

Vogelzug-Quantifizierung - ein Vergleich verschiedener Methoden

(Quantification of bird migration - different means compared)

von BRUNO BRUDERER und FELIX LIECHTI, Schweiz, Vogelwarte Sempach

(Leicht überarbeitete und aufdatierte Übersetzung, Proc. Bird Strike Committee Europe 22, 243-254, 1994)

Zusammenfassung: In der Arbeit werden kurz verschiedene in der Vergangenheit verwendete Methoden zur Quantifizierung des Vogelzuges verglichen. Anschließend werden die Ergebnisse eines kürzlich durchgeführten Vergleichs dreier Methoden präsentiert. Simultane Beobachtungen vor der Mondscheibe mit Fernrohr sowie mit Infrarot und eng gebündeltem Radarstrahl ermöglichten es, die drei Beobachtungsmittel gegen einander zu eichen. Jede der Methoden hat ihre spezifischen Vor- und Nachteile. Die Arbeit betont die Grenzen und Möglichkeiten der drei Methoden und liefert Korrekturfaktoren, um die Ergebnisse innerhalb definierter Grenzen vergleichbar zu machen.

Summary: The paper contains a brief review of hitherto used methods for the quantification of bird migration with results of a recent comparison of three methods being added. Simultaneous observations made by telescope against the moon's disc, by passive infrared, and by pencil-beam radar enabled us to intercalibrate the three methods, each of which having its benefits and drawbacks. This paper emphasizes the limits and advantages of the three methods and provides correction factors to render the results comparable within defined limits.

I. Einleitung

Die Quantifizierung des Vogelzuges ist ein altes Ziel der ornithologischen Forschung. Im Laufe der letzten Jahrzehnte erhielt sie zunehmende Bedeutung im Bereich der praktischen Anwendung, z.B. im Zusammenhang mit der Schätzung von

Soc.: 138-144, preprints.

JELLMANN, J. (1977): Radarbeobachtungen zum Frühjahrszug über Nordwestdeutschland und die südliche Nordsee im April und Mai 1971. Die Vogelwarte 29: 135-149.

ROTTGER, J. und M.F. LARSEN. (1990): UHF, VHF radar techniques for atmospheric research and wind profiler applications. In: D. Atlas. Radar in Meteorology, Amer. Meteor. Soc. Boston, 235-281.

RUHE, W. (1996): EDV-unterstützte Vogelzugbeobachtung mit dem ASR-Radar in Pisa/Italien. Vogel und Luftverkehr 16: 76-90.

RUHE, W. und D. ENGELBART (1996): Bird migration observation in the Berlin area using ATC-Radar and windprofiler. Intern. Birdstrike Committ., Proc. and Papers, IBSC 23, 13-17 May 1996 in London, WP 55. 527-538.

STEINHAGEN, H., U. GORSDORF, J. LIPMANN und J. NEISSER (1994): A 1290 MHz Windprofiler with RASS for monitoring of wind and temperature in the boundary layer. 3rd. Int. Symp. Troposph. Profiling: Needs and Technol. Hamburg. Aug. 30-Sept. 2, Extd. Abstr. 2: 343-346.

VAUGHN, C.R. (1985): Birds and insects as Radar targets: A review. Proc. IEEE, 73 (2), 205-227.

WEBER, B.L. und D.B. WUERTZ (1991): Quality control algorithm for profiler measurements of winds and RASS temperatures. NOAA Techn. Memo., ERL WPL, 212.

WILCZAK, J.M., R.G. STRAUCH, F.M. RALPH, B.L. WEBER, D.A. MERRITT, J.R. JORDAN, D.E. WOLFE, L.K. LEWIS, D.W. WUERTZ, J.F. GAYNOR, S.A. MCLAUGHLIN, R.R. ROGERS, A.C. RIDDLE und T.S. DYE (1995): Contamination of wind profiler data by migrating birds: Characteristics of corrupted data and potential solutions. J. Atmos. Ocean. Technol. 12, No. 3, 449-467.

Anschrift des Autors:

Dr. Dirk Engelbart
Deutscher Wetterdienst
Meteorologisches Observatorium Lindenberg
15864 Lindenberg

Populationstrends oder im Hinblick auf die Verminderung von Vogelkollisionen mit Flugzeugen.

Mit Hilfe von langfristig betriebenen standardisierten Fangstationen lassen sich Populationstrends ermitteln (z.B. BERTHOLD et al. 1986). Bei großen Tagziehern können koordinierte und standardisierte Feldbeobachtungen gewisse Kenndaten liefern (z.B. BILSMA 1987). Zählungen vom Boden aus können ergänzt werden durch Beobachtungen aus Flugzeugen, um ein vollständigeres Bild, insbesondere auch über den Zug in großer Höhe zu erhalten (z.B. LESHEM 1988). Der Fang aktuell ziehender Vögel auf Alpenpässen liefert artspezifische Angaben über jahres- und tageszeitliche Zugmuster von Singvögeln (DORKA 1966, JENNI 1984). Die Kenntnis dieser Phänologie erlaubt es, im Bereich der Luftfahrt Zeiten mit hohem Kollisionsrisiko vorauszusagen. Zusätzliche Angaben sind erforderlich über Zugkonzentrationen in gewissen Gebieten (Topographieeffekte, z.B. BRUDERER 1996, 1997b, RIVERA & BRUDERER im Druck), zu gewissen Zeiten (Wettereinfluss, RICHARDSON 1990) und in gewissen Höhenbereichen (BRUDERER et al. 1995b). All dies zeigt sich am besten im Rahmen von Radarbeobachtungen (BUURMA & BRUDERER 1990, BRUDERER 1997a). Radar kann unter gewissen Bedingungen auch Direktwarnungen an Piloten ermöglichen, besonders wenn automatisches Erkennen definierter Zugintensitätsstufen erreicht wird (BUURMA 1994). Vor allem für die Beobachtung des nächtlichen Vogelzuges ist Radar anderen Mitteln, wie dem Registrieren von nächtlichen Zugrufen, Beobachtungen vor dem Vollmond oder entlang eines Lichtstrahles, mit Hilfe von Restlichtverstärkern oder mit passiven oder aktiven Infrarotgeräten in mancher Hinsicht überlegen.

