

## Messungen des Vogelzuges mit einem 1290 MHz Windprofiler

(Measurements of bird migration with a 1290 MHz windprofiler)

von DIRK ENGELBART, Lindenberg

**Zusammenfassung:** In den letzten Jahren sind Grenzschicht-Windprofiler Radarsysteme mehr und mehr zu einem Standardverfahren zur operationellen Erfassung von Windprofilen in der unteren Atmosphäre geworden. Obwohl die Verfügbarkeit qualitätsgeprüfter Daten über längere Zeiträume sehr hoch ist, zeigen etwa 2% aller Profile unrealistisch große Abweichungen im Vergleich zu Standard-Radiosondierungen. Dieser Artikel untersucht den Zusammenhang zwischen diesen Situationen mit unrealistisch großen Abweichungen und starken Vogelzugereignissen im Osten Deutschlands. Am Beispiel von Auswertungen des Flughafen-Rundsicht-Radars (ASR) in Berlin-Tegel, das vom DAVVL zur Beobachtung von Vogelzügen eingesetzt wird, wird weiterhin gezeigt, daß die Abweichungen gut mit starken Vogelzugereignissen korrespondieren. Die entsprechende Interpretation der „Meßfehler“ des 1290 MHz Grenzschicht-Windprofilers aus einem 2-Jahreszeitraum liefert daraufhin charakteristische Parameter über den Vogelzug in Ost-Brandenburg.

**Summary:** In recent years boundary-layer windprofilers have gradually become a standard technique for the operational measurement of lower atmospheric wind profiles. In spite of the rather comprehensive availability of quality-checked data of long periods of time, about 2% of all profiles reveal unreal large deviations as compared with standard radio soundings. This paper is concerned with the relation between these anomalous deviations and high-intensity bird migration in Eastern Germany. With reference to evaluations of Airport Surveillance Radar (ASR) data at Berlin-Tegel Airport, which is operated by the Birdstrike Committee Germany for the observation of bird migration, the author shows that the deviations do well correspond to intense bird migration. The interpretation of the merely apparent „measuring errors“ of the 1290 MHz/boundary-layer windprofiler taken from a 2-year period now provides typical parameters on bird migration over the Eastern Brandenburg District.

## 1. Einleitung

Eine Verbesserung der kurzfristigen, synoptischen Wettervorhersagen, aber auch der numerischen Modellprognosen erfordert grundsätzlich neuartige Meßsysteme, deren Messungen die mesoskalige zeitliche und räumliche Variabilität der kinematischen und thermodynamischen Struktur der Atmosphäre repräsentieren können. Radiosonden (RS), als Standardverfahren zur Sondierung der freien Atmosphäre, sind bei einem wirtschaftlich vertretbaren Aufwand in dieser Hinsicht ungeeignet. Vor diesem Hintergrund wurde am Meteorologischen Observatorium Lindenberg des Deutschen Wetterdienstes seit Ende 1993 damit begonnen, die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit sogenannter Windprofiler- (Doppler-) Radarsysteme (z.B. RÖTTGER und LARSEN, 1990; GAGE, 1990) für das Ziel eines späteren operationellen Einsatzes zu erproben (STEINHAGEN et al., 1994).

Bei der Vorbereitung des operationellen Einsatzes von Windprofilern im Meßnetz des Deutschen Wetterdienstes (DWD) stehen vor allem zwei Fragen im Vordergrund. Dies ist zum einen die erzielbare Genauigkeit der Windmessungen und zum anderen die Verfügbarkeit dieser Information (ENGELBART, 1996). Dabei interessieren generell alle Restriktionen, denen dieses aktive Fernerkundungsverfahren zur Bestimmung des vertikalen Windprofils unterliegt. Neben Einschränkungen der Verfügbarkeit durch technische Probleme des Radarsystems sind dies insbesondere Einflüsse auf die Datenauswertung, wie die Auswirkungen sporadisch auftretender Festziel- (z.B. Bäume, Häuser etc.) und Punktzielechos (Flugzeuge oder Vögel).

Im vorliegenden Beitrag werden einige Ergebnisse des Einflusses von geordnet fliegenden Vögeln (Zugvögeln) auf ein 1290 MHz Windprofiler Radarsystem vorgestellt. Dabei wird gezeigt, daß dieser sog. Grenzschicht-Windprofiler, mit den gegenwärtig implementierten Algorithmen zur Signalanalyse, zusätzliche, für die Physik der Atmosphäre aber irrelevante Informationen liefern kann, die das Auftreten und den Höhenbereich von Zugvogelbewegungen betreffen (s.a. ECKLUND et al., 1990; WILZCZAK et al., 1995; ENGELBART et al., 1998).

Ausgehend von der üblicherweise mit Windprofilern erzielbaren Meßgenauigkeit wurden als Grundlage dieser Studie, aus einem 2-jährigen Zeitraum zwischen Ende 1993 und Ende 1995, alle Situationen mit ungewöhnlich großen Abweichungen des horizontalen Windes gegenüber einem aerologischen Standardverfahren zur Windbestimmung untersucht. Die Charakteristika des Datenmaterials legen dabei den Zusammenhang zwischen Meßfehlern und Zugvogelbewegungen nahe (s.a. KRETZSCHMAR, 1977). Ein zusätzlicher Nachweis dieses Zusammenhangs wird abschließend durch einen Vergleich von Auswertungen aus dem ca. 80 km entfernten Flughafen-Rund-

sicht-Radar (ASR) Berlin-Tegel gegeben, das vom DAVVL zur Vogelzugbeobachtung eingesetzt wurde. Die Methodik der operationellen Vogelzugerennung mit Hilfe solcher, inkohärenter „tracking“-Radarsysteme beschreibt z.B. RUBE (1996).

