

Geschichte der Radarornithologie in Deutschland - Ein Beitrag zur Verwendung von Radar-Vogelzug-Daten für die Flugsicherheit

(History of radar ornithology in Germany -
A contribution for use of radar-bird migration-data for flight safety)

von JOCHEN HILD, Traben-Trarbach

Zusammenfassung: Im 1. Weltkrieg wurden Entfernungsmessgeräte zur Feststellung der Vogelflughöhen benutzt. Als eigentlicher Beginn der Radarornithologie in Deutschland muß das Jahr 1941 gelten, als erstmals mit Funkmessgeräten Vogelzughöhen bestimmt wurden. Nach dem 2. Weltkrieg erhielt die Radarornithologie die wesentlichsten Impulse durch die Luftfahrt. DAVVL und Geophysikalischer Beratungsdienst der Bundeswehr entwickelten in enger Zusammenarbeit mit ausländischen Ornithologen Methoden zur Radarvogelzugbeobachtung, die ständig verbessert werden. Die Beobachtungsdaten fließen in Warn- und Vorhersageverfahren ein und dienen der Flugsicherheit. Ziel ist die Schaffung eines modernen, radargestützten Vogelzug-Informationssystems zur Warnung des militärischen und zivilen Luftverkehrs.

Summary: In World War I ranging devices were operated for the observation of flight heights of birds. The beginning of radar ornithology in Germany was actually in the year 1941, i.e., when for the first time radiolocation was used to serve bird observation. After World War II radar ornithology was given great impulses by aviation. The Bird Strike Committee Germany and the German Military Geophysical Service have in close co-operation with foreign ornithologists developed bird migration radar observation methods which are subject to permanent improvement. These observation data are the basis for warning and forecasting systems and serve flight safety. Our target is the organisation of a modernized radar-based bird migration information system to be made available to military and civil aviation.

„Augen durch Nacht und Nebel“ hat C. BEKKER (1964) seine „Radar-Story“ genannt und die Bedeutung der Radar-Ortung (Radar = **R**adio **D**etecting and **R**anging) seit der Jahrhundertwende mit interessanten Beispielen beschrieben.

Zur Vorgeschichte

Die deutschen Ingenieure Hülsmeier, Kühnold und Runge, die noch von „RDF“ (Radio Direction Finding) oder „Funkmess“ sprachen, sowie der als Vater des Radar geltende Sir Robert Watson Watt hätten es sich vermutlich nicht träumen lassen, daß diese technischen Systeme neben einer militärischen auch einmal eine ganz erhebliche wissenschaftlich-biologische Bedeutung erlangen würden!

Zwar war von Heinrich Hertz bereits 1886 in einem Zimmersversuch nachgewiesen worden, daß elektromagnetische Wellen von elektrisch leitenden Gegenständen reflektiert werden können, aber die Übertragung dieser Erkenntnis auf die Praxis ließ auf sich warten bis am 30.04.1904 ein Düsseldorfer Ingenieur auf der Kölner Rheinbrücke ein erstes Ortungssystem vorstellte und der Ornithologe Stresemann im ersten Weltkrieg das noch recht einfache Entfernungsmessgerät für die Flughöhenanmessung von Vögeln vorschlug (STRESEMAN, 1917). Dennoch begann erst im Spätsommer 1933 die NVA (hier: Nachrichtenmittel-Versuchsanstalt) der deutschen Reichsmarine in Kiel mit Rückstrahlversuchen im 13,5 cm-Band; es folgten 1934 Versuche in der Lübecker Bucht mit einem Magnetron-Sender auf 50 cm Wellenlänge, bei denen erstmals ein Flugzeug geortet wurde. Erst dies gab den entscheidenden Anstoß zu Großversuchen sowohl im Deutschen Reich als auch zeitgleich in Großbritannien, die mit Geräten im 1,8-, 2,5-, 25- und 50 m -Wellenbereich durchgeführt wurden. Im Jahre 1936 kamen dann die ersten sog. Freya-Geräte (2,4 m Wellenlänge) für Land-Luft-Ortung sowie ein sog. Seetakt-Gerät (80 cm Wellenlänge) zur Schiff-Schiff-Ortung zum Einsatz. In den Jahren 1938/39 gab es in England bereits die ersten Küstenradarketten im Rahmen der Luftverteidigung, und 1939 wurden mit Hilfe des vorg. Freya-Gerätes von Wangerooze aus erstmals Jäger an britische Bomberverbände herangeführt. Zur gleichen Zeit gab das Reichluftfahrtministerium den Auftrag über 5.000 sog. Würzburg-Geräte, die von Telefunken im 50 cm-Wellenbereich entwickelt worden waren, und die neben der Entfernung und Seitenrichtung auch die Höhe eines georteten Luftfahrzeuges anzeigen konnten. Dies war dann gleichzeitig auch die Geburtsstunde der deutschen „Radarornithologie“, denn in dieser Zeit absolvierten drei deutsche Ornithologen (Mildenberger, Rittinghaus und Libbert) im norddeutschen Raum ihren Militärdienst und kamen mit den neuen Funkmessgeräten Freya und Würzburg in Kontakt. Ihre ersten Vogelbeobachtungen waren allerdings mehr zufällig (MILDENBERGER, 1950; RITTINGHAUS, 1957); sie erkannten jedoch sehr schnell die große Bedeutung, die solche Geräte für die künftige Erforschung des Vogelzuges haben würden, denn auch SCHWERDTFFGER (1941) hatte schon über Gänszüge in 2.600 m und LIBBERT (1948) über Kranichzüge in 2.960 m Höhe berichtet, die mit einem Funkmessgerät Telefunken 39 D, dem Kommandogerät 40 der Flak und einer festvermessenen Langbasis mit 2 Kinotheodolithen festgestellt wurden.

Was an Radar-Weiterentwicklungen bis zum Kriegsende 1945 geschah, war die konsequente Umsetzung der bisher gewonnenen Erkenntnisse sowie die Verfeinerung der Methoden. Bis zum Kriegsende waren in Deutschland Geräte im 3 cm- und 9 cm-Wellenbereich (X- und S-Band) einsetzbar.