Die Überlegenheit von Radarbeobachtungen wird jedoch häufig zu leicht akzeptiert und kritische Fragen zu dem, was auf dem Radarschirm erscheint, werden zu oft vernachlässigt. Die hohe Akzeptanz beruht einerseits darauf, daß die Probleme des Beobachtungsgerätes nicht erkannt werden, andererseits auch darauf, daß die erhaltenen Daten bei der Reduktion des Vogelschlagrisikos helfen können, auch wenn nicht wirkliche Vogelanzahlen und -verteilungen geliefert werden. Die Daten entsprechen dem, was bei sehr unterschiedlichen Radargeräten die verschiedensten Filterungsvorgänge passiert und nach elektronischer Bearbeitung dem Anwender zugänglich gemacht wird. Allenfalls können die Daten durch Interpretation geübter Anwender an Bedeutung gewinnen, aber nur selten geben sie Aufschluß über die Zahl und Verteilung der im Luftraum befindlichen Vögel. Im ersten Teil dieser Arbeit möchten wir deshalb kurz einige grundlegende Grenzen von Radarbeobachtungen zur Quantifizierung des Vogelzuges in Erinnerung rufen. Der zweite Teil liefert eine Übersicht über einige wichtige Arbeiten, in denen mit Radar und anderen Mitteln eine Quantifizierung des Nachtzuges angestrebt wurde. Im dritten Teil werden zwei Methoden, die im sichtbaren bzw. infraroten Lichtbereich arbei-

ten, mit Messungen in einem eng gebündelten Radarstrahl verglichen. Vor- und Nachteile der drei Methoden werden aufgezeigt.

2. Grundsätzliches zur Quantifizierung des Vogelzuges mittels Radar

Das Standardwerk über Radar-Ornithologie ist immer noch das Buch von EASTWOOD (1967). Es beschreibt beinahe alle Probleme der Vogelzug-Quantifizierung mit denen wir heute noch kämpfen, darunter die Eigenheiten der Vögel selbst (geringe Größe, zeitlich und je nach Aspekt variierende Reflektivität, Gruppenbildung sowie variable horizontale und vertikale Verteilung) und die Charakteristika der Radargeräte (horizontale und vertikale Form der Antennendiagramme, Pulsvolumen, Empfindlichkeit, Grenzen der Darstellung von Radarinformationen auf dem Bildschirm). Die Registriermethoden wären als ein weiteres wichtiges Glied in der Kette zu nennen. EASTWOOD betont auch die Wirkung von Wellenlänge und Streuquerschnitt (Maß für die reflektierende Fläche) bei Zielen, deren Umfang im Bereich der verwendeten Wellenlängen liegt. Als Konsequenz dieser Zielgröße/Wellenlängen-Relation ergibt sich, daß Interferenzen zwischen direkt reflektierten und um das Ziel herum gebeugten Wellen zu einer Signalvergrößerung bzw. -verkleinerung führen, je nachdem ob die beiden Wellen in Phase oder nicht in Phase sind (BRUDERER 1969). Aufgrund desselben Effektes nimmt der Streuquerschnitt mit der 6. Potenz der Zielgröße ab, wenn der Zielumfang kleiner ist als die Wellenlänge (Rayleigh-Streubereich). Dies hat zur Folge, daß bei sehr kurzen Wellenlängen (z.B. X-Band), Insektenkontamination zu einem erheblichen Problem werden kann; sehr große Insekten können ähnliche Streuquerschnitte erreichen wie kleine Vögel, während mittelgroße Insekten zwar kleinere Echos ergeben, aber in großer Zahl auftreten können. Bei langen Wellen (vom S-Band aufwärts) verschwinden kleine Vögel zunehmend aus dem Radarbild. Im C-Band arbeitende Radaranlagen wären demnach am wenigsten durch Insekten bzw. durch Verluste an Vogeleos beeinträchtigt. Kürzere Wellenlängen sind günstiger, wenn es darum geht, mittels scharfer Bündelung die Genauigkeit der Ortung zu erhöhen. BURMA & BRUDERER (1990) sowie BRUDERER et al. (1995a) heben die Bedeutung verschiedener elektronischer Mittel hervor, die in zunehmendem Maße zur Eliminierung unerwünschter Ziele (u.a. Vögel) eingesetzt werden. Diese Mittel schließen unter anderem ein: Zirkulare Polarisierung, Standzeichenunterdrückung (MTI) und distanzabhängige Verstärkungsregulierung (STC). In denselben Publikationen werden auch die Vor- und Nachteile verschiedener Radartypen für die Detektierung von Vögeln beschrieben. Eine neue Übersicht über die methodische Basis und die wichtigsten Ergebnisse der Radar-Ornithologie wurde von BRUDERER (1997a, b) präsentiert.

Eine der wesentlichsten Entwicklungen der letzten Jahrzehnte stellte der Übergang von der Photo-Registrierung zur elektronischen Zählung von Echos dar. Erste dies-

bezügliche Vorschläge wurden von HOUGHTON (1971) und CLAUSEN (1973) gemacht. Wichtige Anregungen, solche Information auch operationell zu nutzen und mit Höhenmessungen in vertikalen Radarstrahlen oder Höhensuch-Radaranlagen zu verbinden, kamen von HUNT (1973, 1974, 1975, 1976). Die Ideen wurden in den Niederlanden weiterentwickelt, wo das KIEVIT-System die Lösung der 80-iger Jahre war (BUURMA 1984) und heute das ROBIN-System das höchste zur Zeit erreichte Niveau elektronischer Zugdichtemessungen an einem Großraumradar darstellt (BUURMA 1994, 1995). Allerdings liefert auch dieses System, das in der RNLAF äußerst effizient zur Reduktion von Vogelkollisionen eingesetzt wird, keine wirklichen Anzahlen von Vögeln in der Luft. Das operationelle Ziel ist, im Gegensatz zum wissenschaftlichen Ziel, weitgehend erreicht.

3. Versuche zur Quantifizierung des nächtlichen Vogelzuges

3.1. Mondbeobachtungen und Verhören von Flugrufen

Eine grundlegende Einführung in das quantitative Studium des Vogelzuges mittels Fernrohr vor dem Vollmond wurde von LOWERY (1951) gegeben. Der von LOWERY & NEWMAN (1955) gelieferte Vergleich von Mondbeobachtungen und Flugruf-Zählungen zeigte, daß die mit den beiden Methoden festgestellten Zugdichteschwankungen oft entgegengesetzt verliefen. Vermutlich ist die auditive Methode eher auf die bodennahen Luftschichten beschränkt, während die Detektionswahrscheinlichkeit mit der visuellen Methode mit dem Durchmesser des überwachten Konus zunimmt (bis sie aufgrund der Sichtbarkeitsgrenzen wieder abnimmt). Im Rahmen einer gut organisierten Kampagne von Mondbeobachtungen gelang es LOWERY & NEWMAN (1966) eine die ganze USA umfassende Übersicht über relative Zugdichten und Zugrichtungen in einzelnen Nächten zu erhalten. Abgesehen von den offensichtlichen Vorteilen einer kontinentweiten Überwachung sind folgende Nachteile der Methode zu berücksichtigen: 1) der vom einzelnen Beobachter überwachte Raum ist äußerst klein, 2) die Beobachtungszeit ist auf den Bereich um Vollmond in weitgehend klaren Nächten beschränkt, 3) in der Originalversion geht die Berechnung der Durchzugsraten (migration traffic rates = MTR) aus von einer uniformen Vertikalverteilung der Vögel bis zu einer Obergrenze bei 1500 m. Dabei entspricht weder die homogene Verteilung, noch die fixe Obergrenze der Realität (s. etwa BRUDERER 1971, 1994). Russische Beobachter (BOLSHAKOV 1985) schlugen eine Verbesserung der Methode vor, indem sie aus der Größe der Vogelsilhouetten auf die Flughöhe schlossen. Allerdings verfügten sie über keine Eichung der Relation zwischen Flughöhe und Silhouettengröße, und die Sichtweite wurde erheblich überschätzt. Eine eingehende Neubeschreibung der Mond-Methode liefern LICHTI et al. (1996), während Details zur Eichung bei LICHTI et al. (1995) zu finden sind.

