

ALFRED SCHIFFERLI
zum sechzigsten Geburtstag gewidmet

Dr. Alfred Schifferli, der sich als langjähriger Leiter der Vogelwarte Sempach in hervorragender Weise um die schweizerische Ornithologie verdient gemacht hat, feierte am 20. Januar 1972 seinen sechzigsten Geburtstag. Die Mitarbeiter dieses Heftes freuen sich, ihm zu diesem Anlass eine Arbeit widmen zu dürfen; sie möchten damit ihrer Dankbarkeit für empfangene Anregung und Förderung Ausdruck geben und ihm — gewiss auch im Namen aller Leser — ihre herzlichsten Glückwünsche entbieten.

Zur Bestimmung von Flügelschlagfrequenzen tag- und nachziehender Vogelarten mit Radar¹

von BRUNO BRUDERER und BERNARD JACQUAT,
Schweizerische Vogelwarte Sempach,
und ULRICH BRÜCKNER, Institut für Fernmeldetechnik der ETH Zürich

1. Einleitung

Vögel ergeben Radarechos, deren mittlere Intensität ungefähr dem Echo einer Wasserkugel mit demselben Gewicht entspricht; die Wasserkugel reflektiert gut halb so viel Energie wie eine Metallkugel von gleichem Durchmesser. Während den Flügelschlagbewegungen verändert ein Vogel ständig seine reflektierende Fläche; deshalb variiert auch die Echointensität im Rhythmus der Flügelschlagbewegungen. Die Echofluktuationen sind umso stärker, je kleiner der Vogel relativ zur Wellenlänge des Radars ist. Sind die Körperdimensionen des Vogels in der Größenordnung der Wellenlänge oder grösser, so sind die auftretenden Fluktuationen kompliziert, d. h. es treten pro Flügelschlag z. T. mehrere Fluktuationen des Radarsignales auf (vgl. z. B. Abb. 1a, b und Abb. 5); in der Regel lässt sich aber das Flügelschlagmuster des Vogels auch in solch komplizierten Signalen als Grundfrequenz erkennen. Radaranlagen, die für automatische Zielverfolgung eingerichtet sind (Feuerleitradar) ermöglichen es, das gleiche Objekt während längerer Zeit zu beobachten; alle wichtigen Daten über den Flugweg können ausgemessen werden. Ausserdem kann bei geeigneter Eichung des Gerätes (mit Metallkugeln) das ungefähre Gewicht des verfolgten Vogels ermittelt werden und sein Flügelschlagmuster kann aufgezeichnet werden, indem die Echofluktuationen als Spannungsschwankungen auf Magnetband gespeichert werden (vgl. SCHAEFER 1966, 1968; BRUDERER 1969 sowie BRUDERER und JOSS 1969).

¹ Ausgeführt mit Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung.

SCHAEFER hat vor allem in seiner Arbeit von 1968 die diagnostischen Möglichkeiten aufgezeigt, die in einer solchen Analyse von Einzelechos liegen könnten. Die Eigengeschwindigkeit, das berechnete Gewicht, die Länge von Schlagphasen und Pausen innerhalb des Flügelschlagmusters und vor allem die Flügelschlagfrequenzen könnten dazu beitragen, Vögel aufgrund von Radarinformationen zu identifizieren. Drei Hauptschwierigkeiten verhinderten bis dahin eine konsequente Anwendung von Radarsignalen als Identifizierungshilfe:

1. Es sind, vor allem bei Kleinvögeln, nur relativ wenige Messungen von Schlagfrequenzen bekannt. Angaben über die in erster Linie interessierenden Nachtzieher fehlen fast vollständig.
2. Die vorhandenen Daten divergieren oft recht stark, wobei Messfehler oder tatsächliche Unterschiede im Verhalten der Vögel im Spiele sein können.
3. Alle genannten Parameter sind sehr variabel: Die Eigengeschwindigkeit kann von den Vögeln innerhalb relativ weiter Grenzen variiert und den herrschenden Windverhältnissen angepasst werden (vgl. BRUDERER 1971). Der Streuquerschnitt ändert sich bei wechselndem Aspekt sehr stark (vgl. etwa BRUDERER und JOSS 1969). Die Länge der Schlagphasen und Pausen dürfte am Anfang eines Fluges (Aufsteigphase), in der Mitte (Horizontalflug) und gegen Ende desselben Fluges (Absinkphase) verschieden sein. Die zu erwartenden Schwankungen bei verschiedenen Umweltbedingungen und Eigengeschwindigkeiten sind unbekannt. Nach SCHAEFER (1968) dürfte die Flügelschlagfrequenz der konstanteste Parameter sein und nach GRIFFITHS (1969) brachten auch Gegenwind und Rückenwind in den von ihm untersuchten zwei Fällen (Star und Ringeltaube) keine statistisch signifikanten Abweichungen. Immerhin betrug die von GRIFFITHS festgestellten Schwankungen $\pm 16\text{--}18\%$ der Mittelfrequenz (Standardabweichung $\pm 6\%$).²

Ohne auf die übrigen Parameter einzugehen, wollen wir uns in der vorliegenden Arbeit mit den Problemen der Flügelschlagfrequenzen befassen, wobei das Schwergewicht, entsprechend den genannten Hauptschwierigkeiten, auf drei Punkten liegen soll:

- a) Gewinnung neuer Messwerte; unter anderem von Nachtziehern.
- b) Vergleich verschiedener vorhandener Messwerte.
- c) Diskussion der Variabilität von Flügelschlagfrequenzen.

2. Gewinnung von Messwerten über Flügelschlagfrequenzen

2.1. Methodik

Ältere Messungen beruhen auf optischer Auszählung von Schlagfrequenzen bei grösseren Vögeln. Angaben über Kleinvögel sind erst seit der Einführung des Zeitlupenfilms möglich geworden. Radardaten sind bis dahin nur wenige bekannt. Günstigste Voraussetzungen für die Gewinnung von Radarmesswerten liegen vor, wenn ein Zielfolgeradar mit hoher Verfolgungsgenauigkeit und geringer Minimaldistanz für die automatische Verfolgung zur Verfügung steht. Das von uns verwendete Gerät vom Typ «Superfledermaus»³ erfüllt diese Bedingun-

² Korrigiere entsprechend: Druckfehler in BRUDERER (1971) S. 121, 8. Zeile: $\pm 6\%$ statt $\pm 16\%$.

³ Im Jahre 1968 zur Verfügung gestellt von der Firma Contraves AG, 1969—1971 von der schweizerischen Armee (Abteilung der Flieger- und Fliegerabwehrtruppen).

gen in hohem Masse; die geringsten Distanzen, bei denen Vögel noch verfolgt werden können liegen unterhalb 200 m.

Die Aufzeichnung der Radarsignale wurde seit unsern ersten Versuchen im Jahre 1968 ständig verbessert. Bei der ersten Methode (vgl. BRUDERER 1969) wurde nur der rasche Anteil des AVR-Signals⁴ aufgezeichnet, wobei Frequenzen unterhalb 6 Hertz (Hz) praktisch unterdrückt wurden. In der zweiten Phase (BRUDERER und JOSS 1969) wurden der rasche und der langsame Anteil des AVR-Signals registriert, wobei aus dem langsamen Signal die Grösse des Objektes, d. h. sein Streuquerschnitt, sowie die niedrigen Frequenzen der Echofluktuationen entnommen wurden; im Signal der raschen AVR wurden die meisten Flügelschlagfrequenzen sichtbar. Seit 1970 verwenden wir eine Anlage, in der das unverarbeitete Zwischenfrequenzsignal aus dem Radargerät entnommen wird, d. h. ein Signal, bei dem keine Aufteilung in einen langsamen und einen raschen Frequenzanteil erfolgt ist. Die hier verwendeten Daten stammen grösstenteils aus der letzten Periode.