## 2. Der Grenzschicht-Windprofiler des Deutschen Wetterdienstes

Der in Abb. 1 dargestellte 1290 MHz Grenzschicht-Windprofiler „LAP-3000“ wird am Meteorologischen Observatorium Lindenberg des Deutschen Wetterdienstes (DWD), in Ost-Brandenburg, seit Oktober 1993 zur Ableitung vertikaler Profile des Windvektors bis max. 5 km Höhe eingesetzt (ENGELBART et al., 1996). Das Foto zeigt die auf einem Drehgestell montierte Sendecanone des Windprofilers (rechts), die ihre Sendepulse von einstellbarer Länge (typisch  $0,7 \mu\text{s}$  -  $2,8 \mu\text{s}$ ) alle  $20\text{-}40 \mu\text{s}$  über eine Phasensteuerung in jeweils eine von maximal fünf verschiedenen Richtungen abstrahlen kann.

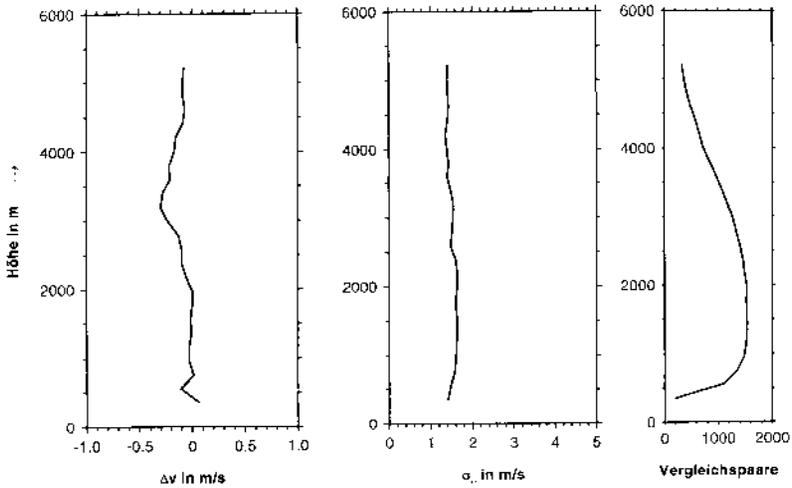


**Abb. 1:** Antennen des 1290 MHz Grenzschicht-Windprofilers am Meteorologischen Observatorium Lindenberg des Deutschen Wetterdienstes. Rechts die Radar-Antenne, links die RASS-Antenne [zur akustischen Fernsondierung von (virtuellen) Temperaturprofilen bis ca. 1,3 km Höhe].

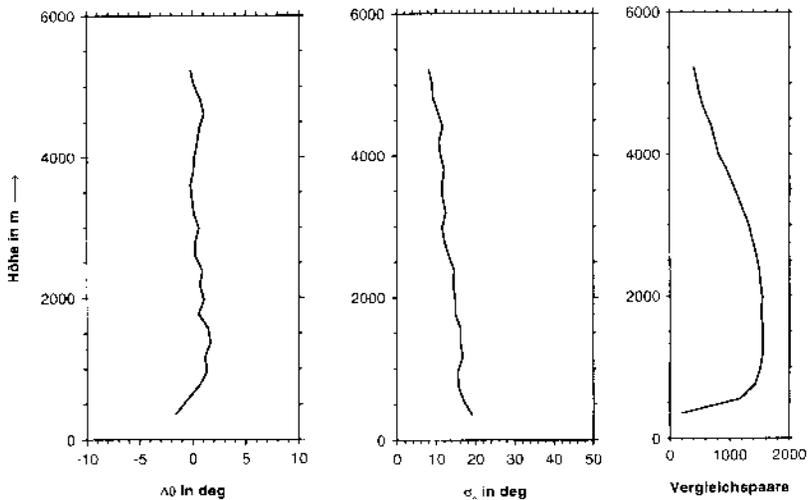
Als Rückstreumechanismus nutzen Windprofiler prinzipiell die turbulenten Fluktuationen des Brechungsindex in der freien Atmosphäre, hervorgerufen durch turbulente Schwankungen der Feuchte, der Temperatur und in geringerem Maße auch des Luftdruckes. Mit der Zeitreihe der zurückgestreuten Signale wird dann eine Doppler Spektralauswertung vorgenommen. Nach zeitlicher (kohärenter) Mittelung über typisch ca. 200 Einzelimpulse sowie daran anschließender spektraler Mittelung werden schließlich aus den mittleren Doppler-Spektren die Intensität der rückgestreuten Energie, die Radialgeschwindigkeit sowie die Varianz der Radialgeschwindigkeit je Abstrahlrichtung abgeleitet. Die Qualität der auf diese Weise erhaltenen vertikalen Profile des dreidimensionalen Windvektors wird aus Abb. 2 deutlich. Die Darstellung zeigt Ergebnisse eines 3-Jahres Vergleiches des horizontalen Windvektors zwischen Windprofilerdaten, die einer Qualitätsprüfung nach WEBER und WUERTZ (1991) unterworfen wurden sowie Radiosondenmessungen, die ca. 800 m vom Windprofiler entfernt, operationell 4-mal täglich durchgeführt werden (Vaisala RS-80 Radiosonden mit Ballonverfolgungsradar zur Windbestimmung). Dabei wurden Abweichungen des Differenzvektors von mehr als  $5\text{ms}^{-1}$  in dieser Statistik jedoch nicht berücksichtigt.

Die mittlere Abweichung der horizontalen Windgeschwindigkeit und -richtung gegenüber Rawinsondenmessungen als aerologischem Standardmeßverfahren beträgt etwa  $0,11\text{ m/s}$  bzw. weniger als  $1^\circ$  (s. Abb. 2). Trotz dieser hohen Genauigkeit werden dennoch zeitweise sehr große Abweichungen zwischen beiden Datensätzen registriert, die charakteristischerweise Vektordifferenzen von  $8\text{--}12\text{ ms}^{-1}$  (s.u.) anzeigen. Obwohl diese Abweichungen der Windprofilermessungen gegenüber Rawinsondendaten vorrangig die Windgeschwindigkeit betreffen, gibt es auch Situationen, bei denen markante Unterschiede in der Windrichtung registriert wurden. Insgesamt liegt der Anteil der „Meßfehler“ bezogen auf alle Windprofilerdaten jedoch nur bei etwa 2%. Verschiedene Untersuchungen der letzten Jahre (z.B. ECKLUND et al., 1990; WILZCZAK et al., 1995) haben dabei nachgewiesen, daß diese großen Differenzen zwischen Radiosonde und Grenzschicht-Windprofiler häufig durch Vogelzug hervorgerufen werden.