3.2. Sichtbare Lichtstrahlen und Infrarot

Die mit permanenten Lichtstrahlen ausgerüsteten Leuchttürme aus der Zeit vor dem zweiten Weltkrieg waren berühmt für ihre Attraktionswirkung auf nachziehende Vögel in Nebelnächten, womit zumindest ein Teil der nächtlichen Aktivität sichtbar wurde (DROST 1960). GRABER & HASSLER (1962) demonstrierten, daß nächtlich ziehende Vögel in einem starken vertikalen Lichtstrahl gezählt werden konnten. GAUTHIEREAUX (1969) nahm diese Idee auf und benutzte einen tragbaren, normalerweise als „Ceilometer“ zur Vermessung der Wolkenbasis benutzten Scheinwerfer, um den Zug in den unteren Luftschichten zu überwachen. Nach seinen Eichungen konnten mit einem 20-fachen Fernrohr bis 300 m Höhe alle Vögel, bis 450 m die meisten, und große Singvögel zum Teil bis 700 m gesehen werden. Im Kurzdistanz-Bereich ist der Strahl jedoch oft kontaminiert mit Staubpartikeln und Insekten, weshalb wir bei eigenen Beobachtungen im Negev auf diese Methode verzichteten. GAUTHIEREAUX (1979) verbesserte die Methode durch Hinzufügen eines Restlichtverstärkers. Auf diese Weise erhielt er Durchzugsraten, die gut mit simultanen Mondbeobachtungen korrelierten: die Versuche deuteten auf eine Verdoppelung der Sichtweite im Vergleich zur Methode ohne Restlichtverstärker.

Aktive Infrarot-Beobachtungsgeräte können benutzt werden, um Vögel auf kurze Distanzen zu beobachten, z. B. ihr Verhalten beim Anflug auf Fangnetze (eigene unpubl. Daten). Die Beobachtung von Zugvögeln in Entfernungen von über 100 m ist jedoch mit den verfügbaren Geräten kaum möglich.

BUURMA (1986, 1988) schlug die Verwendung von passiven Infrarot-Systemen (Wärmebildgeräte, IR-Kameras) in Kombination mit einem Zielfolgeradar vor. Die Beobachtung von radar-verfolgten Vögeln mit der IR-Kamera lieferte Angaben über die Sichtbarkeitsgrenzen. Drosseln waren zu Beginn der Nacht und bei niedrigen Elevationswinkeln (Neigungswinkel) bis etwa 1 km Distanz sichtbar. Die Reichweite nahm später in der Nacht und bei höheren Elevationswinkeln auf etwa 2 km zu, vermutlich aufgrund des größeren Wärmekontrastes gegen die höheren Bereiche des Himmels und besserer Wärmeabstrahlung der Vögel gegen unten. BUURMA (1988) machte auch die ersten vielversprechenden Experimente mit einer vertikal gerichteten IR-Kamera, kombinierte aber diese Beobachtungen nicht mit Radarmessungen.

3.3. Überwachungsradar und Vergleiche mit visueller Beobachtungen

Die übliche Methode zur Quantifizierung des Vogelzuges mittels Überwachungsradar beruht auf dem Vergleich der Echodichten auf dem (meist photoregistrierten) Bildschirm mit einer arbiträren Referenz-Skala, wie ursprünglich von SUTTER (1957) und LACK (1959) vorgeschlagen. GEHRING (1963) publizierte eine den Verhältnissen am Überwachungsradar in Zürich-Kloten angepasste Skala für den Tagzug, die von

STEIDINGER (1968) auf den Nachtzug ausgedehnt wurde. Die Methode wurde später von vielen Autoren übernommen und ist auch heute noch ein brauchbarer Ansatz, um die relative Variation im Erscheinungsbild des Vogelzuges auf dem Bildschirm zu beschreiben. Es ist jedoch wichtig, zu berücksichtigen, daß die Zahl und Größe der auf dem Bildschirm erscheinenden Echos durch all die technischen Eigenheiten der Radargeräte beeinflußt werden, die in der Einleitung erwähnt wurden. Abgesehen von der unterschiedlichen Größe von Vögeln, der Schwarmbildung und der technisch bedingten Zusammenfassung mehrerer Vögel zu einem Echo, ergeben sich aus der Variation der Zughöhe ganz erhebliche nicht zugdichte-abhängige Variationen der Echodichten auf dem Bildschirm. Wesentliche Teile des Zuges können je nach Wetter und Tageszeit über oder unter dem besten Empfindlichkeitsbereich des Strahlenfächers liegen. EVANS (1966) und BUURMA (1984) beschreiben sichtbaren Tagzug als nahezu komplementär zu simultan mit Radar festgestellten Zugdichten.

EASTWOOD (1967) stellt fest: „One swallow does not make a summer, neither does it make an angel“. Je größer das Pulsvolumen des Radars, desto mehr Vögel werden künstlich zu einem Radarecho zusammengefaßt; je stärker die Vögel zur Schwarmbildung neigen, desto stärker divergiert die Echozahl auch bei Radaranlagen mit kleinem Pulsvolumen von der Zahl der Vögel.

Die ersten Versuche, Echodichten mit Anzahlen von Vögeln oder Vogelschwärmen zu korrelieren, stammen von SUTTER (1957) und GEHRING (1963), die koordinierte Feldbeobachtungen für Vergleiche im Tagzug verwendeten. Für den Nachtzug-Vergleich verwendeten GRABER & HASSLER (1962) einen Lichtstrahl, während NISBET (1963) seine Radardaten mit Mondbeobachtungen verglich. Trotz der guten Idee und ausgezeichneten Durchführung mußte NISBET'S Versuch scheitern, da er ein L-Band Radar (mit 23 cm Wellenlänge) verwendete, bei dem kleine Singvögel mehrheitlich eliminiert werden. GAUTHREAU (1970) benutzte für seine Beobachtungen mit einem WSR-57 Wetterradar (10 cm Wellenlänge) zwei verschiedene Skalen (eine für Tagzug und eine für Nachtzug) und eichte sie im Nachtzug mittels Mond- bzw. Ceilometer-Beobachtungen, im Tagzug mit Hilfe eines vertikal gerichteten Fernrohrs. Zunehmende Sättigung des Radarbildes mit Vogeleos wurde durch geeichte elektronische Abschwächung kompensiert. Später wurden die Methoden neu beschrieben und an Flughafen-Radaranlagen angepaßt (GAUTHREAU 1975, 1977). Diese Vergleiche waren wichtige Entwicklungsschritte, aber die Genauigkeit der Eichung war limitiert durch das Fehlen einer Eichung der visuellen Methoden und durch die oben beschriebenen Grenzen der visuellen Stichproben. ALFIYA (1990) versuchte die räumliche Begrenzung zu überwinden mit scheinwerferbestückten Leichtflugzeugen, die auf verschiedenen Höhen senkrecht zur Hauptzugrichtung flogen. All diese Methoden verbesserten die Interpretation

von Radardaten; aber der direkte Vergleich von identischen Luftvolumen mit verschiedenen Beobachtungsmitteln fehlte immer noch.

