

Großraum-Überwachungsradargeräte als Indikatoren für die Anzahl der Vögel im Luftraum

(Long-range surveillance radars as indicators of bird numbers aloft)

von LUIT S. BUURMA, Den Haag, Niederlande

(aus dem Englischen übersetzt von J. Becker, leicht gekürzter Nachdruck aus Israel Journal of Zoology 41: 221-236 (1995) mit freundlicher Genehmigung des Autors)

Zusammenfassung: Radargeräte filtern und selektieren die in der Radarkeule erfaßten Vogeleos auf verschiedene Weise. Großraum-Überwachungsradargeräten entgehen viele Vögel hinter dem Radarhorizont. Darüber hinaus verändert sich das Verhalten der Vögel im Raum, so daß sich die Erfäßbarkeit weiter reduziert. Diese Einflüsse können nur durch Erfahrung mit dem Radarsystem und allgemeine Kenntnisse des Vogelzuges erkannt und bewertet werden. Eine grobe Klassifikation der Vogeleos nach Richtung, Geschwindigkeit und Echotyp ist Voraussetzung für eine zahlenmäßige schrittweise Erfassung des gesamten Breitfrontzuges. Die extrem flache niederländische Landschaft und ein ideal kreisender S-Band-Radarstrahl in Verbindung mit einem hochentwickelten Vogeleos-Registriersystem lieferten die Datengrundlage zur Berechnung des Anteils der Vögel, der unter typischen Vogelzugbedingungen nicht erfaßt werden kann. Dies verbesserte die Verwendung von Radardaten als Indikator für das Flugsicherheitsrisiko wie auch als Hilfsmittel zur Erforschung der Navigationsstrategien der Zugvögel im Nordseebereich. Das zentrale Problem scheint die Wahl von Flughöhe und Zugrichtung in Abhängigkeit von der Landschaft, dem Wind und der Flugphase zu sein.

Summary: Radars filter and select bird echoes within their beam in several ways. Long-range surveillance radars miss many birds behind the radar horizon. Moreover, the spatial behavior of the birds varies, thus further reducing detectability. Disentangling these effects requires empirical knowledge of the radar and general insight into the bird movements. A rough classification of bird echoes on the basis of direction, speed, and echo-type is necessary to quantify the total broad-front migration cohort by cohort. The extremely flat Dutch countryside and an ideal stacked beam

S-band-radar equipped with a sophisticated bird extraction system provided the database for the calculation of proportions of birds missed under typical migratory conditions. This improved the use of radar as an indicator of flight safety risk as well as a research tool for unravelling navigational strategies of migrants in the North Sea area. The key issue appears to be the selection of altitude and track direction in relation to landscape, wind, and flight phase.

I. Einführung

Großraum-Überwachungsradargeräte geben einen geographischen Überblick über bewegte Ziele im Luftraum. Neben Regenschauern und Luftfahrzeugen liefern Vogelzüge einen Beitrag zu den Echomustern auf dem Radarbildschirm. Dies erfolgt, wenn die Vögel hoch genug über dem Radarhorizont fliegen und wenn ihre Echos den Schaltkreis passieren, der sie normalerweise unterdrücken soll.

Nach BRUDERER (1995) können Überwachungsradargeräte, die horizontal über größere Entfernungen Ziele erfassen, als Forschungsinstrument kaum mit Zielfolge-Radargeräten konkurrieren, die einen engen Raum abtasten. Die meisten Rundstrahlradargeräte haben eine fächerförmige Radarkeule, die nur eine zweidimensionale Information liefert. Infolge ihrer großen Reichweite ist ihre Auflösung begrenzt. Allerdings bieten Großraum-Überwachungsradargeräte die Möglichkeit, gleichzeitig Daten aus einem großen Gebiet elektronisch zu registrieren. Sie können mit Hilfe von Radargeräten kurzer Reichweite und anderer Fernerkundungsverfahren (BUURMA 1988, LIECHT *et al.* 1994) kalibriert werden. Wenn ihre räumlichen Beschränkungen bekannt sind, können sie zur Anzeige von Vogelzugwellen und -mustern genutzt werden sowie visuelle und andere Feldbeobachtungen ergänzen (LESIEM, pers. Mitt.).

Dieser Beitrag will den grundsätzlichen Wert von Rundstrahlradarbeobachtungen anhand von Daten eines Großraum-Luftverteidigungs-Radarsystems in NW-Holland aufzeigen. Das Radar verbindet große Reichweite mit hoher Auflösung. Zusätzlich besitzt es 3-D-Fähigkeit, wenn diese auch in Hinblick auf Vögel begrenzt ist. Weiterhin deckt das Radar einen großen Teil der südlichen Nordsee ab (Abb. 1). Dieses Gebiet war ein Brennpunkt der Vogelzugforschung seit fast einem Jahrhundert und bietet somit eine Fülle von Bezugsdaten. Eine der Fragen war und ist immer noch, wie Landvögel das Hindernis des Meeres bei Gegenwind überwinden. In welchem Maße fliegen sie Umwege und konzentrieren sich entlang der Küste (PERDECK, 1970)? Wählen sie Rückenwind für hohen Breitfrontzug über See (DEJDER, 1949; BUURMA, 1987), oder fliegen sie auch sehr niedrig und werden dadurch vom Radar nicht erfaßt? Die hier vorgestellten Ergebnisse geben einen Hinweis auf mögliche

