

Zur Registrierung und Interpretation von Echosignaturen an einem 3-cm-Zielverfolgungsradar¹

von BRUNO BRUDERER, Basel

Im Rahmen eines Forschungsprogrammes zum Studium der Witterungsabhängigkeit des Vogelzuges wurden im Frühling und im Herbst 1968 quantitative Untersuchungen über den Zugverlauf im Schweizerischen Mittelland durchgeführt. Im Vordergrund stand die Arbeit mit einem modernen Zielverfolgungsradar, der neben den rein quantitativen Daten auch wertvolle Informationen über die Qualität einzelner Echos lieferte. So konnten anhand von Geschwindigkeits- und Flugwegbestimmungen die ungefähren Anteile der Vögel, sowie der tierischen und nichttierischen Störechos an der Gesamtzahl der festgestellten «angels» ermittelt werden. Nachdem GEHRING (1967) in Vorversuchen mit einem ähnlichen Gerät gezeigt hatte, dass die von SCHAEFER (1966) an einem 10-cm-Zielverfolgungsradar beobachteten Echofluktuationen auch am 3-cm-Radar erkennbar sind, lag es nahe, diese Signale als zusätzliche Hilfsmittel zur Eliminierung unerwünschter Echos herbeizuziehen. Zu diesem Zweck musste primär eine für den Dauerbetrieb geeignete Registrieremethode entwickelt und die praktische Verwendbarkeit der aufgezeichneten Signale für die Unterscheidung der oben genannten Objektklassen überprüft werden. Später wurden die Echosignaturen im Hinblick auf eine mögliche Identifizierung von Arten oder Artgruppen einer detaillierten Analyse unterzogen.

In der vorliegenden Arbeit soll in einem ersten Teil die Qualität der zur Verfügung stehenden Signale aufgrund der methodischen und technischen Gegebenheiten charakterisiert werden. Ein zweiter Teil gilt den praktischen Möglichkeiten der Signaturanalyse bei quantitativen Vogelzug-Studien. Im dritten Teil sollen die besonderen Probleme der Entstehung arttypischer Streuquerschnitt-Variationen im 3-cm-Bereich besprochen werden.

1. Methodische und technische Grundlagen

1.1. Radaranlage und Arbeitsweise

Das verwendete Radargerät ist eine Feuerleitanlage vom Typ «Superfledermaus»; es wurde uns in grosszügiger Weise von der Firma CONTRAVES AG zur Verfügung gestellt. Dank einer engen Bündelung des emittierten Strahles und extrem kurzen Sendeimpulsen können mit diesem Gerät einzelne Kleinvögel in allen drei Dimensionen bis auf wenige Meter genau lokalisiert und bis auf Distanzen von 4 km automatisch verfolgt werden.

Aus der Winkelstellung der Antenne und der Laufzeit der Echoimpulse ergeben sich jeweils die Koordinaten des Zieles, die mit Hilfe eines elektronischen Gebersystems laufend an den Rechenteil des Gerätes weitergeleitet, ausgewertet und auf Messinstrumenten angezeigt werden. Für die Bestimmung von Flugweg und Geschwindigkeit photographierten wir diese Instrumente in Abständen von 30 Sekunden. In der Nacht wurde jedes Objekt während mindestens 1½ Minuten ver-

¹ Die Beobachtungsarbeiten wurden mit Unterstützung der *Stiftung Dr. Fritz Hoffmann-La Roche zur Förderung wissenschaftlicher Arbeitsgemeinschaften in der Schweiz* durchgeführt.

folgt. Bei unruhigem Kurs wurde die Dauer der Registrierung verlängert und die Intervalle zwischen den Aufnahmen wurden auf 15 Sekunden verkürzt. Tagsüber wurden diese Messungen ergänzt durch optische Beobachtungen an einem parallel zum Radarstrahl angebrachten 12,4-fachen Fernrohr. Einzelvögel wurden in der Regel verfolgt, bis sie im Fernrohr nicht mehr sichtbar waren. Sorgfältige Standortwahl und gute Antennencharakteristik des verwendeten Radargerätes erlaubten es, beinahe ungestört von Standzeichen zu arbeiten und Einzelvögel bis in Entfernungsbereiche unterhalb 200 m automatisch zu verfolgen. Die Bedingungen für die optische Identifizierung von Kleinvögeln waren deshalb äusserst günstig.

Um Windeinflüsse berücksichtigen zu können, führten wir täglich zwei bis drei Windmessungen durch: Mit Aluminium-Reflektoren versehene Wetterballone wurden automatisch verfolgt; ihre Position wurde wie bei den Vögeln in Abständen von 30 Sekunden photographisch registriert; die Werte für horizontale und vertikale Geschwindigkeit sowie für den Kurswinkel wurden anschliessend berechnet.

1.2. Entstehung von Echofluktuationen

Veränderungen der Echointensität beruhen entweder auf der Zu- oder Abnahme der Entfernung zwischen Radargerät und Ziel oder auf einer Änderung des sogenannten Streuquerschnittes. Der Streuquerschnitt oder Radarquerschnitt eines Objektes ist eine theoretische Grösse mit der Dimension einer Fläche (cm^2); er gibt an, wie gross der Schattenquerschnitt eines idealen isotropen Streuers (Metallkugel) sein müsste, um das gleiche Echo zu erzeugen wie das betreffende Objekt. Der Streuquerschnitt σ wird bestimmt durch den Streufaktor σ_n (σ normalized) und durch den Schattenquerschnitt, der bei einer Kugel mit dem Durchmesser d eine Fläche von $F = \pi d^2/4$ besitzt. Der Streufaktor hängt für den Spezialfall der Kugel nur von den dielektrischen Eigenschaften des angestrahlten Körpers und von den Grössenverhältnissen zwischen Objektumfang und Wellenlänge λ ab. (Bei komplizierteren Körpern wären noch die Form und der der einfallenden Wellenfront dargebotene Aspekt zu berücksichtigen).

Im *optischen Bereich* (wenn der Objektumfang einem Vielfachen der Wellenlänge entspricht) sind die Beugungseffekte gegenüber den Dimensionen der Kugel gering, so dass mit den Gesetzen der geometrischen Optik gearbeitet werden kann; d. h. das Radarecho besteht nur aus direkt reflektierter Energie und der Streuquerschnitt ist proportional dem Schattenquerschnitt F (vgl. Abb. 1). Der Streufaktor ist in diesem Fall lediglich eine Materialkonstante, die für Metall mit 1 und für Wasser mit 0,57 angegeben werden kann.

Im *Mie-Gebiet* (wenn der Objektumfang in der Grössenordnung der Wellenlänge liegt) kommen zu den direkt reflektierten Wellen die sogenannten Oberflächenwellen hinzu; das sind Anteile der tangential auf die Kugel auftreffenden Wellen, die durch Beugung um die Kugel herum gelenkt werden (vgl. Abb. 2). Je nach Objektumfang sind die Oberflächenwellen mit den direkt reflektierten Wellen in Phase oder sie weisen eine grössere oder kleinere Gangdifferenz auf und bewirken deshalb eine Verstärkung bzw. eine Abschwächung der Hauptwellen. Gemäss diesen Interferenzen schwankt der Streufaktor um den auf direkter Reflexion beruhenden Wert.

Das letzte Maximum des Streufaktors (in Abb. 1 das erste von links!) wird erreicht, wenn Objektumfang und Wellenlänge ungefähr gleich gross sind. Für

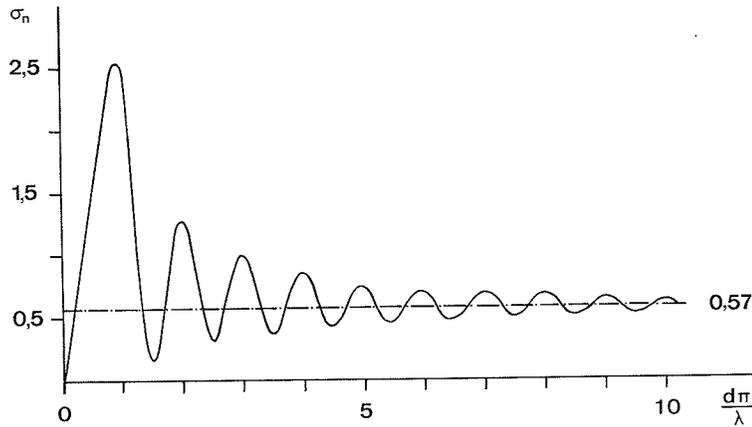


ABB. 1. Streufaktor für Wasserkugeln. Die strich-punktiierte Linie bezeichnet den im optischen Bereich gültigen Wert des Streufaktors. Weitere Erläuterungen im Text. Die Kurve wurde nach Berechnungen von STEPHENS (1961) sowie BATTAN und HERMAN (1962) gezeichnet.