Die Auswertung erfolgte primär (wie bei den Daten in unserer Arbeit von 1971) manuell, d. h. die auf Band gespeicherten Signale wurden mit einem Schreiber aufgezeichnet; anschliessend wurde in mindestens fünf Schlagphasen der Abstand zwischen dem ersten und dem fünften Peak ausgemessen. Waren weniger als fünf Flügelschläge pro Schlagphase vorhanden, wurde der für die vorhandene Zahl von Flügelschlägen gemessene Wert auf die gewählte Normzahl (5) umgerechnet. Aus einer Kurve konnte zu jedem gemessenen Wert die entsprechende Flügelschlagfrequenz in Hz abgelesen werden. Zur Überprüfung dieser recht einfachen Messmethode führten wir für alle hier publizierten Daten noch elektronische Frequenzanalysen durch (analog den Messungen von BLACKWELL und HOUGHTON 1969). Die elektronische Frequenzanalyse hat vor allem den Vorteil, dass auch in Signalen von mehreren Vögeln die Flügelschlagfrequenz noch bestimmt werden kann. Allerdings kann bei der elektronischen Analyse eine Harmonische (z. B. die erste Oberwelle) stärker in Erscheinung treten als die der Flügelschlagfrequenz entsprechende, erwünschte Frequenz (Grundwelle). In Signalen mit hohem Rauschanteil und nur wenigen gut erkennbaren Schlagphasen ist die einfache Methode mit dem Maßstab der elektronischen Methode überlegen. Wir werden deshalb auch in Zukunft beide Methoden parallel verwenden.

2. 2. Flügelschlagfrequenzen von im Tagflug beobachteten Vögeln

Ein 12,4faches Fernrohr, dessen optische Achse parallel zur Achse der Parabolantenne unseres Radargerätes verläuft, ermöglicht bei günstiger Beleuchtung und Distanzen unterhalb 300—400 m die Identifizierung von Kleinvögeln. Bei grösseren Vögeln nimmt die für eine Artidentifizierung mögliche Maximaldistanz rasch zu, da grosse Vögel in der Regel geradliniger fliegen und zudem bei grösserer Entfernung die automatische Verfolgung ruhiger ist (geringere Winkelgeschwindigkeit). Die Arbeit des Beobachters am Fernrohr wird erschwert durch den Lärm des Radargerätes, da die Flugrufe der Vögel nicht als Bestimmungshilfe verwendet werden können. So können z. B. die in Tabelle 1 angeführten Pieper nur bis zur Gattung bestimmt werden; lediglich die Zugzeit lässt in beiden Fällen auf den Wiesenpieper *Anthus pratensis* schliessen.

⁴ AVR = automatische Verstärkungsregulierung.

TABELLE 1. Schlagfrequenzen von im Tagflug beobachteten Vögeln

Art		Individuum Nr.	Flügelschlagfrequenz	
			Bereich	Mittel
Graureiher	<i>Ardea cinerea</i>	1	2,8— 3,0	2,9
Stockente	<i>Anas platyrhynchos</i>	1	5,0— 6,5	5,6
Turmfalk	<i>Falco tinnunculus</i>	1	5,0— 5,2	5,1
		2	4,6— 5,9	5,4
Lachmöwe	<i>Larus ridibundus</i>	1	3,7— 4,0	3,8
		2	3,2— 5,2	4,0
Ringeltaube	<i>Columba palumbus</i>	1	4,2— 5,3	4,7
		2	3,1— 4,2	4,6
		3	4,9— 6,1	5,2
		4	4,2— 5,0	4,6
		5	4,8— 5,3	5,0
		6	4,6— 5,4	4,9
		7	4,5— 5,0	4,6
		8	4,8— 5,0	4,9
		9	3,8— 4,6	4,3
		10	4,7— 5,1	5,0
Mauersegler	<i>Apus apus</i>	1	7,2— 9,6	8,1
Feldlerche	<i>Alauda arvensis</i>	1	7,2— 8,5	7,5
		2	9,2—11,6	9,9
		3	8,5— 9,0	8,8
Mehlschwalbe	<i>Delichon urbica</i>	1	8,7—12,5	9,4
		2	7,9—11,0	9,0
Pieper	<i>Anthus (pratensis?)</i>	1	18,7—19,3	19,2
		2	18,0—19,5	19,0
		3	15,4—17,4	16,5
Bachstelze	<i>Motacilla alba</i>	1	16,1—16,8	16,3
		2	16,2—17,9	16,4
		3	16,9—18,0	17,4
Wacholderdrossel	<i>Turdus pilaris</i>	1	6,5— 8,8	7,1
Amsel	<i>Turdus merula</i>	1	7,0—10,4	7,9 (9,4)
Misteldrossel	<i>Turdus viscivorus</i>	1	7,0— 7,9	7,6
Buchfink	<i>Fringilla coelebs</i>	1	16,3—16,6	16,4
		2	15,5—16,6	16,1
		3	16,6—16,9	16,8
		4	16,3—16,9	16,5
		5	16,3—17,3	16,9
		6	16,4—16,8	16,6
		7	16,3—17,5	16,8
		8	16,3—16,6	16,4
		9	15,4—17,4	16,2
Grünfink	<i>Carduelis chloris</i>	1	15,0—16,6	16,0
Distelfink	<i>Carduelis carduelis</i>	1	16,4—18,5	17,3
			(19,4—20,0)	
Star	<i>Sturnus vulgaris</i>	1	9,4—10,3	10,1
		2	8,9— 9,9	9,3
Elster	<i>Pica pica</i>	1	4,2— 5,3	4,8
Rabenkrähe	<i>Corvus corone</i>	1	3,1— 3,5	3,3
		2	3,5— 3,7	3,6
		3	3,5— 4,0	3,8
		4	3,9— 4,2	4,0
		5	3,1— 3,6	3,3

2. 3. Flügelschlagmuster von Nachtziehern

Die Identifizierung vorbeifliegender Nachtzieher am Fernrohr des Radargerätes, analog den Beobachtungen während des Tages, ist nur mit relativ grossem technischem Aufwand möglich: z. B. mit einem starken Scheinwerfer, der parallel zum Radarstrahl gesteuert würde. Die relativ grossen Schwierigkeiten, die bereits bei der Identifizierung von automatisch verfolgten Tagziehern bestehen, haben uns bewogen, zuerst eine andere Methode zu versuchen: Wir griffen auf eine Idee von S. T. EMLÉN (mündl.) zurück, der vorschlug, Vögel aus an Fesselballonen befestigten Behältern freizulassen. Wir liessen an 100 m Nylonfaden 2—3 Pilotballone hochsteigen und hängten ans untere Ende des Fadens eine Schachtel aus Schaumstoff (reflektiert praktisch keine Radarwellen). Die Schachtel, in die jeweils ein kurz vorher gefangener Vogel gesetzt wurde, banden wir mit einem Nylonfaden zu. Der Verschlussfaden wurde an einer Stelle durch das Ende eines 30 cm langen Zündschnurstückes gezogen. Bevor wir die Schachtel, wiederum an einer Nylonleine von 100 m Länge, 300 m vom Radargerät entfernt aufsteigen liessen, setzten wir die Zündschnur in Brand. Innerhalb der Brenndauer der Zündschnur von ca. 45 Sekunden musste die Schachtel 100 m aufsteigen, musste zuerst optisch und schliesslich automatisch erfasst werden. War die Zündschnur bis zum Verschlussfaden abgebrannt, schmolz derselbe und die Schachtel öffnete sich. Wenn die Pendelbewegung der Schachtel im Moment des Öffnens nicht stark und der Wegflugrichtung des Vogels entgegengesetzt war, folgte der Radarstrahl anschliessend in der Regel dem freigelassenen Vogel. Starke Winde und in anderen Fällen Nebel behinderten die Versuche. Die grössten Schwierigkeiten ergaben sich daraus, dass die Mehrzahl der Vögel nach dem Start nicht horizontal wegflogen, sondern zur Landung ansetzten. Nur bei horizontalem Wegflug konnte jedoch mit brauchbaren Flügelschlagmustern gerechnet werden, wobei auch in diesen Fällen die Frage offen bleiben muss, ob das Flugverhalten nach einem so ungewöhnlichen Start als normal bezeichnet werden darf.

