

promet

1'78

meteorologische fortbildung

Aktuelle Probleme der Flugmeteorologie



Herausgeber

Deutscher Wetterdienst

HauptschriftleiterM. Schlegel
Frankfurter Straße 135
6050 Offenbach am Main**Redaktionsausschuß**A. Cappel (Neustadt a.d.W.)
F. Defant (Kiel)
H.-W. Georgii (Frankfurt)
K. H. Hinkelmann (Mainz)
H. Hinzpeter (Hamburg)
E. Lingelbach (Offenbach)
H. Reiser (Offenbach)
H.-P. Schmitz (Berlin)
R. Simonis (Offenbach)
S. Uhlig (Traben-Trarbach)
F. Wippermann (Darmstadt)**Titelbild:**Rotorwolke über dem Inntal
(Aufnahme: F. Weber)

promet erscheint im Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes – Zentralamt – Frankfurter Straße 135, 6050 Offenbach am Main. Bezugspreis pro Jahrgang (4 Hefte) DM 28,-, Einzelheft DM 7,50.

Für den Inhalt der Arbeiten sind die Autoren verantwortlich. Alle Rechte bleiben vorbehalten.

Druck: Schön & Wetzel GmbH, Offenbacher Landstraße 368, 6000 Frankfurt (Main).

ISSN 0340 - 4552

8. Jahrgang, Heft 1, 1978

Thema des Heftes**Aktuelle Probleme der Flugmeteorologie**

(Fachliche Redaktion: F. Weber, Oberpfaffenhofen)

Beiträge

Seite

F. WEBER

- | | | |
|----------|---|----|
| 1 | Windscherungen im Bereich der planetarischen Grenzschicht | 1 |
| 2 | Zum Problem der Wake Turbulence | 5 |
| 3 | Strahlströme im Satellitenbild | 8 |
| 4 | Zum Problem der Clear Air Turbulence | 12 |
| 5 | Statistische Untersuchungen über das Auftreten markanter Temperaturinversionen in den unteren Luftschichten über München-Riem | 13 |
| 6 | Das Erscheinungsbild und die synoptisch-aerologische Bedingungen eines Nebelsturms am Flughafen München-Riem | 14 |

K. DEMMLER

- | | | |
|----------|--|----|
| 7 | Die Höhenwindvorhersage aus der Sicht der Flugwegplanung | 17 |
|----------|--|----|

R. ANIOL; J. RIEDL

- | | | |
|----------|--|----|
| 8 | Grenzen und Möglichkeiten des Einsatzes von Wetterradargeräten im Flugwetterdienst | 19 |
|----------|--|----|

Zum Berufsbild des Meteorologen und Wetterberaters

- | | | |
|--|---------------------------------|----|
| | Studiensituation (B. HENNEMUTH) | 26 |
|--|---------------------------------|----|

Aus dem Deutschen Wetterdienst

- | | | |
|--|---|----|
| | Berufsaussichten (R. SIMONIS) | 27 |
| | Flugwetterdienst-Tagung 1978 (S. MILDNER) | 29 |

Institute stellen sich vor

- | | | |
|--|---|----|
| | Institut für Physik der Atmosphäre der DFVLR in Oberpfaffenhofen (M. REINHARDT) | 30 |
|--|---|----|

Wichtige Neuerscheinungen

32

Berichtigungen

3. Umschlagseite

Aktuelle Probleme der Flugmeteorologie

Das Wetter beeinträchtigt auch heute noch in erheblichem Umfang den Flugverkehr. Verspätungen und Unfälle werden häufig durch meteorologische Faktoren verursacht. Als vor über 40 Jahren der Luftfahrt erstmals elektronische Anflug- und Landehilfen zur Verfügung standen, glaubte man, wenigstens im Flughafenbereich mehr oder weniger vom Wetter unabhängig zu sein. Dieser Optimismus erwies sich bekanntlich als verfrüht. Mit Beginn des Düsenluftverkehrs war die Hoffnung verbunden, im Reiseflug oberhalb des Wettergeschehens in ruhigen Luftschichten fliegen zu können. Groß war deshalb die Überraschung, als in diesen Höhen Probleme wie Strahlströme und Clear Air Turbulence auftauchten und Flugsicherheit, Wirtschaftlichkeit und den Passagierkomfort mitunter stark beeinflussten. Statistische Untersuchungen der US Federal Aviation Administration (FAA) für das Jahr 1975 zeigen, daß im Luftverkehr bei Verspätungen ≥ 30 Minuten das Wetter in mehr als 85% der Hauptverursacher war. In dem zurückliegenden 5jährigen Zeitraum verzeichnete man in jedem einzelnen Jahr mehr als 30 000 Verspätungen von ≥ 30 Minuten. Der wetterbedingte Anteil lag insgesamt zwischen 65 und 90%. Flugzeugabstürze in der allgemeinen Luftfahrt wurden in den Jahren 1964 – 1972 in 36% der Fälle durch schlechte Wetterbedingungen verursacht.

Die folgenden Beiträge befassen sich mit aktuellen flugmeteorologischen Problemen und zeigen anhand von Beispielen, wie bestimmte atmosphärische Erscheinungen auch heute noch den Luftverkehr beeinträchtigen und gefährden können.

1 F. WEBER, Oberpfaffenhofen Windscherungen im Bereich der planetarischen Grenzschicht

Im zunehmenden Maße verursachte die Windscherung (wind shear) in den letzten Jahren während des Starts oder beim beginnenden Steigflug bzw. beim Landeanflug oder bei der Landung Flugunfälle. Derartige Vorkommnisse wurden früher häufig als Pilots Error abgetan. Inzwischen ergaben Unfalluntersuchungen, speziell Analysen der meteorologischen Bedingungen anhand aller am Flughafen zur Verfügung stehenden Meß- und Beobachtungsdaten sowie der Aufzeichnungen des Flugschreibers, daß starke vertikale Windscherungen, plötzliche horizontale und vertikale Windänderungen längs des Flugweges und Downdraft Shears häufig diese Katastrophen verursachten. Das Interesse der Flugmeteorologen hat sich auch aus diesem Grunde wieder in verstärktem Maße den unteren Luftschichten im Flughafenbereich zugewandt und hier speziell dem Problem der Windscherung. Die International Civil Aviation Organization (ICAO) und die World Meteorological Organization (WMO) haben inzwischen ihren Mitgliedern empfohlen, alle Windscherungen von $\geq 10 \text{ kn}/30 \text{ m}$ ($\geq 0,17 \text{ s}^{-1}$) in der untersten Schicht bis mindestens 60 m Höhe zu erfassen und den Piloten beim An- und Abflug entsprechend zu informieren. Im Hinblick auf die Einführung des Allwetterflugbetriebs nach Betriebsstufe II und III, der Starts und Landungen noch bei Sichtweiten $> 200 \text{ m}$ und aufliegender Wolkendecke erlaubt, sollten bereits Scherwerte von $\geq 5 \text{ kn} / 30 \text{ m}$ ($\geq 8,5 \text{ m/s}/100\text{m}$) berücksichtigt werden. Extreme vertikale Windscherungen können im Bereich der Grenzfläche Boden-Luft angetroffen werden. Bodenbeschaffenheit und thermische Schichtung beeinflussen hierbei stark die Windstruktur.