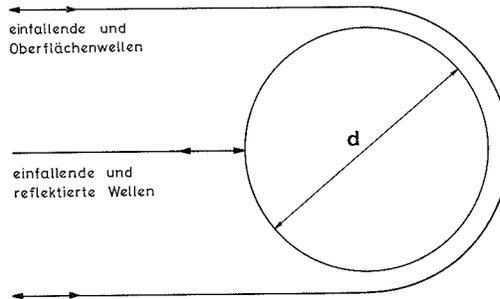


ABB. 2. Modell zur Erklärung der im Zusammenhang mit Flügelschlagbewegungen auftretenden Streuquerschnitt-Variationen. Das Echo eines Vogels beruht grob gesehen auf einer direkt reflektierten Welle und einer Oberflächenwelle, die durch Beugungseffekte um den Körper herum gelenkt wird. Beträgt der Umfang des Körpers ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge, so verstärken sich reflektierte Welle und Oberflächenwelle; der Streufaktor erreicht einen Maximalwert. Vergrössert oder verkleinert man den Umfang um den halben Betrag der Wellenlänge, subtrahieren sich die beiden Teilwellen, was sich in einem minimalen Streufaktor äussert. Dank diesen Phasenverschiebungen zwischen den beiden Teilwellen führen bei kleinen Objekten bereits geringe Veränderungen des Umfanges zu starken Schwankungen des Streuquerschnittes. Ist $d \gg \lambda$, so kann die Oberflächenwelle gegenüber der direkt reflektierten Welle vernachlässigt werden. (Abb. in Anlehnung an JOSS 1964).

kleinere Objekte (*Rayleigh-Bereich*) sinkt der Wert des Streufaktors sehr steil ab. Nach der Rayleigh-Approximation kann er als Funktion von $(d/\lambda)^4$ betrachtet werden; (Streuquerschnitt $\sim d^6/\lambda^4$).

Da alle Vögel von Buchfinken- bis zu Krähengrösse im mittleren bis oberen Mie-Gebiet liegen, ist zu erwarten, dass auch bei geringfügigen Änderungen der Körperproportionen während des Fluges starke Streuquerschnitt-Variationen

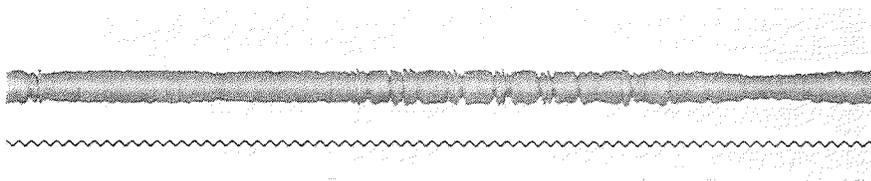


ABB. 3. Mit Hilfe von Spannungsschwankungen der AVR amplitudenmoduliertes 400-Hz-Signal. Als Zeitreferenz ist darunter ein konstantes 50-Hz-Signal wiedergegeben.

auftreten. Die Schwankungen des Streuquerschnittes mit der Zeit ergeben die Echosignatur.

1.3. Registrierung und Auswertung von Echosignaturen

Die von SCHAEFER (1966) und von GEHRING (1967) verwendete filmische Aufzeichnung der Echosignaturen bringt eine endgültige Fixierung der Signale mit sich und erlaubt keine nachträgliche elektronische Umformung mehr. Unsere Bemühungen galten deshalb der Magnetband-Registrierung. Ein Breitband-Recorder mit Frequenzmodulation, der die Aufzeichnung sowohl der Videosignale² als auch der AVR-Signale³ erlaubt hätte, war nicht verfügbar. Wir konzentrierten uns deshalb auf die Bearbeitung der AVR-Signale.

Die Spannungsschwankungen der AVR wurden über eine abgeschirmte Leitung einem 400-Hz-Modulator zugeführt. Mit Hilfe eines Revox-Tonbandgerätes wurde das amplitudenmodulierte 400-Hz-Signal verstärkt und aufgezeichnet. Abb. 3 gibt einen Eindruck von einem in dieser Weise modulierten Signal, wie es beim Abspielen auf einem Kathodenstrahl-Oszillographen sichtbar wird. Am Lautsprecher des Tonbandgerätes konnte das zur Aufzeichnung gelangende Signal mitgehört werden. Auf die zweite Spur des Magnetbandes wurden einerseits die Daten gesprochen, die zur genauen Korrelierung der Bandaufnahmen mit den Flugweg-Registrierungen notwendig waren, andererseits konnte beim Tagzug der Beobachter am Fernrohr Angaben über Artzugehörigkeit und Bewegungsmodus des verfolgten Vogels mittels einer Telefonverbindung direkt auf Band sprechen.

Für die Auswertung wurden die gespeicherten Signale demoduliert, d. h. der 400-Hz-Träger wurde gleichgerichtet und anschliessend durch Filter eliminiert. Das demodulierte Signal konnte auf Schreibern oder Oszillographen optisch dargestellt und an einem Zusatzlautsprecher akustisch wiedergegeben werden. Die Kommentare auf der zweiten Bandspur wurden entweder über Kopfhörer oder über den Revox-Lautsprecher abgehört.

Für die Sichtung und Klassierung des Materials wurde ein Tintenschreiber verwendet, der Frequenzen bis ca. 50 Hz aufzeichnete. Dieser Schreiber ergab infolge einer gewissen Überhöhung der stärkeren Schwingungen besonders prägnante Übersichtsbilder. Ausgewählte Stellen konnten mittels einer 35-mm-Kamera mit kontinuierlichem Filmvorschub und beliebig wählbarer Geschwindigkeit an einem Oszillographen gefilmt werden.⁴ Für die Detailinterpretation wurden mit

² Bildsignal mit sehr breitem Frequenzband.

³ Signal der automatischen Verstärkungsregulierung (siehe Kapitel 1.4.).

⁴ Kamera und Oszillograph wurden mir in freundlicher Weise von Herrn Prof. Dr. H. NÜESCH, Basel, zur Verfügung gestellt.

Hilfe von Niederfrequenzfiltern bestimmte Frequenzbänder herausgeschnitten und auf einem dreispurigen Lichtstrahl-Schreiber parallel aufgezeichnet.

1.4. Charakteristik der AVR-Signale

Die automatische Verstärkungsregulierung (AVR) eines Zielverfolgungsradars ist ein elektrischer Regelkreis, der es erlaubt, die Amplitudenschwankungen der Echos von automatisch verfolgten Objekten so auszugleichen, dass die Intensität der zur Darstellung gelangenden Echos konstant bleibt. Die Reglerspannung gibt in vereinfachter Form (geringere Bandbreite) die Änderungen der Echointensität wieder. Im Gegensatz zu den extrem hochfrequenten Videosignalen können diese Spannungsschwankungen mit Hilfe einer Trägerfrequenz auf einem gewöhnlichen Magnettonband registriert werden.

Im Falle der Superfledermaus ist die AVR zweistufig. Die langsamen Zu- und Abnahmen der Echointensität, wie sie bei der Annäherung bzw. beim Wegfliegen eines Vogels oder bei langsamen Kurswechslern entstehen, werden durch eine erste Stufe mit sehr niederem Frequenzbereich erfasst. Die raschen Echofluktuationen, die z. B. auf der ständigen Formveränderung eines flügelschlagenden Einzelvogels oder auf den relativen Positionsveränderungen der einzelnen Reflexionszentren innerhalb eines Vogelschwarmes beruhen können, werden durch eine zweite Stufe angezeigt und ausgeglichen. Der Frequenzgang dieser zweiten Reglerstufe ist zwischen 6 und 200 Hz nahezu flach; niedrigere und höhere Frequenzen werden stark abgeschwächt. Da die pro Zeiteinheit auftretenden Streuquerschnitt-Änderungen, besonders bei grossen Vögeln, zahlreicher sind als die Flügelschläge (vgl. Kapitel 3), liegen alle für unsere Zwecke erwünschten Frequenzen im Bereich der raschen Verstärkungsregulierung. Dank der Abschwächung der niederen Frequenzen kommen die relativen Streuquerschnitt-Variationen, d. h. die raschen Schwankungen um einen gegebenen Mittelwert, besonders gut zur Geltung. Die Unterdrückung der langsamen Schwankungen (Gleichstromanteil) hat jedoch zur Folge, dass anhand dieses Signales keine Bestimmung der absoluten Rückstreuquerschnitte möglich ist.

2. Praktische Verwendung der AVR-Signale für quantitative Vogelzugstudien

2.1. Unterscheidung von Gruppen und Einzelvögeln

Ein Einzelvogel ergibt ein charakteristisches Muster aus regelmässig sich wiederholenden Phasen mit stärkeren und schwächeren Spannungsschwankungen, die anhand von Tagzugbeobachtungen mit den Phasen starker bzw. geringer Formveränderungen des fliegenden Vogels korreliert werden können (vgl. Abb. 6a). Befinden sich gleichzeitig zwei Vögel im selben Impulsvolumen, überlagern sich die von beiden Objekten reflektierten Teilwellen; das Muster wird aufgrund der Interferenzerscheinungen unregelmässig. Je grösser die Zahl der Reflexionszentren ist, desto seltener werden die «Ruhephasen». Echos von vier und mehr Vögeln fluktuieren praktisch pausenlos. Die Abbildungen 4 und 5 demonstrieren in eindrücklicher Weise das Verschwinden der regelmässigen Einzelvogelsignaturen, wenn ein zweiter oder dritter Vogel in dieselbe Auflösungszelle eindringt. Starke langsame Änderungen der Echointensität (Fluktuationsfrequenz < 6 Hz) werden

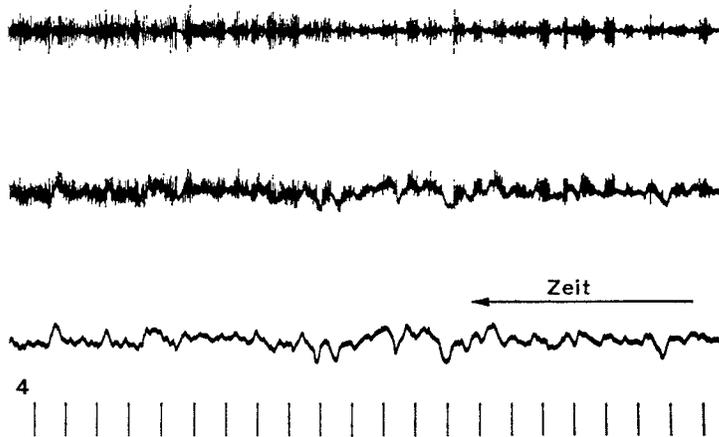


ABB. 4. In der rechten Bildhälfte ist das Flügelschlagmuster einer einzelnen Feldlerche *Alauda arvensis* sichtbar, links davon dasjenige von zwei Lerchen.