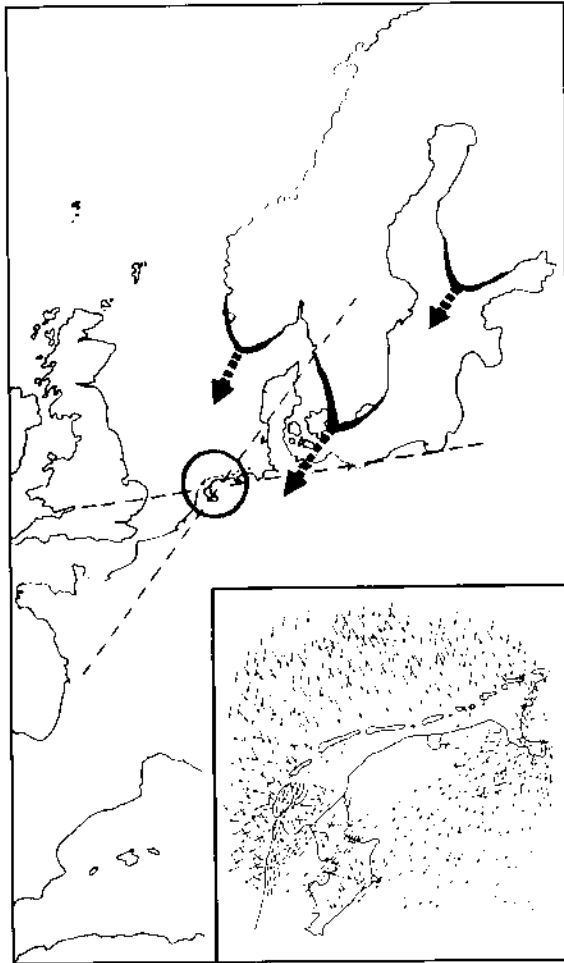


Abb. 1: Lage des Radargeräts und seine Reichweite zur Erfassung von Vögeln in dem südlichen Teil der Nordsee. Zwei Hauptlinien des Vogelzuges im Oktober und März sind in unterbrochenen Linien eingezeichnet. Die Pfeile bezeichnen massierten Herbstzug in Richtung See, wenn die Vögel die Zugrichtung über Land beibehalten würden. Der Einschub zeigt, daß sie ihre Strategie ändern, wenn sie die Küstenlinie überqueren (vgl. Buurma, 1987). Die Einzelpfeile zeigen das gleichzeitige Auftreten von verschiedenen Gruppen von breitfrontartig ziehenden Vögeln am Morgen des 17.10.1979 auf der Grundlage eines Zeitrafferfilms.

Antworten, die mit Hilfe der beschriebenen Radarmethoden hoffentlich gesichert werden können.

2. Radar, Erfassungsbereich und vertikale Abdeckung

Das in dieser Studie verwendete Radargerät ist ein Thomson CSF TRS 2201 militärisches Hochleistungs-Impulsradar. Es erzeugt eine Impulsspitzenleistung von 20.000 kW (mittlere Impulsleistung 20-40 kW), was einen sehr großen Erfassungsbereich zur

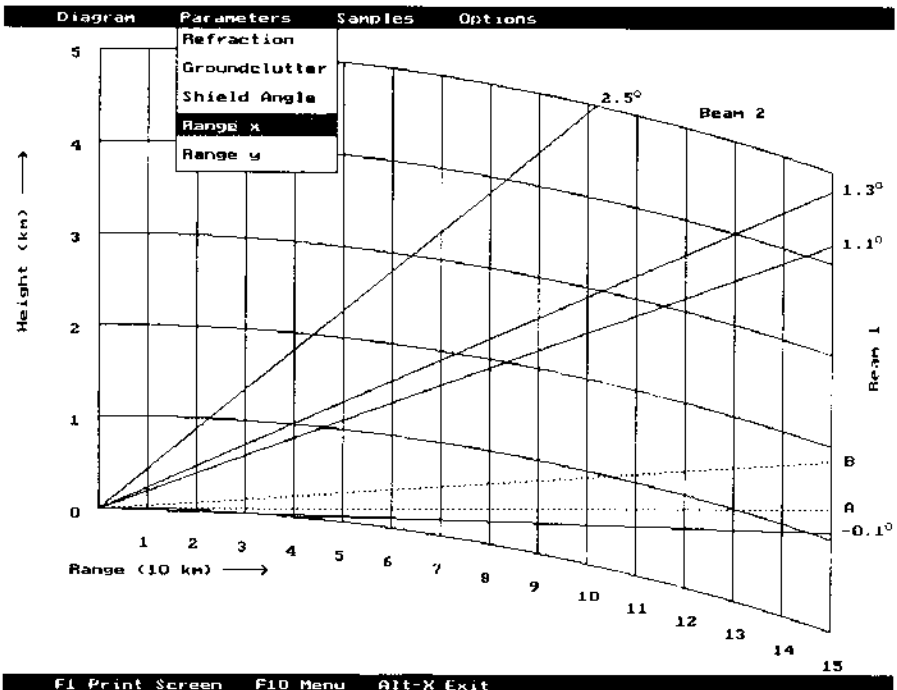


Abb. 2: Vertikales Sichtweitendiagramm in Bezug auf Höhe und Entfernung, wobei die geraden Linien die Radarstrahlen darstellen. Die Abstrahlwinkel der Unter- und Oberseiten der beiden untersten Radarkeulen sind rechts angegeben. Der visuelle Horizont ist mit A bezeichnet. Das Programm kann die vertikale Abstrahlung beider Radarkeulen an abweichende Brechungsverhältnisse (Normalfaktor = 1,33) anpassen. Wenn der Radarhorizont durch Hügel abgeschirmt ist, kann die fehlende Sichtweite angezeigt werden (Beispiel B).

Folge hat: ein Singvogel in Seitenansicht (Echofläche 10 cm²) ist bis 65 km erfassbar (TENGLER, 1977; ANONYMUS, 1980). Der großen Reichweite entspricht eine ungewöhnlich hohe Auflösung bei Impuls-Kompression: 0,2 µs oder ein Entfernungsabstand von 30 m. Mit einer Winkelauflösung von 0,4 ° und 2048 Abtastungen pro Umdrehung führt dies ohne das „blinde“ Zentrum zu 8,5 Millionen Radar-Auflösungszellen im Bereich bis 135 km, der für die Vogelbeobachtung gewählt wurde.