Da Windprofiler primär Informationen über die vertikale Struktur des Windfeldes in der Atmosphäre liefern sollen, wird in der Forschung gegenwärtig versucht, nicht-meteorologische Daten bei der Signalverarbeitung herauszufiltern. Eine vollständige Elimination wird jedoch voraussichtlich nicht möglich sein (MILLER et al., 1997). Andererseits liefern die genannten Fehlmessungen eine neuartige Möglichkeit der Information über Vogelzug und vor allem über den betroffenen Höhenbereich bzw. über potentielle Risiken des Luftverkehrs hinsichtlich Vogelschlag (RUHE und ENGELBART, 1996). Auswertungen von Messungen des Grenzschichtwindprofilers hinsichtlich Vogelzugparametern werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt.



**Abb. 2a:** Typische Datenqualität für den 1290 MHz Windprofiler im Vergleich zu Rawinsonden: Ergebnisse für die Windgeschwindigkeit aus 6-stündlichen Vergleichen zwischen Dezember 1993 und November 1995 nach Anwendung eines Standard-Qualitätskontrollalgorithmus (Weber und Wuertz, 1991).



**Abb. 2b:** Typische Datenqualität für den 1290 MHz Windprofiler im Vergleich zu Rawinsonden: Wie Abb. 2a jedoch für die Windrichtung.

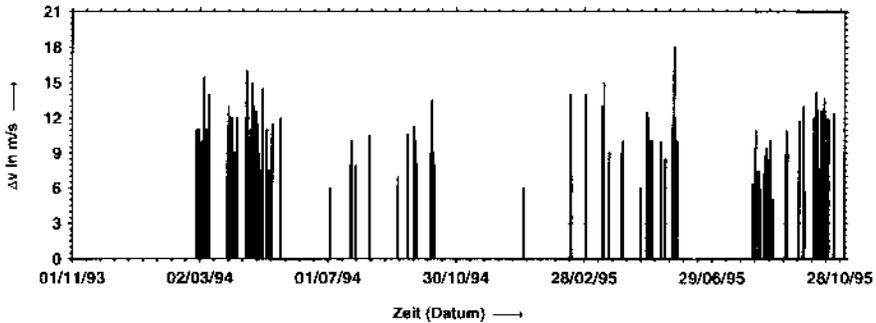
### 3. Windprofilermessungen während Vogelzugereignissen

Zur Beobachtung von Vogelzugcharakteristika mit Hilfe von Grenzschicht-Windprofilern müssen grundsätzlich zwei Voraussetzungen erfüllt sein bzw. nachgewiesen werden. Zum einen muß die Signalauswertung beim Windprofiler deutlich erhöhte Reflektivitäten bzw. Signal-Rausch-Verhältnisse (SNR) im Vergleich zu turbulenzbedingten (clear-air) Signalen zeigen (ENGELBART et al., 1998). Zum anderen sollten bezüglich der ausgewerteten Dopplergeschwindigkeiten, auf Grund der Eigengeschwindigkeit (Relativgeschwindigkeit) von Zugvögeln gegenüber der Luftbewegung (BRUDERER, 1971), deutliche Differenzen gegenüber der tatsächlichen Luftbewegung registriert werden.

Mit diesem Ansatz wurden die quasioperationellen Vergleiche der Windprofilerdaten zwischen Dezember 1993 und November 1995 mit den 6-stündlichen Radiosondenmessungen auf Differenzen des horizontalen Windvektors von  $> 5$  m/s bzgl. der Geschwindigkeit bzw.  $90^\circ$  bzgl. der Windrichtung hin untersucht, wobei mindestens 3 aufeinanderfolgende Höhenintervalle betroffen sein sollten. Messungen des Rawinsonden-Systems am Meteorologischen Observatorium Lindenberg (Vaisala RS-80 mit Ballonverfolgungsradar) dienen dabei als Referenz.

Abb. 3 zeigt eine Zeitreihe des Auftretens aller Tage dieses Zeitraumes, die den o.g. Kriterien genügen. Auf der Ordinate wird darin die Differenz  $\Delta v$  zwischen beiden Datentypen, bezogen auf die Windrichtung aus Rawinsondenmessungen dargestellt. Aus der Abbildung wird deutlich, daß die Situationen mit großen Abweichungen für den Standort des Windprofilers in Ost-Brandenburg einen Jahresgang mit höchsten Eintrittswahrscheinlichkeiten zwischen März und Mai sowie zwischen August und Oktober haben. In Abb. 4a und Abb. 4b sind dazu jeweils Meßbeispiele des Windprofilers dargestellt, die sowohl das Eintreten als auch den beeinflussten Höhenbereich in Situationen mit großen Differenzen verdeutlichen. Aus beiden Zeit-Höhenschnitten des horizontalen Windvektors wird als weiteres Charakteristikum ferner deutlich, daß das Auftreten der „Meßfehler“ am Windprofiler, erkennbar an der plötzlichen Winddrehung und Geschwindigkeitszunahme, auf die Nachtstunden beschränkt ist. Wie einleitend erläutert, ist diese scheinbare Geschwindigkeitszunahme mit einer deutlichen Erhöhung des SNR verknüpft, die auf Punktziele als Radarreflektoren schließen lassen. Dieser Zusammenhang wird zusätzlich dadurch bekräftigt, daß alle Meßfehler-Situationen bei niederschlagsfreien Bedingungen registriert wurden.