3.4. Eng gebündelte Radarstrahlen und deren Eichung mit visuellen Mitteln

EASTWOOD (1967) beschreibt den Gebrauch eines vertikal gerichteten Radarstrahls einschließlich die Registrierung des Z-modulierten A-Scopes mittels eines kontinuierlich laufenden Filmstreifens. BRUDERER (1971) setzte diese Methoden intensiv ein, um die Verteilung von Nachtzugechos in Raum und Zeit darzustellen; um auch die tiefen Luftschichten abzudecken, wurde auch in einem Radarstrahl mit geringer Elevation über dem Boden, senkrecht zur Hauptzugrichtung gemessen. Eine elektronische und eine zusätzliche „visuelle“ STC (Nahechodämpfung) wurden verwendet, um Insektenechos zu eliminieren. Ein durchschnittliches Antennendiagramm für Streuquerschnitte von 8 cm² wurde verwendet, um die distanzabhängige Veränderung des überwachten Raumes zu kompensieren. Das System wurde aber nicht mit Sichtbeobachtungen verglichen. Um den überwachten Raum zu vergrößern, wurden später rasche vertikale Abtastbewegungen senkrecht zur Hauptzugrichtung (BRUDERER 1980) bzw. konische Abtastbewegungen auf verschiedenen Elevationen (Neigungswinkel) verwendet (BRUDERER 1992, BRUDERER et al. 1995a).

GAUTHREAU (1984) kombinierte einen relativ leistungsschwachen vertikal gerichteten Radarstrahl (3-cm Wellenlängen) mit seinem visuellen Beobachtungssystem (Ceilometer, Restlichtverstärker und Videokamera). Es gelang ihm, die Information des visuellen Systems und des Radargerätes auf demselben TV-Monitor darzustellen. Gemäß den Spezifikationen war die operationelle Reichweite beider Systeme für nachziehende Vögel weitgehend auf einen Kilometer beschränkt.

4. Drei Quantifizierungsmethoden im direkten Vergleich

4.1. Methoden

Der Zielfolgeradar „Supertfledermaus“ wurde in einem standardisierten 24-Stunden-Programm eingesetzt, um das Zugverhalten und die räumliche Verteilung der Zugvögel im Herbst und im Frühling (80 Tage und Nächte pro Saison) im südlichen Israel zu dokumentieren. Quantitative Messungen wurden (mindestens während des Vormittags und in der Nacht) im Zweistunden-Rhythmus durchgeführt, indem der Himmel auf neun Elevationen konisch abgetastet wurde. Damit wurde eine Halbkugel von rund 6 km Radius um das Radar erfaßt (BRUDERER 1992, BRUDERER et al. 1995a).

Im Frühling und Herbst 1992 konnte ein zweites Radargerät desselben Typs am selben Ort für zusätzliche Experimente verwendet werden. Ein 40-faches Fernrohr (KO-

WA TSN2) und eine passive IR-Kamera (LORIS, IRTV-445L, Inframetrics USA) wurden mittels eines Zusatzstativs so am Antennenaggregat des Radargerätes befestigt, daß die optischen Achsen parallel zum Radarstrahl verliefen (LIECHTI et al. 1995). Das IR-Bild wurde übertragen auf einen Fernschirmschirm, der neben dem Radaroperateur stand. Der nominale Öffnungswinkel des Radarstrahls beträgt $2,2^\circ$, der genutzte Öffnungswinkel des LORIS war $1,1^\circ$, der Öffnungswinkel, den der Vollmond dem Beobachter bietet, beträgt $0,5^\circ$. Während der Nächte um Vollmond wurden die drei nahezu konzentrischen Beobachtungskonen auf den Mond gerichtet. Für die Vergleiche zwischen Radar und LORIS wurden die beiden „Strahlen“ senkrecht empor gerichtet. Für alle vom Mondbeobachter gemeldeten bzw. am IR-Gerät registrierten Vögel wurde sogleich die Entfernung im Radarstrahl bestimmt. Die Silhouettengröße der Vögel wurde unabhängig vom Mondbeobachter und auf dem IR-Bildschirm klassiert, wobei letztlich drei relativ grobe Klassen (groß - mittel - klein) für die weitere Analyse verwendet wurden (für Details siehe LIECHTI et al. 1995).

Mit der direkten Kombination der Methoden wurde es einerseits möglich, die Reichweite von Mond- und IR-Beobachtungen zu definieren, andererseits konnte der operationelle Öffnungswinkel des Radargerätes für Vögel bestimmt werden. Im vertikalen Radarstrahl (wenn die Vögel maximale Streuquerschnitte bieten), dürften im Radarstrahl Kleinvögel bis 4 km sichtbar sein. Der Vergleich mit den im Lichtbereich arbeitenden Mitteln wurde auf 3 km beschränkt.

4.2. Ergebnisse der Vergleiche

IR/Radar-Vergleich: Das Verhältnis zwischen der Zahl der am Radar und im IR gesehenen Vögel änderte sich zwischen 0,5 und 3 km nicht: d.h., daß mit dem IR-Gerät alle Vögel bis mindestens 3 km Höhe gegen den wolkenfreien Zenit gesehen werden konnten. Gemäß den beiden Öffnungswinkeln sollten im IR-Gerät etwa 50% der im Radarstrahl detektierten Vögel festgestellt werden. In Wirklichkeit betrug das Verhältnis zwischen der im Radar und im IR beobachteten Anzahl von Vögeln 4:1 (LIECHTI et al. 1995). Der IR-Konus ist aufgrund der kurzen Wellen exakt definiert, während sich die relativ langen Radarwellen nicht so geradlinig fortbewegen wie Lichtwellen und damit auch nicht exakt in einen definierbaren Strahl gebündelt werden können. Gemäß Konvention wird für Radarstrahlen ein Antennendiagramm ausgemessen, das angibt, bei welcher Winkelabweichung von der Strahlachse die Energie auf die Hälfte gesunken ist (die sogenannten 3-dB-Punkte). Die Antennendiagramme sind für Zielfolgeanlagen in der Regel keulenförmig. Je nach Entfernung ergibt sich deshalb ein anderer Öffnungswinkel. Als nomineller Öffnungswinkel gilt der Winkel, der gebildet wird durch die geraden Verbindungslinien vom Antennenzentrum zu den Rändern des breitesten Teils des Antennendiagramms. Rechnet man allein mit dem nominellen Öffnungswinkel, begeht man drei Fehler: 1. Alle Öffnungswinkel innerhalb der Distanz maximaler Strahlbreite