Alle Fänge erfolgten während der Zugzeit der betreffenden Arten. Für Orientierungsspezialisten mag interessant sein, dass alle Vögel, die nicht sogleich zu Boden flogen, mit dem Wind wegflogen, auch wenn dies nicht ihrer Zugrichtung entsprach. Ein bei Windstille im Nebel freigelassener Rotrückenwürger *Lanius collurio* kreiste dreimal um die Schachtel, bevor er zu Boden ging.

Wir geben im Folgenden die Resultate der fünf geglückten Versuche und danken an dieser Stelle den Herren R. WINKLER, H. R. KÄLIN und W. GUGELMANN für die Lieferung von gefangenen Vögeln.

SCHAFSTELZE *Motacilla flava*: Der wichtigste Frequenzanteil liegt im Bereich zwischen 15,1 und 16,8 Hz. Ebenfalls sehr stark, und auch gut optisch erkennbar ist ein Anteil von 18,7—20,0 Hz, der uns allerdings für den normalen Flug etwas hoch scheint. Anteile um 14,3 Hz sind angedeutet.

GARTENROTSCHWANZ *Phoenicurus phoenicurus*: Hauptfrequenz 14,5—15,6 Hz; mehrheitlich um 15,2 Hz. Ein Anteil von 13,1—13,5 Hz lässt sich auch optisch eindeutig feststellen.

ROTKEHLCHEN *Erithacus rubecula*: Die Frequenzen liegen sehr konstant im Bereich von 15,8—18,0 Hz (Mittelwert 16,2 Hz). Meist sind nur zwei Flügelschläge pro Schlagphase vorhanden; die Messungen von Hand sind deshalb etwas

unsicher, dagegen hat die elektronische Frequenzanalyse ein recht klares Bild ergeben.

ZAUNGRASMÜCKE *Sylvia curruca*: Die Hauptfrequenzen liegen zwischen 16,3—17,3 Hz.

WACHTEL *Coturnix coturnix*: 17,2—18,3 Hz; im Mittel 17,8 Hz.

3. Vergleich unserer Messwerte mit Angaben aus der Literatur

Da die Vergleichszahlen mehrheitlich von wenigen, stets wiederkehrenden Autoren stammen, verwenden wir folgende Abkürzungen für Autornamen: BLACKWELL (B), GRIFFITHS (G), HERZOG (HG), HOUGHTON (HN), MEINERTZHAGEN (M), OEHME (OE), SCHAEFER (S).

GRAUREIHER *Ardea cinerea* (Abb. 1 a): Unsere Messwerte von 2,8—3,0 Hz stammen von einem nicht ziehenden Exemplar, das in horizontalem Flug das ganze Reusstal in der Gegend von Merenschwand überquerte. Sie bestätigen die Angaben von M (1955), der für ähnliche Flugverhältnisse 2,5—2,9 Hz angibt. Auch die Angaben von G (in HN und B 1972) liegen mit 2,64 Hz in diesem Bereich. Bei einem sehr träge fliegenden Exemplar stellt M (1955) 1,8 Schläge pro Sekunde fest. Unter Vernachlässigung dieses extremen Wertes rechnen wir für den Streckenflug mit Schlagfrequenzen im Bereich von 2,5—3,0 Hz. d. h. mit Schwankungen von rund 10% um einen Mittelwert von 2,75 Hz.

STOCKENTE *Anas platyrhynchos*: Unsere 5,0—6,5 Hz (Mittel: 5,6 Hz) bei zwei nicht ziehenden Exemplaren im Streckenflug liegen zwischen dem Wert von G (in HN und B 1972) mit 6,95 Hz und den Werten von M (1955) mit 5,0 und 5,1. B und HN (1969) geben 6,5—7,0 Hz. OE (1959) filmte mit 80 Bildern pro Sekunde; in einer wiedergegebenen Abbildung läuft ein Schlagzyklus auf 13,5 Bildern ab. Dies entspricht einer Schlagfrequenz von 5,9 Hz. HG (1968) gibt, ohne die Herkunft des Messwertes näher zu charakterisieren, 8,6 Hz; der Wert scheint uns für normales Flugverhalten zu hoch; wir rechnen deshalb mit 6 Hz \pm 17%.

TURMFALK *Falco tinnunculus* (Abb. 1b): Die Flügelschlagfrequenzen von 2 (vermutlich nicht ziehenden) Exemplaren, die mit fördernden Flügelschlägen über Strecken von mehreren 100 Metern horizontal und ohne Richtungsänderung flogen, liegen im Mittel um 5,1—5,4 Hz (Gesamtstreuung 4,6—5,9 Hz). HN und B (1972) geben übereinstimmend mit G (dasselbst) 5,60 Hz und HG (1968) gibt 4,9 Hz. Die Werte von M (1955) liegen sehr niedrig (3,5—3,6 Hz), ebenso die von THIOLLAY (1967) mit 3,3—3,8 Hz. THIOLLAYS Beobachtungen stammen vom Col de Bretolet (Walliser Alpen) und betreffen beinahe mit Sicherheit ziehende Exemplare. Die niedrige Flügelschlagfrequenz könnte ermöglicht werden durch thermische oder dynamische Aufwinde an den Berghängen oder aber es könnte sich um eine normalerweise reduzierte Flügelschlagfrequenz auf Langstreckenflügen (Zug) handeln. Die Daten von M (1955) suggerieren eher die zweite Deutung («cruising»), lassen aber keine eindeutigen Schlüsse zu. Weitere Messungen, vor allem an ziehenden Exemplaren, sind notwendig, da es für die weitere Arbeit mit Echosignaturen äusserst bedeutungsvoll wäre, wenn einzelne Vogelarten ihre Flügelschlagfrequenz auf dem Zuge senken würden (vergleiche

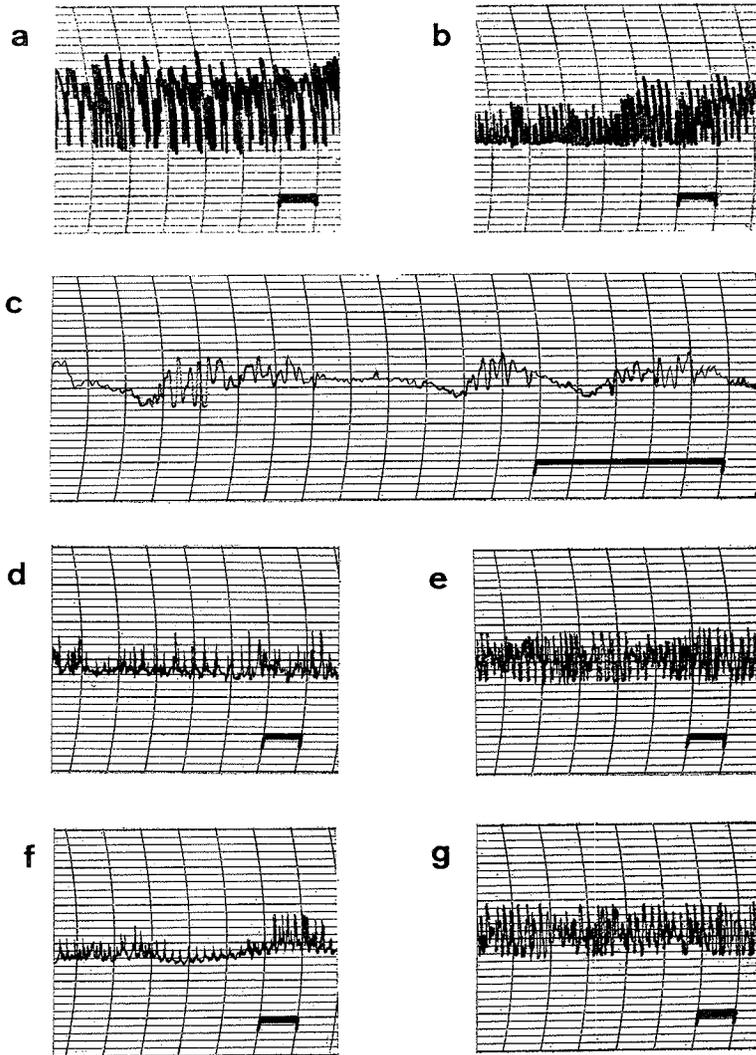


ABB. 1: Echosignaturen von a) Graureiher *Ardea cinerea*, b) Turmfalk *Falco tinnunculus*, c) Wachtel *Coturnix coturnix*, d) Lachmöwe *Larus ridibundus*, e—g) Ringeltaube *Columba palumbus*. Die drei Beispiele von Ringeltauben zeigen, dass der Aspekt der Echosignaturen bei der gleichen Art sehr unterschiedlich sein kann. Das Muster des Graureihers zeigt, dass mehrere Echofluktuationen auf einen Flügelschlag entfallen können. Rechts unter jeder Echosignatur ist die Länge einer Sekunde angegeben.

dazu auch die Angaben beim Start!). Wir sehen uns gezwungen, beim Turmfalk zwei Bereiche üblicher Flügelschlagfrequenzen anzunehmen, nämlich $5,3 \text{ Hz} \pm 15 \%$ und $3,5 \text{ Hz} \pm 10 \%$.