Die Wellenlänge 10 cm (S-Band) des Radars garantiert, daß viele Kleinvögel, zumindest in Seitenansicht, einzeln erfaßt werden können. Störungen durch Insekten-schwärme wurden in den zwei Jahren der Zeitrafferfilmaufnahmen (BUURMA, 1987) nie festgestellt. Die Polarisierung ist zwischen linear und zirkular umschaltbar. Wenn immer möglich wurde mit linearer Polarisierung gearbeitet und bei zirkularer Polarisierung der Verlust an Echos mit einem Korrekturfaktor von 20% berücksichtigt.

Eine Parabolantenne mit 12 kreisenden Radarkeulen liefert ein 3-D Panoramabild. Nur die beiden unteren Keulen waren für die Erfassung von Vögeln geeignet, was aus dem vertikalen Erfassungsdiagramm (Abb. 2) leicht ersichtlich ist. In dem zu-meist verwendeten Bereich von 50-60 km zur Bestimmung der Vogeldichte sind die Höhenbänder 50-1.300 m (Keule 1) bzw. 1.300-2.700 m (Keule 2). Unter normalen Ausbreitungsbedingungen reichen Festechos von hohen Landschaftsstrukturen in der untersten Keule bis 29 km und überdecken bis zu dieser Entfernung die meisten Vogel-echos außer über offenem Wasser und Poldern. Die Keule 2 ermöglicht die Erfassung von Vögeln ab 18 km Entfernung. Das Gebiet der Bodenechos kann bei atmosphäri-scher Superrefraktion beträchtlich zunehmen. Ein Teil der Energie von Keule 1 kann gelegentlich in feuchter Luft in einem Wellenleiter dicht über der Erdoberfläche ein-gefangen werden. Diese anomale Ausbreitung wird im Radarbild sofort erkannt. Die Flughöhe der Vögel kann bei diesen Bedingungen nicht mehr geschätzt werden.

3. Methoden der fotografischen Aufzeichnung

Zwei bekannte Verfahren, um Vogelzüge im Radarbild sichtbar zu machen, sind Zeit-rafferfilme und Langzeitfotos (BUURMA u. BRUDERER, 1990). Aufgrund ihrer typi-schen Punktform und ihrem Bewegungsmuster können Vogelechos selbst bei dichten Störechos leicht erkannt werden, wenn sie in einem Radarfilm beschleunigt dar-gestellt werden. Bevor man versucht, moderne Mustererkennungsverfahren zu ver-wenden, sollte man das phänomenale Leistungsvermögen des menschlichen Ge-sichtssinns nutzen. Die visuelle Identifizierung von Vogelzügen aus ungefilterten Radarbildern bei höchster Auflösung kann daher eine verlässliche Methode sein. Ra-darfilme mit vielen Störechos können sogar einen höheren wissenschaftlichen Nut-

zen haben als „saubere“ Radarbilder, da Regen- und Bodenechos ein Hinweis für die Empfindlichkeit des Radars sind und Zeiten und Gebiete anzeigen, in denen die Erfassung von Vogelzügen nicht möglich ist.

Der Einschub in Abb. 1 zeigt ein Beispiel für die manuelle Analyse eines Radarfilms, der am Morgen des 17. Oktober 1979 nach mehreren Tagen mit schlechtem Wetter aufgenommen wurde. Da es fast windstill war, waren alle in eine Richtung fliegenden Schwärme hoch genug, um gleichzeitig erfaßt zu werden. Es ist zu beachten, daß die Hauptzugrichtung nicht mit der Hauptzugachse übereinstimmt, die aus Berichtigungsdaten ermittelt wurde (NE-SW und ENE-WSW, nach ZINK, 1973-85). Natürlich ist diese Skizze eher qualitativ als quantitativ. Der Radarfilm bietet jedoch die Möglichkeit, einzelne Radarbilder zusammenzufassen,

Da Zeitrafferfilme kosten- und zeitaufwendig sind, ist eine handlichere und bei Verwendung einer Polaroid-Kamera nahezu in Echtzeit arbeitende Methode die Langzeitfotografie. Obwohl diese Fotomethode die Muster des Vogelzuges gut dokumentiert, versagt sie oft, wenn die Vogelzugaktivität quantifiziert oder sogar nur richtig gedeutet werden soll. Andererseits führt Massenzug dazu, daß der Radarbildschirm rasch mit Echos gesättigt ist. Ein extremes Beispiel massierten nächtlichen Vogelzuges ereignete sich am Abend des 9. Oktober 1992 (dem Abend, an dem eine El Al Boeing 747 in Amsterdam verunglückte). Es gab aber keinen Hinweis auf einen Zusammenhang.

4. Elektronische Bestimmung von Vogeleos

Viele Rundsichtradargeräte können das Bild zoomen und eine höhere Auflösung benutzen. Wie eben erwähnt, ist dies in extremer Weise auch mit unserem Radar möglich. Wir untersuchten die Eigenschaften der Vogeleos detailliert während der 70er Jahre mit Hilfe fotografischer Verfahren und versuchten dann, die Vogelzugaktivität elektronisch zu bestimmen. Begrenzte Computerleistung beschränkte unser erstes System auf 5 kleine Zählfenster, aber während der 80er Jahre wurde ein neues Vogeleosregistriersystem **ROBIN (Radar Observation of Bird Intensity)** entwickelt.

