

Das Wetterradar - Ein weiteres System zur Vogelzugbeobachtung?

(The Weather Radar - Another Monitoring Device for Bird Activity?)

von WILHELM RUHE, Wittlich

Zusammenfassung: Zur Überwachung des Vogelzuges mit dem Ziel der Herausgabe aktueller Vogelschlagwarnungen (BIRDTAM) wird ein flächendeckendes Radar-Beobachtungssystem benötigt. Neben den mittlerweile routinemäßig genutzten S-Band Flugsicherungs- und Luftverteidigungsradarsystemen (ca. 10 cm Wellenlänge) existiert inzwischen ein relativ neues und modernes Netzwerk von C-Band Wetterradarsystemen (ca. 5 cm Wellenlänge) in den meisten europäischen Ländern. Diese führen kontinuierlich in ca. viertelstündlichen Abständen dreidimensionale Volumen-Scans der Atmosphäre durch. Unter der Vielzahl der daraus erstellten operationell verfügbaren Produkte sind auch solche, die neben den Wetterechos auch Clutter-Informationen über Vogelflugaktivitäten prinzipiell enthalten. Die Schwierigkeit liegt jedoch in der Interpretation dieser Produkte, die nur in Zusammenhang mit einer kompletten Analyse der meteorologischen Information durchgeführt werden sollte, um Wetterechos, Bodenechos, Echos aufgrund anormaler Ausbreitungsbedingungen und Voagechos zu klassifizieren. Insbesondere in den USA werden Anstrengungen unternommen das dortige NEXRAD - Wetterradarnetz für die Vogelzugbeobachtung zu nutzen.

Summary: Monitoring of bird migration for the purpose of low level bird strike warnings (BIRDTAM) requires an area wide radar observation network. Besides S-band (approx. 10 cm wavelength) air traffic control and air defence radar systems, a new network of C-band (approx. 5 cm wavelength) weather radar systems has been recently implemented in most European countries, providing continuous three-dimensional volume scans of the atmosphere. Within the variety of operationally available products there are some, that besides weather clutter also contain bird activity information. The difficulty however is, that a complex analysis of the meteorological information has to be done, in order to distinguish and classify weather echoes, ground clutter, anomalous propagation clutter and bird echoes. Especially in the U.S. there are activities to use the existing NEXRAD weather radar network for bird migration observation.

1. Einleitung

Die Notwendigkeit und Vorteile der Radar-Vogelzugbeobachtung zur Vogel-schlagverhütung sind bekannt und unbestritten (BUURMA und BRUDERER, 1990). Aber obwohl der Einsatz derartiger Systeme seit längerem gefordert wurde, sind bisher keine speziellen Vogelzug-Überwachungs-Radargeräte auf dem Markt erhältlich. Selbst größere Flughäfen scheuen bislang noch die Kosten solcher Systeme. Erst in jüngster Zeit wird zunehmend auch mit einfachen Systemen z.B. auf der Basis von X-Band Schiffsradargeräten (ca. 3 cm Wellenlänge) experimentiert, die möglicherweise zur kleinräumigen Überwachung zum Einsatz kommen können. Da aber bisher kein optimiertes Mittelbereichsradar für die Vogelzugbeobachtung zur Verfügung steht, sollten die bestehenden Anlagen genutzt und deren Möglichkeiten optimal ausgeschöpft werden. Verschiedene Ansätze sind bereits erprobt und getestet worden, einige davon sind im operationellen Einsatz und dienen schon seit mehreren Jahren als Beobachtungsgrundlage für aktuelle Vogelschlagwarnungen (RUHE, 1994). Langfristig sollte ein globales radargestütztes Vogelzugbeobachtungs- und -überwachungsnetzwerk angestrebt werden (LESHEM, 1996).