Statistische Ergebnisse über die Häufigkeit und Stärke von Scherbeträgen in der Schicht von 10 – 40 m Höhe über

Grund sind aus Abbildung 1 zu ersehen. Sie basieren auf Meßdaten, die an Türmen in Finnland, Japan, Kanada und den USA gewonnen wurden. Da die Anemometer in etwas differierenden Höhen aufgestellt waren und die Mittelbildung über unterschiedliche Zeitintervalle vorgenommen wurde, erfolgte nachträglich eine Reduzierung aller Meßwerte auf den Höhenbereich von 10 – 40 m und ein Zeitintervall von 2 Minuten.

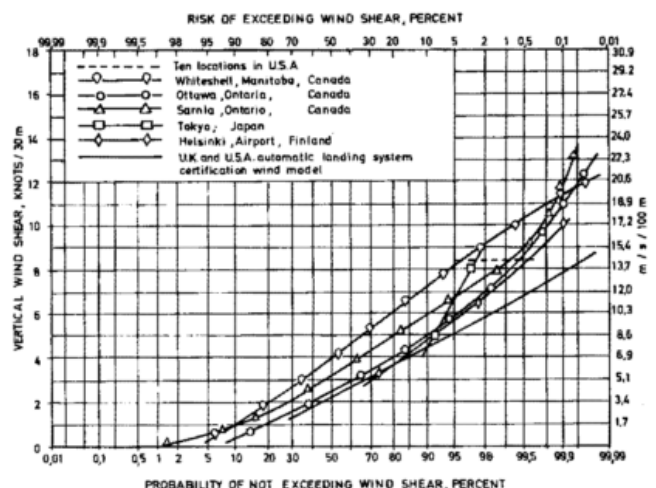


Abb. 1: Vertikale Verteilung der Windscherung für verschiedene Orte

Aufgrund der in verschiedenen geographischen Regionen der Erde gewonnenen Meßdaten glaubt man sagen zu können,

daß mit der folgenden Häufigkeit vertikaler Windscherungen zu rechnen ist:

3 kn / 30 m =	5,1 m/s/100 m in	50,0% der Fälle
5 kn / 30 m =	8,5 m/s/100 m in	17,0% der Fälle
8 kn / 30 m =	13,6 m/s/100 m in	2,0% der Fälle
10 kn / 30 m =	17,2 m/s/100 m in	0,4% der Fälle.

Aus der Abbildung 1 ist weiter ersichtlich, daß dem automatischen Landesystem in den USA und Großbritannien allgemein häufigeres Auftreten von Scherwerten zugrundegelegt wurde.

Bei Fesselballonsondierungen in der Nähe von Moskau traten in der Schicht zwischen 50 und 500 m Höhe in 2% der Fälle Scherungen von 20 kn/100 m auf (2). Auf dem Ottawa-Turm in Kanada wurde in 5 Jahren nur 5 mal der Wert von 33 kn/100 m überschritten (3).

Aus der Bundesrepublik Deutschland liegen statistische Ergebnisse über vertikale Windscherungen in den erwähnten Schichten noch nicht vor; jedoch wurden inzwischen Scherwerte bei extremen synoptischen Wetterlagen aus Windmessungen am 50-Meter-Turm der meteorologischen Station am Forschungsreaktor in Garching bei München ermittelt.

Die Scherung in der Schicht zwischen Boden und 5 m Höhe blieb hier unberücksichtigt, da sich beispielsweise die Tragflächenenden einer B-707 in rund 4 m Höhe über dem Boden befinden. Die Mittelbildung der Windgeschwindigkeit erfolgte immer über ein Zeitintervall von 6 Minuten; Mittelung über kürzere Zeiten ergäbe selbstverständlich höhere Werte. Die folgende Abbildung 2 zeigt die bei einer Sturmweatherlage am 3.1.1976 von 06.54 bis 07.54 MOZ gewonnenen skalaren Scherbeträge in den Höhenbereichen von 5 – 10 m und 10 – 50 m.

Die maximalen Scherwerte lagen bei 102 m/s/100 m (60 kn/30 m) im Höhenintervall von 5 – 10 m und bei 20 m/s/100 m (12 kn/30 m) in der Schicht von 10 – 50 m Höhe. In der unteren Meßschicht wurden also die für Luftfahrzeuge für kritisch gehaltenen Scherwerte um ein vielfaches überschritten. Die Windgeschwindigkeit änderte sich zwischen 10 m und 5 m Höhe um über 18 Stundenkilometer. Bei dieser zyklonalen Westwetterlage traten über viele Stunden hinweg extreme vertikale Scherwerte auf. Sind aktive stabile Kaltfronten in die Strömung eingelagert, können sich diese Scherbeträge kurzfristig noch beträchtlich erhöhen.

Für den Piloten bedeutet ein plötzlicher Windgeschwindigkeitsrückgang beim Landeanflug eine entsprechende Verringerung der Flugzeugeigengeschwindigkeit und somit Auftriebsverlust. Plötzliches Durchsacken des Luftfahrzeuges kann die Folge sein, da selbst bei sofortigem Gasgeben der volle Schub bei einem Düsentriebwerk erst nach mehreren Sekunden erreicht wird und die Massenträgheit eines Großraumflugzeuges die Erhöhung der Eigengeschwindigkeit ausserdem verzögert. Schwere mechanische Turbulenz in Bodennähe stellt ein zusätzliches Risiko bei derartigen Wetterlagen dar. Die Radiosondierung von München-Riem am 3.1.1976 um 12.00 GMT läßt neben einem Tropopausen-Jet einen starken niedertroposphärischen Strahlstrom erkennen. An der Obergrenze der planetarischen Grenzschicht in reichlich 1500 m Höhe über Grund wurden in den Mittagsstunden über München Windgeschwindigkeiten von 204 km/h gemessen. In 3700 m Höhe ging die Windgeschwindigkeit auf 135 km/h zurück, um in 8500 m Höhe über Grund das

absolute Maximum von 278 Stundenkilometern zu erreichen. Die Temperaturschichtung in der gesamten planetarischen Grenzschicht war infolge des starken vertikalen Austausches indifferent. Bei labiler thermischer Schichtung in den Sommermonaten konnten bei unseren Untersuchungen bei Kaltfrontpassagen zwar ebenfalls in dem Bereich von 5 – 10 m Höhe Scherbeträge angetroffen werden, die den kritischen Wert von 10 kn/30 m weit überschritten; in den darüberliegenden Schichten verringerten sich jedoch infolge starken vertikalen Austausches die Scherwerte sehr beträchtlich.