sind größer als der nominelle Öffnungswinkel. 2. Für die Berechnung des auf jeder Distanz erfaßten Volumens wird ein Antennendiagramm verwendet, das der häufigsten Zielgröße (d.h. im Falle unserer Beobachtungen mit Zielfolgeradar an einzeln fliegende Kleinvögel) angepaßt ist; für größere Vögel gilt ein geometrisch ähnliches, aber größeres Antennendiagramm; größere Vögel sind deshalb auch außerhalb des angenommenen Bereichs sichtbar). 3. Da das Antennendiagramm lediglich die 3-dB-Punkte verbindet, sind auch kleine Vögel noch außerhalb des angenommenen Bereichs sichtbar; die Detektionswahrscheinlichkeit nimmt allerdings aufgrund der mit zunehmender Abweichung vom Strahlzentrum abnehmenden Echogröße ab. Die Vergleichsmessungen mit dem IR zeigten uns, daß bei unseren Messungen an Vögeln der operationelle Strahlöffnungswinkel etwa doppelt so breit ist wie der nominelle Öffnungswinkel. Diese Vergleichsmessungen zwangen uns, die ersten Berechnungen von Zugdichten für Israel zu revidieren. Alle Berichte und Publikationen nach dem ersten vorläufigen Bericht von BRUDERER (1992) basieren auf dem operationellen und nicht mehr auf dem nominellen Strahlöffnungswinkel (z.B. BRUDERER 1994, BRUDERER et al. 1995).

Vergleich Mondbeobachtungen/IR:Radarstrahl: Vögel konnten auf dem IR-Bildschirm vor und nach der Durchquerung des auf dem IR-Bildschirm als schwarze Scheibe sichtbaren Mondes gesehen werden. Entsprechend den Öffnungswinkeln von 0,5 bzw. 1,1° entsprach der Durchmesser der Mondscheibe auf dem Bildschirm knapp der Hälfte des IR-Durchmessers. Es zeigte sich, daß auch erfahrene Mondbeobachter nicht alle Vögel sahen, bei denen mit IR die Durchquerung des Mond-Konus eindeutig festgestellt wurde. Bei geringeren Distanzen als 1 km (mit Radar gemessen) sahen sie etwa 80%. Dieser Anteil sank auf 50-60% zwischen 1 und 2 km und auf 30-40% zwischen 2 und 3 km (LIECHT et al. 1995). Offenbar verpassten Mondbeobachter einzelne am Rand der Mondscheibe vorbeifliegende Vögel; einzelne Vögel mögen auch aufgrund von Ermüdungserscheinungen übersehen worden sein, obwohl die Beobachter alle 10 Minuten ausgewechselt wurden. Eine distanzabhängige Abnahme der Detektionswahrscheinlichkeit ist offensichtlich. Die mit Mondbeobachtungen kontrollierbaren Höhenbereiche werden deshalb limitiert durch die (individuellen) Sichtbarkeitsgrenzen, durch die Erfahrung der Beobachter und durch die Mond-Elevation. In mittleren Breiten dürfte die Obergrenze des mit einiger Verlässlichkeit überwachbaren Raumes meist unterhalb von 1 km liegen.

4.3. Folgerungen

Mondbeobachtungen sind mit einfachen Beobachtungsmitteln möglich und können deshalb von jedermann betrieben werden, der über ein geeignetes Fernrohr und Stativ verfügt. Koordinierte Beobachtungen erlauben die Überwachung großer Räume, auch in Gebieten, die nicht durch Radar abgedeckt sind. Aufgrund der Mond-Elevation und der mit der Distanz abnehmenden Detektionswahrscheinlichkeit (50% bei etwa

1500 m Distanz), kann mit dieser Methode vor allem der Zug unterhalb von 1 km Höhe erfaßt werden; außerdem hängt die Methode vom Training und der Sehfähigkeit der Beobachter ab. Sogar geübte Beobachter scheinen bei Distanzen unter 1 km etwa 1/4 der Vögel zu verpassen. Mit einigem Rechenaufwand können Durchzugsraten (MTR) und Flugrichtungen geschätzt werden. Die Berechnung der MTR kann verbessert und eine grobe Schätzung der Höhenverteilung erreicht werden, wenn die gesehene Silhouetten nach Größe klassifiziert werden. Wenn drei Größenklassen definiert und die oben angegebenen „Beobachtungsverluste“ berücksichtigt werden, könnte man allenfalls versuchen, diese Beobachtungsverluste zu korrigieren, indem man die großen Ziele (Distanzen unter 1 km) mit einem Faktor 1,25 multipliziert; für mittelgroße Ziele (1-2 km) wäre ein Faktor 2 zu verwenden; für kleine Ziele (Distanzen über 2 km) Faktor 3. Die Beobachtungsmöglichkeiten sind aufgrund der Mondphasen auf 5 (max. 10) Nächte pro Monat beschränkt und zusätzlich durch Bewölkung limitiert.

Wärmebildgerät/passiv IR: Die Möglichkeiten der Methode werden vor allem durch die verwendeten Geräte limitiert. Die meisten Geräte verfügen nur über eine geringe Schärfentiefe. Einzelne haben eine zu lange Bild-Erneuerungszeit, andere ein suboptimales Wellenlängen-Fenster oder ungenügendes Auflösungsvermögen. Beim verwendeten Gerät waren diese Nachteile im Vergleich zu verfügbaren Vergleichsgeräten minimiert. Die Schärfentiefe reichte von 200 m bis unendlich. Im Zenit konnten bei wolkenlosem Himmel bis zu einer Distanz von 3 km alle Vögel entdeckt werden. Flugrichtungen können recht genau geschätzt werden; bei großen Silhouetten kann z.T. sogar die Richtung der Körperachse erkannt werden. Zugfrequenzen (MTR) können mit Hilfe des Öffnungswinkels exakt berechnet werden, wenn für jeden Vogel eine radar-vermessene Distanz zur Verfügung steht; mit Hilfe der Silhouettengröße können sie grob geschätzt werden. Es sind keine weiteren Korrekturen nötig. Die Sichtbarkeit der Vögel wird drastisch reduziert, wenn die Vögel nicht gegen klaren Himmel im Zenitbereich beobachtet werden.