Bisher gelten die Rundumsicht-Radargeräte der Flugsicherung und der Luftverteidigung als die am besten geeignetsten Anlagen. Erstere sind aus Kostengründen fast ausschließlich zweidimensional erfassende Geräte. Letztere verfügen in neueren Generationen über phasengesteuerte Antennen (Phased Arrays) und sind damit in der Lage auch die Höhe bewegter Objekte zu erfassen und damit die dreidimensionale Echowerteilung im Raum zu bestimmen. Diese Geräte werden aufgrund des hohen technischen und finanziellen Einsatzes jedoch nur in der militärischen Nutzung zur Feinderkennung eingesetzt. Die ermittelten Daten unterliegen entsprechenden Sicherheitsbestimmungen und sind in ihrer Rohform zivilen Stellen in der Regel nicht zugänglich.

Um dieses Erschwernis zu umgehen und seitdem die Computertechnologie enorme Leistungssteigerungen erlebt hat, stehen mit den kostengünstigeren Wetterradargeräten mittlerweile weitere Radarsysteme zur Verfügung, die hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaften das Potenzial zur Vogelzugerfassung besitzen, deren Einsatzmöglichkeiten aber noch eingehender untersucht werden sollten, denn auch diese sind natürlich auf ihren vorgesehenen Einsatz hin optimiert und werden Vogelschwärme auf ihrem Display vorrangig unterdrücken. Da in modernen Radargeräten der Einsatz zunehmend über die Software gesteuert wird, ist es sehr viel einfacher, zusätzliche Aufgaben in bestehende Anlagen zu integrieren oder über entsprechende Schnittstellen die Rohdaten gesondert zu verarbeiten.

2. Das Wetterradar-Verbundsystem

Weltweit ist in vielen Ländern in den letzten Jahren ein Wetterradar-Verbundnetz aufgebaut worden. Die Vereinigten Staaten von Amerika und die meisten Staaten Europas verfügen mittlerweile über weitestgehend flächendeckende Wetterradar Beobachtungsnetze (Deutscher Wetterdienst, 1997). In Deutschland existieren aktuell 17 Wetterradargeräte, die im Verbund mit weiteren europäischen Systemen stehen.

3. Technische Daten

Die in Deutschland genutzten Radarsysteme operieren wie auch die meisten ausländischen Systeme im C-Band (5 cm Wellenlänge) mit Emitter-Frequenzen von ca. 5600 MHz und einer Pulsspitzenleistung von 250 kW pro Puls. Die Puls-Wiederholungsfrequenz rangiert zwischen 600 und 1200 Hz. Der Öffnungswinkel der Keulen beträgt ca. 1°.

Die Radargeräte verfügen bis auf wenige ältere Geräte über eine Doppler-Funktionalität, d.h. sie sind in der Lage, aus der Frequenzverschiebung zwischen Sendesignal und Empfangssignal die Verlagerungsgeschwindigkeit der Echos zu bestimmen. Jedes dieser Geräte ist in der Lage Wetterechos (Niederschlag) im Umkreis von mindestens ca. 100 km Radius mit einer Erneuerungsrate von 15 Minuten zu erfassen. Dabei werden allgemein üblich zwei unterschiedliche Scan-Modi gefahren (DEUTSCHER WETTERDIENST, 1997):

"Volume Scan"

Der ca. 10 Minuten dauernde Volume-Scan dient der Ermittlung der dreidimensionalen Echoverteilung um den jeweiligen Radarstandort bis zu einer Entfernung von 230 km und bis in 12 km Höhe (20 Messumläufe mit Elevationswinkeln von 0,5° bis 37°). Die Antenne wird dabei nach jedem Umlauf in ihrer Elevation erhöht, so dass der gesamte umgebende Raum nach Rückstrahlechos abgetastet wird. Die Echoverteilungen des Volume Scan werden für jede Station in einen rechtwinkligen Raumquader umgerechnet und z.T. in Verbindung mit den Daten weiterer europäischer Verbundnetze zu Komposit-Darstellungen kombiniert.