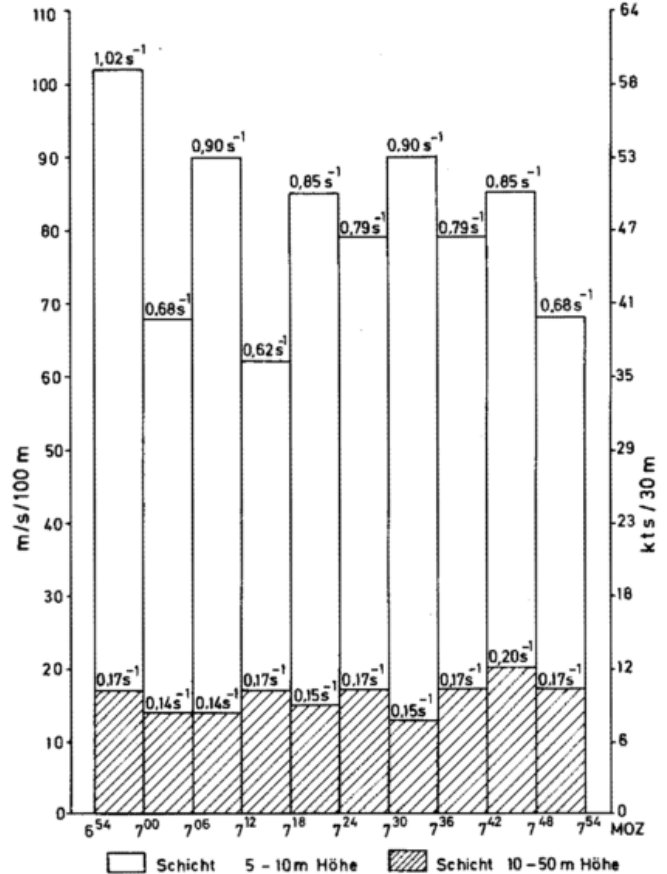


Abb. 2: Vertikale Scherwerte des Windes bei einer LLJ-Wetterlage. Garching, 3.1.1976

Vertikale Windscherungen in Verbindung mit nächtlichen Low Level Jets

Für Luftfahrzeuge gefährliche vertikale Windscherungen werden aber nicht nur an der Grenzfläche Boden – Luft beobachtet, sondern können auch innerhalb der planetarischen Grenzschicht in Verbindung mit nächtlichen Low Level Jets auftreten. Das zeigen u.a. Messungen, die am 26.4.1974 mit einem Fesselballon in Meppen/Nordwestdeutschland anlässlich eines Grenzschicht-Experiments bis rund 250 m Höhe durchgeführt wurden (4). Es erfolgten vier Aufstiege in der Zeit von 04.45 bis 07.35 MEZ. Die Großwetterlage war NEz; die Windrichtungen am Boden schwankten zwischen 20° und 50°, in 250 m Höhe zwischen 76° und 138°. Die vertikale Lufttemperaturverteilung, die vertikalen Windprofile und skalare Windscherung enthält die Abbildung 3. Bei der ersten Sondierung konnte das Geschwindigkeitsmaximum bei diesem Low Level Jet zwischen 121 m

und 157 m Höhe nicht voll erfaßt werden, da der Meßbereich der benutzten 4-Kanalsonde bei 10 m/s endete. In allen Fällen traten die Windmaxima jeweils in Verbindung mit Temperaturinversionen bzw. Isothermien oder einer starken Gradientänderung der Temperatur auf. Die Scherwerte an der Unterseite dieses niedertroposphärischen Windmaximums betragen beim ersten Aufstieg rund 6 m/s/100m. An der scharf ausgeprägten Oberkante wurden dann in einer ca. 40 m dicken Schicht negative Scherwerte von reichlich 20 m/s/100m angetroffen. Beim zweiten Aufstieg hatten sich die Windverhältnisse in der genannten Schicht nicht wesentlich geändert. Bei den beiden folgenden Sondierungen wurde in den unteren Dekametern eine negative Windscherung beobachtet, und an der Oberkante des signifikanten Windmaximums war die Scherung merklich zurückgegangen (rund 6,5 m/s/100 m). Auffallend hoch dagegen war die Windzunahme in der Schicht zwischen 54 und 94 m Höhe über Grund beim Aufstieg um 06.20 MEZ. Es ergibt sich hier eine vertikale Windscherung von 16,5 m/s/100 m. Beim letzten Aufstieg zeigte sich bereits ein Abbau dieses ausgeprägten Windmaximums.

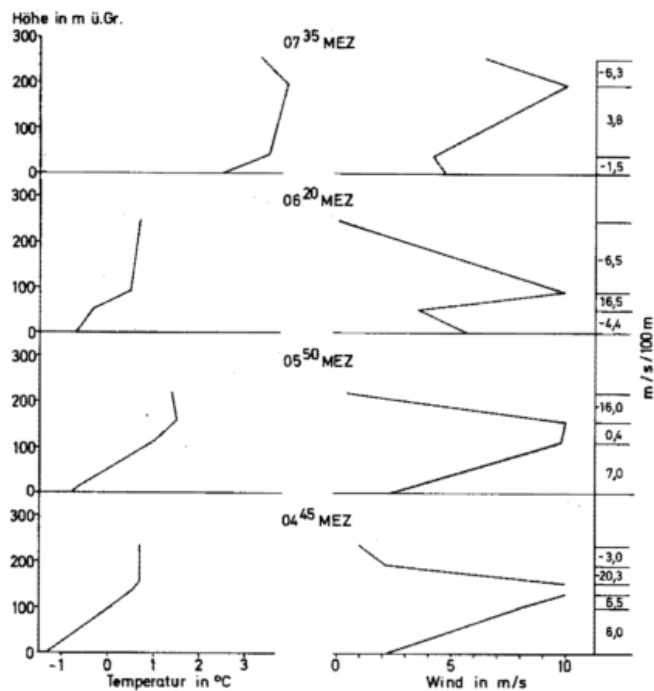


Abb. 3: Vertikale Temperatur- und Windprofile und vertikale Scherwerte des Windes. Meppen, 26.4.1974

Vertikale Windscherungen im Bereich von Frontflächen

Die Erfahrung hat inzwischen gelehrt, daß an Grenzflächen von feuchter, bodennaher Kaltluft und darüber aufgleitender Warmluft beachtliche vertikale Windscherungen angetroffen werden können, wie u.a. H. REGULA (5) zeigte. Leider liegen in solchen Fällen meistens nur qualitative Beschreibungen der Piloten vor. Entsprechende Messungen der Feinstruktur des Windes und der Temperatur in der Vertikalen bilden die Ausnahme. Es ist jedoch möglich, mit Hilfe der routinemäßigen Radiosondierungen derartige gefährliche Situationen zu erkennen, auch wenn exakte quantitative Angaben über vertikale Scherwerte infolge der Windbestimmung im Minutenabstand nicht möglich sind. Der Auf-

stieg vom 17.11.1972 am Flughafen München-Riem ist ein Beispiel hierfür (Abb. 4) (6). An diesem Tage zeigte die Bodenwetterkarte in den Mittagsstunden ein flaches Tief mit Kern westlich von Paris. Eine von ihm ausgehende Warmfront erstreckte sich um 13.00 MEZ über Reims, Augsburg nach Klagenfurt und trennte sehr warme Luft im Süden von kalter Luft im Norden. Vor der Front betrug die Temperaturen zwischen 1°C und 4°C, hinter der Front zwischen 13°C und 15°C. Die Bodenwarmfront lag in den Mittagsstunden noch knapp südlich von München. Auffallendste Erscheinung ist hier, daß in einer flachen feuchten Bodenkaltluftschicht der Wind aus annähernd östlicher Richtung wehte. In rund 800 m über Grund wurden Windgeschwindigkeiten von 36 m/s (70 kn) aus 260° angetroffen. Sowohl kurz nach dem Start in Windrichtung als auch bei der Landung mit Rückenwind können derartige Änderungen der Längswindkomponente zu einer Gefährdung des Luftverkehrs führen.