ROBIN besteht aus zwei Teilsystemen: einem Registriersystem am Radar und einem Darstellungssystem im Hauptquartier der Luftwaffe in Den Haag; beide sind ständig über eine feste Standleitung verbunden. Das Registriersystem sorgt für die Datenbeschaffung und den Aufbau des Bildes ohne zusätzliche Eingriffe und ohne Einfluß auf die primäre operationelle Aufgabe des Radars. Die Hardware für eine zuverlässige Datenregistrierung ist bestückt mit marktüblichen VME-bus-Prozessormodulen,

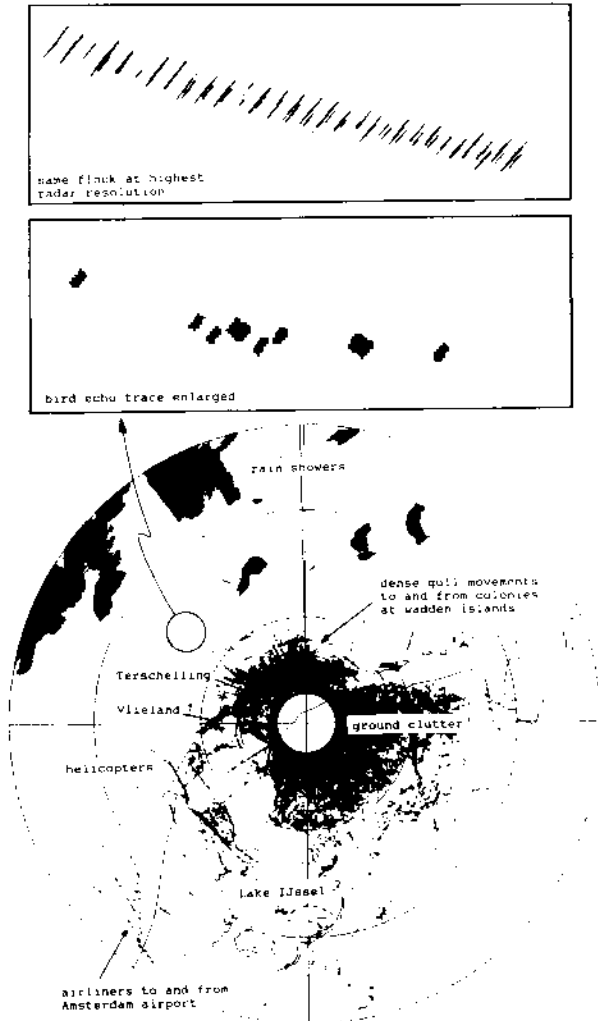


Abb. 3: Summe der Radarbilder (10 min.) der untersten Radarkeule am 27.07.94, 13.40-50 GMT. Küstenlinien sind in das Bild eingeblendet. Die Bodenechos sind etwas stärker als normal. Eine der wenigen schwachen Vogelflugspuren ist in dem untersten Einschub vergrößert dargestellt. Der obere Einschub zeigt den gleichen Vogelschwarm bei höchster Auflösung des Übersichtsbildes (ebenfalls über 10 min.). Die hohe Auflösung erhöht nicht nur die Details sondern auch die Zahl der Treffer.

auf denen Software für die Bildverarbeitung, den Datenaustausch und die Kontrolle der Datenbeschaffung läuft. Die Architektur ist zugeschnitten auf die flexible Implementierung von Software zur Signalverarbeitung. Die Darstellung erfolgt auf einer VAX 4000 Workstation mit hochauflösendem Bildschirm, geräumiger Speicherkapazität und einer geeigneten Schnittstelle.

ROBIN sammelt ungefilterte Raw-Video-Daten mit der größtmöglichen Auflösung und hat eine eigene einstellbare Nahechodämpfung (STC). Daten können nach Umlauf einer Radarkeule oder als Summe der Signale mehrerer Umläufe gespeichert werden. Das System liefert digitalisierte Radarbilder, in denen verschiedene Farben unterschiedliche Echodichten anzeigen. Gegenwärtig müssen wir zwischen der Datensammlung mit hoher Auflösung und der Übersichtsdarstellung in geringerer Auflösung wählen, wobei Information verlorengeht (vgl. Abb. 3). Eine künftige verbesserte Ausstattung wird das ganze Radarbild zur Darstellung und Analyse speichern können und auch Filmdarstellungen ermöglichen.

Vogelechos können auf Radarbildern nach einem einzigen Keulenumlauf mit ziemlicher Sicherheit identifiziert werden. Ein Mustererkennungsprogramm analysiert Größe, Stärke und räumliche Verteilung der Echos innerhalb eines „Rahmens“ zur Unterscheidung zwischen Vogelechos, Regengebieten und Bodenechos in über 95% der betroffenen Auflösungszellen. Die Ränder von Gebieten mit Regenechos und die Echos von Ringen, die Seitenkeulen bei starken Bodenechos erzeugen, können er-

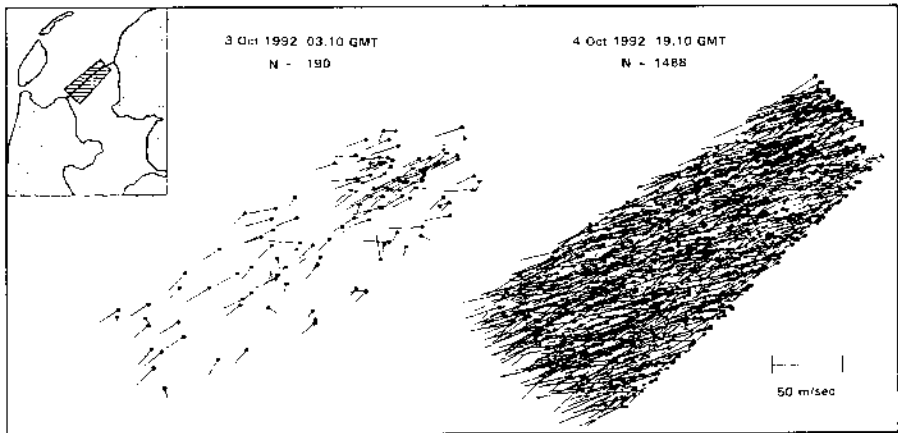


Abb. 4: Synthetisches Vogelzugbild nach der Bewegungsanalyse in zwei Aufsummierungen des Radarbildes über 100 Sekunden im Bereich des Abschlußdeiches zwischen Ijsselmeer und Wattenmeer.