Eine Übersicht aller Tage, an denen zwischen Dezember 1993 und November 1995 diese Meßfehler-Ereignisse in mindestens einem Vergleichsprofil auftraten, liefert Abb. 5. In Abb. 5a sind dabei die errechneten Beträge des Differenzvektors der Geschwindigkeit aus Radiosonde bzw. Windprofiler dargestellt, während Abb. 5b eine Darstellung



**Abb. 3: Jahresgang der Zugvogelbeeinflussung von Windprofilermessungen für den Zeitraum Dezember 1993 bis November 1995. Die Ordinate zeigt die Vektordifferenz des Windes zwischen Windprofiler und Rawinsonde.**

der angezeigten Windrichtung beider Systeme für dieselben Termine enthält. Generell wird deutlich, daß die Differenz zwischen beiden Meßverfahren typisch zwischen 8 und 12  $\text{ms}^{-1}$  beträgt. Weiterhin wird deutlich, daß die Ereignisse entsprechend den Radiosondendaten im wesentlichen mit südwestlichen Windrichtungen im Frühjahr bzw. mit nordöstlichen Windrichtungen im Herbst verbunden sind. Insgesamt ergaben sich dabei nur ca. 20% aller Ereignisse, bei denen die tatsächliche und scheinbare Windrichtung nahezu entgegengerichtet waren. Grundsätzlich handelte es sich in diesen Fällen aber um relativ schwachwindige Hochdruckwetterlagen mit Windgeschwindigkeiten von maximal 7  $\text{ms}^{-1}$  in der gesamten betrachteten Luftsäule.

Da der Bereich möglicher Radarreflektivitäten für „clear-air“-Bedingungen deutlich niedriger liegt als die Reflektivitäten von Punktzielechos, läßt sich mit diesem Parameter nachweisen, ob Punktziele als Radarreflektoren im Streuvolumen existent waren. Durch einen Vergleich mit den bekannten Streuquerschnitten (RCS) verschiedener Zugvogelarten (s. Tab. 1) kann so in einem ersten Schritt geklärt werden, ob die berechneten RCS den Schwellwert für Vögel von  $10^{-5} \text{ m}^2$  (z.B. VAUGHN, 1985) überschreiten bzw. ob berechnete RCS mit möglichen Zugvogelarten übereinstimmen.

Die Ergebnisse der RCS, deren Berechnung entsprechend ENGELBART et al. (1998) erfolgte, liefern Werte, die auf kleinere Vogelarten wie Finken oder Star hinweisen. Eine exakte Bestimmung der Zugvogelarten ist jedoch ohne eine Kalibrierung des Windprofilers nicht realisierbar, so daß die berechneten RCS von etwa  $1.0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

**1290 MHz Windprofiler**

Date: 20.04.1994

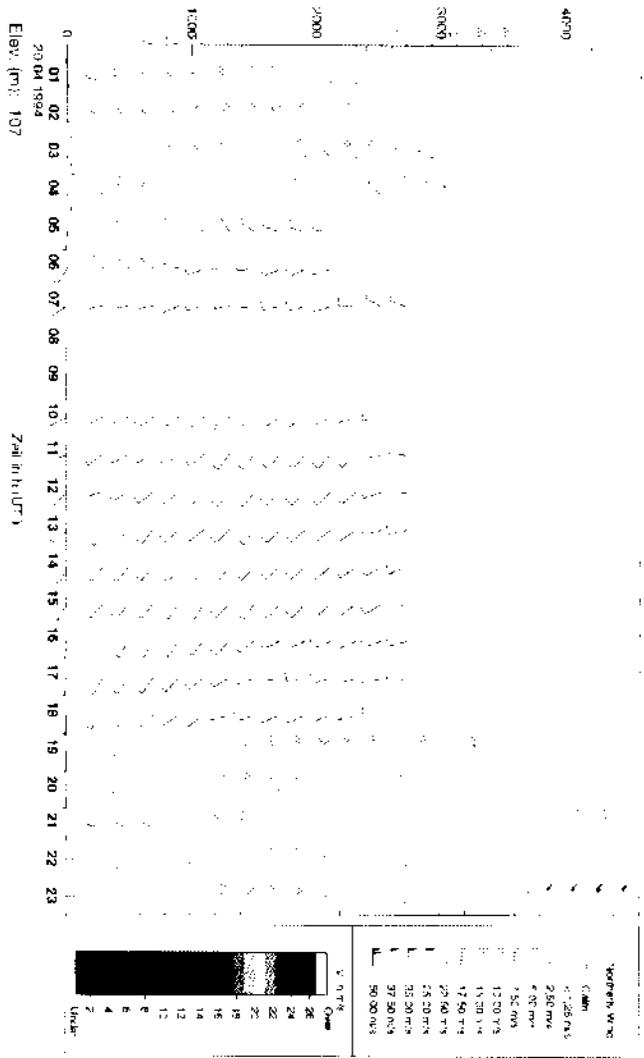


Abb. 4a: Melbeispiel für Auswertungen des 1290 MHz Windprofilers während eines Frühjahr-Vogelzugereignisses. Die Darstellung zeigt ein Zeit-Höhen-Diagramm des horizontalen Windvektors vom 20. April 1994. Die vogelzugbedingte (scheinbare) Winddrehung bzw. Geschwindigkeitszunahme in den jeweiligen Nachtstunden ist deutlich erkennbar. Weiterhin wird erkennbar daß der Vogelzug in der Nacht zum 21. April 1994 bis in Höhen von ca. 4500 m reicht.

lediglich auf einen Faktor 5 genau interpretierbar sind. Tabelle 1 zeigt dazu exemplarisch verschiedene Vogelarten, die diesen RCS entsprechen.