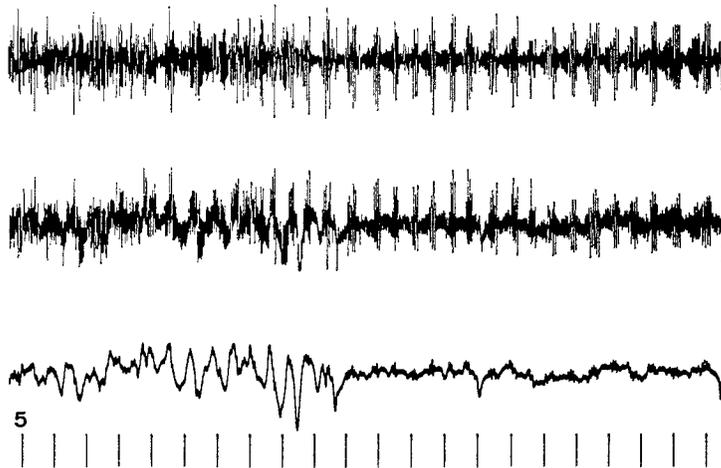


ABB. 5. Ein einzelner Buchfink *Fringilla coelebs* schliesst sich einer Gruppe von 2 bis 3 Vögeln an. — Bei allen Echosignaturen, die mit dem dreispurigen Lichtstrahlschreiber dargestellt wurden, zeigt die unterste Zeile den niedrigen Frequenzanteil des Signals (1—6 Hz), die zweite Zeile den Frequenzbereich von 1—60 Hz und die oberste Zeile nur die Frequenzen zwischen 40 und 60 Hz. Die Zeitskala bezeichnet Intervalle von einer Sekunde und verläuft in allen Abbildungen von rechts nach links.

häufig durch den unruhigen Flug eines Einzelvogels (z. B. Bogenflug einer Bachstelze) oder durch die Bewegung von zwei oder drei Vögeln relativ zueinander verursacht. Bei einer weiteren Zunahme der Schwarmgrösse verringert sich die Amplitude der Echofluktuationen (vgl. Abb. 6). Dieses Phänomen kann daraus erklärt werden, dass mit zunehmendem Unterschied zwischen dem mittleren Rück-

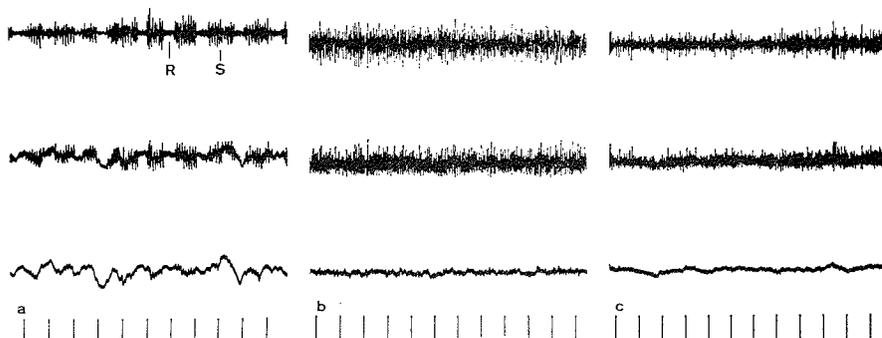


ABB. 6. a) Echosignatur eines einzelnen Stars *Sturnus vulgaris* mit Bezeichnung der Schlagphasen S und der Ruhephasen R. b) Sechs Stare ergeben ein ständig fluktuierendes Echo ohne erkennbare Ruhephasen. c) Bei einem Schwarm von zwölf Staren ist der Einfluss eines Einzelvogels auf den Rückstreuquerschnitt des Gesamtschwarmes so gering, dass die Amplitude der relativen Streuquerschnitt-Variationen kleiner wird.

streuquerschnitt des Gesamtschwarmes (σ) und demjenigen eines Einzelvogels ($\Delta\sigma$) der Einfluss des Einzelvogels auf die Schwankungen des Streuquerschnittes und $\sigma_{\min.}$ nähern sich dabei asymptotisch einem Grenzwert in der Nähe des kleiner wird. Die Extremwerte der relativen Streuquerschnitt-Variationen ($\sigma_{\max.}$ mittleren Streuquerschnittes (σ); (vgl. Abb. 7).

Die anhand dieser Unterscheidungskriterien durchgeführten Erhebungen bestätigten die bereits von SUTTER (1957) und neuerdings von STEIDINGER (1968) geäusserte Vermutung, dass der Nachtzug über dem Schweizerischen Mittelland mehrheitlich aus Einzelvögeln besteht. Tagzugechos sind in der Regel auf Gruppen von Vögeln zurückzuführen. Simultane Beobachtungen am Fernrohr des Radargerätes zeigten, dass der grösste Teil dieser Gruppen Kleinvogelschwärme sind, deren Individuenzahl sich im Herbst meist in der Grössenordnung von 5 bis 30, im Frühling von 2 bis 12 Exemplaren bewegt.

2.2. Eliminierung unerwünschter Echos

Ein grosser Teil der Störechos (d. h. Echos, die nicht von Vögeln stammen) lässt sich anhand ihrer Eigengeschwindigkeit ($v_E = \text{air speed}$)⁵ ausscheiden. Wir arbeiteten mit den folgenden Geschwindigkeitsklassen:

Gruppe 1: $v_E < 1 \text{ km/h}$

Gruppe 2: $v_E = 1-30 \text{ km/h}$

Gruppe 3: $v_E = 30-100 \text{ km/h}$

Gruppe 4: $v_E > 100 \text{ km/h}$

Nach den Angaben von SCHMIDT (1960) und von SCHAEFER (1968) sind Vögel nur in der dritten Klasse zu erwarten. Die zusätzliche Verwendung der AVR-Signale erlaubt einerseits eine Erhärtung der anhand von Geschwindigkeitsmessungen vorgenommenen Gruppierung, andererseits dürfte damit die Ausscheidung von rasch fliegenden Fledermäusen und Insekten aus der Gruppe 3 möglich sein. Die in den vier Geschwindigkeitsklassen auftretenden Echosignaturen lassen sich aufgrund von Beobachtungen oder theoretischen Überlegungen auf folgende Objekte zurückführen:

⁵ $v_E = v_H - v_W$; wobei $v_H =$ gemessene Horizontalgeschwindigkeit (ground speed); $v_W =$ die Horizontalgeschwindigkeit beeinflussende Windkomponente.

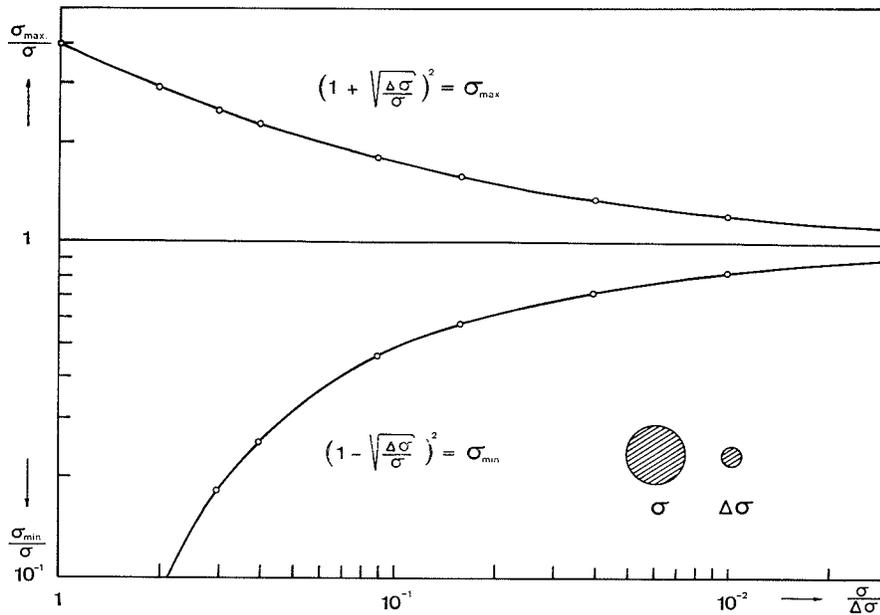


ABB. 7. Theoretische Erklärung zur Abnahme der relativen Streuquerschnitt-Variationen mit zunehmender Schwarmgrösse (nach JOSS, unpubl.).

Gruppe 1: Punktechos mit reiner Winddrift- oder Vertikalbewegung ergeben keine deutlichen Spannungsschwankungen der AVR. Sie könnten nach ATLAS (1964) von kleinräumigen Unregelmässigkeiten im Brechungsindex der Luft stammen. Auch SCHAEFER (1966, 1968) glaubt an den meteorologischen Ursprung solcher Echos. Nach Angaben von JOSS (pers. Mitt.) genügen die Rückstreuquerschnitte solcher Turbulenzen jedoch nur in Ausnahmefällen, um in Radargeräten mittlerer Empfindlichkeit sichtbare Echos zu erzeugen. Eher zu erwarten sind mit dem Wind oder der Konvektion driftende Insekten. (Vgl. dazu auch LA GRONE et al. 1964 und HARDY 1968).

