

- BRUDERER, B. (1967): Zur Witterungsabhängigkeit des Herbstzuges im Jura. Orn. Beob. 64: 57—90.
- DE CROUSAZ, G. (1960): Activités de l'Observatoire ornithologique alpin du Col de Bretolet en 1959. Nos Oiseaux 25: 169—194.
- DE CROUSAZ, PH. (1961): Activités de l'Observatoire ornithologique alpin du Col de Bretolet en 1960. Nos Oiseaux 26: 66—78.
- DORKA, V. (1966): Das jahres- und tageszeitliche Zugmuster von Kurz- und Langstreckenziehern nach Beobachtungen auf den Alpenpässen Cou/Bretolet (Wallis). Orn. Beob. 63: 165—223.
- EASTWOOD, E. and RIDER, G. (1966): Grouping of nocturnal migrants. Nature 211: 1143—1146.
- 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.
- (1967): Analyse der Radarechos von Vögeln und Insekten. Orn. Beob. 64: 145—151.
- GODEL, M. und DE CROUSAZ, G. (1958): Studien über den Herbstzug auf dem Col de Cou-Bretolet: Beobachtungs- und Beringungsergebnisse 1951—1957. Orn. Beob. 55: 96—123.
- LACK, D. (1960): The height of bird migration. British Birds 53: 5—10.
- NISBET, I. (1963): Measurements with radar of the height of nocturnal migration over Cape Cod, Massachusetts. Bird-Banding 34: 57—67.
- SCHAEFER, G. W. (1966): The study of bird echoes using a tracking radar. A synopsis of recent experiments. (Vervielfältigt zu Handen von Teilnehmern am XIV. Int. Orn. Kongr., Oxford.)
- SUTTER, E. (1954): Vogelzugbeobachtungen bei Maloja und auf dem Splügenpass im Herbst 1952 und 1953. Orn. Beob. 51: 109—132.
- (1957): Radar als Hilfsmittel der Vogelzugforschung. Orn. Beob. 54: 70—96.
- VUILLEUMIER, F. (1959): Activités de l'Observatoire ornithologique alpin du Col de Bretolet en 1958. Nos Oiseaux 25: 65—78.
- (1963): Factors concentrating fall migration at an alpine pass. Proc. XIIIth Int. Orn. Congr. Ithaca 1962: 485—492.

Dr. W. Gehring, Zoologisches Institut der Universität, Künstlergasse 16, 8006 Zürich

Analyse der Radarechos von Vögeln und Insekten¹

von WALTER GEHRING

Zoologisch-vergl. anatomisches Institut der Universität Zürich

Die Anwendungsmöglichkeiten des Radars für die Vogelzugforschung waren bisher dadurch beschränkt, dass die Art der ziehenden Vögel aufgrund des Radarbildes nicht bestimmt werden konnte. Nur in einzelnen Fällen war es möglich, ein Echo durch gleichzeitige Sichtbeobachtung oder durch seine besondere Charakteristik zu identifizieren. Bisher wurden vorwiegend Überwachungsradargeräte verwendet, welche ein Übersichtsbild liefern, wobei die Hemisphäre des Luftraumes über der Antenne auf eine Bildebene projiziert wird (*Plan position indicator*). Dieses Übersichtsbild gibt uns wertvolle Informationen über die Zugdichte, -Richtung und -Geschwindigkeit, während die Flughöhe an speziellen Höhenmessgeräten bestimmt werden muss.

¹ Ausgeführt mit Unterstützung durch die Stiftung Dr. Fritz Hoffmann-La Roche zur Förderung wissenschaftlicher Arbeitsgemeinschaften in der Schweiz.

