zug unterbrechen.

Es stellt sich die Frage, aufgrund welcher äusseren Faktoren die Vögel imstande sind, eine Windablenkung wahrzunehmen und zu korrigieren. In allen unseren Beobachtungsnächten mit Seitenwind war der Sternenhimmel mindestens teilweise sichtbar. Es ist in späteren Beobachtungsperioden noch zu untersuchen, ob die Winddrift auch unter total bedecktem Himmel korrigiert wird. Zudem wäre es interessant festzustellen, ob die Vögel auch fähig sind, ohne Sicht von Landmarken die Winddrift zu korrigieren. Dazu sind Beobachtungen in Nächten mit ausgedehntem Nebel und mit seitlichen Höhenwinden notwendig. Solche Verhältnisse treten über dem Schweizerischen Mittelland am ehesten während der Herbstzugperiode auf.

Auf dem Radarschirm sichtbare Änderungen der Zugrichtungen bei seitlichem Gegenwind werden nach EVANS (1966) und NISBET und DRURY (1967) erklärt durch die Annahme, dass in solchen Fällen ein grosser Teil jener Vögel den Zug einstellt, für die beinahe direkter Gegenwind herrscht. Vögel, deren Zugrichtung so liegt, dass der herrschende Wind sich weniger ungünstig auswirkt, würden dagegen den Zug fortsetzen.

Diese Interpretation wird durch unsere Beobachtungen des Herbstzuges mit dem Überwachungsradar des Flughafens Zürich-Kloten (STEIDINGER, 1968) gestützt. Damals mussten wir zwar die Frage noch offen lassen, ob die veränderten Zugrichtungen bei starkem Seitenwind auf tatsächlicher Windablenkung beruhen, oder ob die Ursache in einer einseitigen Zughemmung zu suchen ist. Bei der Arbeit mit jenem Gerät fehlten uns nämlich genaue Angaben über die Flughöhe der Vögel, und es standen uns weniger Höhenwindmessungen zur Verfügung als bei der Arbeit mit der Superfledermaus.

Auf dem Schirm des Überwachungsradars sind immer wieder vereinzelte Echos mit abweichender Zugrichtung zu beobachten, deren Zahl aber im enormen Strom der Echos mit südwestlicher Richtung unbedeutend erscheint (SUTTER, 1957a, 1957b, 1961; GEHRING, 1963; STEIDINGER, 1968). Wenn nun aber bei einseitiger Zughemmung, zum Beispiel bei Westwind, also seitlichem Gegenwind von links (bezogen auf die Zugachse NE-SW), der gewaltige Strom der im Herbst nach SW ziehenden Vögel grösstenteils ausfällt, ist plötzlich die kleine Zahl der Echos, die sich nach SE bewegen, auf dem Radarschirm deutlich sichtbar. Zudem ist Westwind für die nach SE ziehenden Vögel seitlicher Rückenwind, welcher den normalerweise schwachen SE-Zug etwas verstärken dürfte, so dass er recht gut erkennbar wird. Wir neigten in unseren früheren Arbeiten eher dazu, solche Beobachtungen als echte Abdrift zu deuten, müssen aber heute aufgrund unserer Beobachtungen mit dem Zielverfolgungsgerät annehmen, dass auch in jenen Fällen keine echte Winddrift vorlag, sondern dass dort ebenfalls durch die einseitige Hemmung des Zuges bei seitlichem Gegenwind eine *Winddrift vorgtäuscht* wurde. Es herrschten nämlich in allen aufgeführten Nächten, in denen von der Norm abweichende Zugrichtungen festgestellt werden konnten, starke seitliche Gegenwinde, also Bedingungen, bei denen nach Befunden mit der Superfledermaus eine einseitige Zughemmung zu erwarten ist.

Unsere Beobachtungen mit dem Zielverfolgungsgerät zeigen nun auch, dass in Höhenlagen mit Windverhältnissen, die für abweichende Zugsbewegungen günstig sind, solche Bewegungen nicht nur gut sichtbar werden, sondern in der betreffen-

den Höhenlage sogar höhere Frequenzen aufweisen können als der Zug auf der Achse NE-SW. Dies zeigt sehr schön die Nacht vom 19./20. 4. 69, in der in den unteren Luftschichten südliche bis südöstliche Winde herrschten (vgl. S. 27 f. sowie BRUDERER und STEIDINGER, im Druck). Im zweiten Teil dieser Nacht konnten bis in eine Höhe von 650 m fast nur Vögel beobachtet werden, die eine nördliche bis nordwestliche Zugrichtung einhielten, also mit dem Wind zogen. Die Bestimmung der Kurse ergab, dass die Vögel nicht passiv nach Norden verdriftet wurden, sondern einen nördlichen Kurs einhielten. Sie wählten also offensichtlich für ihren Zug die Höhenlage mit dem für ihre spezifische, nördliche bis nordwestliche Zugrichtung günstigsten Wind.