Gruppe 2: In dieser Gruppe ist gemäss einer Geschwindigkeitstabelle von SCHMIDT (1960) die Hauptmasse der Insekten zu erwarten. Über den Wiesen in der Nähe des Radargerätes herrschte tagsüber oft ein wahres Gewimmel von Kleininsekten, die auf dem Distanzindikator unseres Gerätes ähnlich in Erscheinung traten wie sehr schwache Regenechos, d. h. die A-Spur war bis zu Entfernungen von 500 m bedeckt mit schwachen Echos, die keine sauberen Konturen aufwiesen, sondern in einzelne — der Radarfrequenz entsprechende — Impulse aufgelöst schienen, was ihnen einen etwas «ausgefranst» Aspekt verlieh. Waren diese Echos in geringer Zahl vorhanden, konnten einzelne davon automatisch verfolgt werden. Nach den bisherigen Beobachtungen ergeben Insekten im allgemeinen keine deutlichen Schwankungen der Reglerspannung (vgl. Abb. 8). Dies dürfte meist auf den zu geringen Streuquerschnitten der Einzeltiere oder Gruppen beruhen. Grössere Insekten (z. B. SpHINGIDEN), die bei einer Wellenlänge von 3 cm im oberen Teil des Rayleigh-Reflexionsgebietes liegen, reflektieren jedoch bei geringer Entfernung

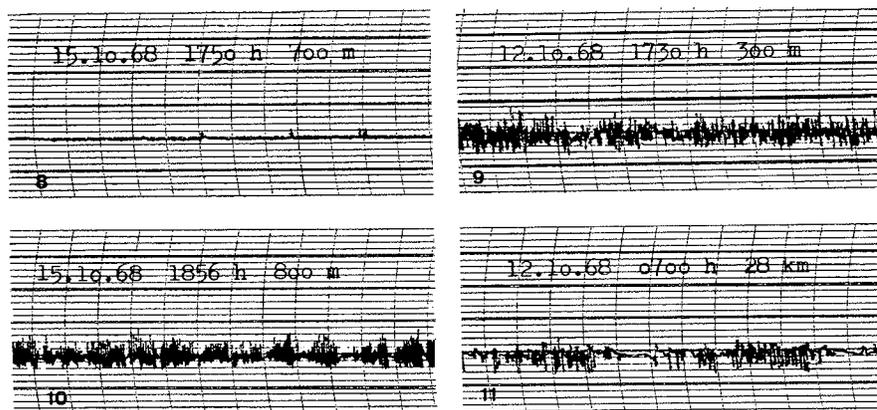


ABB. 8. Insektenecho mit Angabe von Datum, Zeit und Entfernung. Die Skalenstriche des Zeitmaßstabes bezeichnen in allen Abbildungen Sekundenintervalle.

ABB. 9. Echosignatur einer Fledermaus. Die Signatur ist vergleichbar mit derjenigen eines kleinen Vogelschwarmes.

ABB. 10. Typisches Muster eines Einzelvogels aus dem Nachtzug, wie es im Übersichtsbild des Tintenschreibers zur Darstellung gelangt.

ABB. 11. Passagierflugzeug vom Typ DC 9 in einer Entfernung von 28 km (Ansicht schräg von hinten). Die Unregelmässigkeit des Musters sowie das Fehlen von raschen Fluktuationen über längere Strecken sind Merkmale von Flugzeugechos.

sicher genügend Energie, um die Verstärkungsregulierung zu aktivieren. Entsprechend den geringen Körperdeformationen während der Flügelschläge sind jedoch geringe Amplituden der Echofluktuationen zu erwarten, deren Frequenzen zudem oft über dem mit dem Schreiber dargestellten Bereich liegen dürften. — Nach den Angaben von NATUSCHKE (1960) über die Fluggeschwindigkeiten und von BAUMANN (1949) über die geographische Verbreitung von Fledermäusen, fällt auch der grösste Teil der bei uns heimischen Chiropteren in diese Geschwindigkeitsklasse. Abb. 9 zeigt das unregelmässige Fluktuationmuster einer Fledermaus. Die abrupten Kurswechsel dieser Tiere — die auch in den Flugwegberechnungen zum Ausdruck kommen — führen zu einer unruhigen Verfolgung; die Fledermäuse entfernen sich dabei oft aus dem Zentrum des Radarstrahls, wodurch die reflektierte Energie in unregelmässigen Abständen stark absinkt.

Gruppe 3: Diese Gruppe wird zur Hauptsache aus Vogeleos gebildet, die im Nachtzug meist die bekannten regelmässigen Fluktuationenmuster von Einzelvögeln (Abb. 10) und im Tagzug die kontinuierlich rasch fluktuierenden Echos von Vogelschwärmen (Abb. 6 b, c) ergeben. Auch die zuweilen auftretenden Echos mit unregelmässigen kurzen Ruhephasen können in der Regel Kleingruppen von Vögeln zugeordnet werden. Fledermäuse ergeben zwar ähnliche Muster (Abb. 9), dürften aber dank ihrer häufigen Kurswechsel meist mit Hilfe von Flugwegberechnungen eliminierbar sein. Ausserdem sind Fledermäuse dieser Geschwindigkeitsklasse eher selten (nur Zwergfledermaus *Pipistrellus pipistrellus* und Abendsegler *Nyctalus noctula*).

Einzelexemplare von rasch fliegenden Kleininsekten (z. B. Syrphiden) dürften anhand der geringen AVR-Schwankungen leicht erkennbar sein. Ob einzelne

Grossinsekten (Sphingiden), dank hoher Flügelschlagfrequenz und geringer Körperdeformation während der Schlagbewegungen, immer von Vögeln unterschieden werden können, steht nicht fest. Mehrere innerhalb eines Impulsvolumens fliegende Grossinsekten dürften kaum von kleinen Vogelschwärmen unterscheidbar sein. Bei grossen Insektenschwärmen sind geringe Ausschläge der Reglerspannung zu erwarten (vgl. Abb. 7).

Gruppe 4: Ziele mit Eigengeschwindigkeiten über 100 km/h können normalerweise bereits auf dem Plan-Positions- oder Distanz-Indikator als Flugzeuge angesprochen werden. Wie aus Abbildung 11 hervorgeht, zeigen Flugzeugechos komplizierte Fluktuationismuster mit den verschiedensten Frequenzen und Amplituden. Längere Phasen mit geringen Schwankungen wechseln ohne einen erkennbaren Rhythmus mit Phasen rascher und starker Fluktuationen. Die Tatsache, dass trotz der Starrheit des ganzen Körpers Schwankungen der Reglerspannung entstehen, kann dadurch erklärt werden, dass sich je nach Lage des Flugzeuges die Hauptreflexionsorte auf den einzelnen Teilen der Maschine gegeneinander verschieben.

3. Probleme der Artbestimmung am 3-cm-Radar

3.1. Kriterien der Artbestimmung

Wie bei der Ausscheidung von Störechos, so dürfte auch in diesem Fall die Geschwindigkeit ein wertvolles Hilfsmittel sein. Ein Katalog von Fluggeschwindigkeiten könnte eine Unterteilung der vorhandenen Artenvielfalt in vielleicht 10 Gruppen ermöglichen. Die Echosignaturen erlauben eine weitere Charakterisierung dieser Gruppen. Schon im Übersichtsbild sind einzelne Artgruppen anhand der Länge von Schlagphasen und Ruhephasen unterscheidbar. So können z. B. die Stelzen aufgrund der längeren Intervalle gegen die Finken abgegrenzt werden (vgl. Abb. 12 und 13). Das aus Abb. 4 bekannte Muster der Feldlerche zeigt etwas längere Schlagphasen als das Finkenmuster und deutlich kürzere Intervalle als das Stelzenmuster. Beim Star (Abb. 6a) und vor allem bei der Misteldrossel (Abb. 14) treten häufig sehr lange Schlagphasen auf. Erstaunlich regelmässige Muster mit Schlagphasen von ähnlicher Länge und äusserst kurzen Ruhephasen sind in grosser Zahl im Nachtzug festzustellen (Abb. 16). Am ehesten mit solchen Flügelschlagmustern vergleichbar sind die Flugformen kleiner Limicolen.

Es stellt sich nun die Frage, ob bei einer weiteren Dehnung der Echosignaturen nicht die einzelnen Flügelschläge erkennbar und damit eine Artbestimmung anhand der Flügelschlagfrequenz möglich werden könnte. SCHAEFER (1968) nimmt an, dass sich am 10-cm-Radar die einzelnen Intensitätsschwankungen der Echos direkt mit den Flügelschlägen der Vögel korrelieren lassen, dass also die Fluktationsfrequenz der Echos und die Flügelschlagfrequenz identisch sind. Unsere eigenen Beobachtungen haben gezeigt, dass diese Annahme, zumindest am 3-cm-Radar, nicht immer zutrifft. Es gilt deshalb im Folgenden zu klären, wieviele Ausschläge der Reglerspannung bei verschiedenen Vogelarten auf einen Flügelschlag entfallen. Eine theoretische Erklärung der beobachteten Phänomene soll schliesslich die Möglichkeiten und die Grenzen der Artbestimmung aufgrund der Echofluktationsfrequenz umreissen.

Im Frühling 1969 wurden zusätzlich Messungen der absoluten Rückstreuquerschnitte vorgenommen, die eine Aussage über das ungefähre Gewicht der verfolgten Vögel erlauben.