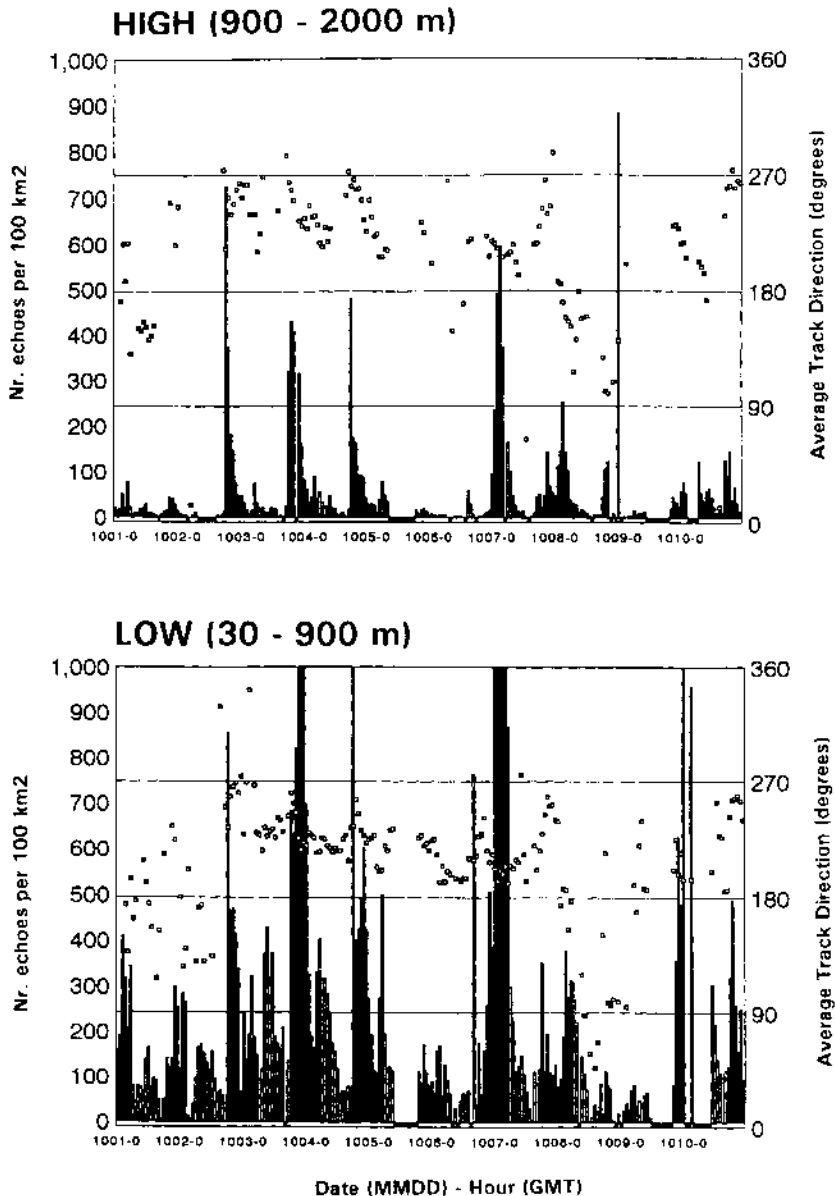


Abb. 5: Echodichte und mittlere Zugrichtung der Vögel in zwei Höhenintervallen eines Zählfensters nördlich von Vlieland (vgl. Abb. 3) während der ersten 10 Tage des Oktobers 1992.

kannt werden, führen aber manchmal zu Verwechslungen. Weiterhin neigen Vogelechos bei hohen Dichten dazu hin- und herzuspringen. Daher wurden die Kriterien für die Analyse in den einzelnen Rahmen etwas gelockert und die Bestimmung der Echos auf den nächsten Schritt - die Analyse der Bewegungen - verschoben.

Das Programm zur Analyse der Bewegungen verbindet entsprechende Echos in einer Abfolge von 10 Umläufen der Radarkeule (100 Sekunden Realzeit) zu potentiellen Vogelspuren. Das Problem ist, wie man das Programm entscheiden läßt, welche Echos es zwischen zwei Rahmen verbindet. Dies wurde dadurch gelöst, daß jedes Vogelecho mit allen potentiellen „Geschwistern“ in allen folgenden Bildern hinsichtlich Richtung, Geschwindigkeit und Reflektivität innerhalb programmierbarer Grenzen verglichen wird. Gruppen entsprechender Echos wurden dann auf Stetigkeit überprüft. In einem schrittweisen Prozeß konnten deutliche Flugspuren identifiziert werden. Selbst unvollständige Spuren schwacher Echos erreichten dadurch eine akzeptable Qualität.

Das Endresultat der Bewegungsanalyse ist ein ASCII-File von Daten einzelner Vogelspuren: geografische Koordinate, Echogröße und mittlere Reflektivität (kombiniert als „Echovolumen“). Flugrichtung, Geschwindigkeit, Abweichungen in diesen drei Werten und die Qualität der Flugspur. Dichten bis 28 Echos pro km² konnten automatisch verarbeitet werden.

Die Datensätze können von dem VMS-Computer auf normale PC-Software übertragen werden und zur Erstellung synthetischer Vogelzugkarten (Abb. 4) und allen möglichen Auswertungen genutzt werden. Ein Beispiel für 10 Tage Herbstzug, wie er von den zwei Radarkeulen gleichzeitig in einem kleinen Fenster im NW von Holland (zwischen den Inseln Vlieland und Terschelling, vgl. Abb. 3) erfaßt wurde, ist in Abb. 5 dargestellt. Das Bild zeigt die wellenähnliche Folge von Tag- und Nachtzug. Die Richtungen zeigen beispielsweise die Ankunft der Vögel aus Norden gegen Mitternacht (8./9.10.92) und den Abflug der Vögel in der Abenddämmerung in Richtung England (3., 4., 5.10.92), wobei sie die Richtung von SW auf W drehen, wenn sie die Küste kreuzen und über See weiterfliegen (vgl. den Einschub in Abb. 1).