In der Nacht vom 22./23. 9. 70 herrschten für den Herbstzug ähnliche Windverhältnisse wie in der Nacht vom 19./20. 4. 69 für den Frühjahrszug (vgl. S. 28 f.). Auch in dieser Nacht bevorzugten die Vögel eine Flughöhe, in der ein für ihre Zugrichtung günstiger Wind wehte: Die Vögel mit südwestlicher Zugrichtung flogen niedrig, wo für sie Rückenwind herrschte, während solche mit südlicher bis südöstlicher Zugrichtung höher als 1800 m über Boden flogen, wo sie für ihren Zug Rückenwind vorfanden.

Unsere Untersuchungen zeigen, dass es bei der Analyse des Windeinflusses auf die Zugrichtungen vorteilhaft ist, wenn zwischen seitlichem Gegenwind, direktem Seitenwind und seitlichem Rückenwind (bezogen auf die mittlere Zugrichtung bei ungestörter Wetterlage), unterschieden wird, da erst durch diese Unterscheidung die gegensätzlichen Wirkungen der Winddriftkorrektur und der einseitigen Zughemmung deutlich sichtbar werden. Durch die Annahme einer vollständigen Winddriftkorrektur einerseits und einer einseitigen Zughemmung bei seitlichem Gegenwind andererseits lassen sich dann die unterschiedlichen Zugrichtungen und Kurse, die wir mit dem Zielverfolgungsgerät bei seitlichem Gegenwind und seitlichem Rückenwind feststellten, eindeutig erklären.

#### ZUSAMMENFASSUNG

1. In der Zeit vom 3. April bis zum 25. April 1969 wurde der nächtliche Vogelzug über dem Schweizerischen Mittelland mit Hilfe eines automatischen Zielverfolgungsradargerätes von 3 cm Wellenlänge beobachtet.
2. Zur Bestimmung der Zugrichtung, der Zughöhe und der Zuggeschwindigkeit wurden Einzelvögel, die in unterschiedlichen Höhenlagen flogen, jeweils während der Dauer von 1½–2 Minuten automatisch verfolgt. In Intervallen von 30 Sekunden wurden gleichzeitig die Anzeigeinstrumente für Distanz, Elevationswinkel und Azimut fotografiert.
3. Es wurden Höhenwindmessungen durchgeführt, indem das Gerät Wetterballons automatisch verfolgte. Der Flugweg der Ballons wurde bis in eine Höhe von 4000 m über Boden nach derselben Methode wie bei der Verfolgung der Vögel aufgenommen.
4. Die Zugfrequenz in verschiedenen Höhenlagen wurde mit Hilfe einer erweiterten «Vertical beam»-Methode bestimmt.
5. Die Echosignaturen der automatisch verfolgten Vögel wurden auf Magnetband registriert.
6. Mit Hilfe unserer Höhenwindmessungen und der Flugwege der Vögel wurden Kurs (heading) und Eigengeschwindigkeit (air speed) der Zugvögel berechnet.
7. Die Analyse der Zugrichtungen und der Kurse während einer Nacht, in der die Windrichtungen in verschiedenen Höhenlagen stark voneinander abwichen, ergab, dass die Zugvögel vorwiegend in einer Höhe mit günstiger Windrichtung flogen. Eine zusätzlich ausgewertete ähnliche Nacht aus der Herbstzugperiode 1970 bestätigt diesen Befund.

8. Es wird darauf hingewiesen, dass den Zugrufen der Vögel für das Auffinden einer Höhenlage mit günstigen Winden eine massgebende Bedeutung zukommen könnte.
9. Die Auswirkungen von seitlichem Gegenwind und seitlichem Rückenwind (bezogen auf die Hauptzugachse SW—NE) auf die Zugrichtungen wurden getrennt voneinander untersucht. Es wird gezeigt, dass die Winddrift bei seitlichem Rückenwind kompensiert wird durch Änderung des Kurses. Die Änderung der mittleren Zugrichtung bei seitlichem Gegenwind wird dagegen vom Autor als eine einseitige Zughemmung interpretiert, die eine Winddrift vortäuscht.
10. Die Auswirkungen von direktem Seitenwind werden diskutiert aufgrund der beobachteten Auswirkungen von seitlichem Gegenwind und seitlichem Rückenwind.

#### SUMMARY

1. Nocturnal bird migration was observed in Switzerland from April 3 to 25, 1969 by means of an automatic tracking radar (3 cm wave-length).
2. Migrating birds were tracked for periods of 1½ to 2 minutes. By taking photographs of the measuring instruments, a periodical record of the target's distance, elevation and azimuth was obtained. From these data the tracks, migratory heights, and flight speeds can be computed.
3. Wind directions and speeds were measured by tracking ceiling balloons up to a height of 4,000 meters above the ground.
4. The frequency of birds migrating at different heights was estimated by an improved «vertical beam method».
5. The «echo signatures» of the birds were recorded on a tape recorder.
6. Heading and air speed of the migrants were computed from the flight paths of the birds and from the direction and speed of the wind at the respective height.
7. The data of one night, when winds near the ground were very different from winds at higher altitude, show that the migrants flew preferably at a height with favourable winds. This observation was confirmed by the analysis of one similar night during fall migration 1970.
8. The possible importance of flight calls to help the birds to find a migratory height with favourable winds is discussed.
9. The effects of lateral head and lateral tail winds (relative to the mean axis of migration SW—NE) were examined separately. It was found that the birds correct for the wind drift on occasions with lateral tail winds by altering their heading. With lateral headwinds — however — the birds flying against the wind apparently cease to migrate whilst others continue, which results in a change of the mean track.
10. The effect of direct cross-winds is discussed theoretically.