1. Periode 1945-1964

In den Jahren nach 1945 entwickelte sich die Radartechnik in 4 verschiedene Richtungen, und zwar:

- Luft- und Seeverkehr; Ziel: Verbesserung der Navigations- und Warnsysteme
- Wetterbeobachtung; Ziel: Verbesserung der Wettervorhersagen
- Strahlenmedizin; Ziel: Verbesserung der Therapieverfahren und
- Vogelzugforschung

Deutschland war von solchen Weiterentwicklungen zunächst völlig abgekoppelt. Deutsche Ornithologen schreiben ihre mit den Funkmessgeräten gewonnenen Erfahrungen zusammen, wobei die Feststellung der erheblichen Flughöhen von 2.950 m und Fluggeschwindigkeiten von 70 km/h die bis dahin herrschende Meinung, der Vogelzug würde sich im wesentlichen bis 1.000 m Höhe abspielen, ad absurdum führte.

Im übrigen informierte man sich in dieser Zeit an der reichlich veröffentlichten Literatur der Nachbarländer, wo die Radarornithologie eine stürmische Entwicklung genommen hatte (LACK, 1945-1960; SUTTER, 1957; GRABER & HASSLER, 1962; GEHRING, 1963 und HOUGHTON, 1963). Am Ende dieser Periode stand fest:

- Radargeräte im X-, S- und L-Band sind in der Lage, Vogelzüge zu orten und über bestimmte Entfernungen zu verfolgen, wenn ihre Sendeleistung > 150 kW beträgt
- Radargeräte in Luftfahrzeugen sind nur unter bestimmten Bedingungen geeignet, Vogelschwärme zu orten, und
- Die Höhenanmessung mit Hilfe der modernen Geräte bereitet erhebliche Schwierigkeiten, weil dreidimensionale Beobachtungen noch nicht möglich sind, und die verfügbaren Höhenmessgeräte (Height Finder) mit zu geringen Impulsleistungen arbeiten.

Feststand aber auch, daß sich hier für die Vogelzugforschung Möglichkeiten auftaten, die alles bisherige überbieten mußten.

2. Flugsicherheit und Vogelschlag

2.1 Versuchsstadium 1964-1971

Die Flugsicherheit im Düsenzeitalter wurde mit völlig neuen Problemen konfrontiert: Unfälle und Abstürze durch Zusammenstöße mit Vogelschwärmen oder Einzelvögeln, die in die Triebwerke gerieten oder Scheiben durchschlugen. Weit mehr als 10.000 solcher Vogelschläge weltweit pro Jahr erforderten konkrete Maßnahmen!

In der Bundesrepublik wurde 1964 der Deutsche Ausschuß zur Verhütung von Vogelschlägen im Luftverkehr (DAVVL) und im internationalen Bereich 1966 das Bird Strike Committee Europe (BSCE) gegründet; beide Institutionen besaßen und besitzen heute noch spezielle Arbeitsgruppen, die sich mit dem Problembereich „Radar-Wetter-Vogelzug“ befassen und das Ziel verfolgen, entsprechend den jeweiligen technischen Gegebenheiten in Europa Vogelzugbeobachtungs-, -melde-, -warn-, und -vorhersagesysteme aufzubauen. Radar-Vogelzugbeobachtungen sowie Korrelationen von Zug- und Wetterdaten waren eine notwendige Voraussetzung für die Schaffung solcher mittlerweile installierten Systeme für die Zivil- und Militärluftfahrt (VON BONIN, 1981; BECKER/VAN RADEN, 1988; HILD, 1990).

Mitte der sechziger Jahre waren im zivilen Bereich folgende Radargeräte verfügbar, ohne daß sie zunächst für **ständige** Vogelbeobachtungen genutzt werden konnten:

- GRS-(Großrundsicht-)Radar der Bundesanstalt für Flugsicherung (BFS) auf dem Deister, der Neunkirchener Höhe und in München-Großdorn. Technische Daten: 1.300 MHz, 1 MW Impulsleistung, 120 nm Reichweite, 6 UpM, 23 cm Wellenlänge, L-Band
- SRE-LL 1-Radar der BFS in Bremen: 1.350 MHz, 5 MW Impulsleistung, 150 nm Reichweite, 4-7 UpM, 23 cm Wellenlänge, L-Band
- ASR (Airport Surveillance Radar) - auf den meisten Verkehrsflughäfen: 2.800 MHz, 60 nm Reichweite, 460 kW Impulsleistung, 15 UpM, 10 cm Wellenlänge, S-Band

Im militärischen Bereich gab es in den sechziger Jahren folgende Radargeräte, die für Vogelzugbeobachtungen in Frage kommen konnten:

- FPS 7 E: 1.250-1.350 MHz, 10 MW, 300 nm, 3-10 UpM, 23 cm, L-Band
- GPS 4: 1.250-1.350 MHz, 2 MW, 220 nm, 5-10 UpM, 23 cm, L-Band
- RV 377: 990-1.040 MHz, 1,1 MW, 320 nm, 2-4 UpM, 10 cm, L-Band
- ASR: 2.700-2.900 MHz, 430 kW, 120 nm, 12-24 UpM, 10 cm, S-Band
- PAR (Präzisions-Anflug-Radar) als Teil des GCA (Ground Controlled Approach): 9.000 MHz, 160 kW, 12 nm, 100-120 Nickbewegungen/Minute, 3 cm, X-Band

Für diese Geräte mußten zunächst die sog. Radar-Settings (Bildschirm-Einstellung)

und die Beobachtungs- bzw. Registrierform festgelegt werden. Dabei orientierte man sich weitgehend an den Erfahrungen des westlichen Auslandes (EASTWOOD, 1967; HOUGHTON, 1963-1967; LACK, 1945-1960; LATY, 1969; SCHAEFFER, 1966; STEIDINGER, 1968; BLOCKPOEL, mdl. Mitt. 1968) und übernahm diese in z.T. abgeänderter Form.