Die Echocharakteristik kann jedoch an einem *Zielverfolgungsradar*, wie er für die vorliegenden Untersuchungen verwendet wurde, genauer analysiert werden. Mit solchen Geräten gelingt es, ein einzelnes Objekt über eine längere Strecke automatisch zu verfolgen, seine Flugbahn auszumessen und die Fluktuationen des Echos zu untersuchen. Periodische Fluktuationen der Echos von Vögeln wurden bereits von ROELEFS (1963) nachgewiesen und LA GRONE et al. (1964) registrierten die zeitlichen Schwankungen des Echos bei einem Raubvogel, den sie optisch identifiziert hatten. SCHAEFER (1966) hat begonnen, die Echoanalyse für die Vogelzugforschung einzusetzen. Ausserdem wurde die Echocharakteristik von verschiedenen Insekten untersucht (GLOVER et al., 1966).

Anlässlich einer Radaruntersuchung über die Flughöhe der Zugvögel in den Walliser Alpen, über die in einer andern Arbeit berichtet wird (GEHRING, 1967), unternahmen wir daher die ersten Vorversuche, durch Analyse der Echofluktuationen Hinweise über die Artzugehörigkeit der am Radar beobachteten Vögel zu erhalten.

Das Radargerät wurde uns von der Schweizer Armee zur Verfügung gestellt, und wir möchten Herrn Oberstkorpskommandant STUDER und seinen Mitarbeitern für ihr grosszügiges Entgegenkommen herzlich danken. Besonderer Dank gebührt Herrn MARITZ, der uns als Techniker für diesen Teil der Untersuchungen behilflich war und uns seine Filmkamera zur Verfügung stellte. Meinen Mitarbeitern P. STEIDINGER und CH. IMBODEN sowie Fr. U. LANG bin ich ebenfalls sehr zu Dank verpflichtet. Ausserdem durften wir die hilfreiche Unterstützung durch zahlreiche weitere Personen erfahren, die wir hier leider nicht namentlich aufzählen können.

Methodik

Die Untersuchungen wurden im Oktober 1966 in Planachaux (1782 m über Meer) beim Col de Bretolet in den Walliser Alpen ausgeführt. Es stand uns ein *Zielverfolgungsradar* von 3 cm Wellenlänge zur Verfügung, der es erlaubt, Vögel und Insekten über eine Strecke von mehreren Kilometern zu verfolgen (GEHRING, 1967). Durch Ableitung von der schnellen automatischen Verstärkungsregulierung wurden die Echofluktuationen auf einem *Kathodenstrahl-Oscillographen* aufgezeichnet und mit einer Bolex-Paillard-Kamera gefilmt (Abb. 1—3). Die Zeitablenkung betrug 20 msec (1 Einheit auf der Abszisse = 2 msec). Auf der Ordinate wird die Meßspannung aufgezeichnet, wobei eine Einheit 0,5 V entspricht. Die Belichtungszeit des Einzelbildes betrug 22 msec, das Intervall zwischen zwei Aufnahmen ca. 24 msec. Die Aufzeichnung ist also diskontinuierlich. Da Oscillograph und Kamera nicht synchronisiert waren, erscheinen auf den Bildern zwei Kurven, die um 2 msec. (1 Einheit) überlappen. Auf Bild 11 in Abb. 1 ist gezeigt, wie die Kurven aufgezeichnet werden. Die Aufzeichnung beginnt bei A und verläuft nach B. Dann setzt der Oscillograph wieder bei B' ein, und die Aufnahme endet bei C. Die Pfeile geben die Richtung der Aufzeichnung an. Während den Aufnahmen wurde das Objekt mit einem 12,4fachen *Fernrohr* beobachtet, das in der Radarachse angebracht ist.

Ergebnisse

Die Echos von *Vögeln* zeigen starke Fluktuationen (Abb. 1 und 2). Durch koordinierte optische Beobachtung mit dem Fernrohr konnte eindeutig nachgewiesen