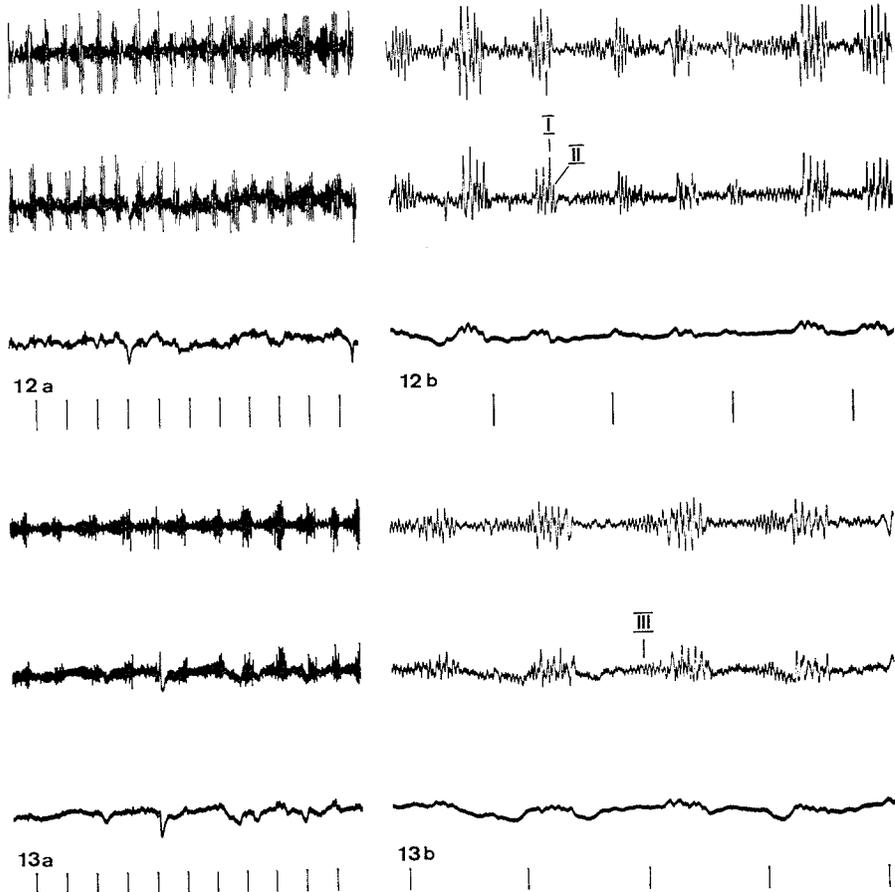


ABB. 12. a) Echosignatur eines Buchfinks *Fringilla coelebs* in der üblichen Darstellungsweise. b) Signatur eines Buchfinks in vierfacher Dehnung. Für die Erklärung von Hauptpeak I und Nebenpeak II siehe Text.

ABB. 13. a, b) Echosignaturen einer Bachstelze *Motacilla alba*. Die kleinen Spitzen III werden durch das Radargerät verursacht und sind daher für uns bedeutungslos (siehe Text).

3.2. Flügelschlagfrequenz und Echofluktuationsfrequenz

3.2.1. Beobachtungen:

Ein aufschlussreiches Beispiel zu diesem Problem ist das Flügelschlagmuster einer Rabenkrähe (Abb. 15), deren Flügelschlagfrequenz am Fernrohr des Radargerätes direkt ausgezählt und auf Band gesprochen werden konnte. Der Vogel hielt über weite Strecken eine konstante Schlagfrequenz von 3 bis 4 Hz ein, wobei die Flügelschlagbewegungen ohne Ruhepause ineinander übergingen. Offenbar tritt innerhalb eines solchen Bewegungsablaufes eine kurze Phase mit relativ geringen Formveränderungen des Körpers auf, so dass auch die Veränderungen des Streuquerschnittes gering werden. Jeder Flügelschlag gelangt dabei als Bündel von drei,

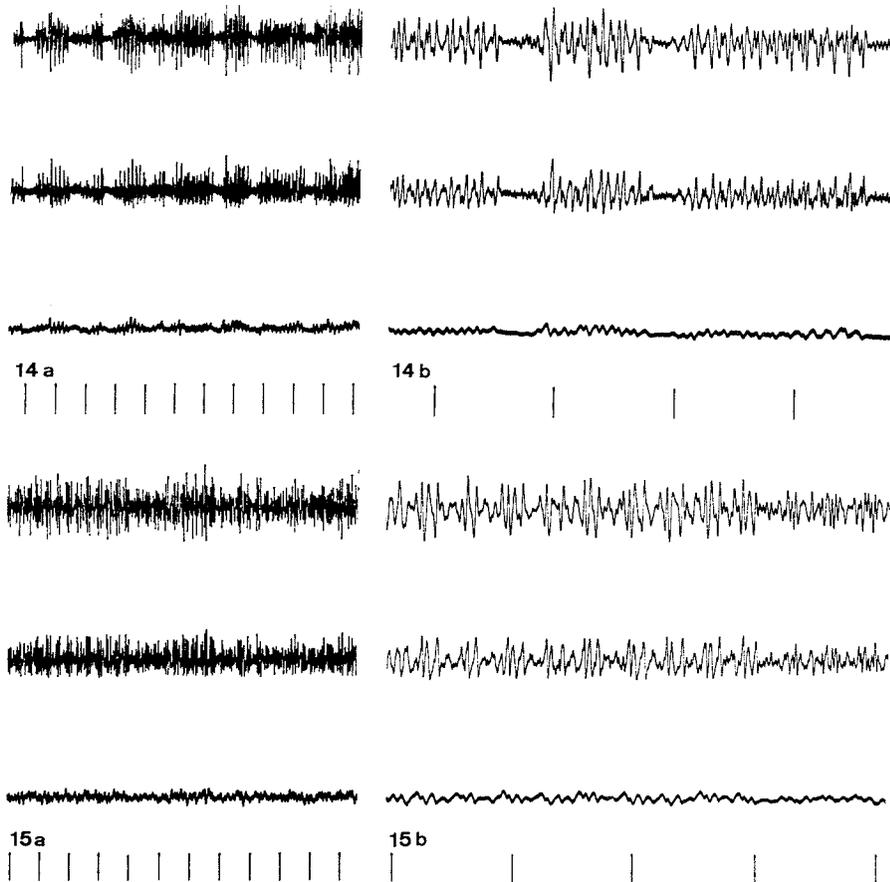


ABB. 14. a, b) Echosignaturen einer Misteldrossel *Turdus viscivorus*.

ABB. 15. a, b) Echosignaturen einer Rabenkrähe *Corvus corone*. Pro Flügelschlag sind drei bis vier Ausschläge der Reglerspannung zu erkennen.

zuweilen vier Ausschlägen der Reglerspannung zur Darstellung. Bei der Misteldrossel in Abb. 14 erkennen wir bei einer Flügelschlagfrequenz von rund 10 Hz meist $1\frac{1}{2}$ bis 2 Spannungsschwankungen pro Flügelschlag. Beim Buchfink in Abb. 12 ist (am besten ganz rechts aussen) eine Schlagfrequenz von 17 Hz auszählbar. Man beachte aber, dass zu jedem Hauptpeak (I) der Echosignatur ein Nebenpeak (II) gehört. Am linken Bildrand und in der Mitte der Abbildung sind Haupt- und Nebenpeaks gleich gross; daraus resultiert eine Verdoppelung der Echofluktuationsfrequenz gegenüber der Flügelschlagfrequenz. Die Schlagfrequenz der Bachstelze liegt in der selben Grössenordnung; auch in diesem Muster treten Nebenpeaks auf (Abb. 13). Die zusätzlich vorhandenen kleinen Spitzen (III), die vor allem in den «Ruhephasen» (= Absinkphasen) sichtbar werden, beruhen auf der Rotation des Primärstrahlers und sind deshalb immer dann am stärksten, wenn der Vogel nicht genau im Zentrum des Radarstrahles fliegt; diese technisch

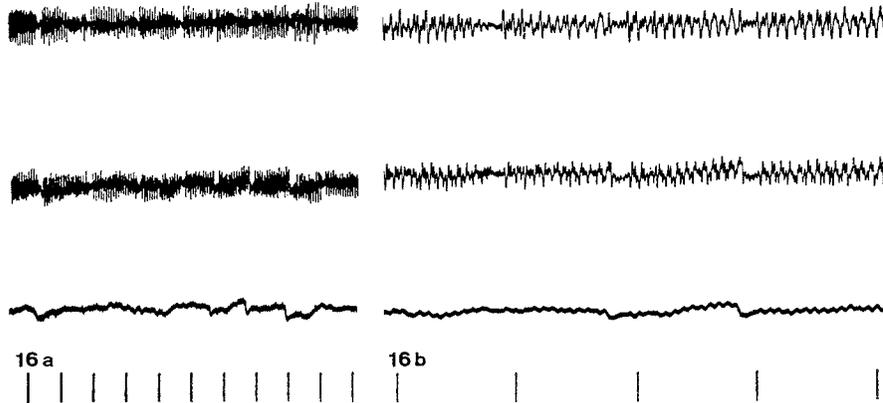


ABB. 16. a, b) Im Nachtzug treten oft sehr regelmässige Muster mit langen Schlagphasen und extrem kurzen Ruhephasen auf. Diese Muster sind vermutlich auf Limicolen zurückzuführen.

bedingten Störfrequenzen treten zuweilen auch innerhalb von «Schlagphasen» auf, sind aber aufgrund ihrer geringen Amplitude von echten Nebenpeaks unterscheidbar.