**Tabelle 1: Typische Werte des Radar-Streuquerschnittes (RCS), abgeleitet aus BRUDERER und JOSS, (1969)**

Charakteristische Radarquerschnitte von Vögeln	
Star	$1.3 \cdot 10^3 \dots 25 \cdot 10^4 \text{ m}^2$
Taube	$1.0 \cdot 10^3 \dots 100 \cdot 10^3 \text{ m}^2$
Sperling	$0.18 \cdot 10^4 \dots 7 \cdot 10^4 \text{ m}^2$
Bussard	$25 \cdot 10^3 \dots 250 \cdot 10^4 \text{ m}^2$
Krähe	$25 \cdot 10^4 \dots 250 \cdot 10^4 \text{ m}^2$

Da für die zurückgestreute Energie  $P_r$  eines Radarpulses von Punktzielen allgemein gilt

$$P_r (\text{Vogel}) \gg P_r (\text{clear air})$$

und da im Doppelspektrum zur Windbestimmung lediglich ein Bereich um den Spektralpunkt mit der maximalen Energie ausgewertet wird, d.h.  $n = n(\max [P_r(n)])$ , bevorzugt die Standard-Signalauswertung des Windprofilers nun grundsätzlich Vögel gegenüber den turbulenzbedingten Rückstreumechanismen. Nimmt man weiterhin an, daß eine Zugvogelbeeinflussung bereits dann auftritt, wenn sich zumindest ein Vogel im Streuvolumen  $V_R = \Delta x' \cdot \Delta y \cdot \Delta r$  befindet, dann ist die erforderliche *minimale Vogeldichte* nach WILCZAK et al. (1995) definiert durch

$$Q_{ZV, \min} = \frac{1}{V_R},$$

wobei:

$$\Delta x' = \Delta x + \bar{u}_{ZV} \cdot \Delta t \quad \text{und} \quad \Delta x = \Delta y = r \cdot \sin \theta$$

mit Beambreite  $\theta$ , Entfernungsbereich  $r$ , mittlerer Zugvogelgeschwindigkeit  $\bar{u}_{ZV}$ , Pulslänge  $\Delta r$  und dem spektralen Mittelungsintervall (dwell time)  $\Delta t$  definiert sind. Mit einer typischen Zugvogeldichte aus der Literatur von  $Q_{ZV} = 100 \dots 200 \text{ km}^{-3}$  (z.B. VAUGHN, 1985) sowie einer angenommenen Zugvogelgeschwindigkeit von  $10 \text{ ms}^{-1}$  und Systemparametern am Windprofiler, die dem Routinebetrieb entsprechen, d.h. insbesondere einem spektralen Mittelungsintervall von typischerweise  $30 \dots 45 \text{ s}$ , ergibt sich damit durch die konische Form des Radarbeams eine untere Grenze der

# 1290 MHz Windprofiler

DWD - Meteorol.Observat.Lindenbergl ( )

Date: 19.09.1994

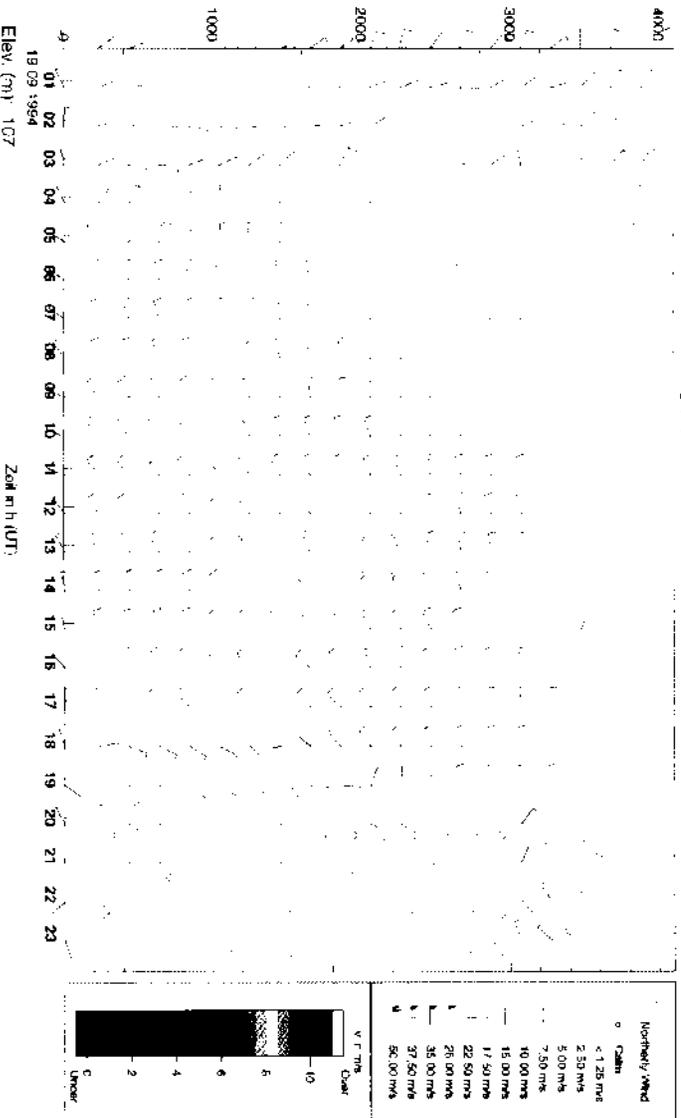


Abb. 4b: Melbeispiel für Auswertungen des 1290 MHz Windprofilers während eines Herbst-Vogelzugereignisses. Die Darstellung zeigt ein Zeit-Höhen-Diagramm des horizontalen Windvektors vom 19. September 1994.

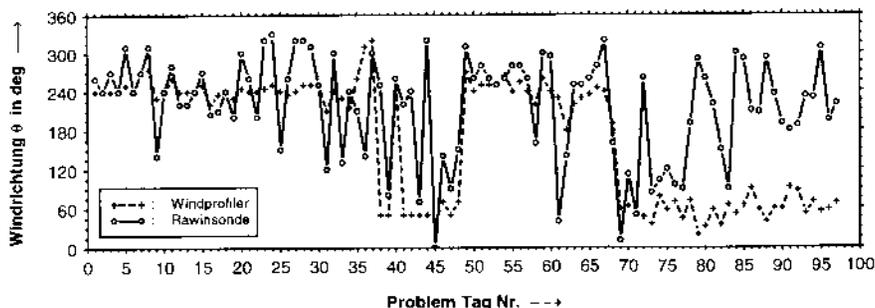
Registrierbarkeit von Zugvogelbewegungen von etwa 400...500m Höhe. Geringere Zugvogeldichten, wie sie z.B. im späten Frühjahr auftreten, bewirken damit eine ansteigende Untergrenze (vgl. Abb. 6) der Registrierbarkeit des Vogelzuges (ENGBEL-BART et al., 1998).