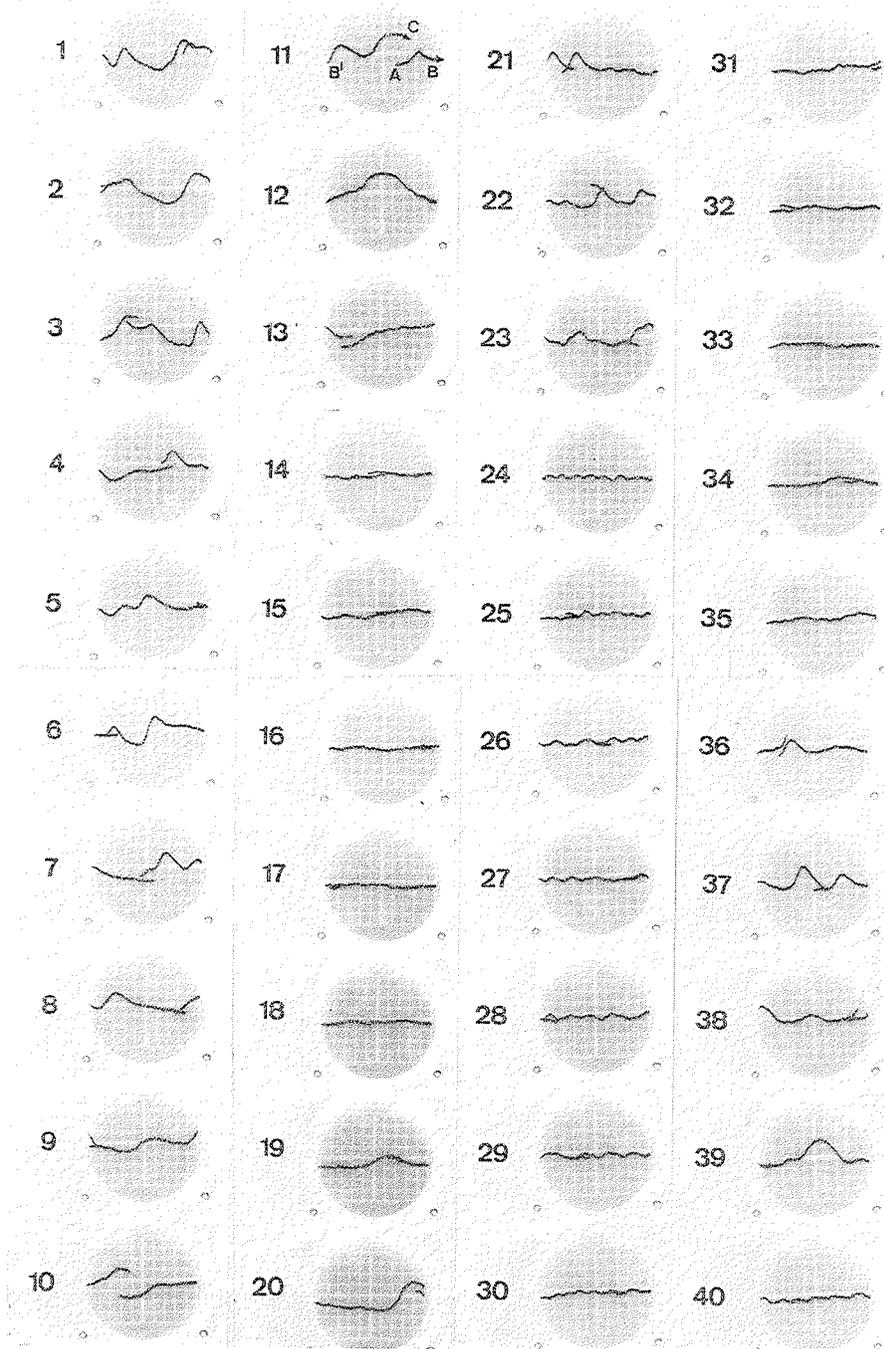


ABB. 1. Fluktuationen des Radarechos eines Kleinvogels. Kinoaufnahmen der Aufzeichnungen auf dem Kathodenstrahl-Oscillographen (Zeitablenkung 20 msec). Belichtungszeit des Einzelbildes 22 msec, Intervall zwischen zwei Bildern 24 msec. 1—40 = Bildnummern. In Bild 11 ist die Art der Aufzeichnung angegeben: A → B, B' → C (Erklärung im Text). Das Echo zeigt Phasen starker Fluktuationen bis zu zwei Einheiten (1,0 V), die den Flügelschlägen des Vogels entsprechen. Dazwischen folgen Ruhephasen, in denen das Signal keine Schwankungen zeigt.