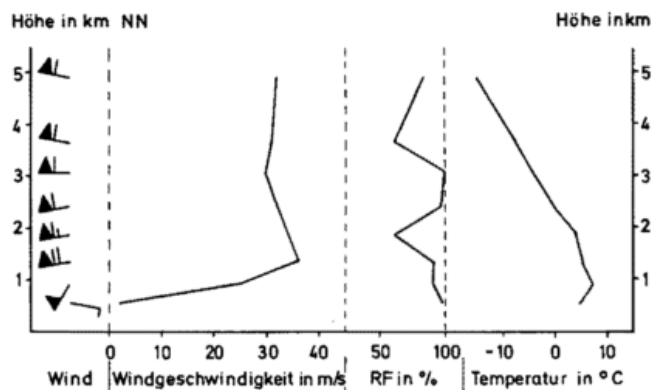


Abb. 4: Radiosondierung München 17.11.1972 12.00 GMT

Ein weiteres Beispiel soll noch Erwähnung finden, bei dem am Flughafen Hannover-Langenhagen beim Durchzug einer Okklusion am 24.1.1971 eine ähnlich gefährliche Situation

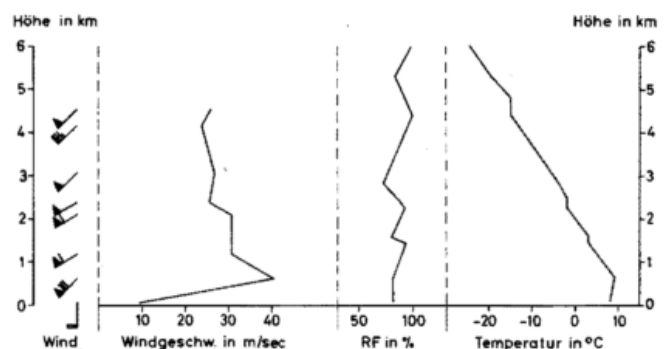


Abb. 5: Radiosondierung Hannover 24.1.1971 00.00 GMT

für die Luftfahrt auftrat (Abb. 5) (7). Die Radiosondierung zeigt um 00.00 GMT eine Bodeninversion, die bis 560 m Höhe über Grund reicht. An der Inversionsobergrenze wurde ein ausgeprägtes Windmaximum von 145 km/h angetroffen. Am Boden herrschte Südwind vor, an der Inversion drehte der Wind auf Südwest. Bei dieser zyklonalen Westwetterlage wurde durch Advektion hinter der Okklusion für die Jahreszeit ungewöhnlich warme Luft nach Mitteleuropa geführt.

Situationen der hier geschilderten Art können in unseren Breiten in der kalten Jahreszeit bei ausgeprägten zyklonalen Westwetterlagen und Advektion extrem warmer Luftmassen

immer dann beobachtet werden, wenn sich am Boden noch eine flache Kaltluftschicht als Rest einer abziehenden Antizyklone befindet oder sich infolge nächtlicher Wärmeabstrahlung eine Bodenkaltluftschicht gebildet hat. Besonders im Voralpenland, aber auch in ausgedehnten Tälern kann sich diese zähe Kaltluftschicht selbst bei hohen Windgeschwindigkeiten in den darüberliegenden Schichten über eine lange Zeit halten. Gefährliche Windscherungen an deren Obergrenze können die Folge sein.

Windscherungen im Bereich von Gewittern

Eine Reihe von Flugzeugabstürzen im Flughafenbereich bei Gewittern hat bewiesen, daß man die Gefahren, die startenden und landenden Luftfahrzeugen von dieser atmosphärischen Erscheinung drohen, lange Zeit nicht voll erkannt hat. So wurde beispielsweise im Jahre 1968 eine Verkehrsmaschine vom Typ DC-8 der Alitalia beim Landeanflug auf den Flughafen Mailand-Malpensa von einer Gewitterböe erfaßt und in einen Wald gedrückt. Am 24. Juni 1975 stürzte auf dem JFK-Flughafen in New York eine B-727 der Eastern Airlines bei einem Gewitter 730 m vor der Landebahn ab, wobei 113 Personen den Tod fanden. Kurze Zeit später, am 7. August 1975, verunglückte ein Flugzeug der Continental Airlines vom Typ B-727 kurz nach dem Start bei einem Gewitter am Stapleton-Airport in Denver. Von den beiden letztgenannten Unfällen liegen sorgfältige Analysen des meteorologischen Geschehens und des Unfallherganges vor, die auf Beobachtungs- und Registrierdaten, Radaraufnahmen, Zeugenaussagen sowie Aufzeichnungen des Flugschreibers basieren. Dabei hat sich eindeutig gezeigt, daß die Unfallursachen starke Downdrafts bzw. Downbursts*) unterhalb der Gewitterwolke und die mit ihnen im Zusammenhang stehenden plötzlichen Änderungen der Gegenwind-, Rückenwind- und Seitenwindkomponenten (Headwind-, Tailwind- und Crosswindkomponenten) in niedrigen Höhen waren.

Hier zunächst eine kurze Schilderung des Unfallherganges am J.F.-Kennedy-Flughafen: Beim Anflug in etwa 400 ft Höhe erhöhte sich die Sinkgeschwindigkeit der B-727 von etwa 675 ft/min auf 1500 ft/min infolge eines plötzlichen Rückganges des Gegenwindes um 15 kn und eines abwärts gerichteten Luftstromes von 21 ft/s. Das Flugzeug unterschritt den Gleitpfad, und die Flugzeuggeschwindigkeit verringerte sich innerhalb von 2,5 Sekunden von 138 kn auf 123 kn. Trotz Vollschubs in letzter Sekunde und Hochziehen des Flugzeugs konnte ein Aufschlag vor der Landebahn nicht verhindert werden (8).

Eine schematische Darstellung des Flugweges des kurz nach dem Start abgestürzten Jet B-727 am Stapleton-Airport in Denver und die Strömungskomponenten (Windverhältnisse) im Startbahnbereich zu dieser Zeit gibt Abbildung 6 wieder (9).

Der Start der B-727 der Continental Airlines erfolgte um 16.10 MDT. Kurz bevor das Flugzeug von der Startbahn abhob, setzte Regen ein. Einige Sekunden nach dem Abheben in etwa 50 – 100 ft. Höhe ging die Geschwindigkeit innerhalb von 5 Sekunden von 158 auf 116 kn zurück. 6,6 Sekunden später berührte das Flugzeug den Boden 120 m vor

*) Nach T. FUJITA und F. CARACENA (9) ein lokaler abwärts gerichteter Luftstrom unter einer Gewitterwolke, der in 300 ft über dem Boden eine Geschwindigkeit von 3,6 m/s überschreitet.

dem Startbahnende. Die Untersuchungen ergaben, daß das Luftfahrzeug in eine starke Downburst-Zelle geriet. Dabei traf es auf zunehmenden böigen Gegenwind kurz vor dem Abheben und durchflog dann das Zentrum der Abwindzelle; der Wind drehte hier um 180°. Die Rückenwindkomponente kurz vor dem Aufschlag errechnete sich zu 60 – 90 kn.