5. Bestimmung der räumlichen Dichte

Aufgrund der Flugrichtung und -geschwindigkeit kann die Masse der Vogelechos in verschiedene Klassen aufgeteilt werden. Zusammen mit der geografischen Position und einigen Echocharakteristiken übertrifft die Computeranalyse die alte Methode der visuellen Auswertung. Aber die Trennung der Schwärme ist auch eine Vorstufe zur quantitativen Bestimmung der Flugaktivität, da die Schwärme sich hinsichtlich ihrer

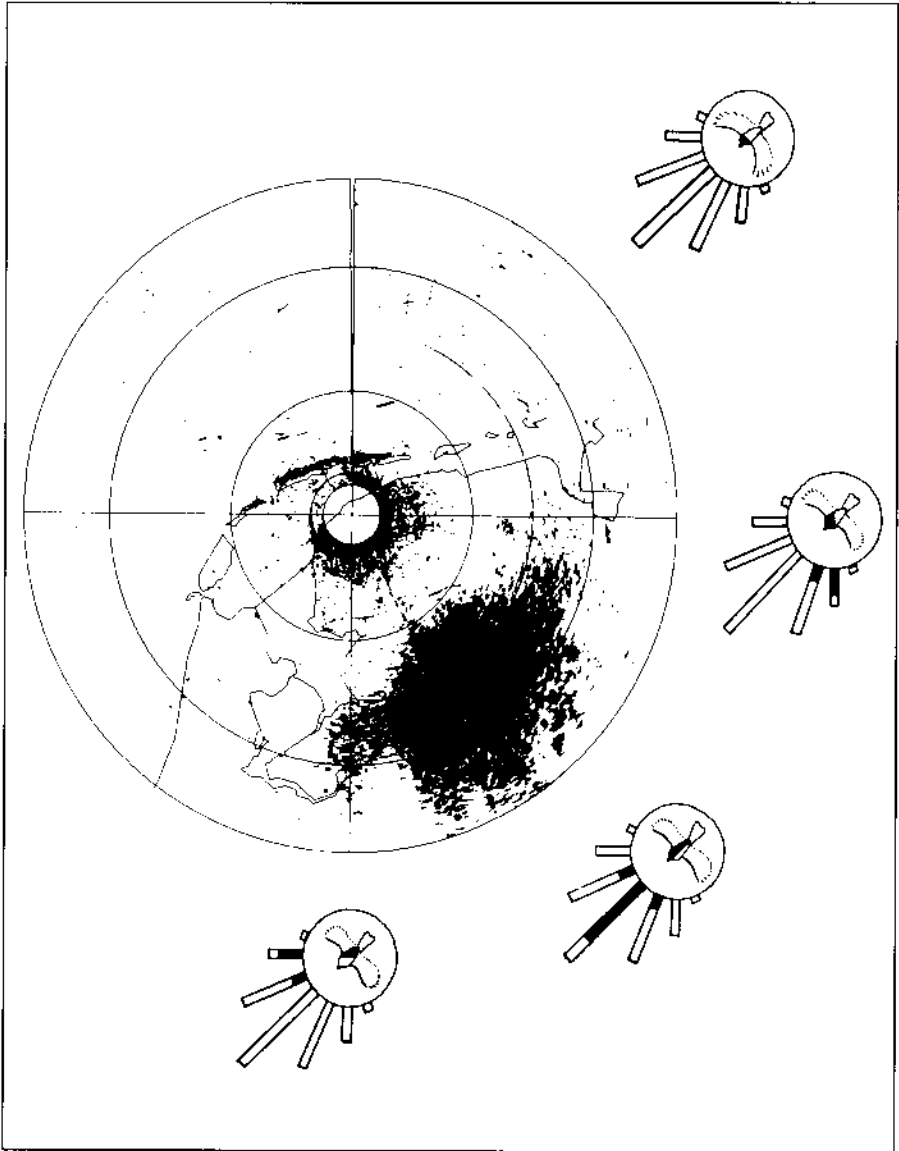


Abb. 6: Nächtlicher Vogelzug in niedrigen Höhen über Land, der durch anomale Ausbreitungsbedingungen der Radarkeule sichtbar wird (19.09.89, 23.30 GMT). Die Diagramme zeigen die selektive Erfassbarkeit aufgrund des Seitenwindeffekts.