An allen vorg. Radargeräten wurden zunächst Versuche mit Polaroid-Kameras durchgeführt, die den Radar-Bildschirm (PPI) - Erfassungsbereich 50-60 nm - mit 15 Minuten Belichtungszeit bei einer 3-Minuten-Unterbrechung fotografierten und dann ein Sofortbild lieferten, auf dem die Punktziele des PPI aufgrund Belichtungszeit- und -art als Ausrufezeichen (Abb. 1) sichtbar wurden, wenn man Vogelzug erfasst und damit seine Richtung (Lage des Ausrufezeichens) und Geschwindigkeit (Länge des Ausrufezeichens) bestimmt hatte (HILD, 1968). Zur Festlegung der Vogelzug-Intensität bediente man sich einer international gebräuchlichen 8-stufigen Intensitätsskala. Das bedeutete, daß bei starkem Vogelzug ca. 300 Radarechos in einem Gebiet



Abb. 1: Vogelzug hoher Intensität, beobachtet mit einem 10 cm (S-Band)-Radar im deutschen Küstenraum im Frühjahr 1977. Die Ausrufezeichen-Echos sind deutlich erkennbar, d.h. es erfolgt hier Zug in Ostrichtung. Die hellen Flächen stellen Wetter dar.

von 600 km² nachweisbar sein mußten (CLAUSEN, 1973; HOUGHTON, 1963-1967; TENGLER, 1973). Elektronische Zählverfahren, die solche Festlegungen ermöglichten, wurden u.a. in England, Holland, Belgien und Dänemark entwickelt, in der BRD wegen hoher Aufwendigkeit und fehlender Rechenzeit nur versuchsweise angewendet, jedoch hält man derlei Verfahren für die Zukunft durchaus für realisierbar, wenn die o.a. Voraussetzungen gegeben sind.

Mit den in dieser Zeit verfügbaren Höhenmessgeräten (RHI = Radar Height Finder) war aus technischen und operationellen Gründen nur in Einzelfällen eine genaue Höhenanmessung der Vogelzüge möglich, jedoch erlaubten die auf dem PPI abgebildeten Echos eine ungefähre Höhenabschätzung aufgrund der Radarkeulen-Konfiguration sowie der Entfernung.

In den Jahren 1970/1971 wurden an den zivilen Großrundsicht-Radaranlagen zudem Versuche unternommen, die Bildschirme zu filmen, wobei man bei jedem 2. Umlauf des Schreibstrahls auf dem Radarbildschirm im Zeitraffer-Verfahren 3 Bilder pro Minute festhielt. Die Schwierigkeiten, die sich sowohl beim Fotografieren als auch beim Filmen des Radarbildschirms ergaben, lagen darin begründet, daß man für Radarführungs-/Flugsicherungszwecke ein möglichst störungsfreies Bild benötigte, was spezielle technische Einstellungen des Bildschirms, z.B. MTI (Moving Target Indicator) voraussetzte, bei denen allerdings die Vogeleoschos oft unterdrückt wurden. Durch Verwendung einer speziellen Bildschirm-Konsole, auf deren PPI die Rohinformation wiedergegeben wurde und die einstellbar für Zwecke der Vogelzugbeobachtung war, konnte diese Schwierigkeit ausgeräumt werden.

An den ASR-Anlagen der Flugplätze und Küstenradarstationen der Marine sowie an den mittlerweile eingeführten Meteor-Wetterradargeräten der Bundeswehr (9.500 MHz, 200 kW, Erfassungsbereich von Vögeln ca. 20 nm, 6 UpM, 3 cm, X-Band) wurden zunächst Beobachtungen mit Hilfe von Bildschirm-Auflage-Folien durchgeführt, auf denen man die Radarzielstandorte, die sog. Tracks, über einen Zeitraum von mehreren Minuten markierte, so daß Bewegungsrichtung und -geschwindigkeit festzustellen waren. Bei den PAR-Anlagen, die mit zwei selbstständigen Antennen arbeiten und eine vertikale sowie horizontale Abtastung des Flugraumes ermöglichen, versuchte man mit der gleichen Methode eine Höhenanmessung des Vogelzuges, was nur in seltenen Fällen gelang, dann aber zu ähnlich erstaunlichen Ergebnissen führte, wie sie MILDENBERGER (1954) und SCHWERDTFFGER (1941) schildern. Spezielle Beobachtungsreihen mit ASR-Anlagen wurden erstmals von 1968-1974 auf dem Flughafen Köln/Bonn (Kranichzug) sowie 1971-1974 auf dem Flughafen Beja/Portugal durchgeführt.

Zu erwähnen blieben schließlich Versuche mit den in Luftfahrzeugen vorhandenen

Radargeräten, die im wesentlichen der Wetterbeobachtung dienen, Vogelzüge bzw. Einzelvögel zu orten; allerdings waren die Ergebnisse negativ, weil offenbar die abgestrahlte Sendeleistung dieser Geräte zu gering ist (vgl. auch GRABER/HASSLER, 1962); allerdings wird neuerdings in der Ukraine versucht, entsprechende Verfahren zu entwickeln (NEBABIN, 1996).

2.2 Routinebeobachtung und -beratung ab 1971

Nach Versuchsabschluss konnte man Anfang der siebziger Jahre an 10 Luftverteidigungsradarstellungen der Bundeswehr, 2 Küstenradarstationen der Marine in Staberhuk/Fehmarn und auf Helgoland sowie am Wetterradar der Geophysikalischen Beratungsstellen Oldenburg, Pferdsfeld und Memmingen mit routinemäßigen Radar-Vogelzugbeobachtungen beginnen (HILD, 1967-1971) und koppelte daran ein Warn- und Vorhersagesystem für den militärischen Tiefflugbetrieb.