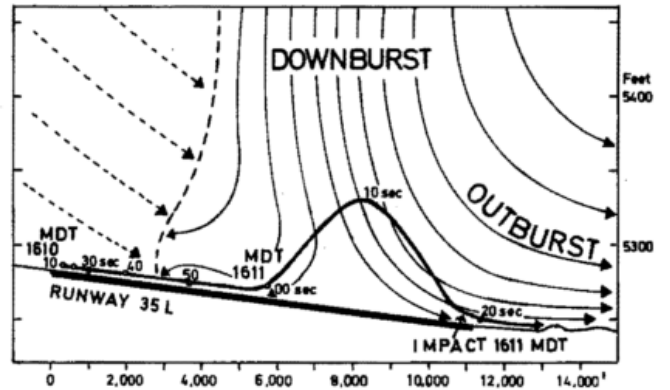


Abb. 6: Schematische Darstellung der Windverhältnisse und des Flugweges der B-727 der Continental Airlines am 7.8.1975 am Stapleton-Airport (nach (9))

Diese Erfahrungen zeigen, daß nicht nur eine Gewitterwolke selbst, sondern auch der Luftraum zwischen Wolkenbasis und Boden für Flugzeuge eine erhebliche Gefahrenzone darstellen kann. Aus der Gewitterwolke ausströmende bzw. herabstürzende Kaltluft wird in Bodennähe nach allen Seiten umgelenkt, strömt auswärts und bildet dann eine Downdraft- oder Downburst-Zelle von etwa 5 km Durchmesser. Aus der schematischen Darstellung in Abbildung 7 (9) ist zu erkennen, welche Windverhältnisse in diesem Gebiet auftreten.

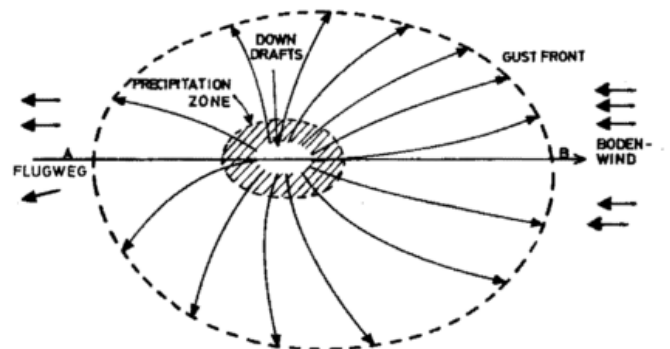


Abb. 7: Downdraft-Zelle (nach (10))

Bei einem Durchflug durch eine derartige Zelle von "A" nach "B" muß der Pilot an der Böenfront mit Turbulenz und Headwind-Shear rechnen; das Luftfahrzeug gewinnt hier unerwartet an Höhe. Später sind im Gebiet der herabstürzenden Kaltluft Downdraft- oder Downburst-Shears zu erwarten; plötzliches starkes Sinken des Flugzeuges ist die Folge. Beim Weiterflug erfährt es dann Tailwind-Shear; die Flugzeugeigengeschwindigkeit geht plötzlich zurück, das Luftfahrzeug verliert an Auftrieb und sinkt. Crosswind-Shear tritt auf, wenn der Flugweg seitlich an der Downdraft-Zone in niederen Höhen vorbeiführt. Das Flugzeug wird nach links oder rechts vom Kurs versetzt. In der Praxis

sind natürlich die Verhältnisse noch weitaus komplizierter als hier aufgezeigt werden konnte. Es kommt lokal und zeitlich zu wiederholten Downdrafts oder auch Downbursts. Bei Frontgewittern ist noch zusätzlich mit einem starken Windsprung an der Luftmassengrenze zu rechnen. Wie die Erfahrung gelehrt hat, stellen plötzliche Windänderungen in der horizontalen in niederen Höhen die größte Gefahr für Luftfahrzeuge dar. Da derartige Headwind, Tailwind, Crosswind- und Downdraft-Shears von lokalen Gewittern oder Frontgewittern verursacht werden, pflegt man diese Kategorie von Scherungen ganz allgemein Thunderstorm-Induced-Windshear oder Gust-Front-Windshear zu nennen. Die ICAO und die WMO haben inzwischen auf die Notwendigkeit hingewiesen, Piloten nicht nur über die vertikale Windscherung im Flughafenbereich, sondern auch über signifikante Windänderungen längs des Gleitpfades im Endanflug und des Flugweges beim Start zu informieren.

Böen- und Windshear-Warnsysteme

Der Unfall der B-727 der Continental Airlines in Denver 1975 hat deutlich gemacht, daß Gewitter gefährliche Böen und Windscherungen hervorrufen können, die mitunter nur einen Teil des Flughafens oder der Start- und Landebahn erfassen und so von einem einzelnen Windmeßgerät auf dem Flughafen überhaupt nicht erfaßt werden. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, Anemometer an mehreren Stellen eines Flughafens, insbesondere aber an den verschiedenen Runways zu installieren, wie es inzwischen beispielsweise in Chicago O'Hare versuchsweise durchgeführt wird. Am Flughafen selbst und in dessen Umgebung wurden zusätzlich Luftdrucksensoren aufgestellt, um die Intensität von Gewitterfronten zu ermitteln und deren Weg verfolgen zu können mit dem Ziel, rechtzeitig Warnungen an Piloten herausgeben zu können. Für den Dulles-Airport in Washington ist ebenfalls die zusätzliche Installation von Anemometern und von etwa 100 Drucksensoren vorgesehen.

Zu Versuchszwecken wurde außerdem an diesem Flughafen ein akustisches Doppler-System gekoppelt mit einem Doppler-Radar eingesetzt, um die vertikale Windscherung bis 500 m Höhe zu ermitteln, wie sie beispielsweise an Inversionen und Fronten angetroffen wird. Laser-Doppler-Systeme und Doppler-Radargeräte können möglicherweise die Windsche-

rung längs des Flugweges erfassen und so wesentlich zur Erhöhung der Flugsicherheit im Flughafenbereich beitragen.