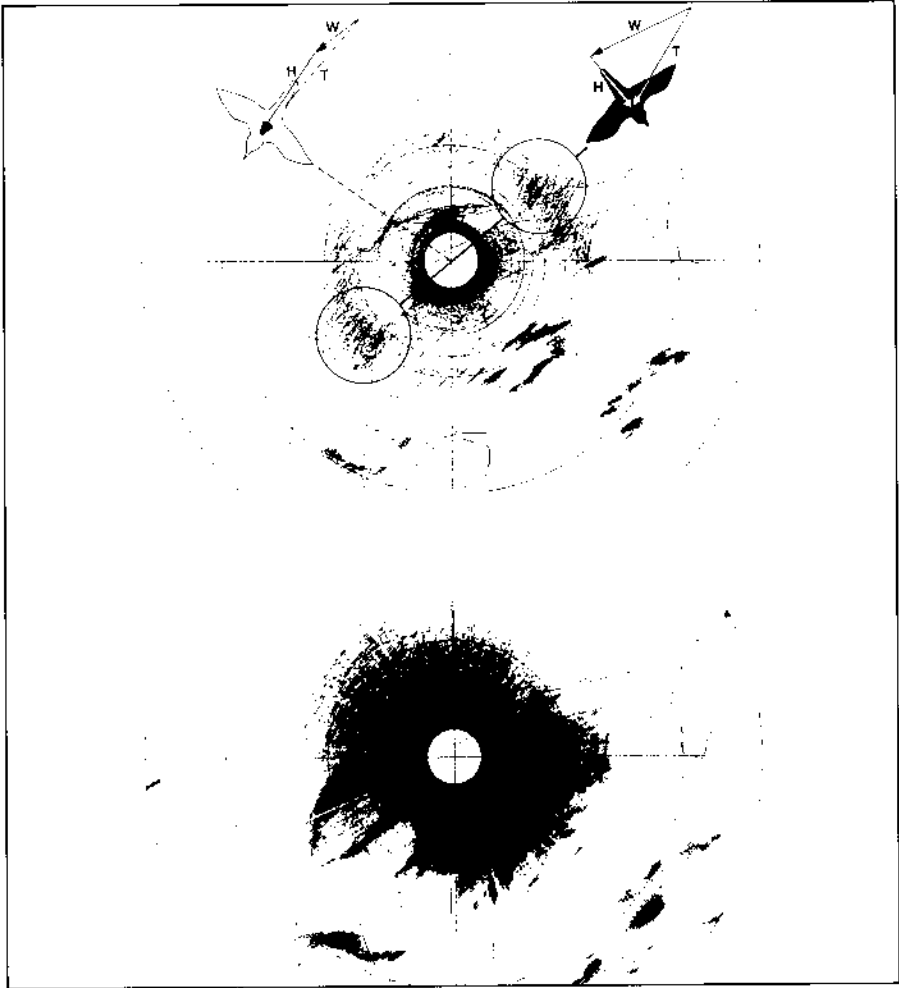


Abb. 7: Ein Beispiel für starke Windkompensation gegen Mitternacht in großer Höhe (1.000-2.000 m, Radarkette 2, oberes Bild) während des Herbstzuges (06.10.92, 22.40 GMT). Die kleinen Kreise weisen auf Gebiete mit höchster Echodichte hin, d.h. wo Vögel in Seitenansicht erfaßt werden, und zeigen ihre Lage im Raum (Heading = H) senkrecht zu ihrer Flugspur (Track = T). Gleichzeitig erfolgt Vogelzug in gleicher Richtung in niedriger Höhe über See (Radarkette 1, unteres Bild). Hier sind die Vögel in geringerem Maße vom Wind (W) beeinflusst. Lage im Raum und Zugrichtung sind fast parallel.

Erfäßbarkeit (Effekt der Seitenansicht) und der Höhenverteilung unterscheiden.

Wie in den sogenannten Polar-Diagrammen von EDWARDS u. HOUGHTON (1959) (vgl. auch BUURMA u. VAN GASTEREN, 1989; BUURMA u. BRUDERER, 1990; BRUDERER, 1995) hängt die „Sichtbarkeit“ der Vögel von dem Winkel ab, unter dem sie vom Radar erfaßt werden (EASTWOOD, 1967), da die Reflexion an dem wasserhaltigen Körpergewebe erfolgt. Da dieser Reflexionskörper zigarren- oder sogar dipolförmig ist, ändert sich die Stärke des Echos nicht nur in Abhängigkeit von der Körpergröße, sondern noch stärker durch den Winkelaspekt.

Die nächste Version des ROBIN-Systems wird Bewegungsanalysen und die Trennung der Schwärme in Winkelausschnitten ermöglichen, die weit genug sind, um Verluste aufgrund des Winkelaspektes sofort feststellen zu können. Daß dies notwendig ist, kann aus den Abb. 6 und 7 geschlossen werden. Nächtlicher Breitfrontzug, der oft aus einzeln fliegenden kleinen oder mittelgroßen Vögeln besteht, kann in Vorder- oder Rückenansicht völlig unsichtbar sein. Selbst in Seitenansicht vermag ein Teil der Vögel die Empfinglichkeitsschwelle des Radars nicht zu durchbrechen, wenn wir manchmal einen starken Seiteneffekt in sehr kurzen Entfernungen feststellen.

Unter normalen Ausbreitungsbedingungen und bei gleichmäßiger Verteilung der Vögel über einem größeren Gebiet ist es möglich, die Höhenverteilung eines Schwarmes grob zu quantifizieren, wenn man die entfernungsabhängige Grenze der Erfäßbarkeit unter dem Radarhorizont (Abb. 2) heranzieht. Wir machten dies mit beiden Radarkeulen und fanden oft übereinstimmende Ergebnisse.

Wenn Zugvögel sehr niedrig fliegen, ist der Einfluß des Seitenwinkels auf ihre Erfäßbarkeit besonders stark, da viele Vögel nur die Unterkante der Radarkeule streifen und nur schwache Echos geben. Durch Vergleich der Echomuster in den beiden Keulen konnten wir nachweisen, daß starker Vogelzug in sehr niedrigen Höhen über der holländischen Landschaft tagsüber häufig bei Gegenwind erfolgt, daß er aber auch nachts über Land sowie über der Nordsee stattfindet. Ein besonderer Fall ist in Abb. 6 gezeigt. Wie die starken schwarzen Bodenechos 60-120 km südöstlich des Radars zeigen, wurde die Radarkeule nach unten abgelenkt. Um dieses Groundlutter-Gebiet herum sind Vogelflugspuren in hellerer Farbe sichtbar, aber nur wenn die Vögel in Seitenansicht erfaßt werden, d.h. östlich des Radars nach SSW und südlich des Radars nach W flogen. Die Diagramme zeigen die Richtungsverteilungen. Bei Nichtbeachtung des Seiteneffekts wurde der falsche Schluß gezogen, daß die Vögel ihre Flugrichtung während des Zuges über Holland ändern.

Wir können den Nachteil des Seiteneffekts in einen wissenschaftlichen Vorteil ver-

wandeln, wenn wir direkt den Winkel zwischen der Flugspur und der Zugrichtung bestimmen. Abb. 7 (oben) zeigt ein Beispiel im Herbst für einen extremen Fall von nächtlicher Wind-Kompensation (Wahl oder Nutzung von günstigem Wind) über See. Die hohe Radarkeule erfaßte schwachen Vogelzug in 1.500 m Höhe (6.10.92, 22.40 GMT). Diese hoch fliegenden Vögel kamen von Skandinavien und flogen in 230° wie ihre „Kollegen“, die sehr niedrig über See flogen, und gleichzeitig durch die untere Radarkeule (Abb. 7, unten) entdeckt wurden. Die niedrig fliegenden Vögel schienen den Rückenwind (Bodenwind über Zentral-Holland: NNE, mittlere Geschwindigkeit 7 m/s, maximal 12 m/s) zu meiden, da sie nach SSW flogen und bestenfalls in Seitenansicht erfassbar waren. Die am höchsten fliegenden Vögel schienen jedoch nach SSW versetzt zu werden, während sie die Richtung SE einhielten und dabei einen etwas stärkeren, aber immer noch mäßigen (E)NE-Wind kompensierten und dabei anscheinend stark an Geschwindigkeit verloren. Die Körperachse wich von der Flugspur-Richtung um ca. 70° ab!