Ein eng gebündelter Radarstrahl kann entweder vertikal aufwärts gerichtet werden oder mit beliebiger Elevation parallel zu einem IR-Gerät oder zu einem dem Mond folgenden Fernrohr. Hauptvorteil der Radarmessungen ist, daß sie Distanzangaben liefern. Hauptnachteil ist, daß der Strahl nicht optisch definiert ist, sondern einen erheblichen Übergangsbereich mit reduzierter Detektionswahrscheinlichkeit aufweist und zudem mit dem Streuquerschnitt der (im Falle der Vögel sehr variablen) Ziele variiert. Der operationelle Strahl kann deutlich breiter sein als der nominelle Strahl, insbesondere bei den kurzen Distanzen, auf denen viele Vögel beobachtet werden. Im Falle des Zielfolgeradars „Superfledermaus“ zeigte der Vergleich mit dem IR-System LORIS, daß der operationelle Strahlöffnungswinkel für durchschnittliche Vogel-Ziele etwa doppelt so groß war wie der nominale Öffnungswinkel. Ein wellenlängen-abhängiges Problem ergibt sich (insbesondere auf kurzen Distanzen) aus der

Kontamination von X-Band Radarbildern mit Insekten. Die Entdeckungswahrscheinlichkeit für Vögel auf unterschiedlichen Distanzen muß für jedes Radar durch eine statistisch genügende Zahl von Messungen auf verschiedenen Elevationen (siehe unten) ermittelt werden; die Bestimmung des operationellen Strahlöffnungswinkels erfordert den Vergleich mit optischen Mitteln.

Konische Abtastbewegungen eines eng gebündelter Radarstrahls auf verschiedenen Elevationen ermöglichen es, die räumliche Verteilung der Vögel in einer Halbkugel über dem Radar zu rekonstruieren. Der Radius der Halbkugel wird definiert durch die Reichweite des Radars für einen hohen (statistisch relevanten) Prozentsatz der Vögel. Im Falle des „Superfledermaus“-Radars wurden im Negev unter optimalen Beobachtungsbedingungen neun Elevationen verwendet und verglichen. Der Vergleich lieferte Korrekturfaktoren für die sich aufgrund von Distanz, Antennendiagramm, Aspektveränderungen in der Vertikal- und Horizontalebene und Abtastgeschwindigkeit ändernde Detektionswahrscheinlichkeit (BRUDERER et al. 1995a). Erst durch die Berücksichtigung all dieser Faktoren wird es möglich, die räumliche und zeitliche Verteilung des Vogelzuges zu erfassen.

Literatur:

BERTHOLD, P., G. FLIEGE, U. QUERNER & H. WINKLER (1986): Die Bestandsentwicklung von Kleinvögeln in Mitteleuropa: Analyse von Fangzahlen. *J.Orn.* 127: 397-437.

BIJLSMA, R.G. (1987): Bottleneck areas for migratory birds in the Mediterranean Region. - An assessment of the problems and recommendations for action. *ICBP Study Report* 18: 1-135.

BOLSHAKOV, K.V. (1985): Moon-watch method for quantitative studying of nocturnal bird passage (collection, calculation and analysis of data. In: Dolnik V.R. (ed.) „Spring nocturnal bird passage over arid and mountain areas of middle Asia and Kazakhstan“. *Proc. Zool. Inst. Leningrad; USSR Academy of Sciences.* (Russian with English summary).

BRUDERER, B. (1969): Zur Registrierung und Interpretation von Echosignaturen an einem 3-cm-Zielverfolgungsradar. *Orn.Beob.* 66:70-87.

BRUDERER, B. (1971): Radarbeobachtungen über den Frühlingszug im Schweizerischen Mittelland. *Orn. Beob.* 68: 89-158.

BRUDERER, B. (1980): Vogelzugforschung unter Einsatz von Radargeräten. In: Köppcke, W. und Überla, K. (Hsg.), Biometrie - heute und morgen. Med. Informatik u. Statistik. Springer, Berlin.

BRUDERER, B. (1992): Radar studies on bird migration in the south of Israel. BSCE 21. WP 28, Jerusalem.

BRUDERER, B. (1994): Radar studies on nocturnal bird migration in the Negev. Ostrich 65: 204-212.

BRUDERER, B. (1996): Vogelzugforschung im Bereich der Alpen 1980-1995. Orn. Beob. 93: 119-130.

BRUDERER, B. (1997a): The study of bird migration by radar. Part I: The technical basis. Naturwissenschaften 84, 1-8.

BRUDERER, B. (1997b): The study of bird migration by radar. Part II: Major achievements. Naturwissenschaften 84, 45-54.

BRUDERER, B., T. STEURI & M. BAUMGARTNER (1995a): Short-range high-precision surveillance of nocturnal migration and tracking of single targets. Isr. J. Zool. 41: 207-220.

BRUDERER, B., L. UNDERHILL & F. LIECHTI (1995b): Altitude choice of night migrants in a desert area predicted by meteorological factors. Ibis 137: 44-55.

BUURMA, L.S. (1984): On the altitudinal distribution of birds and bird strikes in the Netherlands. Proc. Wildl. Hazards to Aircraft Conf. and Training Workshop, Charleston, pp. 133-147

BUURMA, L.S. (1986): Nachtelijke vogeltrek in radar- en warmtebeeld. Vcilig Vliegen 33 (1): 10-13.

BUURMA, L.S. (1988): Thermal imaging, a new remote sensing technique for nocturnal wildlife studies. BSCE 19, Madrid, WP 43.

BUURMA, L.S. (1994): High bird densities assessed by radar, a Robin report. Proc. BSCE 22: 223-242. Vienna.

BUURMA, L.S. (1995): Long-range surveillance radar indicating numbers and pat-

tern of landbird migration in the North Sea Area. *Isr. J. Zool.* 41: 221-236.

BUURMA, L.S. & B. BRUDERER (1990): The application of radar for bird strike prevention. Compiled on behalf of BSCE, The Hague.

CLAUSEN, P.R. (1973): Electronic counting of birds. BSCE 8, Paris, WP 8.2. 6 pp.

DOLNIK, V.R. (1981): Methods of bird migration discovery and estimation. *Proc. Zool. Institute Leningrad* Vol. 104; USSR Academy of Sciences. (Russian with English summaries).

DORKA, V. (1966): Das jahres- und tageszeitliche Zugmuster von Kurz- und Langstreckenziehern nach Beobachtungen auf den Alpenpässen Col de Bretolet. *Orn.Beob.* 63: 165-223.

DROST, R. (1960): Über den nächtlichen Vogelzug auf Helgoland. *Proc. XIIth Int. Orn. Congr., Helsinki*, pp. 178-192.

EVANS, P. (1966): An approach to the analysis of visible migration and a comparison with radar observations. *Ardea* 54: 14-44.

GAUTHREAUX, S.A. (1969): A portable ceilometer technique for studying low-level nocturnal migration. *Bird Banding* 40: 309-320.

GAUTHREAUX, S.A. (1970): Weather radar quantification of bird migration. *Bio-Science* 20: 17-20.

GAUTHREAUX, S.A. (1975): Bird echoes on weather and airport surveillance radars. Technical report for AFOSR 71-1974.

GAUTHREAUX, S.A. (1977): The quantification of bird migration using surveillance radars. *Proc. 3rd World Conf. on Bird Hazards to Aircraft*, WP 29, Paris.

GAUTHREAUX, S.A. (1979): Image intensification: A new method of studying nocturnal bird migration. BSCE 14, WP 8, The Hague.

GAUTHREAUX, S.A. (1984): The use of small mobil radars to detect, monitor, and quantify bird movements. *Proc. Wildl. Hazards to Aircraft Conf. and Training Workshop*, Charleston, pp. 121-131.