Literatur

- (1) ICAO/WMO
Working Paper: AN Conf/8-WP/7. CAeM Ext. (74)/Doc 8 (1974). App. B.
- (2) DUBOV, A.S.
Variations of wind, temperature and turbulence in the lowest 1 km. WMO-Technical Note Nr. 95 (1969)
- (3) CLODMAN, J. et al
Windregime in the lowest one hundred meters as related to aircraft take-off and landings. WMO-Technical Note Nr. 95 (1969).
- (4) BEYER, R.; ROTH, R.
GREIV I 1974 Meßdaten. Ber. d. Inst. f. Meteorol. u. Klimatol. d. Techn. Univ. Hannover Nr. 16 (1976).
- (5) REGULA, H.
Meteorologie und Luftverkehr. Steinebach-Wörthsee: Luftfahrtverlag W. Zuerl (1974).
- (6) WEBER, F.
Zum Problem des Low Level Jet im nördlichen Alpenvorland. Fachl. Mitt. d. Amts f. Wehrgeophysik Nr. 178 (1974)
- (7) WEBER, F.
Niedertroposphärische Windmaxima über Hannover und ein Vergleich mit den Verhältnissen im nördlichen Alpenvorland. Fachl. Mitt. d. Amts f. Wehrgeophysik Nr. 184 (1977).
- (8) LORD, G.
Windshear: That sinking feeling. Flight International 1977
- (9) FUJITA, T.; CARACENA, F.
An analysis of three weather-related aircraft accidents. Bull. Amer. Meteorol. Soc. 58 (1977) Nr. 1, S. 1163 – 1186
- (10) KALAFUS, R.; HALLOCK, J.
Requirements for an airport ground-based wind shear detection system. Seventh Conference on Aerospace and Aeronautical Meteorology and Symposium on Remote Sensing from Satellites Nov. 16 – 19, 1976, Melbourne, Fla. Boston: Amer. Meteorol. Soc. 1976 S. 182 – 187.

2

F. WEBER, Oberpfaffenhofen

Zum Problem der Wake Turbulence

Auf dem Flughafen von Fort Worth/USA befand sich am 30. Mai 1972 ein Flugzeug vom Typ DC-9 beim Landeanflug hinter einer durchstartenden DC-10. Der Abstand zwischen beiden Flugzeugen betrug 2,25 nm. In einer Höhe von ungefähr 30 m und rund 400 m von der Landebahnschwelle entfernt, drehte sich die DC-9 plötzlich 90° um ihre Längsachse, berührte mit der rechten Tragfläche den Boden und stürzte in Rückenlage ab. Bei diesem Unfall kamen die 4 Besatzungsmitglieder des Düsen-Jet, der sich auf einem Trainingsflug befand, ums Leben.

Ein ähnlicher Zwischenfall ereignete sich am 6.12.1975 auf dem Flughafen Rhein-Main/Frankfurt. Im Anflug auf den Flughafen, Landebahn 25 L, Höhe 3000 ft, auf Gleitpfad und Mittellinie, Geschwindigkeit 175 - 180 kn, wurde eine B-737 der Deutschen Lufthansa plötzlich nach links gerissen. Das Flugzeug ging trotz sofortigem Gegenruderausschlag in eine 60°-Schräglage. Nach ca. 1 Sekunde Horizontalflug erfolgte dann eine plötzliche Rechtsdrehung um die Längsachse auf ebenfalls 60°-Schräglage. Die Staffelung zu den beiden vorausfliegenden Flugzeugen, einer B-737 und

einer B-707, war normal; der Anflug fand unter Sichtflug-Bedingungen bei sehr ruhiger Luft statt. Als Ursache für diese plötzlichen Rollbewegungen, die unerwarteten Drehbewegungen dieser beiden Flugzeuge um die Längsachse, kommen ganz offensichtlich *Wake Vortices* – Sogwirbel – in Frage, die von den vorausfliegenden Düsenmaschinen erzeugt wurden.

Entstehung und Verhalten der Wake Vortices

Seit man erkennen mußte, daß *Wake Vortices* für Luftfahrzeuge, insbesondere bei Start und Landung, eine ernstzunehmende Gefahr darstellen, haben vor allem in den USA Forschungsanstalten, Bundesbehörden, Hochschulinstitute, die Privatindustrie und die Luftwaffe theoretische Studien, Laborexperimente und umfangreiche praktische Flugversuche zum Studium dieses Problems in Angriff genommen. Dabei hat es sich gezeigt, daß sich an den Tragflächenenden bzw. Flügelspitzen von Luftfahrzeugen Sogwirbel bilden. Durch den Überdruck an den Tragflächenunterseiten und Unterdruck an den Oberseiten der Tragflächen entstehen eine Luftströmung um die Randbögen der Flügel herum und somit *Wake Vortices*. Diese Sogwirbel stellen ein Wirbelpaar aus entgegengesetzt rotierenden zylinderförmigen Luftmassen dar (Abb. 1).

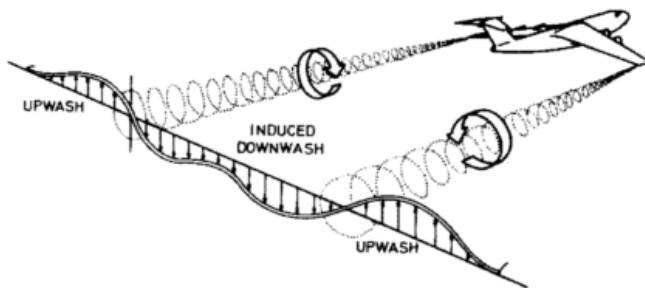


Abb. 1: *Wake Vortices* und die in ihrem Bereich auftretenden Luftbewegungen (nach NASA (1))

Beim Start beginnen sie sich beim Abheben des Bugrades zu bilden und verschwinden, sobald das Bugrad beim Landen den Boden berührt. Der Durchmesser der Wirbel liegt zwischen 15 und 45 m. Die Rotationsgeschwindigkeit einige Meilen hinter Großraum-Jets beträgt am Wirbelrand zwischen 75 und 160 km/h. Daraus ergibt sich eine Winkelgeschwindigkeit von $\geq 100^\circ/\text{s}$. Beim Flug in Bodennähe und bei Windstille wandern die Wirbel zunächst senkrecht nach unten, bilden regelrechte *Trailing Vortices* – Wirbelschleppen – und bewegen sich dann seitlich nach außen mit einer Geschwindigkeit von etwa 5 kn in einer Höhe von einer halben Flugzeugspannweite über dem Boden (Abb. 2). Bei Seitenwind ändert sich die Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit entsprechend. Bei Flügen in größeren Höhen sinken *Wake Vortices* mit einer Geschwindigkeit von ca. 400 ft/min nach unten und verbleiben dann in einer Höhe von ca. 800 ft unterhalb des Flugweges bis zu ihrer Auflösung (2).

Als weiteres Ergebnis der Untersuchungen hat sich gezeigt, daß die Wirbelschleppen vier *Lebensstadien* durchlaufen. Die erste Phase ist das *Aufrollstadium*. Im anschließenden *Absinkstadium* wandern die *Wake Vortices* nach unten, ohne sich mit der Umgebungsluft zu vermischen oder diese zu beeinflussen. Die rotierenden Luftmassen liegen etwa

$3/4$ Flügelspannweite auseinander. Anschließend durchlaufen die *Trailing Vortices* das *Vermischungsstadium*; Umgebungsluft und Luft der Wirbel vermischen sich. In der letzten Phase, dem *Verfallstadium*, beobachtet man nur noch sehr langsames oder gar kein Absinken der Wirbelluft mehr. Alle Energie der Wirbelschleppen dissipiert.