Dabei war von Anfang an eine internationale Zusammenarbeit insbesondere mit den Nachbarländern sichergestellt. Mit dem britischen Royal Radar Establishment (RRE) in Malvern sowie mit den Centre Régional de la Navigation Aérienne (CRNA) in Aix-en-Provence-, aber auch mit Dänemark (RABOL, 1971; CLAUSEN, 1973), Holland (BLOCKPOEL/BUURMA) und der Schweiz (BRUDERER, 1966-1969) bestanden enge Kontakte und wurden Vogelzuginformationen ausgetauscht, um den militärischen Tiefflug der deutschen Luftwaffe in den Nachbarländern beraten zu können. In den Ausbildungsplänen des Radarpersonals an den entsprechenden Fachschulen fanden die Methoden der Radar-Vogelzug-Beobachtung Berücksichtigung (FRANZ, 1972). Die Piloten der Bundeswehr wurden im Rahmen von Flugsicherheitslehrgängen und das Personal des Geophysikalischen Beratungsdienstes im Rahmen der Laufbahn- und Fachausbildung an der Offizierschule der Luftwaffe bzw. der Schule für Wehrgeophysik in Fürstenfeldbruck über Radar-Vogelzug-Beobachtungs-, Melde-, Warn- und Vorhersage-Verfahren informiert. Die wissenschaftlichen Arbeiten zur Radarornithologie liefen in dieser Zeit an der Hochschule für Technik in Bremen (Prof. H.J. Eberhardt), die sich auch mit radarmeteorologischen Verfahren befasste, über die DGON (Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation) sowie an der Universität Hamburg, die mit einem akustischen Doppler-Radar (Doppler-Sodar) Möglichkeiten zur Höhenanmessung von Vogelschwärmen bot, ein Verfahren, über das in diesem Heft noch ausführlich berichtet wird.

2.3 Fortschritte

Entscheidend für die positive Entwicklung der Radarornithologie in der BRD in den siebziger Jahren war die erhebliche finanzielle Unterstützung durch die NATO

(Scientific Affairs Division - NATO Research Grant 460). Diese veranlaßt den Bundesminister für Verkehr, dem DAVVL, in Sonderheit seinem Vorsitzenden Dr. Werner Keil, einen Forschungsauftrag auf „Untersuchungen der Zusammenhänge zwischen Vogelbewegungen und der meteorologischen Situation“ zu erteilen. Diesem Auftrag schloß sich auch der Bundesminister der Verteidigung mit einer erheblichen finanziellen Unterstützung an, wobei gleichzeitig der erste sog. Vogelschlagerrass von 1966 durch einen neuen Erlass (20.02.1970) ersetzt wurde, der das Amt für Wehrgeophysik und seinen Biologen in das Gesamtprojekt einband. So konnte auch an den vorg. GRS-Anlagen der BFS (ab 1972 in Elmstein/Pfälzer Wald, ab 1975 in Bremen und ab 1984 in München - Großhaager Forst) bis 1996 mit 16 mm Arriflex-Spiegelreflex-Kameras der Vogelzug fortlaufend gefilmt werden; die Zeitraffermethode (3 Bilder/Minute) wurde allerdings 1974 aus Kosten- und arbeitstechnischen Gründen mittels Relais-schaltung umgestellt auf Foto-Erfassung (2 Bilder à 15 Minuten Belichtungszeit/Stunde). Diese GRS-Anlagen sind zwischenzeitlich umgerüstet auf sog. SRE-M 5-Systeme (Surveillance Radar Equipment), Mittelbereichsradar (1.250-1.350 MHz, 2.5 MW Sendeleistung, 23 cm, L-Band) (ROBUSTE, 1997), die jedoch nicht mehr der Vogelbeobachtung dienen, da zwischenzeitlich Vogelzugdaten über 25 Jahre vorliegen, die es genauer auszuwerten gilt. Diese Daten dienen bisher auch keineswegs der Erstellung von aktuellen Warnungen, sondern bildeten u.a. die Grundlage für Vogelzug-Risiko- und Vogelzug-Vorhersagen, während die von den Bundeswehr-Luftverteidigungs-Radaranlagen gewonnenen Daten Grundlage für die vorg. Warnungen darstellen.

In den achtziger Jahren wurden die Luftverteidigungs-Radaranlagen der Bundeswehr auf moderne sog. MPR- und HADR-Systeme im 10 cm Wellenbereich (S-Band) mit einer Sendeleistung von 10 MW umgerüstet. Diese über die BRD verteilten Anlagen führen zwar Radar-Vogelzugbeobachtungen nach einem ähnlichen Verfahren durch wie bisher, jedoch erfolgt die Datengewinnung über ein am Radarbildschirm installiertes Video-PC-System, welches die erfaßten und mit einem Mustererkennungs-Programm gewonnenen Vogelzug-Informationen nach Bewertung durch einen Experten einem automatischen rechnergestützten System zuführt, das Vogelschlag-Warnungen erstellt und verbreitet. Um jederzeit einen Gesamtüberblick vom Vogelzuggeschehen in der BRD zu bekommen, besteht beim Amt für Wehrgeophysik die Möglichkeit, per Modem und demnächst auch mit einer analogen Telefonverbindung auf ISDN jederzeit die Radarbilder der einzelnen Stationen in eine Zentrale zu überspielen. Dieses Beobachtungssystem wird mit fortschreitender Automatisierung der Radarstationen jedoch nicht mehr einsetzbar sein. Daher ist beabsichtigt, an allen Radargeräten geeignete Schnittstellen zu schaffen, die weitgehend ungefilterte digitale Daten zur Bestimmung der Vogelzugintensität liefern (BECKER, 1997). Mit diesen Radargeräten der neuen Generation sind die Flughöhen der Vögel jedoch nur ungefähr je nach verwendeter Keulen-Konfiguration feststellbar. Deshalb wird bei der Bundeswehr z.Z. die

Etablierung eines dem holländischen ROBIN-System (BUURMA, 1995) vergleichbaren Systems angestrebt (ROBIN = Radar Observation of Bird Intensities). Dieses System berechnet die Anzahl der Vogelechos pro km² in den beiden unteren Keulen z.B. der MPR-Geräte, d.h. zwischen 30 und 900 m bzw. 900 und 2.000 m über Grund. Eine exakte Höhenanmessung ist jedoch erst mit Pencil-Beam-Radargeräten der neuesten Generation, wie dem RRP 117 möglich. Der Vorteil eines automatischen Registrierungssystems besteht außerdem darin, daß es grundsätzlich an jeder geeigneten Schnittstelle einer beliebigen Radarantenne als separater Analysenrechner (Video-Extraktor) ansetzen kann (BECKER, 1997). Die bisher eingesetzten ASR-Geräte der Bundeswehr sind weiterhin Bestandteil des Radar-Beobachtungssystems. Benötigte Wetterradardaten liefert das Radarverbundsystem des DWD. Wieweit dieses auch Vogelzuginformationen enthält, wird z.Z. im Amt für Wehrgeophysik geprüft.