WACHTEL *Coturnix coturnix* (Abb. 1c): Es sind uns keine Vergleichswerte zu den von uns gemessenen Frequenzen von 17,2—18,3 Hz (Mittel um 17,8 Hz) bekannt. Obwohl der Vogel nach dem Start vom Fesselballon mehrere 100 Meter horizontal wegflieg, können wir eine erhöhte Flügelschlagfrequenz nicht ausschliessen; die kurzen runden Flügel lassen der Wachtel jedoch kaum einen grossen Spielraum bezüglich Fluggeschwindigkeit und Flügelschlagfrequenz.

LACHMÖWE *Larus ridibundus* (Abb. 1d): Unsere 3,2—5,2 Hz (im Mittel 3,9 Hz) stimmen relativ gut überein mit den 4,08 Hz von G (in HN und B 1972), wobei sich unsere Messungen auf zügige Schlafplatzflüge beziehen. M (1955) gibt 2,6—3,1 Hz mit dem Vermerk «normal cruising». Wir fragen uns, ob auch bei dieser Art bei Langstreckenflügen mit einer Reduktion der Flügelschlagfrequenz gerechnet werden muss. SCHÜZ (1971) stellt bezüglich der Fluggeschwindigkeit fest, dass Möwen und Greifvögel im Gegensatz zu vielen anderen Vögeln beim Zug nicht rascher fliegen als beim üblichen Flug.

RINGELTAUBE *Columba palumbus* (Abb. 1e—g): Unsere Messungen an horizontal fliegenden Vögeln reichen von 3,8 bis 6,1 Hz, die Mittelwerte liegen um 4,8 Hz. Da es sich mehrheitlich um Einzelvögel handelte, kann nicht eindeutig auf ziehende Vögel geschlossen werden. Exemplar Nr. 2 mit 3,1—4,2 Hz ist hier weggelassen, da es sich dabei um einen spielerischen Flug mit anschliessender Landung handelte; die Frequenz sank beim Abwärtsfliegen sogar auf 2,6 Hz. Nr. 3 ist ein ziehender Schwarm von 46 Stück; ein optisches Auszählen der Frequenzen war nicht möglich; die elektronische Frequenzanalyse ergab ein breites Spektrum im Bereich von 4,9—6,1 Hz und ein Maximum bei 5,2 Hz. 90 Messungen von G (1969) ergaben einen Mittelwert von 5,63 Hz (95 % aller Vögel im Bereich zwischen 4,89 und 6,37 Hz). Da G keinen signifikanten Unterschied zwischen Vögeln mit Rückenwind bzw. Gegenwind und zwischen Vögeln auf dem Zug bzw. auf Schlafplatzflügen feststellte, scheint es im Moment unmöglich, den Unterschied zwischen seinen und unsern Messungen zu erklären. M (1955) gibt für ein langsam fliegendes Exemplar 3 Hz, für ein rasch fliegendes 5 Hz und beim Start 5,2 Hz. Wir nehmen als üblichen Frequenzbereich im Streckenflug 4—6 Hz ($5 \text{ Hz} \pm 20 \%$) an.

MAUERSEGLER *Apus apus* (Abb. 2a, b): Wir haben hier nur ein Exemplar mit 7,2—9,6 Hz und einem Mittelwert um 8,1 Hz angeführt. Im Tagflug über längere Strecken scheint dies ein häufiger Frequenzbereich zu sein, obwohl in einzelnen Flugphasen des Jagdfluges oder Spieles auch Frequenzen über 10 Hz und unter 6 Hz möglich sind. Die meisten unserer Messungen beziehen sich auf Nachtflüge, bei denen die Frequenzen eher an der unteren Grenze des angegebenen Bereiches liegen (vgl. BRUDERER und WEITNAUER, in Vorbereitung). G (in HN und B 1972) nennt 8,49 Hz; S (1968) zeigt ein Exemplar mit 8,2 Hz; aus einer Abbildung von HN (1969) lassen sich 7,5—8,0 Hz auszählen; OE (1968) zählte auf Zeitlupenfilmen am häufigsten Werte um 7 Hz, in Extremfällen 6,1—11,3 Hz. $8 \text{ Hz} \pm 15 \%$ darf wahrscheinlich für den Streckenflug als normal angenommen werden. Möglicherweise liegt beim Zug das Schwergewicht noch stärker auf den tieferen Frequenzen.

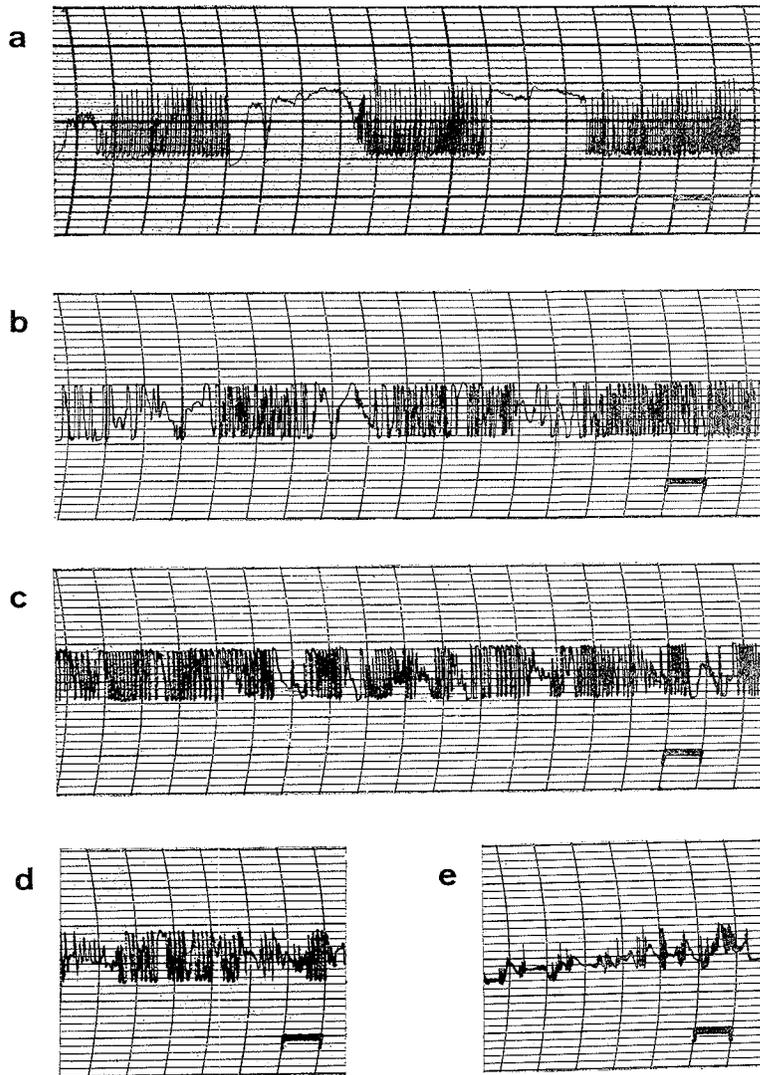


ABB. 2: Flügelschlagmuster von a) Mauersegler *Apus apus* im Nachtflug, b) Mauersegler im Tagflug (mehr Wendungen in den Schlagpausen, unregelmässige Schlagfrequenz), c) Mehlschwalbe *Delichon urbica*, d) Feldlerche *Alauda arvensis*, e) Pieper (vermutlich Wiesenpieper *Anthus pratensis*).