#### LITERATUR

- BELLROSE, F. C. (1967): Radar in orientation research. Proc. 14th Intern. Orn. Congr., Oxford 1966: 281—309.
- BELLROSE, F. C. and GRABER, R. R. (1963): A radar study of the flight directions of nocturnal migrants. Proc. 13th Intern. Orn. Congr., Ithaca 1962: 362—389.
- BRAUN, A. F. (1957): «Fledermaus», ein radargesteuertes, vollautomatisches Feuerleitgerät. Flugwehr und -Technik, 1957 (10/11): 3—10.
- BRUDERER, B. (1969): Zur Registrierung und Interpretation von Echosignaturen an einem 3-cm-Zielverfolgungsradar. Orn. Beob. 66: 70—88.
- (1971): Radarbeobachtungen über den Frühlingszug im Schweizerischen Mittelland. (Ein Beitrag zum Problem der Witterungsabhängigkeit des Vogelzuges.) Orn. Beob. 68: 89—158.
- BRUDERER, B. und JOSS, J. (1969): Methoden und Probleme der Bestimmung von Radarquerschnitten frei fliegender Vögel. Rev. Suisse Zool. 76: 1106—1118.
- BRUDERER, B. und STEIDINGER, P. (im Druck): Methods in quantitative and qualitative analysis of bird migration with a tracking radar. Proc. Symposium on Animal Orientation and Navigation. Wallops Island, Virginia, 1970.

- EASTWOOD, E. and RIDER, G. C. (1966): The grouping of nocturnal migrants. *Nature* 211: 1143—1146.
- EVANS, P. R. (1966): Migration and orientation of passerine night migrants in northern England. *J. Zool.* 150: 319—369.
- GAUTHREAUX, S. A. (1969): A quantitative study by radar and telescope of the vernal migration of birds in coastal Louisiana. Dissertation Abstract.
- GEHRING, W. (1963): Radar- und Feldbeobachtungen über den Verlauf des Vogelzuges im Schweizerischen Mittelland: Der Tagzug im Herbst (1957—1961). *Orn. Beob.* 60: 35—68.
- (1967a): Radarbeobachtungen über den Vogelzug am Col de Bretolet in den Walliser-Alpen. *Orn. Beob.* 64: 133—145.
- (1967b): Analyse der Radarechos von Vögeln und Insekten. *Orn. Beob.* 64: 145—151.
- LACK, D. (1968): Drift migration: A correction. *Ibis* 111: 253—255.
- LOWERY, G. H. and NEWMAN, R. J. (1955): Direct studies of nocturnal bird migration. In: *Recent studies in avian biology*, Urbana, pp. 238—263.
- NISBET, I. C. T. and DRURY, W. H. (1967): Orientation of spring migrants studied by radar. *Bird-Banding* 38: 173—186.
- SCHAEFER, G. W. (1966): The study of bird echoes using a tracking radar. A synopsis of recent experiments. (Vervielfältigt zu Handen der Teilnehmer am XIV. Int. Orn. Kongr., Oxford.)
- SIIVONEN, L. (1936): Die Stärkevariation des nächtlichen Zuges bei *Turdus ph. philomelos* Brehm und *T. musicus* L., aufgrund der Zuglaute geschätzt und mit der Zugenruhe einer gekäfigten Singdrossel verglichen. *Ornis Fennica* 13: 59—63.
- STEIDINGER, P. (1968): Radarbeobachtungen über die Richtung und deren Streuung beim nächtlichen Vogelzug im Schweizerischen Mittelland. *Orn. Beob.* 65: 197—226.
- SUTTER, E. (1957a): Radar als Hilfsmittel der Vogelzugforschung. *Orn. Beob.* 54: 70—96.
- (1957b): 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. Januar 1960, 1 (8): 1—14.

*P. Steidinger, Bächlistrasse 29a, 8280 Kreuzlingen*

## Die wichtigsten ornithologischen Ereignisse 1970 in der Schweiz

Seltene Brut- oder Artnachweise sowie andere avifaunistisch bemerkenswerte Beobachtungen

von WILLI THÖNEN

Schweizerische Vogelwarte Sempach

*Zu den Quellenhinweisen:* Bereits veröffentlichte Beobachtungen werden mit dem üblichen Literaturhinweis aufgeführt. Die Abkürzung «ID» bezieht sich auf den «Ornithologischen Informationsdienst» der Schweizerischen Vogelwarte, die Zahl dahinter bezeichnet die Nummer des betreffenden Rundschreibens. Der «Ornithologische Informationsdienst» gilt nicht als Publikationsorgan, sondern als persönliches Rundschreiben an die Mitarbeiter der Vogelwarte.