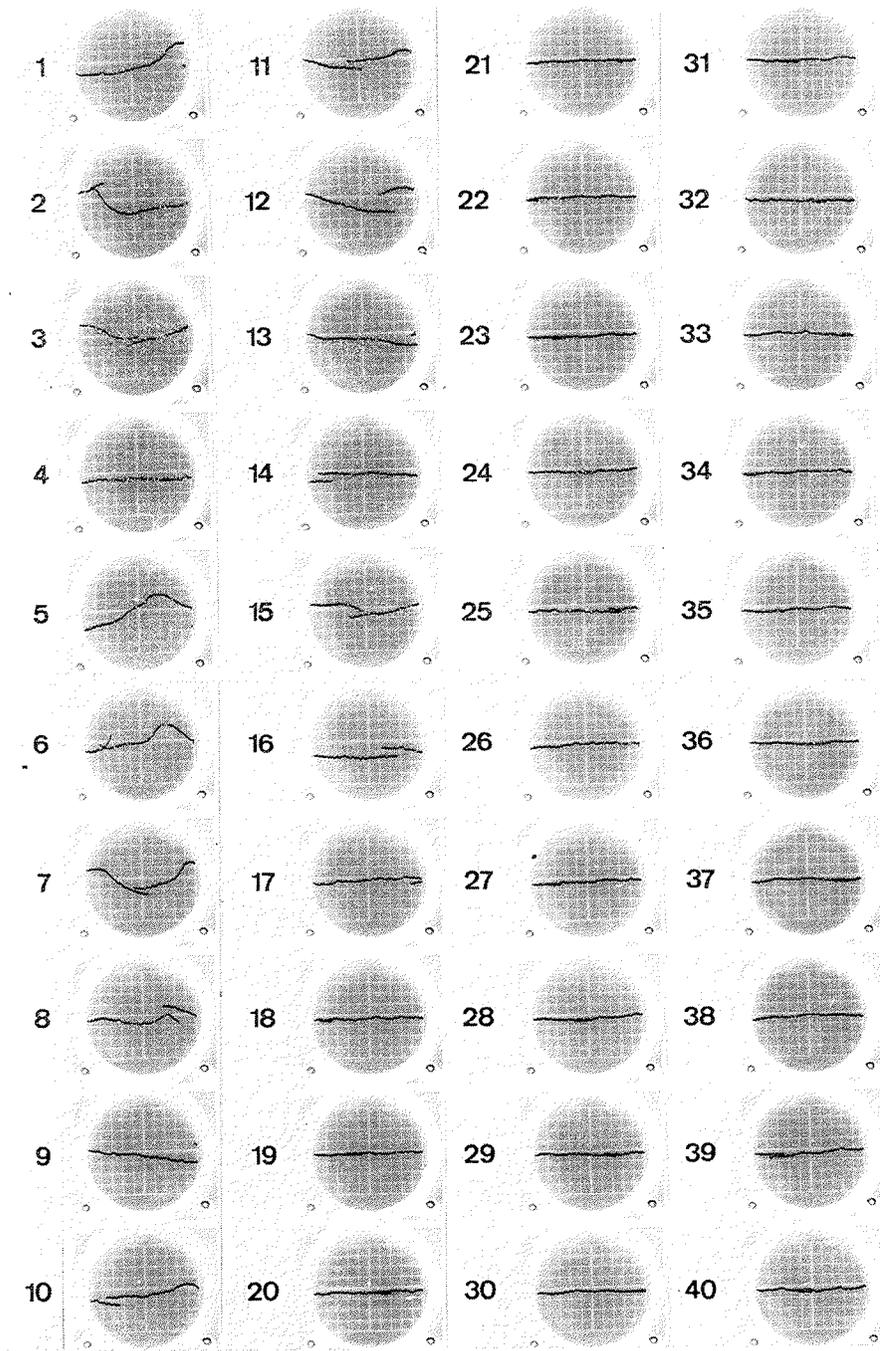


ABB. 2. Fluktuationen des Radarechos eines Falken (*Falco spec.*). Gleiche Aufnahme-
 technik wie in Abb. 1. Die Fluktuationen sind etwa gleich gross, aber deutlich langsamer
 als beim Kleinvogel, entsprechend den langsameren Flügelschlägen des Falken. Von Bild
 18—40 segelt der Falke und das Signal zeigt keine Schwankungen.