"Precipitation Scan"

Alle 5 Minuten wird ein Umlauf zur Ermittlung der maximalen Rückstrahlechos in der niedrigsten Antennenelevation durchgeführt. Aus diesen Daten werden unter anderem Niederschlagsintensitäten und Niederschlagshöhen quantifiziert. Der Volume Scan wird währenddessen unterbrochen. Um Bodenechos bei Abschattung

gen durch die Orographie oder Hindernisse zu vermeiden, kann je 45° Azimuth-Segment der Elevationswinkel verändert werden. Die Messung und Verarbeitung der Echos erfolgt bis zu einer Entfernung von 100 km. In diesem Abstand beträgt die Messhöhe maximal 2-3 km.

Alle Daten werden dezentral aufbereitet und an ein zentrales Rechnersystem des Deutschen Wetterdienstes übertragen. Dort werden sie in verschiedene weitere Anwender-Produkte transformiert und in Form von Bild- oder Datendateien abgelegt, die teilweise als allgemein verfügbare Produkte über das weltweite Telekommunikationsnetz der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) verbreitet werden oder gezielt von Bedarfsträgern im Abonnement abgerufen werden können. U.a. stehen die Daten des Precipitation Scan als Rohdaten, d.h. ohne Störecho (engl.: Clutter)-unterdrückung, in 16-stufiger Echointensitätsabstufung zur Verfügung.

4. Clutter - Verarbeitung

Da die primäre Aufgabe der Wetterradare die Erkennung von Hydrometeoren ist (DOVIK u. ZRNIC, 1993), wird versucht, alle übrigen Störechos während der Signalverarbeitung, so weit es geht, zu unterdrücken. Solche Störechos stammen häufig von Bodenechos, die in unterschiedlicher Anzahl, abhängig von atmosphärischen Schichtungs- und Ausbreitungsverhältnissen, auftreten. Unter stabilen meteorologischen Schichtungsbedingungen, insbesondere bei Hochdruck-Wetterlagen, wenn starke vertikale Gradienten der Temperatur und Feuchte auftreten, wird der Radarstrahl dabei zum Boden hin gebeugt (Superrefraktion). Sie führen u.U. zu einer enormen Zunahme der Echos. Die Strahlausbreitungsbedingungen können aus den routinemäßig gewonnenen Messwerten von meteorologischen Radiosondierungen errechnet werden.

Die Clutter-Unterdrückung wird im allgemeinen bei Wetterradarsystemen weniger stark vorgenommen als bei den Flugsicherungs- und Luftverteidigungsradarsystemen, da sonst ein großer Teil der meteorologischen Information verloren ginge. Aus diesem Grund bestehen allgemein gute Chancen, Vogelkonzentrationen bisweilen sogar große Insektenkonzentrationen, evtl. auch in Kombination, neben den Hydrometeoren aufzufassen.

Zur Unterdrückung des nicht gewünschten Clutters sind unterschiedliche Verfahren gebräuchlich (SELMANN u. HOHMANN, 1997), die im nachfolgenden kurz erläutert werden:

4.1 Statische Clutter-Datei

Aus einer langen Beobachtungsreihe werden diejenigen Echos eliminiert, d.h. vom aktuellen Bild subtrahiert, die eine besonders hohe räumliche Häufigkeit aufweisen. Dieses Verfahren ist das einfachste und am häufigsten eingesetzte. Es berücksichtigt nicht, dass der Clutter eine dynamische Erscheinung ist, die in Raum und Zeit variiert.

4.2 Multitemporale Bildbearbeitung

Sie stellt eine Variation der statischen Clutter-Datei dar. Anstelle aus einer langen Zeitreihe, wird die Clutter-Datei aus einem unmittelbar vorhergehenden Zeitintervall errechnet. Ein modifiziertes Verfahren der multitemporalen Bildbearbeitung benutzt der Deutsche Wetterdienst. Ein gravierender Nachteil besteht darin, dass sowohl stationäre Niederschlagsgebiete als auch z.B. quasi-stationär kreisende Vögel gefiltert werden.