FELDLERCHE *Alda arvensis* (Abb. 2d): Unsere Angaben Nr. 1 und 3 stammen von nicht ziehenden, horizontal fliegenden Brutvögeln der Umgebung. Die Frequenzen liegen im Bereich von 7,2—9,0 Hz. Flügelschlagmuster Nr. 2 geht auf zwei möglicherweise ziehende Lerchen zurück; die Schlagfrequenzen liegen hier zwischen 9,2 und 11,6 Hz. PÄTZOLD (1963) nennt für Feldlerchen im Singflug (rüttelnd) eine Frequenz von 10—12 Hz. G (in HN und B 1972) nennt 12,15 Hz; diese Angabe wird durch HN und B aufgrund von Radardaten bestätigt. Bis neue Daten über ziehende Lerchen verfügbar werden, nehmen wir 11 Hz \pm 20 % als mögliche Werte an.

MEHLSCHWALBE *Delichon urbica* (Abb. 2c): Zwei nicht ziehende Exemplare ergaben im Horizontalflug ähnliche Muster wie Mauersegler; die Schlagfrequenz innerhalb desselben Fluges ist äusserst variabel (7,9—12,5 Hz), sehr häufig zwischen 9 und 9,5 Hz. Im Spielflug treten noch weit geringere Frequenzen auf. Für den Streckenflug dürfen wir wohl 9,5 Hz \pm 15 % als normal betrachten.

PIEPER (vermutlich Wiesenpieper *Anthus pratensis*) (Abb. 2e): Unsere Messungen an wahrscheinlich ziehenden Vögeln liegen bei zwei Exemplaren mit 18,0—19,5 Hz sehr hoch. Exemplar Nr. 3 liegt mit 15,4—17,4 Hz (Mittel 16,5 Hz) im selben Bereich wie die Angabe von G (in HN und B 1972) 16,62 Hz. Mehr Messungen, unter genauer Berücksichtigung der Flugbedingungen, sind erforderlich, um die Bedeutung der beiden hohen Werte zu beurteilen.

SCHAFSTELZE *Motacilla flava* (Abb. 3a, b): 15,1—16,8 Hz scheinen vernünftige Werte. Auffallend ist, dass auch hier im Radarsignal ein hoher Frequenzanteil im Bereich von 18,7—20,0 Hz auftritt, der an die bei zwei Piepern festgestellten hohen Frequenzen erinnert. Auch hier sind für eine schlüssige Aussage zusätzliche Vergleichszahlen notwendig.

BACHSTELZE *Motacilla alba* (Abb. 3c, d): Unsere Messungen liegen mit 16,1—18 Hz (im Mittel zwischen 16,3 und 17,4 Hz) etwas höher als die Werte für die Schafstelze, obwohl aufgrund von Flügellänge und Gewicht eher das Gegenteil zu erwarten wäre. Wir rechnen, bis weitere Daten verfügbar werden, mit 16,7 Hz \pm 10 %.

GARTENROTSCHWANZ *Phoenicurus phoenicurus* (Abb. 3e): Unsere Werte von 14,5—15,6 Hz (meist um 15,2 Hz) decken sich gut mit dem von OE (1959 und 1970) für den Rüttelflug gemessenen Wert (15 Hz), liegen aber unter dem von G (in HN und B 1972) gegebenen Wert von 16,70 Hz. Da in unserer Echsignatur noch Frequenzen um 13,1—13,5 Hz auftreten, müssen wir einen relativ breiten Streubereich annehmen: Mit 15,8 Hz \pm 17 % versuchen wir auch den Angaben von G gerecht zu werden.

ROTKEHLCHEN *Erithacus rubecula* (Abb. 3f): Unsere Messwerte scheinen vernünftig; obwohl Vergleichszahlen fehlen, und es sich wie beim Gartenrotschwanz um einen vom Ballon freigelassenen Vogel handelt, nehmen wir 16,2 Hz \pm 11 % als vorläufigen Gebrauchswert an.

WACHOLDERDROSSEL *Turdus pilaris*: Wir massen 6,5—8,8 Hz (im Mittel 7,1 Hz). Aus einer Abbildung von STORK (1968) lässt sich eine Frequenz von ca. 7,5 Hz auszählen, während G, bestätigt durch HN und B (in HN und B 1972) 8,39 Hz angibt. Wir nehmen 7,6 Hz \pm 15 % an.

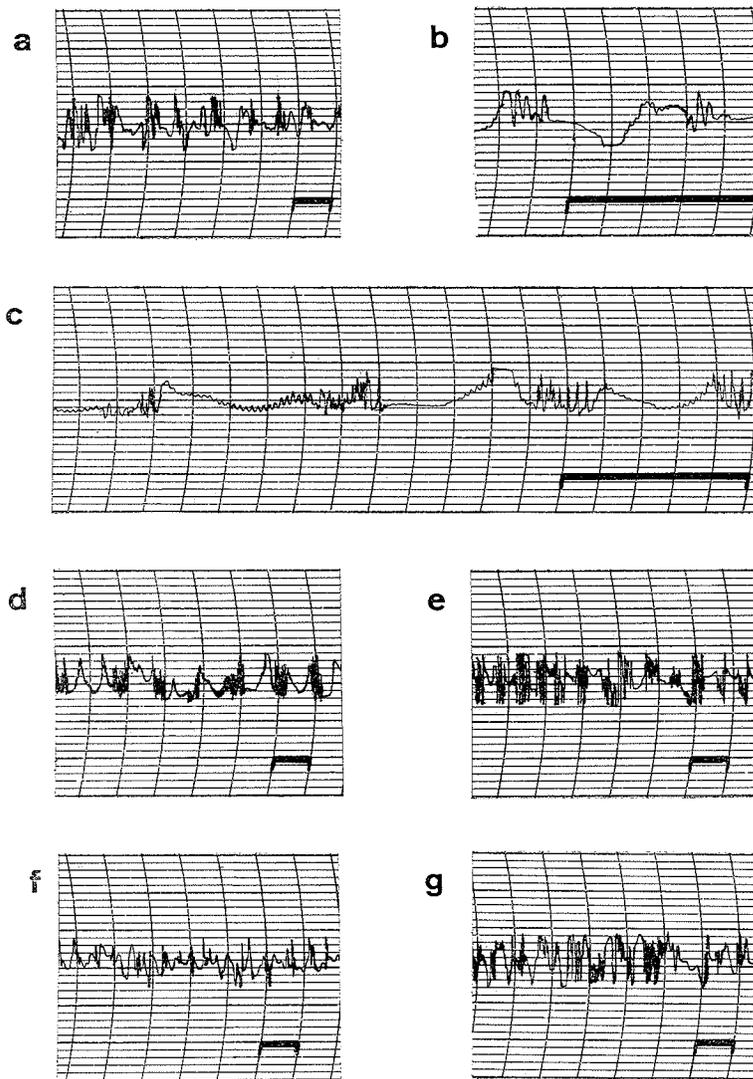


ABB. 3: Flügelschlagmuster von a) Schafstelze *Motacilla flava* in geringer Dehnung (1 Sekunde = 5 mm auf dem Schreiber), b) Schafstelze in grösserer zeitlicher Dehnung (1 Sekunde = 25 mm auf dem Schreiber), c, d) Bachstelze *Motacilla alba*, e) Gartenrötel *Phoenicurus phoenicurus*, f) Rotkehlchen *Erithacus rubecula*, g) Zaungrasmücke *Sylvia curruca*.