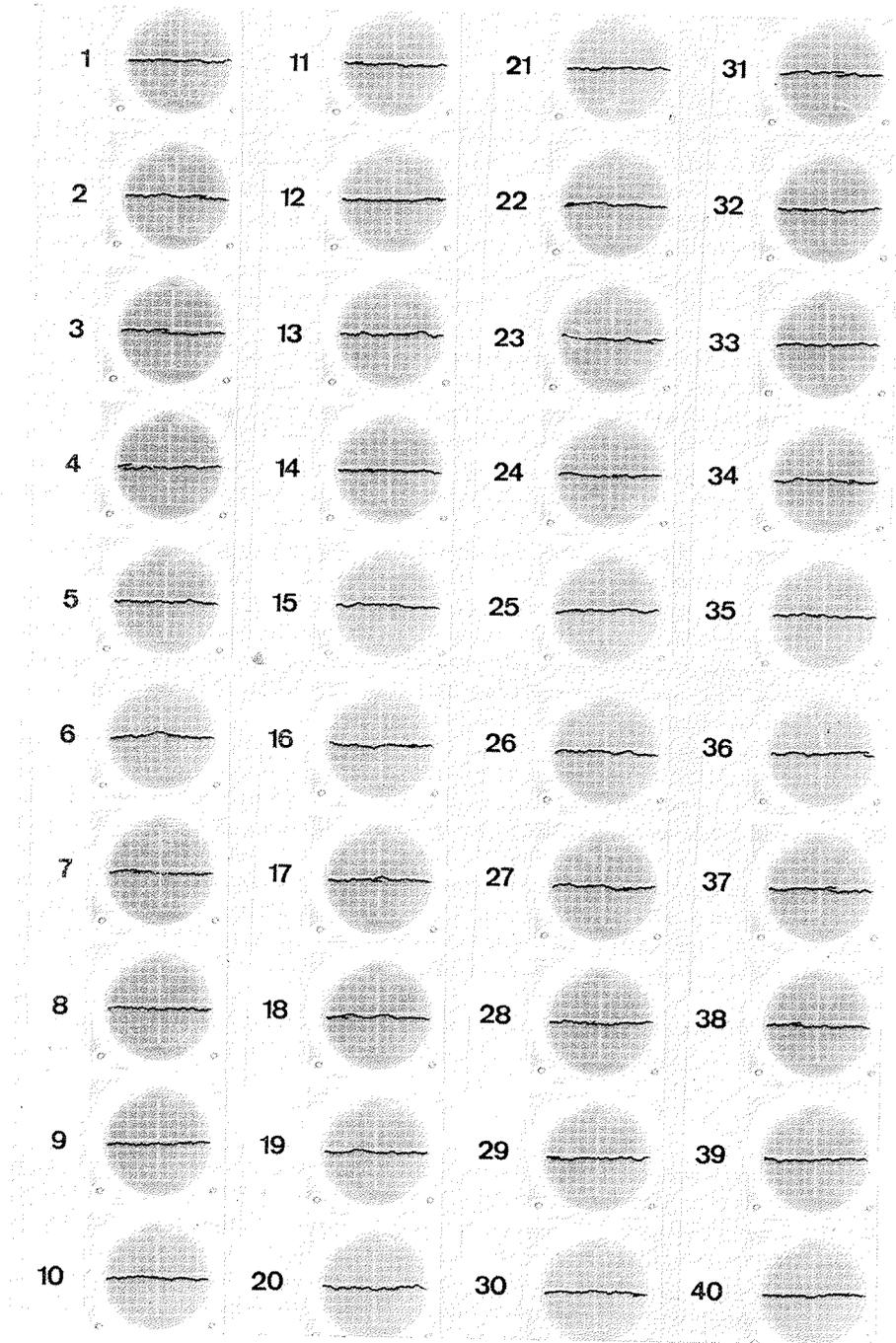


ABB. 3. Fluktuationen des Radarechos eines Schmetterlings. Gleiche Aufnahmetechnik wie in Abb. 1. Das Echo zeigt nur sehr kleine Schwankungen von weniger als einer Einheit (0,5 V) und kann daher von Vogelechos leicht unterschieden werden.

werden, dass die Fluktuationen gleichzeitig mit den Flügelschlägen des Vogels auftreten, während das Signal in den Ruhephasen keine Schwankungen zeigt. Es gelingt also, das Flügelschlagmuster, das bei den verschiedenen Vogelarten oder Artengruppen Unterschiede zeigt, aufzunehmen. Die Unterschiede des Musters beim kleinen Singvogel in Abb. 1 und demjenigen des Falken in Abb. 2 sind deutlich. Sie kommen in der Kinoprojektion noch klarer zum Ausdruck. Während beim Singvogel Phasen rascher Flügelschläge ziemlich regelmässig von Ruhephasen unterbrochen sind, zeigt der Falke langsamere Flügelschläge und lange unregelmässige «Ruhephasen», während welchen er segelt. Mit dieser Beobachtungsmethode wird in Zukunft eine Unterscheidung der Vogelarten oder mindestens Artengruppen allein auf Grund des Radarechos möglich sein. Beim Verfolgen von Vogelschwärmen überlagern sich die Flügelschlagphasen der einzelnen Vögel, so dass unregelmässige Fluktuationen aufgezeichnet werden. Nähert sich der Schwarm jedoch der Radarstation auf kurze Distanz, so wird häufig nur noch ein einzelner Vogel verfolgt und das Flügelschlagmuster kann dennoch analysiert werden.