Abb. 6 zeigt eine Darstellung der mit Hilfe des Windprofilers registrierten Vertikalbereiche mit Zugvogelbeeinflussung. Die Genauigkeit dieser Höhenangaben kann dabei in der Regel mit der verwendeten Pulslänge des Windprofilers gleichgesetzt werden, auch wenn im ungünstigsten Fall, bei dem ein Vogelzugniveau genau auf der Grenze zwischen zwei ausgewerteten Entfernungsfenstern liegt, die Genauigkeit der Bestimmung von Ober- und Untergrenze des Vogelzuges auch der doppelten Pulslänge entsprechen kann. Mit der hier verwendeten Standardpulslänge von 400 m kann also typischerweise eine Genauigkeit bzgl. dieses Höhenbereiches von 400...800 m erreicht werden. Die beobachteten Maximalhöhen entsprechend Abb. 6 sind demzufolge nur auf  $\pm 200...400$  m genau.

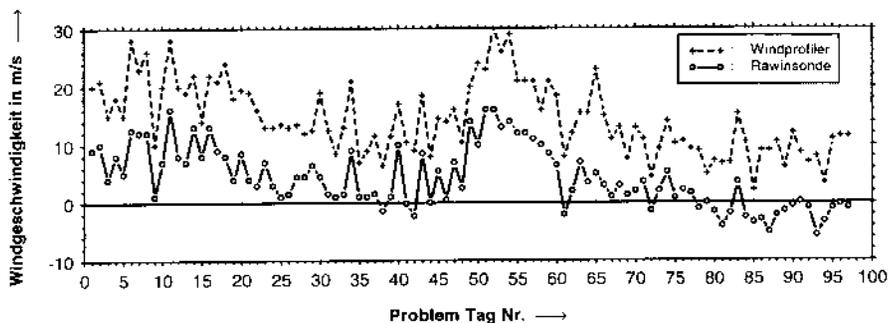
Der endgültige Nachweis, daß die Windprofilermessungen tatsächlich Zugvogelbewegungen beschreiben, wurde schließlich in einem zweiten Schritt durch den Vergleich von ASR-Radardaten am ca. 80 km entfernten Flughafen Berlin-Tegel gewonnen. Generell lassen sich mit Hilfe der Flughafen-Rundsicht-Radargeräte ziehende Vögel ebenso wie Flugzeuge in Folge ihrer Punktzielwirkung auf die ausgesandte Radarstrahlung erkennen. Das vom Geophysikalischen Beratungsdienst der Bundeswehr entwickelte Verfahren zur operationellen Erkennung von Vogelschlagrisiken für die Luftfahrt mit Hilfe von ASR-Geräten wird von RUHE (1996) beschrieben.

Abb. 7 zeigt die Ergebnisse des Vergleiches zwischen der 3-stufigen Vogelzugintensität, abgeleitet aus den ASR-Daten am Flughafen Berlin-Tegel, und den beschriebenen Meßfehler-Situationen bzgl. der Daten des Grenzschicht-Windprofilers am Meteorologischen Observatorium Lindenberg. Unterschiede zwischen Fehlersituationen am Windprofiler und Vogelzugereignissen in Berlin-Tegel können sich zwar auch aus der räumlichen Trennung beider Systeme ergeben, prinzipiell sollte aus der hohen Dichte der ASR-Signaturen, mit zeitweise vollständig von Vogeleos überdecktem Bildschirm, jedoch ein Rückschluß auf großräumigen Zug gerechtfertigt sein.

Einigen weiteren Hinweis auf die Berechtigung dieses Rückschlusses liefern tatsächlich eingetretene Vogelschlagereignisse, die von Piloten gemeldet wurden, die sich in dem dargestellten Zeitraum aus verschiedenen Richtungen im Anflug auf Berlin befunden haben. Einige Meldungen beobachteter Vogelschlagereignisse sind in Abb. 7 integriert. So wurde z. B. am 6. Oktober 1995, als am Windprofiler erneut Geschwindigkeitsdifferenzen von ca.  $10 \text{ ms}^{-1}$  gegenüber der Radiosonde registriert wur-



**Abb. 5a:** Vergleich von Windgeschwindigkeitsmessungen des Windprofilers während Vogelzugereignissen mit Rawinsondenmessungen aus einem 2-Jahreszeitraum ab Dezember 1993. Je Vogelzugereignis, d.h. pro Tag wurde nur ein typisches Vergleichsprofil ausgewertet. Ereignisse Nr. 38 bis 48 entsprechen dem Herbst 1994 und die Ereignisse Nr. 69 ff. beziehen sich auf den Herbst 1995. Die Angabe der Windgeschwindigkeit aus Rawinsondenmessungen wurde auf die Windrichtung des Windprofilers bezogen.



**Abb. 5b:** Auswertungen entsprechend Abb. 4a jedoch für die Windrichtung.

den, eine B 737-300 (s. Vogelschlag 2 in Abb. 7), die sich bei einer Geschwindigkeit von 230 kts in etwa 1.000 m Flughöhe befand, gegen Sonnenaufgang von zahlreichen Buchfinken an ihrer Nase, beiden Triebwerken, einer Tragfläche und dem Rumpf getroffen. Generell stimmen damit die Fehlersituationen am Windprofilier mit ASR-Beobachtungen von Vogelzug zumindest mäßiger Intensität gut überein. Eine statistische Auswertung dieses Zusammenhanges steht jedoch mangels ausreichender statistischer Grundlagen noch aus.