Zur Vermeidung unerwünschter Bodenechos benutzen viele moderne Überwachungsgeräte den Doppler-Effekt, damit nur jene Echos angezeigt werden, die eine bestimmte Mindestgeschwindigkeit relativ zur Richtung der Radarkeule haben. Andere Radargeräte arbeiten mit Festzielunterdrückung (Moving Target Indicator) um Ziele zu eliminieren, deren Radialgeschwindigkeit unter einem bestimmten Wert liegt. Wir weisen mit Nachdruck auf das Risiko dieser Möglichkeiten hin. Da Vögel die geringste Radialgeschwindigkeit haben, wenn sie senkrecht zur Radarkeule fliegen, geht der repräsentativste Teil des erfassbaren Zuges durch die Doppler/MTI-Unterdrückung verloren. Dieser exponentielle Verlust kann zu einem stark abweichenden Ergebnis führen.

6. Zunkunftsansichten

Die große Reichweite der Großraum-Überwachungsradargeräte ist Ursache für ihre Stärken und Schwächen. Sie liefern gute Übersichten auf Kosten eines entfernungsabhängigen Fehlers. Die größer werdende Radarkeule, der Verlust an Erfassungsmöglichkeiten unterhalb des Radarhorizontes und die internen Verfahren der Signalverarbeitung zeigen die Notwendigkeit, das System in Hinblick auf kleine rundliche Ziele von der Gestalt und Größe eines Vogelkörpers zu kalibrieren. Wenn dies geschehen ist, müssen wir das Problem der kleinen Brechungsunterschiede meistern, die die Ausbreitung des untersten Teils der Radarkeule stark beeinflussen. Bei hohen Vogeldichten in der untersten Luftschicht können Spiegelungen und Überreichweiten der Radarkeule Bilder erzeugen, die entweder frei oder voll von Vogelchos sind. Die paradoxe Situation ist, daß die räumlichen Unterschiede und die zeitliche Insta-

bilität der Echos die Interpretation von dem, was wir „sehen“, erschwert, aber auch die Realität anzeigt. Entscheidend für die Lösung des Problems sind Kenntnisse der Eigenschaften des Systems durch Messung des Musters und der Intensität der Bodenechos. Wir glauben, daß der weitere Fortschritt bei der Software zur Mustererkennung durch künstliche Intelligenz und neurale Netze die automatische Klassifikation von Vogelechos soweit verbessern wird, daß biologisches Wissen einfließen kann. Dadurch können Überwachungsradargeräte bessere Erfassungssysteme für Vögel „en route“ werden und so der Sicherheit von Luftfahrzeugen und Vögeln dienen, sowie Wissenschaftler herausfordern, neue Phänomene zu erforschen, die sicher noch gefunden werden.

Danksagungen

Die radarornithologische Arbeit ist Teil des Vogelschlagverhütungsprogramms der Königlich-Niederländischen Luftwaffe. Das TNO-Physik- und Elektronik-Laboratorium entwickelte die ROBIN Hard- und Software. Der Autor dankt besonders Hans van Gasteren für seine Hilfe und Ausdauer bei der Interpretation und der Verarbeitung der Masse an Radardaten. Peter Moonen entwarf das Modell zur Berechnung vertikaler Sichtweitendiagramme. Auch danke ich Bruno Bruderer, Arie Decker und Frau Netty Girwar für Kommentare zum Manuskript, sowie Yossi Leshem und der Israelischen Gesellschaft für Naturschutz (SPNI) für die Möglichkeit, das niederländische Verfahren vorzustellen.

Literatur

ANONYMUS, 1980: Primary radar - a continuing role in ATC (including Interavia surface radar catalogue). *Interavia* 5: 455-470.

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

BUURMA, L.S., 1987: Patterns of high bird migration over the North Sea area in October. *Limosa* 60: 63-74 (in Dutch, English summary).

BUURMA, L.S., 1988: Thermal imaging, a new remote sensing technique for nocturnal wildlife studies. *Proceedings Bird Strike Committee Europe* 19: 621-628, Madrid.

BUURMA, L.S. and B. BRUDERER, 1990: The application of radar for bird strike prevention. Bird Strike Committee Europe, The Hague, 75 pp.

BUURMA, L.S. and H. van GASTEREN, 1989: Migratory birds and obstacles along the coast of the Dutch province Zuid Holland. Province Zuid-Holland, The Hague, 117 pp. (in Dutch, English summary).

DEELDER, C.L., 1949: On the autumn migration of the Scandinavian Chaffinch (*Fringilla c. coelebs* L.). *Ardea* 37: 1-88.

EASTWOOD, E., 1967: Radar ornithology. Methuen, London 278 pp.

EDWARDS, J. and E.W. HOUGHTON, 1959: Radar echoing area polar diagrams of birds. *Nature* 184: 1059.

LIECHTI, F., H. PAPROTH and B. BRUDERER, 1994: Quantification of nocturnal bird migration: a comparison of three methods. Poster P492 Int. Ornithol. Congr. Summary in *J. Ornithol.* 135 (Sonderheft): 261.

PERDECK, A.C., 1970: The standard direction of the Scandinavian Chaffinch during autumn migration throughout its area of passage. *Ardea* 58: 142-170.

TENGLER, L. 1977: Calculation of the radar distance of the medium power radar (MPR) for one single bird. TNO. Oegstgeest.

ZINK, G., 1973-85: Der Zug europäischer Singvögel. 1-4. Vogelwarte Radolfzell, Radolfzell.

Anschrift des Verfassers:

Luit S. Buurma
Royal Netherlands Air Force, Flight and Ground Safety Division
Natural Environment Section
P.O. Box 20703
2500 ES The Hague/Netherlands