4.3 Dynamische Clutter-Datei

Eine Verbesserung der statischen Clutter-Datei beruht auf der Hinzuziehung von Sekundärinformationen, z.B. Windrichtung, Windgeschwindigkeit. Mit dieser Zusatzinformation gelingt es, die anomalen Ausbreitungs-Situationen zu erkennen und zu filtern. Es werden alle statischen Echos verworfen, die in ihrer Verlagerung nicht mit dem Windvektor korrespondieren. Dieses Verfahren wird in Deutschland soweit bekannt bisher nicht angewandt.

4.4 Clutter-Unterdrückung durch Entscheidungsfilter

Dieses in der Schweiz angewandte Verfahren benutzt einen logischen Algorithmus für die Clutter-Identifikation. Einige Kriterien beruhen auf technischen System-Kennwerten, andere auf den aktuellen Ausbreitungsbedingungen und wieder andere auf der Clutter-Historie. Solche oder artverwandte Methoden werden derzeit auch in Deutschland getestet.

5. Datenverfügbarkeit und -präsentation

Seit mehr als fünf Jahren wird das Dezernat Biologie des Amtes für Wehrgeophysik online mit den aktuellen meteorologischen und geophysikalischen Daten, u.a. auch Wetterradarprodukten, versorgt. Zudem existiert eine Datenverbindung zum zentralen Wetterradar-Datenserver, auf dem auch ungefilterte Radaraufzeichnungen abgespeichert werden. Während dieser Zeit wurden erste eigene Erfahrungen mit den Daten hinsichtlich der Verwendbarkeit zur Vogelzugüberwachung gesammelt. Der Vergleich mit den Radarvogelzugbeobachtungen von Luftverteidigungs-

radaranlagen (FRIEBE 1998; RUHE, 2000) ist zudem möglich und zeigt die unterschiedlichen Erfassungsmöglichkeiten.

5.1 Monitoring - Beispiel hoher Vogelflugaktivität

An einem realen Musterbeispiel wird gezeigt, wie Vogelflug-Aktivitätsstrukturen in Erscheinung treten und wie sie als solche von übrigem Clutter zu unterscheiden sind.

Am 08.07.2002 um ca. 12.00 UTC (entsprechend 14.00 Uhr MESZ) befindet sich ganz Deutschland an der Südwestflanke eines Tiefs bei Schottland im Einflussbereich eines Hochdruckgebietes mit sehr sommerlichen Witterungsbedingungen (Abb. 1). Das aus 800 km Höhe im sichtbaren Spektralbereich aufgenommene Satellitenfoto (Abb. 2) zeigt das mittlere, westliche und südliche Deutschland absolut wolkenlos. Im Osten und äußersten Norden ist leichte Cumulus-Bewölkung als weiße Sprenkel erkennbar. Allgemein herrscht gute Blauthermik, d.h. die Luft wird durch die Aufheizung am Boden zum Aufsteigen gezwungen, es findet aber keine Kondensation und damit Wolkenbildung statt.