Schon in den sechziger Jahren hatte BRUDERER (1966, 1969), mit Zielfolgeradar Vogelbeobachtungen durchgeführt und dabei die Flughöhen von Einzelvögeln sowie die Zugrichtung von Vogelzügen recht genau bestimmen können, da diese Geräte kurze Sendepulse in einem eng gebündelten Strahl emittieren. Eine solche Beobachtungsaktion fand im Herbst 1987 in Süddeutschland statt, wo DAVVL und Amt für Wehrgeophysik ein entsprechendes Projekt der Schweizer Kollegen (BRUDERER, 1989) organisatorisch unterstützten. Untersuchungen mit Zielfolgeradar brachten zudem wichtige Erkenntnisse über die Flügelschlagmuster von Vögeln und erlaubten so eine Bestimmung von Art oder Gattung. In der BRD boten sich derlei Möglichkeiten in den siebziger Jahren auch durch sog. TMD-Radar (Tiefflieger-Melddienst), das jedoch für die Vogelzugbeobachtung aus operationellen Gründen nicht eingesetzt werden konnte. Eingesetzt dagegen wurden im Rahmen spezieller Beobachtungsprogramme, z.B. in Mecklenburg/Vorpommern und Bayern, die militärischen Skyguard-Radargeräte, die eine Kombination von Rundstrahlradar (10 cm) und Zielfolgeradar (3 cm) darstellen und sowohl eine Bestimmung der Zugdichten und Zugrichtungen (ASR) als auch der Flughöhen ermöglichen (WEITZ, 1989). Auf diesem Wege konnten für die Anflugbereiche von Flugplätzen, z.B. München, aber auch für die Bewertung von Tiefflugstrecken der Luftwaffe wichtige Erkenntnisse gesammelt werden, die z.T. im operationellen Bereich ihren Niederschlag fanden (vgl. Beitrag von WEITZ in diesem Heft).

3. Ausblick

In Ostdeutschland wird zwischenzeitlich die Einbeziehung der dort errichteten RRP-117 3-D-Radaranlagen mittels der bei der Bundeswehr entwickelten Verfahren BIRDI (Bird Radar Data Interface) sowie BDVT (Bird Data Visualization Tool) erprobt.

Durch dieses System können Informationen von mehreren Stationen zentral über ein Kontroll-Zentrum abgerufen werden. Hier bieten sich für die Zukunft ausgezeichnete Möglichkeiten für Vogelzugbeobachtungen, wenn entsprechende Schnittstellen geschaffen werden, die weitgehend ungefilterte digitale Daten zur Bestimmung der Vogelzugintensitäten liefern (vgl. dazu Beitrag von FRIEBE in diesem Heft).

Für die Zukunft wichtig ist zweifellos auch die von RUIF/ENGELBART (1996) beschriebene Möglichkeit, eine Höhenbestimmung von Vogelzügen auch mittels Windprofiler vorzunehmen (vgl. dazu Beitrag von ENGELBART in diesem Heft).

Von besonderer Bedeutung für den An- und Abflugverkehr in zivilen und militärischen Flugplatzbereichen werden die Beobachtungen an den neu eingeführten ASR-2000-Geräten sein, die im 10 cm S-Band und mit einer Sendeleistung von 1,5 MW arbeiten. Erste Versuche mit diesen Geräten haben gute Ergebnisse erbracht, so daß man 1998 mit entsprechenden Beobachtungen an den Zivilflughäfen Düsseldorf,

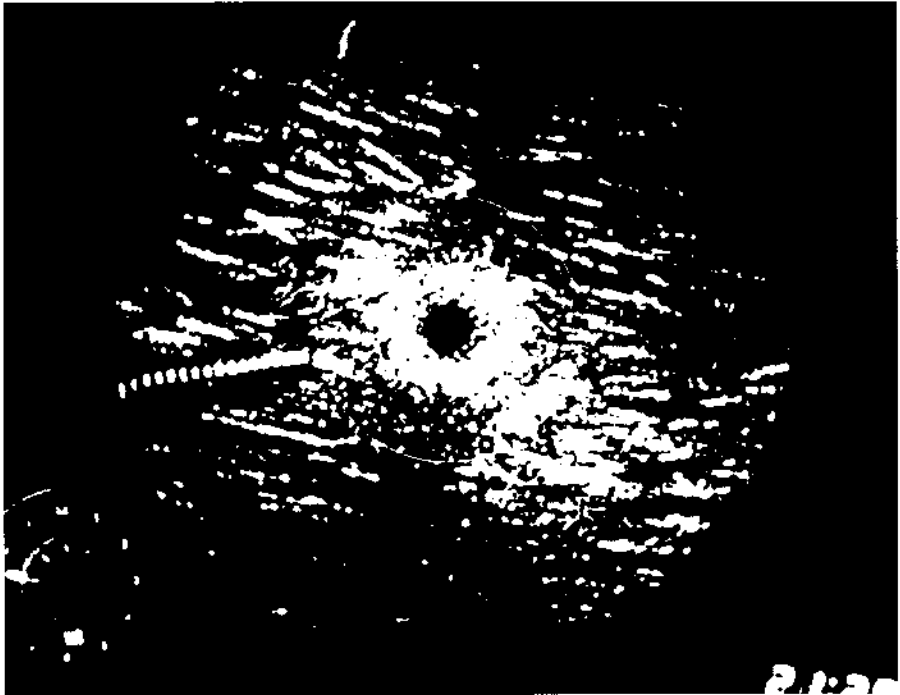


Abb. 2: Erfassung des Kleinvogelzuges nach WNW durch das ASR-Gerät in Berlin-Tegel nach STORK, 1998

Frankfurt und München begonnen hat. Damit wurde an die vieljährigen Vogelzuguntersuchungen von STORK (1977, 1986, 1997) mit ASR-Geräten (Abb. 2) von Berlin-Tegel aus angeknüpft, der den kleinräumigen aber auch den regionalen Zug in einem Radius von ca. 40 km um Berlin herum untersuchte (vgl. Beitrag von STORK in diesem Heft).