3.2.2. Theoretische Erklärung:

Die grundlegenden Überlegungen und Messungen über die Reflexionseigenschaften von Vögeln in Bezug auf Radarwellen im X-Band-Bereich (= 3-cm-Bereich) sind von HOUGHTON (1964) publiziert worden. Es gelang HOUGHTON zu zeigen, dass die Reflektivität des Vogelkörpers durch das Federkleid, sowie durch die ausgebreiteten oder geschlossenen Flügel nur unwesentlich beeinflusst wird. Hauptreflexionsort muss der stark wasserhaltige Kopf-Rumpf-Komplex sein. Der mittlere Rückstreuquerschnitt eines Vogels stimmt in guter Näherung mit demjenigen einer Wasserkugel gleicher Masse überein. Von SCHAEFER (1968) wurden die Berechnungen auf Rotationsellipsoide mit den Achsenverhältnissen des Vogelkörpers ausgedehnt. Er wies nach, dass Änderungen der kleineren Achse um 10 % genügen, um Streuquerschnitt-Variationen bis zu 100 % zu erzeugen. Da Rotationsellipsoide jedoch nur bei genau definierter Stellung bezüglich der auftreffenden Wellenfront eine bessere Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse ergeben als Kugeln, denken wir uns im Folgenden die Vögel ersetzt durch die gewichtsäquivalenten Wasserkugeln.

In Abb. 17 sind die Streuquerschnitte von Wasserkugeln in Abhängigkeit von $d\pi/\lambda$ aufgetragen. Für Kugeldurchmesser $< 3,5$ cm konnten die entsprechenden Streuquerschnitte einer Tabelle von STEPHENS (1961) entnommen werden. Die restlichen Werte bis zu $d = 10$ cm wurden Figuren von BATTAN und HERMAN (1962) entnommen. In unserem Falle ist die Wellenlänge $\lambda \sim \pi$ cm, so dass die Zahlen auf der Abszisse direkt dem Durchmesser in cm entsprechen. Wird nun für einen Vogel von bekanntem Gewicht der Durchmesser der Wasserkugel gleichen Gewichts berechnet, so kann der ungefähre Wert seines mittleren Streuquerschnittes in der Kurve abgelesen werden. In Tabelle 1 sind das durchschnittliche Gewicht verschiedener Vogelarten (nach NIETHAMMER 1937—42), der Durchmesser

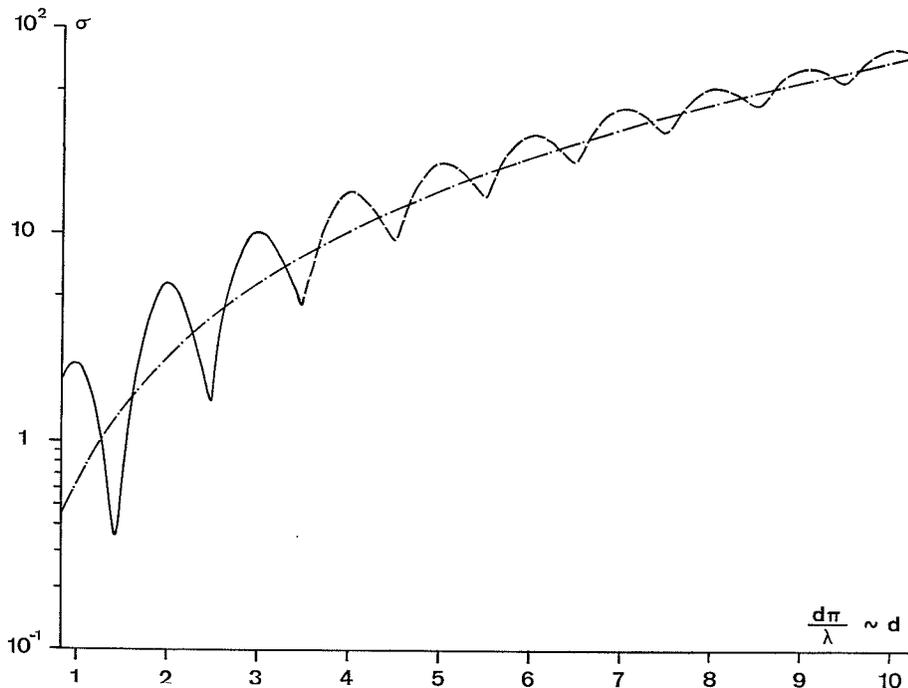


ABB. 17. Streuquerschnitte von Wasserkugeln in Abhängigkeit von der Umfang/Wellenlänge-Relation. Die Zahlen auf der Abszisse entsprechen im Falle des 3-cm-Radars ungefähr dem Durchmesser der Kugeln in cm (σ wird in cm^2 gemessen).

der äquivalenten Kugel sowie die im Zusammenhang mit den Flügelschlägen zu erwartenden Abweichungen von diesem Mittelwert eingetragen.

Die Flügelschlagbewegungen haben Veränderungen des Umfanges zur Folge, die gemäss dem vereinfachten Modell in Abb. 2 Phasenverschiebungen der Oberflächenwelle gegenüber der direkt reflektierten Welle verursachen. Während einer vollständigen Flügelschlagbewegung durchläuft der Umfang Werte, die der Reihe nach einem minimalen, einem maximalen und schliesslich wieder einem minimalen Durchmesser entsprechen. Die in Abb. 18 eingezeichneten Streuquerschnitt-Variationen werden also bei jedem Flügelschlag einmal in positiver und einmal in negativer Richtung durchlaufen. Optische Beobachtung und Identifizierung von automatisch verfolgten Vögeln haben gezeigt, dass die auftretenden Echofluktuationen mit Durchmesservariationen der äquivalenten Kugel von $\pm 6\%$ erklärt werden können. Der Verlauf des Streuquerschnittes während eines Flügelschlages ist in Abb. 18 dargestellt. Die zugehörige Tabelle 2 zeigt in der ersten Kolonne die Zahl der Hauptpeaks, während in der zweiten und dritten Kolonne Zahl und ungefähre Höhe der Nebenpeaks angegeben sind, wie sie aus Abb. 18 hervorgehen. (Die Amplitude der Nebenpeaks ist in Vierteln der Hauptpeaks ausgedrückt.) Kolonne 4 zeigt die Zahl der praktisch zu erwartenden Peaks.

Aus Tabelle 2 ist einerseits der allgemeine Trend zur Zunahme der Fluktuationen pro Flügelschlag in Funktion der Körpergrösse ersichtlich, andererseits

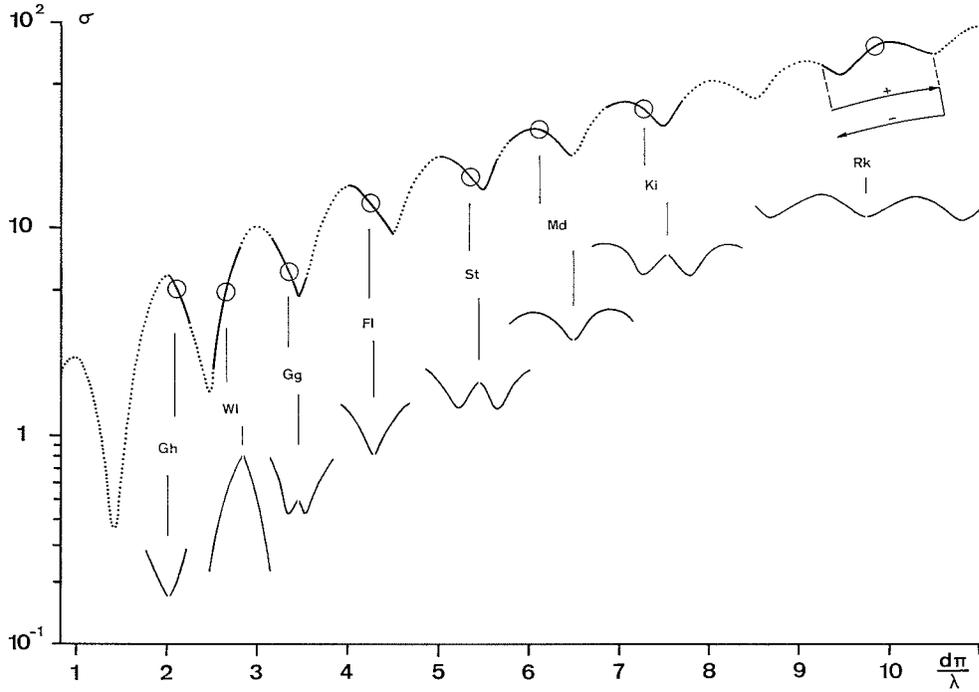


ABB. 18. Die mittleren Streuquerschnitte der acht Vogelarten aus Tabelle 1 sind als Kreise in die Streuquerschnitt-Kurve von Wasserkugeln eingetragen und mit folgenden Abkürzungen bezeichnet: Goldhähnchen = Gh, Waldlaubsänger = Wl, Gartengrasmücke = Gg, Feldlerche = Fl, Star = St, Misteldrossel = Md, Kiebitz = Ki, Rabenkrähe = Rk. Die während eines Flügelschlages zu erwartenden Abweichungen vom Mittelwert sind als ausgezogene Linie angedeutet. Dieser Weg wird während eines Flügelschlages einmal in positiver und einmal in negativer Richtung durchlaufen. Die daraus resultierenden Streuquerschnitt-Schwankungen sind unterhalb der Kurve in ihrem relativen Verlauf aufgezeichnet.