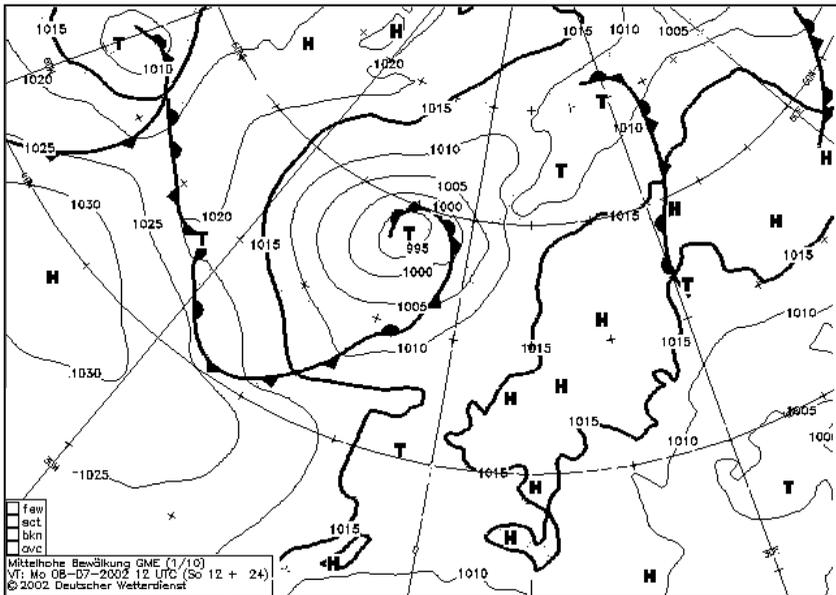


Abb. 1: Wetterlage am 08.07.2002, um 12 UTC

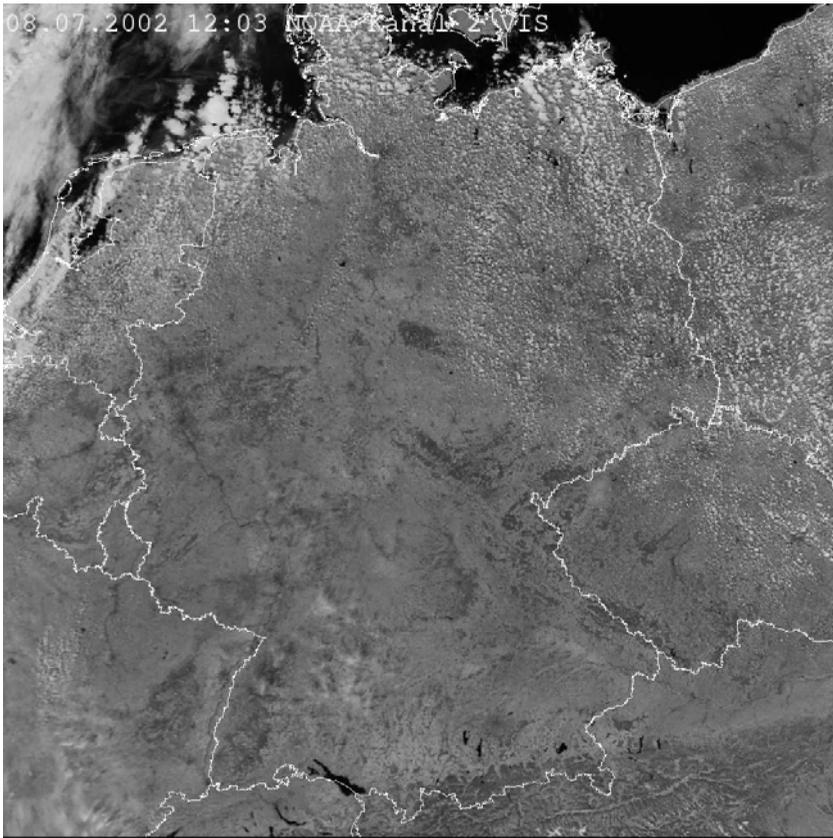


Abb. 2: Wettersatellitenbild aus ca. 800 km Höhe (NOAA, sichtbarer Spektralbereich) vom 08.07.2002 um 12.03 UTC

Das zeitlich korrespondierende Radar-Komposit für Deutschland (Abb. 3) präsentiert eine Häufung der Echos geringerer Intensität in Rheinhessen und dem Rhein-Main Gebiet. Die räumlich höher aufgelöste Darstellung der Echos der Einzelstation Frankfurt (Abb. 4) ermöglicht auch die Betrachtung der vertikalen Verteilung der Echos höchster Reflektivität in West-Ost-Richtung und in Süd-Nord Richtung mit einer Höhenauflösung von 1km. Zeitlich benachbarte Radarbilder zeigen eine ähnliche Echoverteilung.