Auch *Insekten*, die in grosser Zahl über den Pass wandern (AUBERT, 1962 und 1964), wurden verfolgt und ihr Radarecho analysiert. Die optische Identifikation der Insekten im Fernrohr ist nur auf kurze Distanz möglich. Wir konnten bisher einzig Tagschmetterlinge, nämlich Admirale (*Pyrameis atalanta*), identifizieren. Um einen solchen handelt es sich sehr wahrscheinlich in Abb. 3. Beim Schmetterling sind die Fluktuationen des Radarechos sehr viel kleiner als bei Vögeln, so dass die Unterscheidung gut möglich ist.

In der Nacht vom 16. Oktober um 19.53 Uhr gelang es uns, ein Objekt zu verfolgen, dessen Echofluktuationen als ziemlich regelmässige Wellen auf dem Oscillographen aufgezeichnet wurden. Sie wiesen etwa die gleiche Amplitude wie diejenige von Kleinvögeln auf, folgten einander jedoch langsamer. Zeitweise war das Bild auch ähnlich wie beim segelnden Falken. Die Geschwindigkeit des Objektes war niedriger als bei Vögeln, wobei jedoch die Flugrichtung und -Höhe ständig wechselten. Die Flugbahn war daher stark abgewinkelt, während Vögel im allgemeinen eine gerade, SW-gerichtete Flugbahn aufweisen. Diese Beobachtungsdaten scheinen uns darauf hinzudeuten, dass es sich um eine jagende *Fledermaus* handelte. Dies wäre deshalb von Interesse, weil die kürzeste Verbindung zum Boden 700 m betrug, während der Sonar-Kontakt zum Boden nach theoretischen Schätzungen höchstens über 100—200 m Distanz möglich ist (Dr. D. R. GRIFFIN, briefl. Mitt.).