Wichtig für die Praxis dürfte es zudem sein, die bisher verwendeten Intensitätsstufen durch weitere Datenauswertung und Vergleich der Ergebnisse verschiedener Radarstationen zu standardisieren sowie noch bessere Verfahren zur Sofortwarnung auch aufgrund routinemäßiger ASR-Beobachtungen zu entwickeln. Voraussetzung für derlei Verbesserungen ist eine weitgehende Automatisierung von Beobachtung, Meldung und Warnung, wie sie unter 2.3 bereits beschreiben wurde. Ziel ist und bleibt die Schaffung eines modernen radargestützten Vogelzug-Informationssystems zur Warnung des militärischen und zivilen Luftverkehrs, das in der Bundeswehr unter dem Arbeitstitel AVIS (Automatisches Vogelzug-Informationssystem) läuft (RUHE, 1997). Hierbei ist eine internationale Zusammenarbeit unverzichtbar, aber auch sichergestellt über das International Bird Strike Committee (IBSC). Ob diese Vorstellungen und Planungen einmal zu operationellen Verfahren führen werden, wird letztlich nicht nur von den finanziellen Möglichkeiten abhängen, sondern auch davon, welchen Stellenwert man in Zukunft diesem Aspekt der Flugsicherheit einräumen wird.

Der Geschichte der Radarornithologie in der BRD wäre jedoch nicht voll entsprechen, würde man nicht auch die wissenschaftliche Bedeutung der vielfältigen und langjährigen radarornithologischen Arbeiten hervorheben, die CLEMENS (1978), JELLMANN (1977/1979), HILGERLOH (1981/1989), OELKE (1983) und WENDLER (1975) durchführten und deren Ergebnisse in irgendeiner Form in die praktische Anwendung einfließen. Der Auffassung von BERTHOLD (1990), die Radarornithologie habe im Hinblick auf die Wissenschaft der Vogelzugkunde ihren Höhepunkt überschritten, kann deshalb nicht geteilt werden. Gerade die von BRUDERER u.a. (1969-1989), BURMA (1986-1994) sowie STORK (1980/1998) durchgeführten Untersuchungen sowie die technischen Möglichkeiten, die moderne Radargeräte bieten (BECKER, 1997; RUHE, 1996/1997), lassen das Gegenteil erwarten.

Die vom DAVVL sowie vom Amt für Wehrgeophysik durchgeführten Untersuchungen (BECKER, 1978, 1983, 1985, 1988; HILD, 1968, 1971, 1976, 1990; KEIL, 1993; RUHE, 1994, 1996, 1988 und WEITZ, 1989, 1991, 1998) dienten zwar in erster Linie der angewandten Ornithologie, brachten aber auch der wissenschaftlichen Ornithologie sowie der Vogelzugkunde in der BRD und in Europa neue und wichtige Erkenntnisse.

4. Literatur

ARNDT, E. und H. WEITZ (1990): Weitere Radarbeobachtungsergebnisse zum großräumigen und regionalen Vogelzug im Nordosten von München. Vogel und Luftverkehr 2/90: 111-128.

ARNDT, E., H. VAN RADEN und H. WEITZ (1991): Auswertung der Radarfilme DAVVL Großraum München - auf großräumigen und regionalen Vogelzug 1980-1989. Unveröff. Man. im Auftrag des DAVVL.

BECKER, J. (1978): Die Radarornithologie als Grundlage der Vogelzugberatung. Fachl. Mitt. AWGeophys. Nr. 185. Traben-Trarbach.

BECKER, J. (1981): Das Radar-Vogelzug-Beobachtungsnetz in Westeuropa. Struktur und Probleme. Vogel und Luftverkehr 2/81: 77-893.

BECKER, J. (1997): Radarvogelzugbeobachtung. 9. Sitzung der DAVVL-Arbeitsgruppe „Radar-Wetter-Vogelzug“. Vogel und Luftverkehr 17: 105-106.

BECKER, J., B. KALUZA, W. KEIL und H. VAN RADEN (1983): Vogelzugbeobachtungen durch Großradargeräte in der BRD. Verh. Orn. Ges. Bayern 23: 495-500.

BECKER, J. und H. VAN RADEN (1985): Grundlagen der Radarornithologie und Ergebnisse der Radarvogelzugbeobachtungen in München 1981-1983. Vogel und Luftverkehr, Sonderheft 1, Traben-Trarbach.

BECKER, J. und E. KÜSTERS (1988): Grundlagen der Vogelzugforschung. Mannh. Prot. 7: 53-62.

BECKER, C. (1964): Augen durch Nacht und Nebel. Die Radar-Story. Oldenburg (Old.).

BERTHOLD, P. (1990): Vogelzug – Eine kurze aktuelle Gesamtübersicht. 252 S. Darmstadt.

BONIN, VON C. (1981): Das Vogelzugbeobachtungs-, -melde-, -warn- und -vorhersagesystem der Bundeswehr. Vogel und Luftverkehr 2/81: 84-88.

BRUDERER, B. (1966): Herbstzugbeobachtungen im Jura. Orn. Beob. 63: 4-5, Bern.

BRUDERER, B. (1969): Zur Registrierung und Interpretation von Echosignaturen an einem 3 cm-Zielverfolgungsradar. Orn. Beob. 66: 70-88.