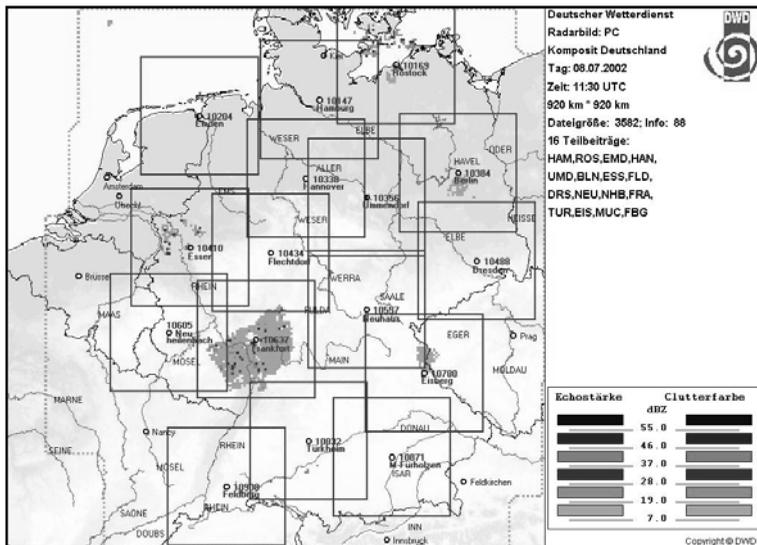


Abb. 3: Radar-Komposit Deutschland vom 08.07.2002 um 11.30 UTC

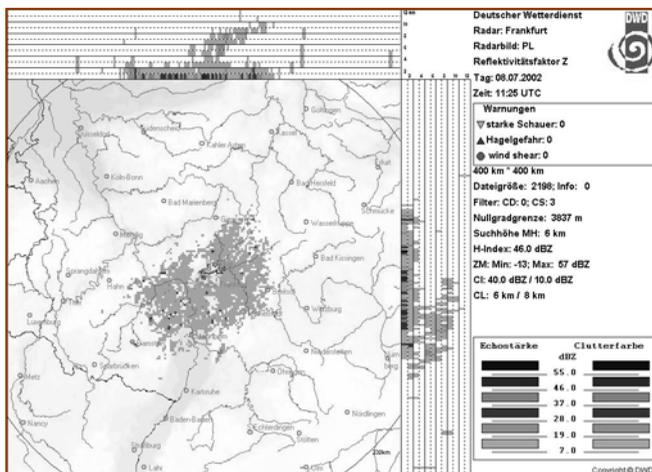


Abb. 4: Wetterradarbild der Station Frankfurt mit Höhenprofil der maximalen Reflektivitätswerte in Süd-Nord- und West-Ost-Richtung am 08.07.2002, um 11.25 UTC

Bei den registrierten Echos kann es sich nachweislich nicht um Hydrometeore handeln. Die Verteilung der Echos in horizontaler wie vertikaler Richtung gibt keinen Anlass dafür, dass vermehrt Bodenechos auftreten. In solchen Fällen zeichnen sich gewöhnlich orographische Strukturen, z.B. Taunus, Odenwald etc. ab. Dagegen spricht auch, dass aufgrund der guten thermischen Durchmischung der bodennahen Luftschichten keine markanten Inversionen vorkommen, die anomale Ausbreitung und Bodenreflexionen begünstigen würde.

Sehr wahrscheinlich ist aber, dass sich im genannten Raum vermehrt Vögel, vermutlich Insektenjäger (Schwalben, Mauersegler) aufhalten, die Thermik ausnutzend in Höhen bis über 2000 m fliegen, um dort die ebenfalls mit der Thermik aufsteigenden Insekten zu jagen. Hierfür spricht auch das tageszeitliche Auftretismuster. Einzelne Konzentrationsspitzen weisen auf zeitweise höhere Intensitäten hin. Die in den seitlichen Höhenaufzügen sichtbaren höheren Echospitzen sind vermutlich Streuechos und keine Vogelechos.

5.2 Grenzen der Anwendung

Das Wetterradarbild spiegelt die Intensität der Vogelflugaktivität im gesamten Volumen der jeweiligen Auflösungszelle des Radarstrahls wieder.

Zugvogelschwärme sind zwar markante Einzelziele für das Radar, strahlen aber u.U. eine zu geringe Echointensität pro Volumenelement zurück und bleiben damit vom Wetterradar unerkannt. Diese sind erheblich besser durch Luftraumüberwachungsradargeräte aufzufassen, da die Erfassung auf intensiv rückstrahlende Punktechos hin optimiert ist, so dass ein entscheidender Unterschied in der Verwendbarkeit der Daten darin liegt, dass die Wetterradar Daten nicht geeignet sind, Vogelzüge zu verfolgen, wie es beispielsweise bisher mit den langzeitbelichteten Fotografien und der Videodigitalisierung praktiziert wurde.