AMSEL *Turdus merula*: Unsere eigenen Messungen, wie auch die Angaben in der Literatur divergieren stark. Eine Erklärung für diese unterschiedlichen Messwerte geben OE (1963) und STORK (1968), indem sie zeigen, dass die Amsel stetige Flügelschläge mit Frequenzen von 11—12 Hz vor allem beim Starten anwendet; beim Übergang zum Streckenflug wird zwar annähernd dieselbe Abschlaggeschwindigkeit beibehalten, zwischen Auf- und Abschlag werden jedoch oft sogenannte Anhaltephasen eingeschaltet, d. h. der Abschlag wird verzögert. Dieses «Anhalten» führt, wenn es regelmässig in alle Schlagzyklen eingeschaltet wird, zu einer Verringerung der Schlagkadenz. Erfolgt nur alle 2—3 Flügelschläge ein «Anhalten», so interpretieren wir dies als Pause zwischen kurzen Schlagphasen. Es scheint deshalb richtig, für die Amsel mehr als einen Bereich von Flügelschlag-«Frequenzen» anzunehmen. Die Angaben von HG (1968) mit 6,8 Hz, wie auch unsere Messwerte um 7 Hz wären demnach dem von OE (1963) und STORK (1968) beschriebenen Streckenflug mit Anhaltephasen nach jedem Flügelschlag zuzurechnen. Der Wert von G (in HN und B 1972) mit 9,98 Hz und unsere Werte im Bereich von 9—10,4 Hz deuten auf einen zusätzlichen Flugmodus im horizontalen Streckenflug, in dem die Schlagfrequenz niedriger als beim Start, aber höher als beim Flug mit einer Anhaltephase in jedem Schlagzyklus ist. Die Angabe von M (1955) ist mit 5,6 Hz vermutlich zu tief. Wir rechnen für den horizontalen Streckenflug mit $7 \text{ Hz} \pm 10\%$ und $9,7 \text{ Hz} \pm 10\%$, wobei noch zu entscheiden ist, ob einer dieser Flugtypen auf dem Zug bevorzugt wird.

MISTELDROSSEL *Turdus viscivorus*: Unsere 7,0—7,9 Hz stimmen gut überein mit den aus einer Abbildung von STORK (1968) auszählbaren 7,5 Hz. $7,5 \text{ Hz} \pm 10\%$ dürfte ein guter Normwert sein.

ZAUNGRASMÜCKE *Sylvia curruca* (Abb. 3g): Unser vom Ballon aus gestartetes Exemplar flog mit 16,3—17,3 Schlägen pro Sekunde. G (in HN und B 1972) gibt für die etwas grössere und langflügligere Dorngrasmücke *Sylvia communis* 17,17 Hz. Die Regel, dass kleinere und kurzflügligere Arten höhere Flügelschlagfrequenzen haben, würde deshalb bei unserer Art eher noch höhere Frequenzen erwarten lassen. Für eine schlüssige Aussage sind weitere Messungen notwendig.

BUCHFINK *Fringilla coelebs* (Abb. 4a): Auffallenderweise liegen auch hier wieder alle unsere Messwerte von wahrscheinlich ziehenden Vögeln unter der Angabe von G (in HN und B 1972). G nennt 17,84 Hz, während unsere Mittelwerte im Bereich von 16,5 Hz liegen (Gesamtstreuung 15,4—17,5 Hz). Um auch den Messungen von G gerecht zu werden, nehmen wir $17 \text{ Hz} \pm 10\%$ als üblichen Frequenzbereich an.

GRÜNFINK *Carduelis chloris* (Abb. 4b, c): Nur eigene Messungen (vermutlich Zug): Wir nehmen als vorläufigen Gebrauchswert $16 \text{ Hz} \pm 10\%$.

DISTELFINK *Carduelis carduelis* (Abb. 4d, e): Nur eigene Messungen (vermutlich Zug): $17,3 \text{ Hz} \pm 10\%$ scheint ein vernünftiger Wert. Ein Frequenzanteil im Bereich von 19,4—20 Hz ist nicht ohne weiteres erklärbar (vgl. auch Schafstelze und Pieper).

STAR *Sturnus vulgaris* (Abb. 5): Eigene Daten von nicht ziehenden Exemplaren zeigen Frequenzen von 8,9—10,3 Hz. G (1969) gibt 11,63 % (95 % aller Vögel innerhalb eines Streubereiches von 10,19—13,0 Hz); HN und B (1972) bestätigen diese Angabe. OE (1963) gibt ähnlich wie bei der Amsel verschiedene Werte:

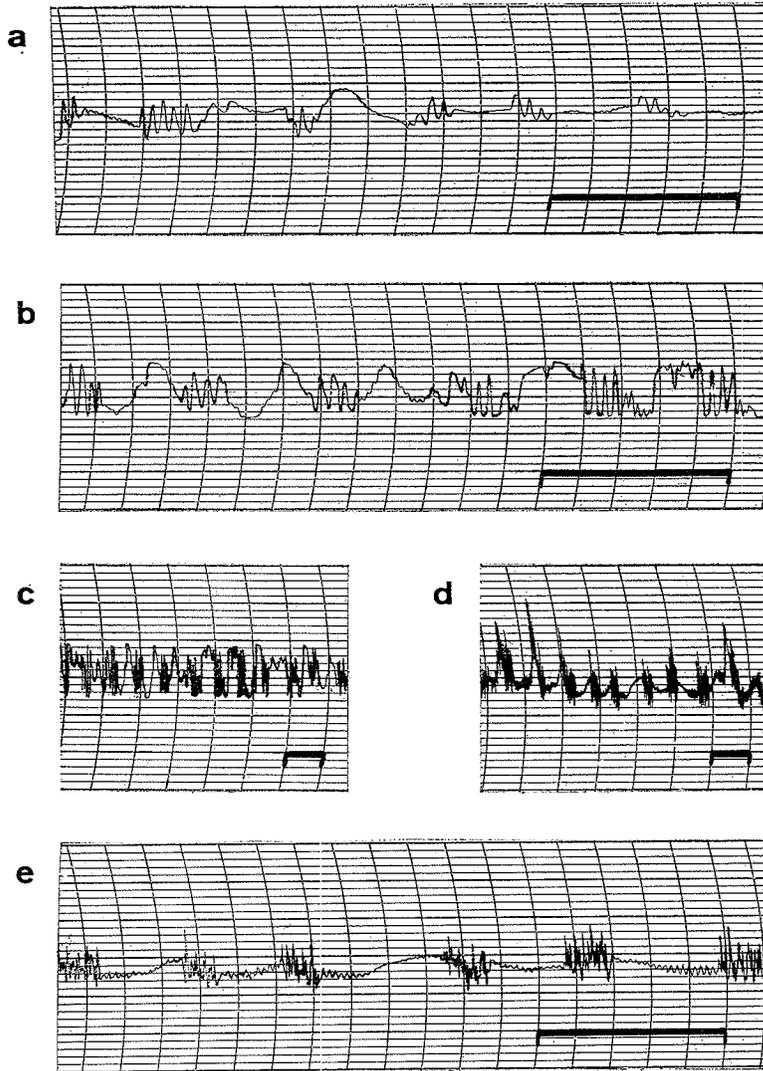


ABB. 4: Echosignaturen von a) Buchfink *Fringilla coelebs*, b, c) Grünfink *Carduelis chloris*, d, e) Distelfink *Carduelis carduelis*. In allen Abbildungen ist auf der Abszisse ein Zeitmassstab eingetragen, der die Länge einer Sekunde zeigt.