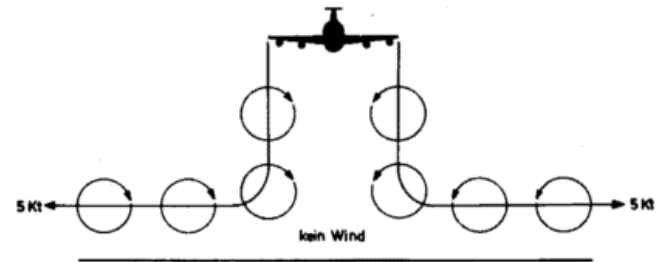


Abb. 2: Bewegung der *Wake Vortices* beim Flug in Bodennähe bei Windstille (nach FAA (3))

Gefahren durch *Trailing Vortices*

Abbildung 1 läßt die Gefahren erkennen, denen Luftfahrzeuge im Bereich von Wirbelschleppen ausgesetzt sind. Am gefährlichsten sind Rollmomente um die Längsachse eines Flugzeuges, die von den rotierenden Luftmassen in den Wirbeln erzeugt werden. Insbesondere kann dann im Endanflug in niedriger Flughöhe mit relativ kleiner Geschwindigkeit und niedriger Triebwerksleistung nicht mehr in Normlage gebracht werden. Selbst wenn ein solches Manöver gelingt, kommt es häufig zu Überbeanspruchungen des Materials. Innerhalb und parallel zu den Wirbeln erfolgt ein sogenannter *Downwash*, ein starkes Abwärtsströmen der Luft. Bei einem unmittelbar nachfolgenden Flugzeug kann das Höhenverlust und insbesondere beim Start eine gefährliche Herabsetzung der Steigrate bedeuten. So wurden offensichtlich in den Jahren 1964 – 1973 in den USA eine beachtliche Zahl von Flugunfällen durch *Wake Vortices* verursacht. Dabei waren besonders Leichtflugzeuge betroffen. Deshalb sah man sich im Jahre 1975 gezwungen, die Längsstaffelung beim Landeanflug von allgemein 3 nm auf 3, 4, 5 oder 6 nm heraufzusetzen. Die unterschiedliche Längsstaffelung ergibt sich aus dem Fluggewicht des vorausfliegenden und dem des folgenden Luftfahrzeuges. Nach Heraufsetzung der Staffelungsminima gingen die *Wake-Turbulenz-Zwischenfälle* stark zurück. Allerdings verringerte sich dadurch auch die Flughafenkapazität um mindestens ein Drittel. Gäbe es eine Möglichkeit, diese Wirbel meßtechnisch zu erfassen, so brauchte man nur im Gefahrenfall die Längsstaffelung der Luftfahrzeuge heraufzusetzen. Deshalb hat man im Jahre 1973 am JFK-Flughafen in New York und am Stapleton-Airport in Denver/Colorado entsprechende Versuche mit meteorologischen *Vortex Advisory Systemen (VAS)* und *Ground Wind Vortex Sensing Systems (GWVSS)* begonnen. Diese erprobten VAS und GWVSS stellte die US-Luftfahrtbehörde FAA im Jahre 1974 der zivilen englischen Luftfahrtbehörde CAA für einen gemeinsamen amerikanisch-englischen Großversuch am Flughafen London-Heathrow zur Verfügung. Für die Untersuchung wurde die Landebahn 28 R ausgewählt, weil in Heathrow Westwinde vorherrschen und somit die Möglichkeit bestand, eine große Anzahl von Landungen zu verfolgen. Hier erfolgte in dem Anflugkorridor zwischen dem Middle Marker (Haupteinflugzeichen) und der Landebahnschwelle senkrecht zur Anflug-

grundlinie, also zur verlängerten Centerline, die Aufstellung von einachsigen Gill-Propelleranemometern in zwei Reihen im Abstand von 732 und 450 m von der Landebahnschwelle. Die Trailing Vortices erzeugen eine ausgeprägte Windgeschwindigkeitsänderung, die mit diesen Anemometern erfaßt wird, wodurch die Wirbelwalzen verfolgt werden können (Abb. 3).

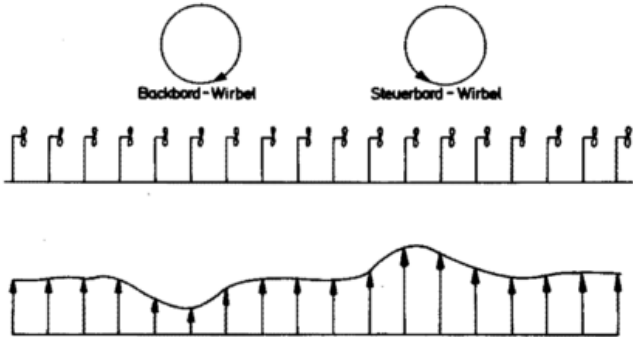


Abb. 3 : Anordnung der Gill-Anemometer und Änderungen der Windgeschwindigkeiten durch Trailing Vortices (nach HALLOCK und GOLDSTONE (5))

Außerdem wurden zwei meteorologische Türme in der inneren Meßreihe installiert, die mit je 2 Dreikomponenten-Windschreibern ausgerüstet waren.

Das Meßprogramm lief in der Zeit von Mai 1974 bis Juni 1975. Sämtliche meteorologischen Daten und alle Flugsicherungs- und Flugbetriebsdaten wurden auf Magnetband gespeichert und dann zur Bearbeitung zum Transportation System Center des US-Department of Transportation geschickt. Die Analyse der Daten zeigte bei 12422 auswertbaren Anflügen und 9100 erfaßten Wirbelschleppen, daß sich nach rund 120 Sekunden keine Wake Vortices mehr in der Sicherheitszone der Landebahn 28 R befanden. Die Sicherheitszone wurde auf einen Streifen von 150 ft beiderseits der Anfluggrundlinie zwischen Middle Marker (ca. 900 m vor der Landebahn) und der Landebahnschwelle festgelegt. Die Wirbel können aber auch schneller in dem erwähnten Anflugbereich verschwinden. Wie aus Abbildung 4 ersicht-

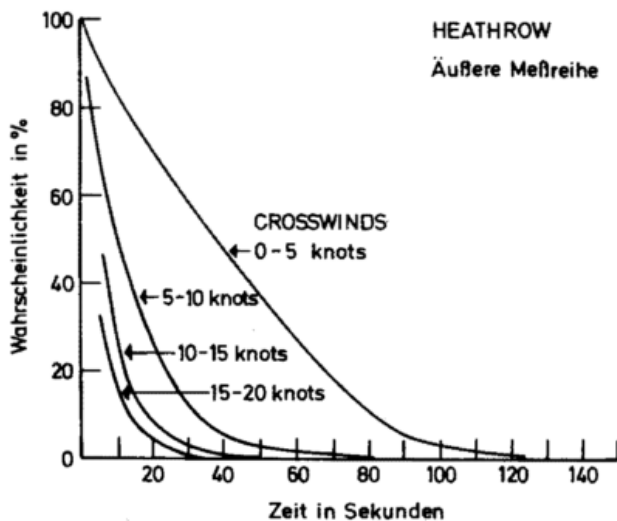


Abb. 4: Verweilzeit von Trailing Vortices in der Sicherheitszone von Heathrow (nach HALLOCK und GOLDSTONE (5))

lich, sind bei einem Seitenwind von ≥ 5 kn bereits nach 80 Sekunden keine Wirbelschleppen mehr zu beobachten gewesen. 80 Sekunden wiederum bedeuten bei allen modernen Flugzeugen im Landeanflug eine Längsstaffelung von < 3 nm.