- GEHRING, W. (1963): Radar- und Feldbeobachtungen über den Verlauf des Vogelzuges im Schweizerischen Mittelland: Der Tagzug im Herbst. *Orn.Beob.* 60: 35-68.
- GRABER, R.R. & S.S. HASSLER (1962): The effectiveness of aircraft-type (APS) radar in detecting birds. *Wils Bull.* 74: 367-380.
- EASTWOOD, E. (1967): *Radar Ornithology*. Methuen, London. 278 pp.
- HOUGHTON, E.W. (1971): ATC and bird radar surveillance without tears. *B SCE 6*, Copenhagen, 9 pp.
- HUNT, F.R. (1973): Bird density and the plan position indicator. *Ass.Comm.Bird Hazards to Aircraft*. Field Note No. 63. Ottawa.
- HUNT, F.R. (1974): Radar detection of birds in an operational environment. *B SCE 9*, Frankfurt, WP 4.13.
- HUNT, F.R. (1975): Automatic radar equipment to determine bird strike probability. Part I: Night-time passerine migration. *Ass.Comm.Bird Hazards to Aircraft*. Field Note No. 69. Ottawa.
- HUNT, F.R. (1976): The probability of bird-aircraft collisions based on radar data. *Ass. Comm. Bird Hazards to Aircraft*. Field Note No. 74. Ottawa.
- JENNI, L. (1984): Herbstzugmuster von Vögeln auf dem Col de Bretolet unter besonderer Berücksichtigung nachbrutzeitlicher Bewegungen. *Orn.Beob.* 81: 183-213.
- LACK, D. (1959): Migration across the North Sea studied by radar. Part 1. Survey through the year. *Ibis* 101:209-234.
- LESIEM, Y. (1988): Following soaring bird migration from the ground, motorized glider and a radar at a junction of three continents. *B SCE 19*, Madrid, WP 13.
- LIECHTI, F., B. BRUDERER & H. PAPROTH (1995): Quantification of nocturnal bird migration by moonwatching - comparison with radar and infrared observations. *J. Field. Ornithol.* 66: 457-468.
- LIECHTI, F., D. PETER, R. LARDELLI & B. BRUDERER (1996): Herbstlicher Vogelzug im Alpenraum nach Mondbeobachtungen - Topographie und Wind beeinflussen den Zugverlauf. *Orn. Beob.* 93: 131-152.

LOWERY, G.H. jr. (1951): A quantitative study of the nocturnal migration of birds. Univ. Kansas Publ., Mus. of Nat. Hist.: 3: 361-472.

LOWERY, G.H. jr & R.J. NEWMAN (1955): Direct studies of nocturnal bird migration. In: Wolfson, A. „Recent studies in avian biology“. Univ. of Illinois Press, Urbana: 238-263.

LOWERY, G.H. jr. & R.J. NEWMAN (1966): A continentwide view of bird migration on four nights in October. The Auk 83: 547-586.

NISBET, I.C.T. (1963): Quantitative study of migration with 23-centimetre radar. Ibis 105: 435-460.

RICHARDSON, W.J. (1990): Timing of bird migration in relation to weather: Updated Review. In: E. Gwinner (Ed.) Bird migration. Springer, Berlin Heidelberg.

RIVERA, C. & B. BRUDERER (im Druck): Etude des migrations transméditerranéennes au moyen d'une caméra infrarouge. Nos Oiseaux 44:

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 als Hilfsmittel der Vogelzugforschung. Orn. Beob. 54: 70-96.

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Bruno Bruderer
Dr. Felix Liechi
Schweizerische Vogelwarte
CH-6204 Sempach

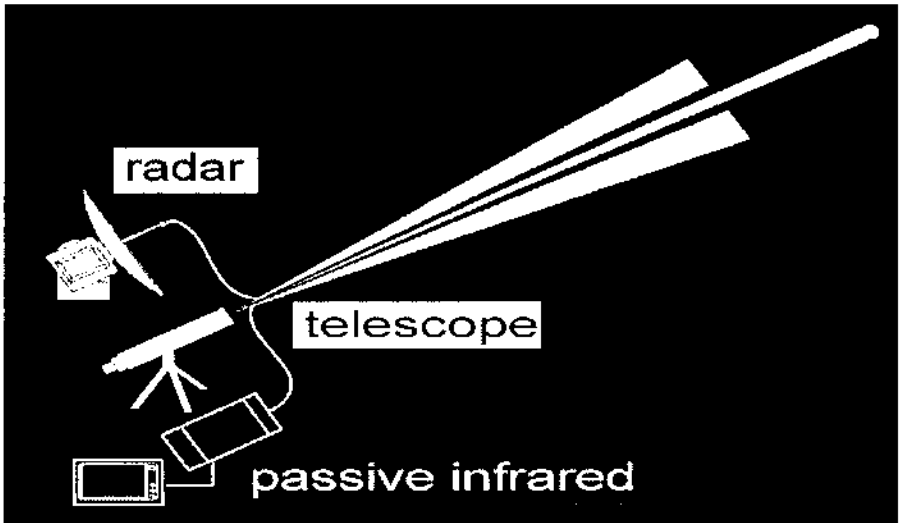


Abb. 1: Quasi-konzentrischer Radarstrahl, passives Infrarot und Mond-Teleskop



Abb. 2: „Superfledermaus“-Antenne mit Teleskop und IR-Kamera in Parallelschaltung