- BRUDERER, B. und J. JOSS. (1969): Methoden und Probleme der Bestimmung von Radarquerschnitten frei fliegender Vögel. *Rev. Suisse Zool.* 76.
- BRUDERER, B., F. LIECHTI und D. ERICH (1989): Radarbeobachtungen über den herbstlichen Vogelzug in Süddeutschland. *Vogel und Luftverkehr* 2/89: 174-194.
- BUURMA, L.S. (1986): Nachtelijke vogeltrek in radar- en warmtelbeeld. *Veilig Vliegen* 3 (1): 10-13.
- BUURMA, L.S. (1994): High bird densities assessed by radar, a Robin report. *Proc. BSCE* 22: 223-242. Wien.
- BUURMA, L.S. (1995): Long-range surveillance radars as indicators of bird numbers aloft. *Isr. J. of Zool.* 41: 221-236.
- CLAUSEN, P.R. (1973): Electronic counting of birds. *Proc. 8th Meeting BSCE*. Paris.
- CLEMENS, T. (1978): Vergleichende Untersuchung des Nachtvogelzuges auf Helgoland im März 1976 und 1977 nach Radar- und Feldbeobachtungen. *Dipl. Arbeit Universität Oldenburg*.
- CLEMENS, T. (1978): Der Verlauf des Nacht- und Beginn des Tagzuges auf Helgoland nach Radar-, optischer u. akustischer Beobachtung. *Anz. Orn. Ges. Bayern* 17: 267-279.
- EASTWOOD, E. (1967): *Radar Ornithology*. London.
- FRANZ, G. (1972): *Radarvogelbeobachtung*. Ausbildungsunterlage der TSLw 2, Kaufbeuren.
- GAUTHREUX, S.A. (1970): Radar ornithology. Bird echos on weather and airport surveillance radars. *Rep. Dept. Zool. Clemson University, S-Carolina/USA*.
- GEHRING, W. (1963): Radar- und Feldbeobachtungen über den Verlauf des Vogelzuges im Schweizerischen Mittelland (1957-1961). *Orn. Beob.* 60: 35-68.
- GRABER, R.R. und S.S. HASSLER (1962): The effectiveness of aircraft type (APS) radar in detecting birds. *Wild. Bull.* 74: 367-380.
- HILD, J. (1967): Anweisung für den Flugsicherungs-Kontrolldienst Nr. 32: Möglichkeiten und Methoden zur Erfassung und Erkennung von Vögeln durch Radar. *Luftwaffenamt/InFüstDstLw. Porz-Wahn*.

HILD, J. (1968): Beobachtung des Kranichzuges am Niederrhein mit Hilfe von Radargeräten. *Niederrhein* 35: 3-14.

HILD, J. (1970): Bird movement forecast in Germany. Proc. 1 WorldConf. Bird Haz. Aircr. Kingston/Canada.

HILD, J. (1970): Radarbeobachtungen von Zugvogelbewegungen. *Flugsicherheit* 4. Porz-Wahn.

HILD, J. (1971): Birdtam, Vogelzugvorhersagen, Vogelzugkarten. *Flugsicherheit* 1. Porz-Wahn.

HILD, J. (1971): Beeinflussung des Kranichzuges durch elektromagnetische Strahlung. *Wetter und Leben* 23: 45-52.

HILD, J. (1974): Das Vogelschlagproblem in der Verhütung von Störungen, Zwischenfällen und Unfällen mit Luftfahrzeugen der Bundeswehr. *Fachl. Mittl. AWGeophys* Nr. 176. Porz-Wahn.

HILD, J., G. HERRMANN und E. OLSHAUSEN (1973): Radarbeobachtungen des Vogelzuges im süddeutschen Raum und seine Abhängigkeit von der Wetterlage. *Wetter und Leben* 25: 144-156.

HILD, J. und S. STAAR (1976): Radarvogelzugbeobachtungen in größeren Höhen innerhalb des Main-Neckar-Raumes. *Beitr. Landespflege Rhld. Pf.* 4: 21-34.

HILD, J. (1983): Combating bird strike hazard. *Airport Forum* 5/6. Wiesbaden.

HILD, J. (1984): Worldwide bird strike statistics of Lufthansa German airlines. *Prov. Wildl. Haz. Aircr.*: 59-70. S-Carolina.

HILD, J. (1988): Vogelschlagstatistik zivile Luftfahrt. *Mannh. Prot.* 7: 15-24.

HILD, J. (1990): Vogelzugvorhersage und Vogelschlagwarnung aufgrund von meteorologischen, phänologischen und biologischen Datenkollektiven. *Landw. Jb.* 67. Sonderheft.

HILGERLOH, G. (1981): Die Wetterabhängigkeit von Zugintensität, Zughöhe und Richtungsstreuung bei tagziehenden Vögeln im Schweizer Mittelland. *Orn. Beob.* 78: 245-263.

- HILGERLOH, G. (1989): Der Singvogelzug über die iberische Halbinsel ins afrikanische Winterquartier. *Naturwiss.* 76: 541-546.
- HOUGHTON, T. (1963): Detection, recognition and identification of birds on radar. RRE Memorandum 2047.
- HOUGHTON, T. (1968): The use of radar sensors in bird warning and bird hazard reduction schemes. RRE Memorandum 2158.
- HOUGHTON, T. (1969): Radar echoing areas of birds. RRE Memorandum 2257.
- JELLMANN, J. (1977): Radarbeobachtungen zum Frühjahrszug über NW-Deutschland und die südliche Nordsee im April/Mai 1971. *Vogelwarte* 29: 135-149.
- JELLMANN, J. (1979): Flughöhen ziehender Vögel in NW-Deutschland nach Radarmessungen. *Vogelwarte* 30: 118-134.
- JELLMANN, J. (1979): Einführung in die Radromithologie. *Abhdl. a.d. Gebiet der Vogelkunde* 6: 249-261.
- JELLMANN, J. und G. VAUK (1978): Untersuchungen zum Verlauf des Frühjahrszuges über der deutschen Bucht nach Radarstudien, Fang- und Beobachtungsergebnissen auf Helgoland. *J. Orn.* 119: 265-286.
- KEIL, E. und W. KEIL. (1993): Radarornithologische Untersuchungen des großräumigen Vogelzuggeschehens in der BRD. Auswertung Pfälzer Wald 1987-1992. Unveröff. Man. Erstellt i.A. BMVg.
- LACK, D. (1945): Radar echoes from birds. A.O.R.G. Report 257. London.
- LACK, D. (1945): Detection of birds by radar. *Nature* 156.
- LACK, D. (1960): Migration of birds studies by radar. *Ibis* 102/1.
- LACK, D. (1969): Les déplacements d'oiseaux et leur surveillance radar. Unveröff. Man.
- LIBBERT, W. (1948): Zum Herbstdurchzug des Kranichs (*Grus grus*) in Nordafrika. *Vogelwarte* 1: 36-37.
- MILDENBERGER, H. (1950): Messungen von Höhe und Geschwindigkeit ziehen-