#### 4. Diskussion der Ergebnisse und Schlußbemerkungen

Über den Nachweis des Zusammenhangs zwischen deutlichen Meßfehler-situationen am Windprofiler und mäßigen oder starken Vogelzugereignissen lassen sich nunmehr die „Meßfehlerdaten“ des Windprofilers hinsichtlich Vogelzugcharakteristiken interpretieren. Gemäß den Abbildungen 3, 5 und 6 ergeben sich für die Umgebung des Observatoriums Lindenberg in Ost-Brandenburg somit folgende Resultate: Ein bevorzugtes Auftreten des Vogelzuges ist zwischen März und Mai (Frühlingszug) mit einer mittleren Zugrichtung nach  $60^\circ$  (NO), sowie zwischen August und Oktober (Herbstzug) mit einer mittleren Zugrichtung nach  $230^\circ$  (SW) feststellbar. Die größte Eintrittswahrscheinlichkeit und zugleich größten Zugdichten, erkennbar aus SNR-Auswertungen, sowie die größten Zughöhen bzw. Höhenbereiche werden dabei im April bzw. im September beobachtet. Die charakteristische relative Zuggeschwindigkeit (bezogen auf die aktuelle Windrichtung) beträgt ca.  $10 \text{ ms}^{-1}$ .

Aus den berechneten RCS ergeben sich weiterhin Hinweise auf kleine bis mittelgroße Zugvogelarten, d.h. z.B. Buchfink oder Drosseln und Star. Grundsätzlich wurden alle Vogelzugereignisse während der Nachtstunden (vgl. Abb. 4) und unter „Schönwetter“-Bedingungen registriert. Letzteres korrespondiert dabei gut mit Angaben von BRUDERER und LICHTH (1990). Die tagziehenden Vogelarten haben demnach keinen Einfluß auf Windprofilermessungen. Dies hängt offenbar mit den geringeren Zugdichten bzw. Zughöhen dieser Vögel zusammen, wie sie z.B. von BRUDERER (1971) oder GAUTHIEREAUX (1991) berichtet werden. Beide Autoren erläutern, daß der wahrscheinlichste Höhenbereich von tagziehenden Vögeln und damit auch die größten Zugdichten deutlich unterhalb der Flughöhen von Nachtziehern liegen. Quantitativ berichtet BRUDERER (1971), daß mehr als 75% aller Tagzüge unterhalb von 700 m Flughöhe stattfinden.

Ein weiteres Charakteristikum, das sich aus den Windprofilerdaten ergibt, liefert Abb. 6. Danach steigt die Untergrenze der Zughöhen im späten Frühjahr, entsprechend Problem-Tag Nr. 30-37 (1994) bzw. Problem-Tag Nr. 63-68 (1995) scheinbar deutlich an. Eine Interpretation dieser Daten muß allerdings im Zusammenhang mit den Profilercharakteristiken erfolgen. Demnach ist dieser scheinbare Anstieg mit der z.B. von JELLMANN (1977) berichteten Beobachtung einer abnehmenden Zugdichte gegen Ende des Frühjahrs zu erklären. Entsprechend Abschnitt 3 muß eine derartige Abnahme zu einem Anstieg der Untergrenze der Registrierbarkeit von Vogelzug mit Hilfe eines Windprofilers führen.

Als Höhenbereich des Vogelzuges liefert Abb. 6 Obergrenzen von 4,0-4,5 km (über dem Radar). Allgemein gelten für die Genauigkeit dieser Zahlenwerte die in Abschnitt 3 angeführten Einschränkungen. Bezüglich der Obergrenzen gilt ferner, daß

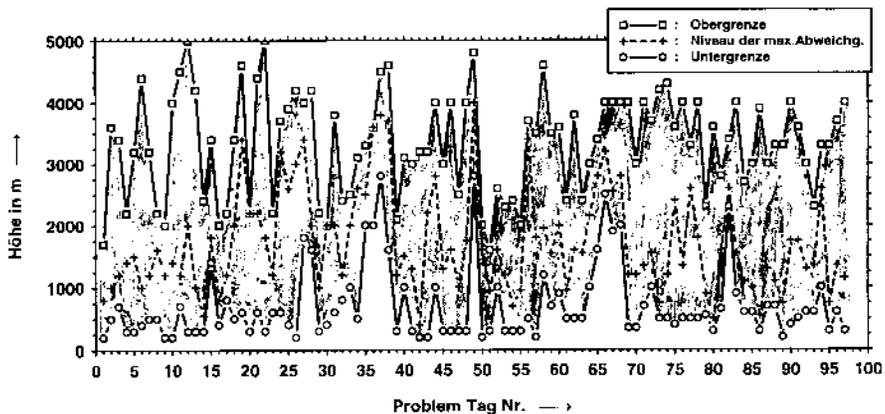


Abb. 6: Höhenbereich des Vogelzuges abgeleitet aus Windprofilerdaten. Die obere Grenze entspricht häufig der oberen Verfügbarkeitsgrenze der Profilmessungen. Das Niveau des maximalen Feldes entspricht der Höhe der maximalen Vektordifferenz zwischen Windprofiler und Rawinsonden, d.h. den günstigsten Flugbedingungen für Zugvögel.

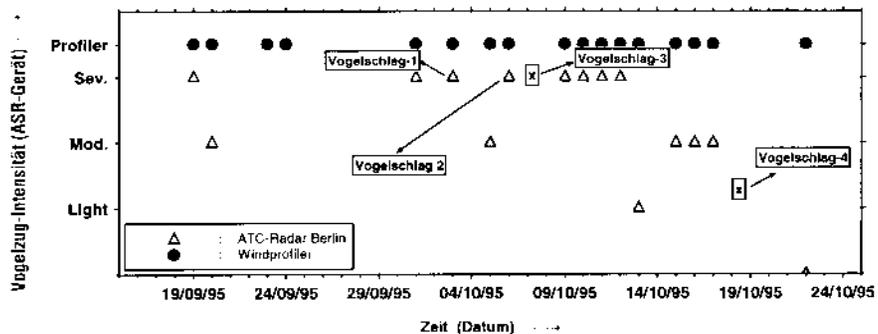


Abb. 7: Vergleich von Vogelzugereignissen abgeleitet aus dem ASR-Gerät Berlin-Tegel und extremen Meßfehlersituationen am Windprofilerstandort im September/Oktober 1995. Pilotenbeobachtungen von Vogelschlägen wurden, soweit verfügbar, ergänzt.