TABELLE 1. Durchmesser der äquivalenten Kugeln für acht Vogelarten, sowie Abweichungen von $\pm 6\%$ von diesem Durchmesser (Angaben in cm).

Vogelart	Gewicht (g)	d	äquivalente Kugel		
			6% von d	d-6%	d+6%
Goldhähnchen <i>Regulus spec.</i>	5	2,12	0,127	1,99	2,25
Waldlaubsänger <i>Phylloscopus sibilatrix</i>	10	2,67	0,160	2,51	2,83
Gartengrasmücke <i>Sylvia borin</i>	20	3,37	0,202	3,17	3,57
Feldlerche <i>Alauda arvensis</i>	40	4,25	0,255	3,99	4,51
Star <i>Sturnus vulgaris</i>	80	5,35	0,318	5,03	5,67
Misteldrossel <i>Turdus viscivorus</i>	115	6,04	0,362	5,68	6,40
Kiebitz <i>Vanellus vanellus</i>	200	7,26	0,435	6,82	7,70
Rabenkrähe <i>Corvus corone</i>	500	9,85	0,591	9,26	10,44

zeigt es sich, dass Ausnahmen von dieser Regel (z. B. Gartengrasmücke) möglich sind. Zusätzliche Nebenpeaks treten immer dann auf, wenn der mittlere Streuquerschnitt eines Vogels nahe bei einem Maximum oder bei einem Minimum der Streuquerschnitt-Kurve liegt. Liegt er direkt auf oder unmittelbar neben einem Extrem-

TABELLE 2. Streuquerschnitt-Schwankungen der äquivalenten Kugel während einer Durchmesseränderung, die einem Flügelschlag entspricht.

Vogelart	Streuquerschnitt-Schwankungen pro Flügelschlag			
	theoretisch gemäss Abb. 18		praktisch zu erwartende Peaks	
	Hauptpeaks	Nebenpeaks Zahl Höhe		
Goldhähnchen <i>Regulus spec.</i>	1	—	—	1÷2
Waldlaubsänger <i>Phylloscopus sibilatrix</i>	1	—	—	1÷2
Gartengrasmücke <i>Sylvia borin</i>	1	1	1/2	1÷2
Feldlerche <i>Alauda arvensis</i>	1	—	—	1÷2
Star <i>Sturnus vulgaris</i>	1	1	3/4	1 1/2 ÷ 2
Misteldrossel <i>Turdus viscivorus</i>	1	1	3/4	1 1/2 ÷ 2
Kiebitz <i>Vanellus vanellus</i>	2	1	1/4	2 ÷ 3
Rabenkrähe <i>Corvus corone</i>	2	1	3/4	2 1/2 ÷ 4

wert, wie zum Beispiel der Streuquerschnitt des Buchfinks (Gewicht der äquivalenten Kugel = 22 g; $d = 3,48$), so können die Nebenpeaks die Grösse von Hauptpeaks erreichen; damit wird die Fluktuationszahl gegenüber der Flügelschlagzahl verdoppelt (vgl. Kapitel 3.2.1.). Aus Abb. 18 wird ersichtlich, dass äusserst geringe Abweichungen von den verwendeten mittleren Körpergewichten zu einem deutlich veränderten Fluktuationsbild führen können. So entspricht z. B. die in Abb. 15 dargestellte Rabenkrähe nicht genau einer Kugel mit dem Gewicht von 500 g. Bei einem Kugel-Gewicht von 490—495 g würden pro zweimalige Durchmesseränderung von 12 % drei Ausschläge der Reglerspannung von \pm gleicher Höhe entstehen; bei einem Gewicht von 480—485 g wäre zusätzlich noch ein Nebenpeak zu erwarten. Betrachten wir in Abb. 15 die mittlere Spur mit dem breitesten Frequenzband (1 — 60 Hz), so erkennen wir in der Regel drei und ab und zu vier Ausschläge der AVR.

Es ist evident, dass die Mehrdeutigkeit der Streuquerschnitt-Variationen im Mie-Gebiet die Ermittlung der Flügelschlagfrequenz erschwert. Die zusätzliche Bestimmung des Gewichts anhand des mittleren Streuquerschnittes sollte aber in Verbindung mit allen übrigen in Kapitel 3.2.1. genannten Kriterien in absehbarer Zeit eine Identifizierung von Vogelarten am 3-cm-Radar ermöglichen.

4. Diskussion

Die dargestellten Resultate zeigen, dass beim 3-cm-Radar für die Aufzeichnung von Echosignaturen nicht unbedingt die breitbandigen Spannungsschwankungen des Videosignals verwendet werden müssen. Die AVR-Signale enthalten — abgesehen vom Gleichstromanteil, der die Ermittlung der absoluten Streuquerschnitte ermöglichen würde — alle für uns notwendigen Informationen des Videosignals.

Mit den festgestellten Unterschieden zwischen den Echosignaturen von Gruppen und Einzelvögeln ist eine wesentliche Verbesserung der Methoden bei quantitativen Vogelzugstudien realisiert worden.

Bei der Ausscheidung von Störechos entstehen ab und zu Schwierigkeiten, wenn bei weit entfernten kleinen Objekten die AVR nicht mehr aktiviert wird und deshalb keine charakteristischen Muster mehr entstehen. Die Ermittlung der absoluten Rückstreuquerschnitte wird jedoch in Zukunft auch bei grossen Distan-

zen die Unterscheidung von Insektenechos und Vogeleoschos erleichtern, während mit Hilfe von Flugwegberechnungen die Fledermausechos eliminiert werden können. Vorläufige Erhebungen haben gezeigt, dass bei unseren Beobachtungen nur ein verschwindend kleiner Teil an Nicht-Vogel-Echos erfasst wird.

Das Problem der Entstehung arttypischer Streuquerschnitt-Variationen ist beim 3-cm-Radar komplexer als beim 10-cm-Radar, da im ersten Fall sämtliche Vogelarten im Mie-Gebiet liegen. Für 10-cm-Wellen liegen Vögel bis zu ca. 15 g Gewicht im Rayleigh-Reflexionsgebiet, was bedeutet, dass ihre Streuquerschnitt-Schwankungen eindeutig mit den Flügelschlägen korreliert sind. Mehrdeutigkeiten der Streuquerschnitt-Schwankungen treten entsprechend der grösseren Wellenlänge erst bei grösseren Vögeln auf. Bei Vögeln mit Gewichten von 17—18 g muss erstmals mit einer Verdoppelung der Fluktationsfrequenz gegenüber der Flügelschlagfrequenz gerechnet werden, da sie im Bereich des ersten Streufaktor-Maximums liegen. Ähnliche Komplikationen sind im Bereich aller folgenden Maxima und Minima des Streufaktors zu erwarten — ähnlich wie wir dies am 3-cm-Radar festgestellt haben.

NACHWORT

Die vorliegende Arbeit entstand im Zusammenhang mit einer Untersuchung über die Witterungsabhängigkeit des Vogelzuges an der Zoologischen Anstalt der Universität Basel. Es ist mir ein Bedürfnis, Herrn Prof. Dr. A. PORTMANN ganz herzlich dafür zu danken, dass er die Durchführung dieses Forschungsprogrammes ermöglicht und seine Entwicklung mit immerwährendem Wohlwollen verfolgt hat. Das aussergewöhnliche Verständnis für wissenschaftliche Grundlagenforschung und die Grosszügigkeit der Firma CONTRAVES AG erlaubten die Verwendung eines der modernsten zur Zeit gebräuchlichen Feuerleitgeräte. Der Direktion der Firma CONTRAVES sowie dem für den Unterhalt verantwortlichen Team unter der Leitung von Herrn A. BERTSCHI möchte ich hiermit meine ganz besondere Dankbarkeit bezeugen. Herr Abteilungsleiter BERTSCHI stand uns auch ausserhalb der Dienstzeit stets mit Rat und Tat zur Seite und hat, zusammen mit meinem Studienkollegen A. GLATT, Wesentliches zur Entwicklung der hier dargestellten Registriermethodik beigetragen. Weitere wertvolle Hilfe von Seiten der Firma CONTRAVES wurde mir durch die Herren Ing. E. FREI und M. HOLY zuteil. Das freundliche Entgegenkommen von Herrn Direktor THAMS ermöglichte mir, einige Zeit am Osservatorio Ticinese der MZA mit Herrn Dr. J. JOSS zusammenzuarbeiten und von seiner grossen Erfahrung im Umgang mit kleinen Radarzielen zu profitieren. Herr Dr. JOSS ist mir auf radartechnischem Gebiet in ähnlicher Weise zum Lehrer geworden, wie es Herr Dr. SUTTER auf ornithologischem Gebiet ist. Diese beiden Herren haben in verdankenswerter Weise auch die kritische Durchsicht des Manuskriptes übernommen. Eine stete Ermutigung war für mich das Interesse und die Anteilnahme von Herrn Dr. A. SCHIFFERLI von der Vogelwarte Sempach.