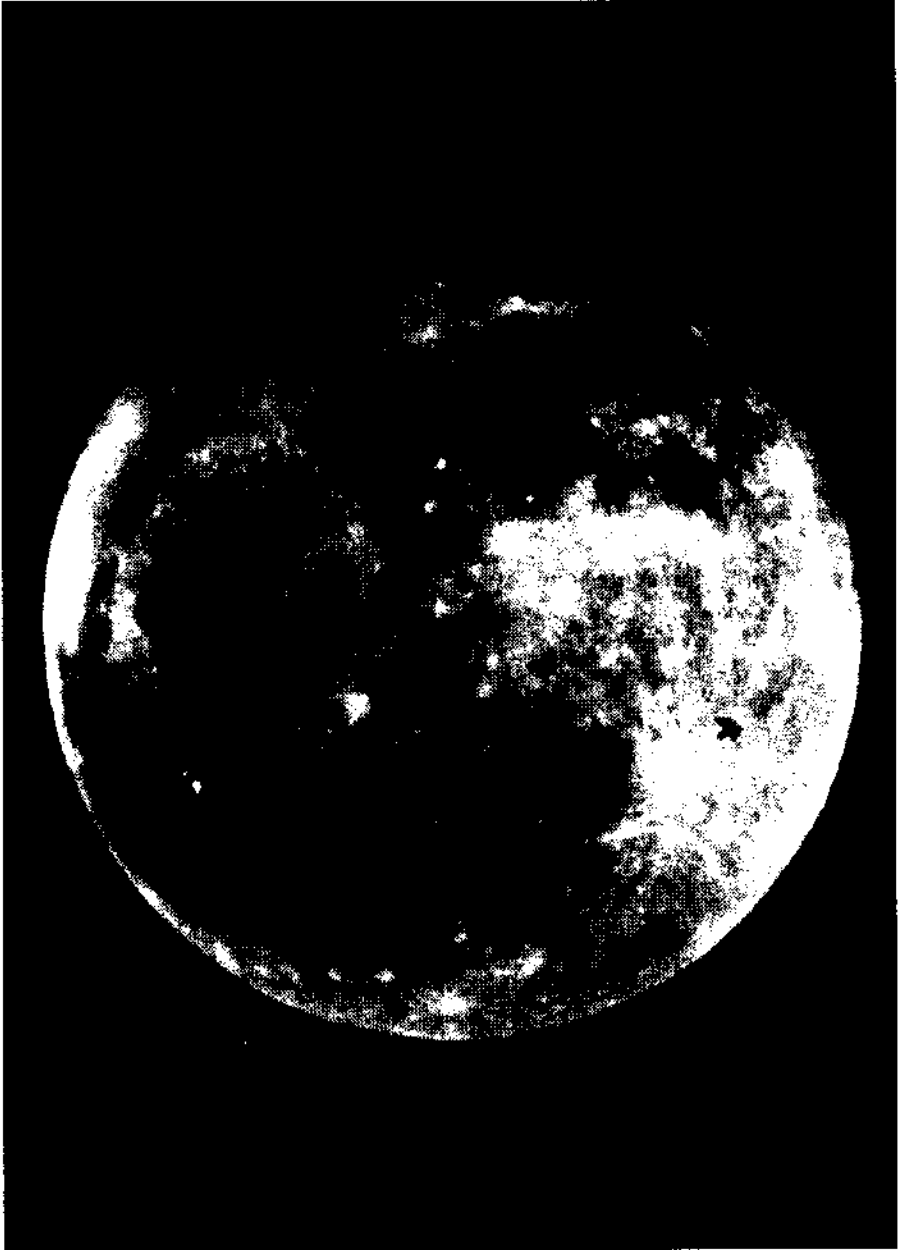


Abb. 3: Vögel bei Beobachtung gegen den Mond

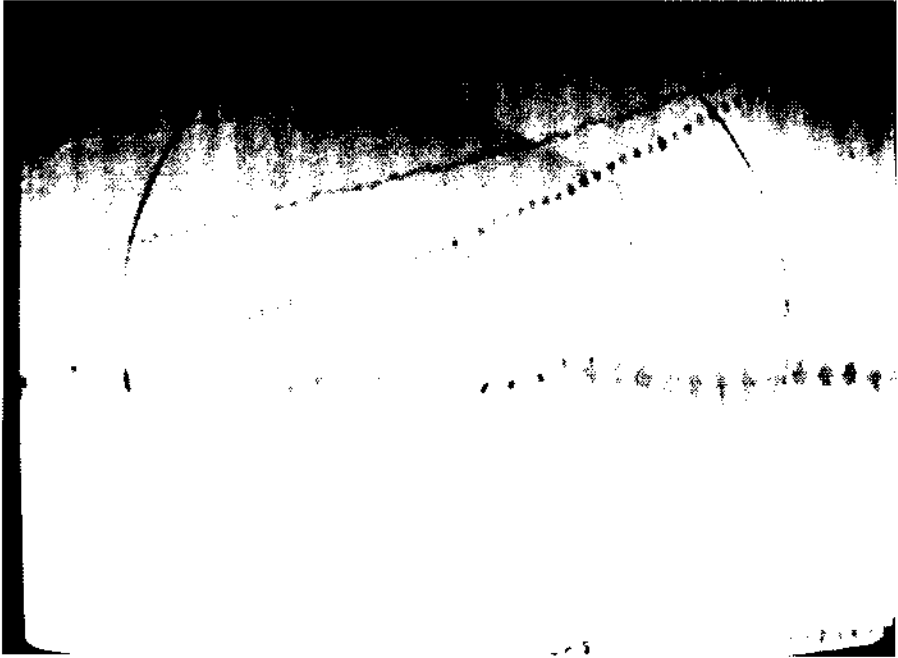


Abb. 4: Infrarot-Registrierung von Zugvögeln über 5 Minuten; es zeigen sich die Silhouetten der Vögel, die in dieser Zeit den Vertikalstrahl durchflogen. Die niedrigsten Flughöhen lagen bei 400 m, die größten (schwächste Silhouetten) bei 2.500-3.000 m über dem Radar, das die Entfernung gemessen hat.

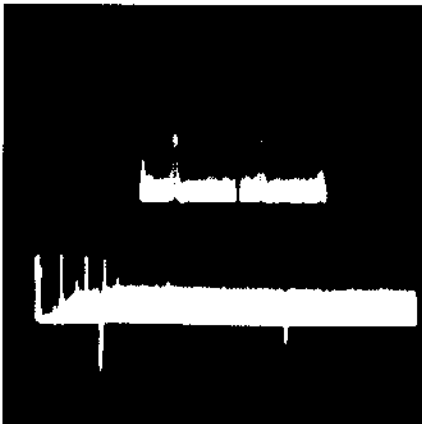


Abb. 5: Der A-Bildschirm der „Superfledermaus“ mit Entfernungsangabe. Das untere Diagramm zeigt einen 15 km-Erfassungsbereich mit Markierung bei 10 km; die Entfernungskennzeichnung ist positioniert bei 3,5 km. Das entfernteste wahrnehmbare Vogelecho liegt bei 5,3 km. Das obere Oszillogramm zeigt 4 Vogelechos in einer gezoomten Darstellung von 1,6 km Ausdehnung (0,9 km links und 0,8 km rechts des Markers).

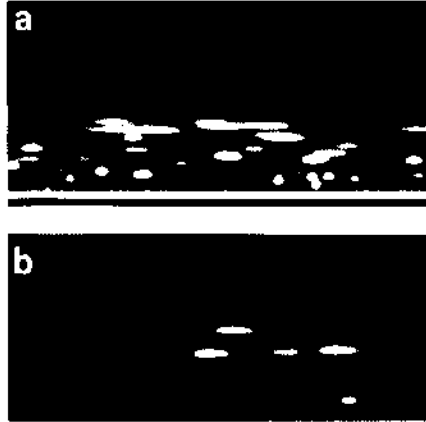


Abb. 6: Filmausschnitt (A-Bildschirm) über einen Zeitraum von 5 Minuten; der Filmstreifen umfaßt eine Höhe von 4 km. Der obere Streifen (a) zeigt dichten Vogelzug, der untere Streifen (b) leichten Zug. In naher Entfernung vom Radar sind die Vogeleos leuchtender wegen der kurzen Dauer der starken Signale während des Durchzuges der Vögel. In größerer Entfernung nimmt die Echo-Intensität ab; sie verbleiben jedoch wegen der Strahlbreite und der größeren Entfernung längere Zeit im Radarstrahl.