Registrierungen oftmals mit der Reichweitengrenze des Windprofilersystems zusammenfallen. Die obere Grenze des Zugbereiches könnte demnach zeitweise noch oberhalb der ausgewerteten Höhen liegen. Grundsätzlich entsprechen die gewonnenen Ergebnisse jedoch Messungen anderer Autoren, die von Maximalhöhen des Vogelzuges bis zu 6.300 m berichten (BRUDERER, 1971; WILCZAK et al., 1995). Obwohl nach BRUDERER und LIECHTI (1990) lediglich 10% aller Vogelzüge oberhalb von 2 km Höhe stattfinden, führen diese Ereignisse durch das nach oben zunehmende Pulsvolumen bei den Windprofilermessungen am ehesten zu einer Beeinflussung. Die hier angegebenen Maximalhöhen, die mit einer Pulslänge von 400 m bzw. 200 m Vertikalaufösung gewonnen wurden, werden jedoch auch durch andere mehrmonatige Beobachtungen von z.B. KRETZSCHMAR (1997) bestätigt.

Zusammengefaßt kann der vorgestellte 1290 MHz Grenzschicht-Windprofiler des DWD mit der gegenwärtigen Signalauswertung, neben seiner Hauptaufgabe der Erfassung von Vertikalprofilen des 3-dimensionalen Windvektors, Vogelzugsituationen erfassen und charakterisieren. Der wesentliche Unterschied zu klassischen „Tracking“-Radargeräten, die, wie schon BRUDERER (1971) erwähnt, keine exakten Höheninformationen über den Vogelzug liefern können, besteht dabei neben der Möglichkeit einer präzisen Erfassung der Zuggeschwindigkeiten in der Dokumentation dieses Parameters.

Grundsätzlich werden dabei alle Punktziele im Pulsvolumen des Windprofilers erfaßt. Sofern diese Punktziele jedoch nur sporadisch oder ohne bevorzugte Richtung und Geschwindigkeit auftreten, werden Auswertungen dieser (in Folge ihrer Signalstärke bevorzugten Echos) jedoch entweder bereits vom Qualitätsprüfungsalgorithmus (WEBER und WUERIZ, 1991) oder nachfolgend vom Konsensusfilter (FISCHLER und BOLLES, 1981) verworfen. Der Konsensusfilter definiert dabei ein statistisches Verfahren, daß alle Ergebnisse innerhalb eines zeitlichen Mittelungsintervalls auf Konsistenz prüft. Als Konsequenz daraus sind alle Echos von solchen Punktzielen (Vögeln), die ohne bevorzugte Richtung und Geschwindigkeit durch das Pulsvolumen des Windprofilers ziehen, nach diesen Algorithmen in den Daten nicht mehr enthalten. Lediglich die Zugvögel, die mit bestimmter Richtung und Geschwindigkeit über mehrere Stunden über das System ziehen, werden auf diese Weise registriert. Entsprechend ENGELBART et al. (1998) lassen sich Zugvögel als Punktziele jedoch, für den Fall von Niederschlagsfreiheit, über die zurückgestreute Signalintensität eindeutig identifizieren.

## Literatur

- BRUDERER: B. (1971): Radarbeobachtungen über den Frühlingszug im Schweizerischen Mittelland. Orn. Beob. 68, Heft 3: 89-158.
- BRUDERER: B. und F. LIECHTI (1990): Richtungsverhalten nachziehender Vögel in Süddeutschland und der Schweiz unter besonderer Berücksichtigung des Windinflusses. Orn Beob. 87, Heft 4: 271-293.
- BRUDERER: B. und J. JOSS (1969): Methoden und Probleme der Bestimmung von Radarquerschnitten frei fliegender Vögel. Rev. Suisse Zool. 76: 1106-1118.
- ECKLUND, W.L., D.A. CARTER, B.B. BALSLEY, P.E. CURRIER, J.L. GREEN, B.L. WEBER und K.S. GAGE (1990): Recent field tests of a lower tropospheric wind profiler. Radio Sci. 25: 899-906.
- ENGELBART, D., H. STEINHAGEN, U. GORSDORF, J. LIPPMANN und J. NEISSER (1996): A 1290 MHz profiler with RASS for monitoring wind and temperature in the boundary layer. Beitr. Phys. Atm., 69, No. 1: 63-80.
- ENGELBART, D., U. GORSDORF und W. RUHE (1998): Effects and observation of migrating birds on a boundary-layer windprofiler in Eastern Germany. Meteorol. Z., (im Druck).
- FISCHLER, M.A. und R.C. BOLLES (1981): Random sample consensus: A paradigm for model fitting with application to image analysis and automates cartography. Commun. Assoc. Comput. Mach., 24: 381-395.
- GAGE, K.S. (1990): Radar observations of the free atmosphere: Structure and dynamics. In: D. Atlas. Radar in Meteorology. Amer. Meteor. Doc., Boston, 534-565.
- GAUTHEREAUX, S.R., JR. (1991): The flight behaviour of migrating birds in changing wind-fields: Radar and visual analyses. Amer. Zool. 31: 187-204.
- KRETZSCHMAR, R. (1997): The effect of migrating birds on 120-MHz wind profiler data. Semesterarbeit, Inst. f. Atmosph. Sci., ETH Zürich, Switzerland, April 1997.
- MILLER, P.A. and COAUTHORS (1997): The extent of bird contamination in the hourly winds measured by the NOAA profiler network: Results before and after implementation of the new bird contamination quality control check. Amer. Meteor.

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, IL., U. GORSDORF, J. LIPMANN und J. NEISSER (1994): A 1290 MHz Windprofiler with RASS for monitoring of wind and temperature in the boundary layer. 3<sup>rd</sup>. 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 an 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.E. GAYNOR, S.A. MCCLAUGHLIN, 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