Folgende Studenten haben im Frühling als Radarbeobachter bei unserer Aktion mitgeholfen: H. FRUTTIGER, A. GLATT, U. HERSBERGER, Ch. SCHEIDEGGER und N. ZBINDEN. Im Herbst wurden die unter der Bezeichnung «Arbeitsgemeinschaft für Radarvogelzugforschung» bereits bestehenden Kontakte zum Zoologischen Institut der Universität Zürich im Sinne einer direkten Zusammenarbeit ausgebaut, indem P. STEINDINGER während der ganzen zweimonatigen Beobachtungszeit zusammen mit mir Material sammelte und anschliessend die Flugweg- und Geschwindigkeitsberechnungen durchführte. Als weitere Mitarbeiter hatten sich U. BÜHLER, G. FINGERLIN, K. FÜGLISTER, R. GLATTHAAR, M. SCHMID und — trotz feldmässiger Unterkunft und Verpflegung — auch zwei Studentinnen, Fräulein R. LANG und Fräulein M. SCHOMMER zur Verfügung gestellt.

Ihnen sowie allen Amtsstellen, Privatpersonen und Institutionen, die in irgend einer Weise zum Gelingen des laufenden Forschungsprogrammes beigetragen haben, möchte ich hiermit meinen besten Dank aussprechen.

ZUSAMMENFASSUNG

1. Im Zusammenhang mit quantitativen Untersuchungen über den Zugverlauf im Schweizerischen Mittelland wurde eine Methode zur Registrierung von Echosignaturen an einem 3-cm-Zielverfolgungsradar entwickelt.
2. Die aufgezeichneten Signale erlauben in Verbindung mit Daten über Flugweg und Eigengeschwindigkeit die Eliminierung unerwünschter Echos sowie die Unterscheidung von Gruppen und Einzelvögeln.
3. Die Streuquerschnitt-Variationen sind im Falle des 3-cm-Radars komplizierter als beim 10-cm-Radar, da bei 3-cm-Wellen der Unterschied zwischen den Körperdimensionen der Vögel und der Wellenlänge gering ist. Ein Versuch zur Erklärung der Beziehungen zwischen Flügelschlagfrequenz und Echo-Fluktuationsfrequenz scheint immerhin eine Möglichkeit zu zeigen, wie unter Berücksichtigung der absoluten Rückstreuquerschnitte die effektiven Flügelschlagfrequenzen ermittelt werden können. Zusammen mit Angaben über die Fluggeschwindigkeit sowie über die Länge der Ruhephasen und Schlagphasen während des Fluges dürfte damit eine Identifizierung von Vogelarten am 3-cm-Radar möglich werden.
4. Eine abschliessende Diskussion der Verhältnisse am 10-cm-Radar zeigt, dass auch bei dieser Wellenlänge die Streuquerschnitt-Variationen nicht immer eindeutig mit Flügelschlägen korrelierbar sind.

SUMMARY

1. During quantitative research on bird migration in northern Switzerland a method was developed to record echo signatures from a 3 cm tracking radar on a simple tape recorder.
2. The recorded signals, in conjunction with the measured flight paths and air speeds, allow groups and single birds to be distinguished and undesired echoes to be eliminated.
3. In X-band radar, variations of radar cross-sections are more complicated than in S-band radar due to the slight difference between the birds' body dimensions and the radar wave-length. An attempt at a theoretical explanation of the relations between wing-beat frequencies and the frequency of echo fluctuations is given. If radar cross-sections are measured it seems possible to establish wing-beat frequencies and, in conjunction with information on air speed and on the duration of flapping and gliding phases during flight, to identify bird species on 3-cm-radar.
4. The conditions in 10-cm-radar are discussed; it is assumed that also in this case variations of radar cross-sections are not always definitely correlated with wing-beat frequencies.

LITERATUR

- ATLAS, D. (1964): Advances in radar meteorology. *Adv. Geophys.* 10: 317—478.
- BATTAN, L. J. und HERMAN, B. M. (1962): The Radar Cross Sections of «Spongy» Ice Spheres. *J. Geophys. Research* 67: 5139.
- BAUMANN, F. (1949): Die freilebenden Säugetiere der Schweiz. Bern.
- GEHRING, W. (1967): Analyse der Radarechos von Vögeln und Insekten. *Orn. Beob.* 64: 145—151.
- JOSS, J. (1964): Die Bestimmung der Rückstreuquerschnitte von Eis-Wasser-Gemischen bei einer Wellenlänge von 5,05 cm. *Zs. angew. Mathematik u. Physik* 15: 509—539.
- HARDY, K. R. (1968): CPS-9-Radar Investigation of Clear-Air Convection. *Proc. 13th Radar Meteorology Conf.*: 236—241.
- HOUGHTON, E. W. (1964): Detection, recognition and identification of birds on radar. *Proc. 11th Weather Radar Conf.*: 14—21.
- LAGRONE, A. H., DEAM, A. P. und WALKER, G. B. (1964): Angels, insects and weather. *Radio Sci. J. Res.* 68: 895—901.
- NATUSCHKE, G. (1960): Heimische Fledermäuse. Neue Brehm-Bücherei. Wittenberg.
- NIETHAMMER, G. (1937—42): *Handbuch der Deutschen Vogelkunde*. Leipzig.
- SCHAEFER, G. W. (1966): The study of bird echos using a tracking radar. A synopsis of recent experiments. (Vervielfältigt zu Handen der Teilnehmer am XIV. Int. Orn. Kongr., Oxford).
- (1968): Bird Recognition by Radar. A Study in Quantitative Radar Ornithology. *Aus: The Problems of Birds as Pests*. London/New York.

- SCHMIDT, H., (1960): Der Flug der Tiere. Frankfurt.
 STEPHENS, J. J. (1961): Radar Cross-Sections for Water and Ice Spheres. J. Meteor. 18: 292.
 STEIDINGER, P. (1968): Radarbeobachtungen über die Richtung und deren Streuung beim nächtlichen Vogelzug im Schweizerischen Mittelland. Orn. Beob. 65: 197—226.
 SUTTER, E. (1957): Radar-Beobachtungen über den Verlauf des nächtlichen Vogelzuges. Rev. Suisse Zool. 64: 294—303.

B. Bruderer, Zoologische Anstalt der Universität, Rheinsprung 9, 4051 Basel

KURZE MITTEILUNGEN

Fluchtdistanz und Sozialverhalten von Blässhuhn und Haubentaucher.—

Meine Beobachtungen anlässlich einer mit Genehmigung der Fischerei- und Jagdverwaltung des Kantons Zug durchgeführten Bestandesaufnahme der brütenden Wasservögel am Ägerisee/Zug vom 1. Juni 1968 sollen hier u. a. dazu dienen, dem Blässhuhn zu einer etwas vernünftigeren Würdigung zu verhelfen, das besonders von traditionell gesonnenen Jägern als sozial bezeichnet wird.¹

Beim Ägerisee handelt es sich um einen in 724 m Höhe liegenden subalpinen See von 7,2 km² Fläche und 80 m Tiefe mit wachsender Verschmutzung und schwindendem Schilfbestand *Phragmites communis*. Der See befindet sich in einem bedenklichen Zustand der Eutrophierung. Als Tummelplatz für den Motorbootsport ist die Fläche viel zu klein. Leider hat dieser Sport in den letzten Jahren bedauerliche Formen angenommen. Als häufige oder ständige Vertreter des Wassergeflügels treffen wir auf dem See die Teilzieher Blässhuhn *Fulica atra* und Haubentaucher *Podiceps cristatus*, im Herbst und Winter einige Reiherenten *Aythya fuligula* und sporadisch auch die Bergente *Aythya marila*. Die Stockente *Anas platyrhynchos* ist im Sommer nur durch wenige Exemplare vertreten, wobei die Erpel in der Überzahl sind. Dies dürfte mit der Vergesellschaftung während der Grossgiefedermauser zusammenhängen. Am Stichtag der vorliegenden Untersuchung fand ich 10 Stockentenerpel, aber nur 3 Enten auf dem See. Acht Tage später konnte ich 16 ♂ in der Gesellschaft von nur 2 ♀ feststellen. Ein weiteres ♀ führte 5 Dunenjunge.

Der Bestand von 38 Nestern beim Blässhuhn und 27 beim Haubentaucher ist — gemessen an dem relativ spärlichen Schilfbestand — beachtlich hoch. Die durchschnittliche Eizahl pro Gelege lag für das Blässhuhn bei 5,2, für den Haubentaucher bei 4,3. Exakter Forschung muss es vorbehalten bleiben, herauszufinden, ob eine und gegebenenfalls welche Korrelation zwischen der Brutstättendichte verschiedener Arten und der Eizahl beziehungsweise der Schlüpf- oder Aufzuchtquote besteht. Es sei hier nur noch erwähnt, dass sich die Gesamtzahl der 65 Nester auf einen Schilfgürtel von 5,7 km Länge bei 15 km Ufer verteilt. Zur Beurteilung der Brutstättendichte liefert die folgende Beobachtung interessante Hinweise: Ich fand 3 Haubentauchergelege in unmittelbarer Nähe von Blässhuhnnestern, wobei die geringste Entfernung 52 cm und die grösste 105 cm betrug. In einem Fall thronte ein Blässhuhnnest gleichsam als massiv gebaute Feste in der Mitte, während zwei dürttig zusammengestellte Haubentauchernester mit zusammen 3 Eiern durch 7 dürre Schilfstengel mit dem Fundament des Blässhuhnnestes verstrebt waren. Ich halte es für möglich, dass die Haubentaucher hin und wieder zu Nestschmarotzern des emsigen Blässhuhns werden. Wie P. BOPP (1959: Das Blasshuhn) berichtet, baut dieses manchmal — wahrscheinlich nach dem Schlüpfen der Jungen — zum Brutnest noch zusätzliche Schlaf- und Rastnester.

¹ Vergl. dazu BLASE, R.: Die Jägerprüfung. Melsungen 1968, und MÜLLER-USING, D.: Dietzels Niederjagd. Hamburg 1954.