Die Echoverteilung im Wetterradarbild ist nur dann zu deuten, wenn die Einflussgrößen bekannt sind, d.h. es erfordert eine komplette Analyse der geophysikalischen Rahmenbedingungen und Einflussgrößen, bevor eine Ableitung der Vogelflugaktivität aus der Echointensität erfolgen kann. Es sind hierzu noch weitere systematische Untersuchungen erforderlich, um die bisher gewonnenen Erkenntnisse in entsprechende Routinewarnverfahren umzusetzen.

6. Ansätze mit dem Next Generation Wetterradar (NEXRAD) in den USA

Da in den USA der Zugang zu den Daten der militärischen Radaranlagen nicht erlaubt wird, wurden eine Reihe von Experimenten mit dem NEXRAD Wetterradar WSR-88D unternommen und veröffentlicht (GAUTHREAUX u. BELSER, 1998).

Dieses Wetterradar wurde direkt auf seine Möglichkeiten zur Erkennung biologischer Flugziele hin untersucht. An einem US Flugplatz in Korea wurde das NEXRAD erfolgreich in die „Bird Aircraft Strike Hazard (BASH)-Verfahren zur Vogelschlagverhütung einbezogen (BARELA, 1998). Wie der Autor schreibt wurde somit aus dem „Weather Radar“ ein „Feather Radar“, indem durch kompetente Interpretation der Routinebilder lokale Warnungen vor Vogelschwärmen an die militärischen Flugsicherungsstellen abgesetzt wurden, die dann Auswirkungen auf die Flugbetriebsdurchführung hatten.

Es konnte belegt werden, dass die Geräte hervorragend geeignet sind Vogelmassierungen zu erkennen und aufgrund der Doppler-Fähigkeit auch Geschwindigkeitsbestimmungen vorzunehmen. Aus den Daten wurde darüber hinaus eine Beziehung zwischen dem Reflektivitäts-Level und der Vogelzugdichte (Anzahl Vögel pro Volumen) abgeleitet.

Die operationelle Nutzung des NEXRAD im Rahmen der Modelle zur Vogelschlagverhütung wird in jüngster Zeit (KELLY et al., 2001) durch routinemäßige Einbindung der Daten in das „Avian Hazard Advisory System (AHAS)“ angestrebt. Erste Verfahren sind bereits implementiert. Um einen hohen Automatisierungsgrad zu erhalten werden statistische Algorithmen auf der Basis „Neuronaler Netzwerke“ entwickelt, die Wetter- und Bodenechos aus den Daten bzw. Bildern entfernen, so dass nur die Echos von Vögeln zurückbleiben und daraus Intensitäts-, Geschwindigkeits- und Richtungsinformationen abgeleitet werden können.

Die Dopplerfähigkeit des NEXRAD wird in der meteorologischen Anwendung auch zur Windmessung und zur Messung von vertikalen Windprofilen verwendet. Erwiesenermaßen stören Vogelzüge diese Messungen zeitweise erheblich (GAUTHREAUX, MIZRAHI u. BELSER, 1998), so dass auch der amerikanische Nationale Wetterdienst (NWS) ein Interesse an der Erkennung „biologischer Datenverunreinigung“ hat.

Geplante Modernisierungen dieser Anlagen sollen externen Nutzern eigene Datenschnittstellen bereitstellen, die eine Clutter-Verarbeitung nach den jeweiligen Nutzerbedürfnissen in externen Rechnern erlauben sollen.