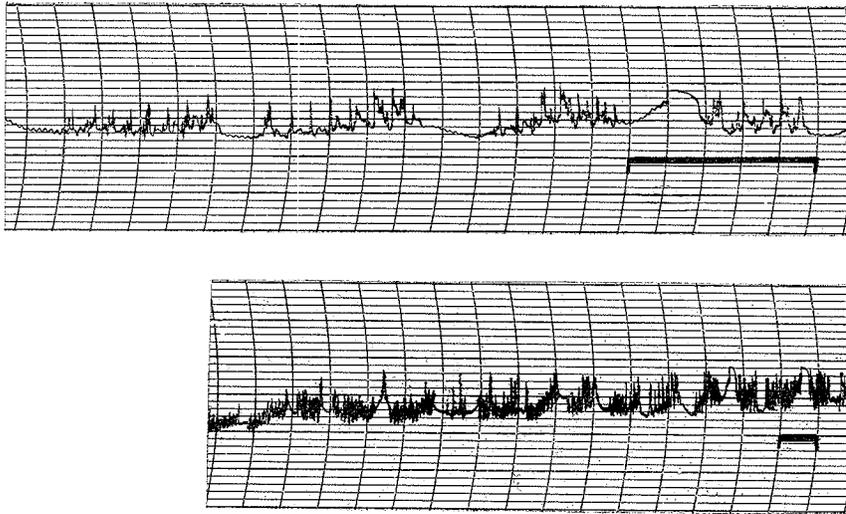


ABB. 5: Typische Echosignaturen eines Stars *Sturnus vulgaris*. Das Flügelschlagmuster besteht aus Schlagphasen von 0,5 bis 1,2 Sekunden Dauer (5—12 Schläge) und Pausen von 0,1 bis 0,4 Sekunden. Besonders bei starker Dehnung werden die zusätzlich zu den Flügelschlägen auftretenden Echofluktuationen sichtbar.

14 Hz für den waagrechten Start, 13,5 Hz für den Schnellflug, 11,5 Hz für den Flug mit Höchstgeschwindigkeit und 8—9 Hz für den Streckenflug mit geringer Geschwindigkeit (sog. Schonflug). Bei den schnellen Flugformen und beim Start stellte OE keine Unterteilung in Schlagphasen und Pausen fest. Beim Schonflug sollen kurze Anhaltephasen innerhalb der einzelnen Schlagzyklen und längere Pausen zwischen den einzelnen Schlagphasen liegen. Die optischen Messungen von M (1955) liegen mit 5—5,2 Hz wahrscheinlich zu tief.

Unsere Flügelschlagmuster, wie auch die von G (1969), enthalten deutliche Schlagphasen und Pausen; die Flugform entspricht am ehesten dem sogenannten Schonflug. Leider handelt es sich bei unsern Radardaten nicht eindeutig um Flügelschlagmuster von ziehenden Vögeln, sondern eher wie bei G um Vögel auf Schlafplatz- oder Futterflügen. Wir wissen jedoch von Zugbeobachtungen im Jura und auf Alpenpässen, dass ziehende Stare in der Regel deutlich unterscheidbare Schlagphasen und Pausen zeigen und deshalb keine der von OE beschriebenen schnellen Flugformen anwenden. Zur Kontrolle haben wir aus einem Film von H. R. HAEFELFINGER Flügelschlagfrequenzen von über den Col de Bretolet (Walliser Alpen) ziehenden Staren ausgezählt. Obwohl der Film lediglich mit der Normalgeschwindigkeit von 24 Bildern pro Sekunde aufgenommen worden war, liefert er innerhalb der durch die Bildfrequenz gesetzten Grenzen sehr zuverlässige Daten, da die verwendete Kamera mit einem elektronischen Bildfrequenzzähler ausgerüstet war (Gleichlaufstörungen, die bei anderen Kameras vor allem in der Anlaufphase auftreten können, sind damit ausgeschlossen). Es zeigt sich auch hier der bekannte Wechsel von Schlagphasen und Pausen. Ein Schlagzyklus läuft normalerweise innerhalb von drei Bildern ab; selten müssen bis zu 3,5 Bilder angenommen werden, nie weniger als 2,5 Bilder. Wenn die

Schlagfrequenz auch nicht exakt bestimmt werden kann, so werden doch die Grenzfrequenzen deutlich: Die Schlagfrequenz sank bei rund 50 Schlagzyklen ziehender Stare selten unter 8 Hz und stieg nie über 10,5 Hz; sie liegt also im Bereich des von OE beschriebenen Schonfluges und im Bereich unserer Radardaten. Wir rechnen vorläufig für den Zug mit Frequenzen von $9,5 \text{ Hz} \pm 15 \%$. Weitere Messungen müssen zeigen, ob während des Zuges konsequent «Schonflug» mit relativ niedrigen Schlagfrequenzen angewendet wird oder ob nicht auch höhere Schlagfrequenzen im von G festgestellten Bereich auftreten.

ELSTER *Pica pica*: Unsere Messung an einem über mehrere 100 Meter horizontal fliegenden Vogel liegt mit einem mittleren Wert von 4,8 Hz deutlich höher als die Angaben von M (1955) mit 3 Hz und die von HG (1968) mit 2,9 Hz; wobei M offenbar nur einen kurzen Flug von Baum zu Baum berücksichtigen konnte und HG seine Angabe nicht kommentiert.

RABENKRÄHE *Corvus corone*: Unsere Messungen liegen zwischen 3,1 und 4,2 Hz und decken sich gut mit den Angaben in der Literatur. M (1955) gibt 3,5—3,7 Hz, HG (1968) 3,2 Hz und G, bestätigt durch HN und B (in HN und B 1972) gibt 3,92 Hz. Aus einer Abbildung von HN (1969) lassen sich 3,8 Hz auszählen und OE (1965) gibt für die Nebelkrähe 4 Hz. $3,6 \text{ Hz} \pm 15 \%$ scheint der übliche Frequenzbereich zu sein.

4. Diskussion

Beim Vergleich unserer Messwerte mit den verfügbaren Literaturangaben fällt auf, dass die optischen Messungen von MEINERTZHAGEN (1955) in der Regel etwas tiefere Frequenzen ergeben haben als unsere Radarmessungen. Da viele Frequenzen an der oberen Grenze des noch Auszählbaren liegen, ist die Tendenz zu tieferen Werten verständlich. Abgesehen von kaum optisch auszählbaren Frequenzen (wie z. B. bei Amsel und Star), erstaunt jedoch die hohe Genauigkeit dieser mit einfachsten Mitteln erreichten Resultate. Andere optische Zählungen (z. B. BLAKE 1947) zeigen, dass weniger geübte Beobachter zu wesentlich tieferen Frequenzen gelangen.

Nicht ohne weiteres erklärbar sind die Unterschiede zwischen unsern Messungen und den Angaben von GRIFFITHS (1969 und in HOUGHTON und BLACKWELL 1972). GRIFFITHS' Werte, die zum Teil durch Radardaten von HOUGHTON und BLACKWELL bestätigt werden, liegen (ausgenommen beim Graureiher) durchwegs höher als unsere Werte. Erstaunlich sind vor allem die grossen Differenzen bei Stockente, Ringeltaube, Feldlerche und Star. Die Frequenzen aller vier Arten sind offenbar durch Radardaten bestätigt; Ringeltaube und Star sind zudem von GRIFFITHS (1969) sehr eingehend untersucht worden. Demgegenüber zeigen die auf Zeitlupenfilmen beruhenden Angaben der deutschen Autoren (STORK 1968 und OEHME 1959, 1963, 1968, 1970) eher eine Übereinstimmung mit unsern Ergebnissen. Auch unsere Kontrolle an Filmmaterial ziehender Stare hat die eigenen Resultate bestätigt. Wir sehen im Moment keine Möglichkeit, die vorhandenen Unterschiede zu erklären. Da die Abweichungen alle in dieselbe Richtung tendieren, sind methodische Fehler nicht auszuschliessen. Immerhin lassen die vorhandenen Daten vermuten, dass einzelne Arten ihre Flügelschlagfrequenzen in weiten Grenzen variieren können und je nach Zweck des Fluges verschiedene Flugformen