Diskussion

Durch gleichzeitige optische Beobachtung und Analyse des Radarechos von Vögeln konnte der Beweis für die Auffassung von SCHAEFER (1966) erbracht werden, wonach die Fluktuationen des Radarechos dem Flügelschlagmuster des verfolgten Vogels entsprechen. Da das Flügelschlagmuster für bestimmte Vogelarten oder mindestens Artengruppen charakteristisch ist, können diese anhand der Fluktuationen des Radarechos unterschieden werden. Damit eröffnen sich der Vogelzugforschung vor allem beim Studium des nächtlichen Vogelzuges ganz neue Möglichkeiten. Auch die Migrationen der Fledermäuse und Insekten können in Zukunft mit dieser Methode untersucht werden.

Die vorliegende Arbeit ist als Vorversuch gedacht und kann in bezug auf die Methode der Aufzeichnung der Echofluktuationen noch stark verbessert werden.

ZUSAMMENFASSUNG

1. Die Radarechos ziehender Vögel und Insekten wurden auf Planachaux in den Walliser Alpen mit Hilfe eines Zielverfolgungsraders analysiert.
2. Die Fluktuationen der Radarechos wurden durch Ableitung von der automatischen Verstärkungsregulierung auf einem Oscillographen aufgezeichnet und gefilmt. Gleichzeitig wurde das Objekt mit einem in der Radarachse angebrachten Fernrohr beobachtet.
3. Die Radarechos der Vögel zeigen Fluktuationen, die dem Flügelschlagmuster entsprechen. Die Fluktuationen der untersuchten Insektenechos (Schmetterlinge) sind viel kleiner als diejenigen der Vögel. Möglicherweise wurde auch eine Fledermaus registriert.
4. Die verschiedenen Vogelarten oder Artengruppen lassen sich anhand der Echofluktuationen, die durch das unterschiedliche Flügelschlagmuster bedingt sind, unterscheiden.

SUMMARY

1. The radar echoes of migrating birds and insects were analyzed by means of a tracking radar at Planachaux in the Swiss Alps.
2. The fluctuations of the echo signal strength of a tracked object were read out at the automatic amplifier control and recorded with a movie film camera on an oscilloscope. At the same time the object was observed with a telescope mounted on the radar axis.
3. The radar echoes of birds show fluctuations corresponding to their wing beat pattern. The fluctuations of the recorded insects (mainly butterflies) are much smaller than those of birds. Probably a bat showing a different pattern was recorded too.
4. Since the different bird species or at least groups of related species show a typical wing beat pattern, it is possible to identify them by their radar echo.

LITERATUR

- AUBERT, J. (1962): Observations sur des migrations d'insectes au col de Bretolet (Alpes valaisannes, 1923 m). Note préliminaire. Mitt. Schweizer. Entomolog. Ges. 35: 130—138.
- (1964): L'activité entomologique de l'observatoire du col de Bretolet. Bulletin de la Murithienne, Soc. valaisanne Sci. nat. 81: 1—27.
- GEHRING, W. (1967): Radarbeobachtungen über den Vogelzug am Col de Bretolet in den Walliser Alpen. Orn. Beob. 64: 133—145.
- GLOVER, K., K. HARDY, T. KONRAD, W. SULLIVAN and A. MICHAELS (1966): Radar observations of insects in free flight. Science 154: 967—972.
- LA GRONE, A., A. DEAM and G. WALKER (1964): Angels, insects and weather. J. of Research, Radio Science, 68D: 895—901.
- ROELEFS, T. (1963): Characteristics of trackable radar angels. Research Report RS 137, Ithaca, N. Y., Cornell University, Centre for Radio Physics and Space Research. (Original nicht eingesehen.)
- SCHAEFER, G. W. (1966): The study of bird echoes using a tracking radar. A synopsis of recent experiments. (Vervielfältigt zu Handen von Teilnehmern am XIV. Int. Orn. Kongr., Oxford.)

Dr. W. Gehring, Zoologisches Institut der Universität, Kunstlergasse 16, 8006 Zürich