7. Schlussfolgerungen

Die bisherigen Erfahrungen mit den Wetterradar-Produkten hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit für Vogelzug-/Vogelflugaktivitätsbeobachtungen gibt Anlass zu folgenden vorläufigen Schlüssen:

- Wetterradarsysteme liefern kontinuierliche dreidimensionale Echointensitätsdaten mit schneller Aktualisierungsrate.
- Die operationellen Produkte sind vergleichsweise einfach zu beziehen.
- Bestimmte Formen der Vogelflugaktivität lassen sich mit Wetterradargeräten beobachten und aus den Routineprodukten ableiten.
- Die Interpretation ist schwierig, da sie nur in Verbindung mit einer Analyse der geophysikalischen Randbedingungen durchzuführen ist.

Die ersten Analysen aufgrund archivierter Daten und Einzelfall-Untersuchungen stimmen aber durchaus optimistisch. Vor einer operationellen Nutzung der Wetterradardaten in Vogelschlagwarnverfahren bedarf es jedoch weiterer systematischer Analysen. Weitere Routineprodukte müssen dazu untersucht und gegebenenfalls zusätzlich entwickelt werden.

Der große Vorteil der hohen zeitlichen Auflösung, der flächenhaften Erfassung und der leichten Zugänglichkeit sowie Verfügbarkeit selbst über Ländergrenzen hinweg sollte ein wichtiger Grund sein, sie neben den bereits bewährten Beobachtungsverfahren für die Zwecke der Vogelschlagverhütung weiter zu entwickeln und zu nutzen.

Literatur:

Barela, P.T. (1998): Something to Crow About – Weather Radar Becomes Feather Radar. Airman – Magazine of Americas Air Force 12/1998.

Buurma, L.S. u. Bruderer, B. (1990): The Application of Radar for Bird Strike prevention. BSCE 20/WP 36, Helsinki: 373-445.

Deutscher Wetterdienst (1997): AKKORD - Anwenderkoordinierte Organisation von Radar - Daten, Produktkatalog. DWD-Geschäftsfeld Hydrometeorologie, Selbstverlag.

Doviak, R.J. u. Zrnic, D.S. (1993): Doppler Radar and Weather Observation, Academic Press Inc., San Diego.

Friebe, T. (1998): Vogelzugbeobachtungen mit Hilfe der Radargeräte des Radarführungsdienstes der Deutschen Luftwaffe. Vogel und Luftverkehr, 1 u. 2/98: 23–30.

Gauthreaux, S.A. u. Belser, C.G. (1998): Displays of Bird Movements on the WSR-88D: Patterns and Quantification. Weather and Forecasting, NEXRAD Special Issue, Vol. 13, No. 2: 453-464.

Gauthreaux, S.A. u. Mizrahi, D.S. u. Belser, C.G. (1998): Bird Migration and Bias of WSR-88D Wind Estimates. Weather and Forecasting, NEXRAD Special Issue, Vol. 13, No. 2: 465-481.

Kelly, T et al. (2001) : Advances in Radar Technology for Bird Strike Risk Assessment. Proceedings Bird Strike 2001 Conference Bird Strike Committee USA/Canada, Calgary: 9–12.

Leshem, Y. (1996): Proposal to Develop a Global Network to Predict Bird Movements on a Real-Time and Daily Scale by Using Radars. BSCE 23/WP 50, London.

Ruhe, W. (1994): New Developments for Improving the German BIRD-TAM/BIRDSTRIKE Warning System. BSCE 22/WP 36, Vienna: 236-274.

Ruhe, W. (2000): AVIS – Entwicklung eines Automatisierten Vogelzug-Informationen-Systems. Vogel und Luftverkehr 2/00: 69–73.

Seltmann, J. u. Hohmann, T. (1997): Wetterdienstliche Forschung mit Hilfe des deutschen Radarverbundes, Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation 9. Radarsymposium, Stuttgart: 5-14.

Seltmann, J. u. Hohmann, T. (1997): Clutterunterdrückung beim Wetterradar: Methoden und Ergebnisse. Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation 9. Radarsymposium, Stuttgart: 43-53.

Anschrift des Verfassers

Dipl. Met. Wilhelm Ruhe, M.Sc.

Zur Ziegelei 2

D-54516 Wittlich

WilhelmRuhe@awg.dwd.de