anwenden. Trotz hoher Flächenbelastung der Flügel kann der Star offenbar Frequenzen zwischen 8 und 14 Hz anwenden; dabei liegen die während des Zuges verwendeten Frequenzen offenbar eher im unteren Teil dieses Bereiches; der Flugmodus des Zuges scheint einem sogenannten «Schonflug» zu entsprechen. Auch beim Mauersegler kennen wir Frequenzen zwischen 6 und 11 Hz, wobei wir beim Zug auch hier ein Vorherrschen der unteren Frequenzen vermuten. Dass ein Greifvogelspezialist wie THIOLLAY für ziehende Turmfalken Frequenzen um 3,5 Hz auszählte und damit Messungen von MEINERZHAGEN bestätigte, während verschiedene Messungen an vermutlich nicht ziehenden Exemplaren Frequenzen über 5 Hz ergaben, macht auch bei dieser Art eine spezielle, kräftesparende Flugform während des Zuges wahrscheinlich. Die gesamte Variationsbreite der Schlagfrequenzen beträgt bei den drei letztgenannten Arten nahezu $\pm 30\%$ um den Mittelwert der beiden Extreme. Sollte sich der Flugmodus während des Zuges wirklich auf die untere Hälfte des Frequenzbereiches beschränken, wäre mit einer Variationsbreite von gut $\pm 15\%$ zu rechnen. Die bis dahin verfügbaren Messungen betreffend Streckenflüge anderer Arten scheinen dies zu bestätigen, indem selten grössere Streubereiche angenommen werden mussten. Ob andere Arten beim Zug ebenfalls niedrigere Schlagfrequenzen bevorzugen, ob mit solchen Schonflugformen die von PENNYCUICK (1969) postulierte Geschwindigkeit grösster Reichweite eingehalten werden kann, ob unterschiedliche Flugbedingungen nicht zu wesentlichen Differenzen im Flugverhalten führen können, muss vorläufig offen bleiben.

Die parallele Verwendung von zwei Registriersystemen (z. B. Radar und Film), vermehrte Messungen an sicher ziehenden Vögeln und zusätzliche Messungen betreffend Flugbedingungen und Fluggeschwindigkeiten drängen sich auf.

ZUSAMMENFASSUNG

1. Mit Hilfe des Zielfolgeradars «Superfledermaus» wurden Echosignaturen von 19 tagsüber beobachteten Vogelarten aufgezeichnet. Flügelschlagmuster von fünf Nachtzihern konnten registriert werden, indem die Vögel während der Zugzeit gefangen und aus an Fesselballonen befestigten Schaumstoffbehältern freigelassen wurden.
2. Von allen 24 Arten wurden die Flügelschlagfrequenzen bestimmt und, soweit vorhanden, mit Angaben aus der Literatur verglichen. Ein Teil der festgestellten Differenzen ist vermutlich auf methodische Unzulänglichkeiten zurückzuführen.
3. Bei Turmfalk *Falco tinnunculus*, Mauersegler *Apus apus* und Star *Sturnus vulgaris* liegen im Horizontalflug die tiefsten und höchsten Schlagfrequenzen knapp 30% unter bzw. über dem Mittelwert der beiden Extreme. Die vorhandenen Angaben deuten darauf hin, dass beim Zug Schlagfrequenzen aus der unteren Hälfte dieses Bereiches verwendet werden, womit sich der bei Zugstudien zu berücksichtigende Streubereich auf ca. $\pm 15\%$ um den jeweiligen Mittelwert reduzieren würde.
4. Bei den meisten Arten werden aufgrund der verfügbaren Daten für den horizontalen Streckenflug Streubereiche in der Grössenordnung von $\pm 15\%$ um den jeweiligen Mittelwert angenommen, doch ist in den meisten Fällen unsicher, ob die vorhandenen Daten der Flugform des Zuges entsprechen.

SUMMARY

1. A short introduction is given concerning intensity variations of radar echoes and their dependence on wing beats of birds. The possibilities and difficulties of identifying birds with the help of radar data are summed up. One part of the information necessary for identification, the wing beat frequency, is picked upon for this study.
2. A tracking radar of the type «Superfledermaus» was used for automatically tracking birds. Echo signatures were recorded on tape. Frequencies corresponding to the wing

beat frequencies of the birds were extracted by measuring the distances between the peaks on the drafts of a pen-writer, and by electronic filtering of the signal. Both methods gave the same results.

3. Echo signatures of 19 species were recorded on day time flights. To get echo signatures of night migrants, a number of such species were caught during migration time and released from cages suspended under balloons. Only five birds (of five species) flew off horizontally; most flying steeply down to the ground. Nearly all birds (even those diving steeply to the ground) flew off downwind.
4. The data are compared to that available in the literature. It is assumed that differences in the data partly arise from insufficiencies of the different methods. It is suggested that different methods should be applied simultaneously.
5. The Kestrel (*Falco tinnunculus*), the Swift (*Apus apus*) and the Starling (*Sturnus vulgaris*) show wing beat frequencies in horizontal flight varying between 30 % below and 30 % above the corresponding mean. The data available suggest that on migration only the lower half of this range is used; the frequency range to be considered in migration studies dropping to $\pm 15\%$ around the lower mean.
6. The known wing beat frequencies of most species in level flight let assume ranges of variation in the order of $\pm 15\%$ around the mean in question. Yet in most cases it is not known whether the data correspond to the flight pattern of migration.

LITERATUR

- BLACKWELL, F. and HOUGHTON, E. W. (1969): Radar tracking and identification of wild duck during the autumn migration. Proc. world conference on bird hazards to aircraft (Kingston, Ontario, Sept. 1969): 361—376.
- BLAKE, C. H. (1947): Wing-flapping rates of birds. Auk 64: 619—620.
- 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 WEITNAUER, E. (in Vorbereitung): Radarbeobachtungen über Zug und Nachtflüge des Mauerseglers *Apus apus*. Rev. Suisse Zool.
- GRIFFITHS, M. E. (1969): The variation in the wingbeat pattern of the Starling (*Sturnus vulgaris*) and the Wood-pigeon (*Columba palumbus*). Biophysics Research Unit, University of Technology, Loughborough, Leics.: Report No. 4.
- HERZOG, K. (1968): Anatomie und Flugbiologie der Vögel. Stuttgart.
- HOUGHTON, E. W. (1969): Radar track of two crows. RRE Memorandum No. 2483.
- HOUGHTON, E. W. and BLACKWELL, F. (1972): Use of bird activity modulation waveforms in radar identification. Presented at 7th Meeting Bird Strike Committee Europe; distributed to members as manuscript.
- MEINERTZHAGEN, R. (1955): Speed and altitude of bird flight (with notes on other animals). Ibis 97: 81—117.
- OEHME, H. (1959): Untersuchungen über Flug und Flügelbau von Kleinvögeln. J. Orn. 100: 363—396.
- (1963): Flug und Flügel von Star und Amsel. Biol. Zbl. 82: 413—454.
- (1965): Über den Kraftflug grosser Vögel. Beitr. Vogelk. 11: 1—31.
- (1968): Der Flug des Mauerseglers (*Apus apus*). Biol. Zbl. 87: 287—311.
- (1970): Der Rüttelflug des Gartenrotschwanzes (*Phoenicurus phoenicurus*). Beitr. Vogelk. 15: 417—433.
- PÄTZOLD, R. (1963): Die Feldlerche (*Alauda arvensis* L.). Neue-Brehm-Bücherei, Wittenberg, Lutherstadt.
- PENNYCUICK, C. J. (1969): The mechanics of bird migration. Ibis 111: 525—556.
- SCHAEFER, G. W. (1966): The study of bird echoes using a tracking radar. A synopsis of recent experiments. (Vervielfältigt zu Handen der Teilnehmer am 14. Int. orn. Kongr., Oxford 1966).
- (1968): Bird recognition by radar. A study in quantitative radar ornithology. In: The problems of Birds as Pests; MURTON and WRIGHT, eds., London/New York.

- SCHÜZ, E. (1971): Grundriss der Vogelzugskunde. Berlin.
- STORK, H.-J. (1968): Morphologische Untersuchungen an Drosseln. Eine Analyse von Anpassungsstrukturen im Körperbau von sechs europäischen Arten der Gattung *Turdus* L. Z. wiss. Zool. 178: 72—185.
- THIOLLAY, J. M. (1967): La migration d'automne des Rapaces diurnes aux cols de Cou et Bretolet (II). Nos Oiseaux 29: 69—97.

Dr. B. Bruderer, B. Jacquat und U. Brückner, Schweiz. Vogelwarte, 6204 Sempach