der Vögel. Bonner Zool. Beitr. 1: 55-57.

NEBABIN, V.G. (1996): An on-board bird recognition device for the prevention of bird strikes. Proc. IBSC 23, London: 555-560.

OELKE, H. (1983): Radar- und Sichtuntersuchungen des Vogelzuges in Neodeutschland (Großraum Hannover und angrenzende Bereiche). Beitr. Naturkd. Niedersachs. 36: 229-286.

RABOL, J., NOERS H. und R. DANIELSEN (1971): Bird migration observed by radar and visible field observations in the middle of Sjaelland, Denmark, Spring 1971. Dansk Orn. Tidskr. 66: 86-96.

RICHARDSON, H. J. (1970): Temporal variations in the volume of bird migration. A radar study in Canada. Proc. 1 World Conf. Bird Haz. Aircr. Kingston.

RITTINGHAUS, H. (1957): Ermittlung von Flughöhen mit optischem Entfernungsmessgerät. Vogelwarte 19: 90-97.

ROBUSTE, J. Y. (1997): REMP (Radar Erneuerungs- und Modernisierungs-Programm). 9. Radarsymposium, Tagungsband: 55-62, Stuttgart.

RUHE, W. (1994): New developments for improving the German Birdtam-/Bird Strike-Risk-Warning System. Proc. BSCE 22: 263-274, Wien.

RUHE, W. (1994): Das Vogelschlagrisiko-Vorhersageverfahren des GcophysBDBw. Vogel und Luftverkehr 14: 29-36.

RUHE, W. (1996): Radar-Beobachtungen an einem ASR-Gerät in Pisa/Italien. Vogel und Luftverkehr 16: 76-90.

RUHE, W. (1997): Protokoll zur 5. Informations- und Arbeitstagung „Radarvogelzugbeobachtung“. 9. Sitzung DAVVL-Arbeitsgruppe „Radar-Wetter-Vogelzug“ am 19.03.1997 beim Amt für Wehrgeophysik, Traben-Trarbach.

RUHE, W. (1998): Neue Radarbeobachtungen von Vogelzügen über Italien. Vogel und Luftverkehr 18: 1/2.

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

SCHAEFER, G. W. (1966): The study of bird echoes using a tracking radar. Proc. 14th Int. Orn. Congr. Oxford.

SCHNELLI, G. D. (1965): Recording the flight speed of birds by doppler radar. Living Bird 4: 79-84.

SCHÜZ, E., P. BERTHOLD, E. GEWINNER, und H. OELKE (1971): Grundriß der Vogelzugskunde. Berlin.

SCHWERDTFEGER, F. (1941): zit. in MILDENBERGER (1950).

STEIDINGER, P. (1968): Radarbeobachtungen über die Richtung und deren Streuung beim nächtlichen Vogelzug im Schweizerischen Mittelland. Orn. Beob. 65: 197-226.

STORK, H. J. (1986): Radarbeobachtungen regionaler Vogelzüge im Luftraum über Berlin. Eine Untersuchung zur Verbesserung der Flugsicherheit im Berlin-Verkehr. Gutachten i.A. Senator für Verkehr und Betriebe. Unveröff. Man.

STORK, H. J. (1991): Radarbeobachtungen regionaler Vogelbewegungen, erläutert am Beispiel der in Berlin überwinterten Krähen und Dohlen. Vogel und Luftverkehr 2/89: 195-219.

STORK, H. J. (1997): Vogelzug im Berliner Raum 1978-1981, erfaßt mit dem Überwachungsradar des Flughafens Berlin-Tegel. Gutachten i.A. DAVVL. Unveröff. Man.

STORK, H. J. (1998): Vogelzug im Berliner Raum 1978-1981 und 1995-1997, erfaßt mit dem Überwachungsradar des Flughafens Berlin-Tegel. Vogel und Luftverkehr 18: 1/2.

STORK, H. J. und B. JÄNICKE (1977): Radarbeobachtungen der Schlafplatzflüge überwintender Krähen in Berlin. Orn. Ber. f. Berlin (West) 2: 151-174.

STRESEMANN, E. (1917): Die Verwendbarkeit des Entfernungsmessers zur Ermittlung der Flughöhe. Verhdl. Orn. Ges. Bayern XIII/17: 171-173.

SUTTER, E. (1957): Radar als Hilfsmittel der Vogelzugforschung. Orn. Beob. 54: 70-96.

TENGELER, J. (1973): Detection of birds by radar. Rap- I.EOK No. 18.705/0371. Oegstgeest/NL. 12 S.

WEITZ, H. (1989): Radarbeobachtungen großräumiger und regionaler Vogelzugbewegungen im Nordosten von München. Vogel und Luftverkehr 8: 97-109.

WEITZ, H. (1998): Vogelzugerfassung mit Hilfe eines Skyguard-Zielfolgeradars. Vogel und Luftverkehr 18: 1/2.

WENDLER, H. (1975): Vogelzugbeobachtung mit Hilfe von Radar. Staatsex. Arbeit Zool. Inst. Univer. Köln.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Jochen Hild
Fröschenpuhl 6
56841 Traben-Trarbach