Theoretisch hätte man hier also die Längsstaffelung beim Landeanflug bei einer Querwindkomponente von etwa 5 kn bedenkenlos auf die früher üblichen 3 nm herabsetzen können. Da die schweren Flugzeuge die intensivsten und langlebigen Wirbel erzeugen, hat man vorsichtshalber eine getrennte Analyse von 113 Trailing Vortices, die bei 1310 Anflügen hinter Großraumflugzeugen beobachtet wurden und ≥ 80 Sekunden in der Sicherheitszone der Landebahn 28 R von London-Heathrow verweilten, durchgeführt. Eine Korrelation mit den jeweiligen Windkomponenten läßt erkennen, daß bei einem Gegenwind von > 12 kn, einem Rückenwind von > 8 kn und einem Seitenwind von $> 5,5$ kn keine Wake Vortices mehr angetroffen wurden (Abb. 5).

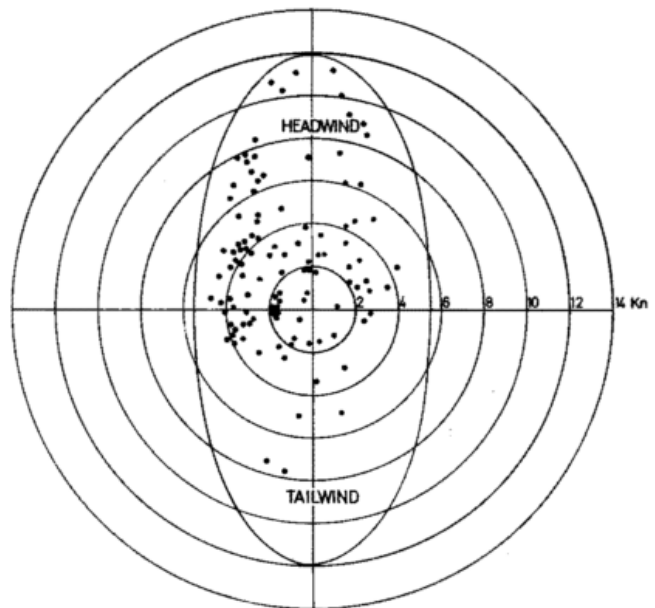


Abb. 5: Elliptisches Windkriterium; Windkomponenten in kts · Fälle von Wake Vortices mit einer Verweilzeit ≥ 80 s in der Sicherheitszone (nach HALLOCK und WOOD (4))

Da die gewonnenen Meßpunkte wohl am besten von einer Ellipse eingeschlossen werden, spricht man von einem "elliptischen Windkriterium". Liegen die Windgeschwindigkeitskomponenten in Heathrow außerhalb der Ellipse, dann beträgt die Verweilzeit der Wake Vortices in der Sicherheitszone weniger als 80 Sekunden. Folglich ist es dann gerechtfertigt, die Längsstaffelung auch hinter schweren Flugzeugen auf 3 nm herabzusetzen. Somit läßt sich die Wirtschaftlichkeit eines Flughafens ohne Minderung der Flugsicherheit erhöhen.

Aufgrund der gemachten Erfahrungen wurde beschlossen, in Chicago O'Hare, dem Flughafen, der in den USA die größte Verkehrsdichte aufweist, diese einfachen meteorologischen Vortex Advisory Systems (VAS) zu installieren. Chicago O'Hare wurde ausgewählt, weil hier bei Anflügen unter IFR-Bedingungen die Kapazitätsgrenze bereits überschritten ist und der Anteil der Großraumflugzeuge an den Flugbewegungen schon 17% erreicht hat. Die Ausrüstung

des meteorologischen VAS besteht aus sieben 50-Fuß (15m) -Türmen, um die aktuellen Windverhältnisse im Start- und Landebereich ermitteln zu können; denn wie Untersuchungen gezeigt haben, weist das Windfeld im Bereich eines Großflughafens nicht selten beträchtliche Inhomogenitäten auf. Ein Windmeßgerät ist in 50 ft und jeweils zwei in 40 ft (12 m) Höhe installiert. Im 12-m-Niveau sind die zwei Windsensoren um 180° versetzt, um die vom Turm unbeeinflusste Strömung erfassen zu können. Nur beim Ausfall der 50-ft-Meßdaten werden automatisch die Werte vom 40-ft-Niveau für die weiteren Untersuchungen herangezogen. Im Datencenter wird dann mittels Computer ermittelt, ob der Windvektor für die einzelnen Anflugsektoren außerhalb oder innerhalb des erwähnten elliptischen Windkriteriums liegt. Leuchtet am Schaltpult des Flugsicherungscontrollers die grüne Lampe auf, so muß angenommen werden, daß der Anflugkorridor der gewünschten Landebahn frei von Wake oder Trailing Vortices ist und die Staffelung für Flugzeuge aller Gewichtsklassen auf 3 nm herabgesetzt werden kann. Analog gilt beim Aufleuchten der roten Lampe bei der Wahl einer bestimmten Landebahn die 3-4-5-6-nm-Längsstaffelung. Zur Überprüfung der Brauchbarkeit der VAS wurden in Chicago O'Hare drei Ground Wind Vortex Sensing Systems (GWVSS), bestehend aus Gill-Anemometer (s. Abb. 3), im Anflugbereich der am häufigsten benutzten Landebahnen installiert. Es wird der gesamte Anflugkorridor der betreffenden Landebahnen erfaßt. Im Transportation Systems Center des US-Department of Transportation werden die angezeigten Staffelungen am Bildschirm des Controllers, die als Magnetbandaufzeichnungen vorliegen, mit den Meßdaten des GWVSS verglichen, um festzustellen, ob bei der Anzeige "grün" am Kontrollpult des Flugsicherungslotsen der Anflugsektor auch tatsächlich frei von Wake Vortices war, bzw. ob bei "rot" Sogwirbel von den Gill-Anemometern aufgespürt wurden. Eine umfangreiche Statistik soll Aufschluß darüber geben, inwieweit sich die Flughafenkapazität von Chicago-O'Hare bei der Übernahme dieses meteorologischen VAS in den Routinedienst verbessern würde. Die bis jetzt gewonnen Ergebnisse werden als "sehr ermutigend" bezeichnet.

Da erfahrungsgemäß die atmosphärische Turbulenz für einen schnelleren Zerfall der Wake Vortices sorgt, wird gleichzeitig noch die Böigkeit, der vertikale Temperaturgradient und die Windscherung im Anflugbereich meßtechnisch miterfaßt. Untersuchungen sollen Aufschluß darüber geben, ob man unter Berücksichtigung dieser meteorologischen Pa-

rameter die Staffelungsminima, wie sie das elliptische Windkriterium vorgibt, schließlich noch weiter reduzieren kann. Der Schlüssel für die Erhöhung der Flughafenkapazitäten, Vermeidung von Verspätungen und Gewährleistung der Sicherheit ist die genaue Kenntnis der Windfelder im Flughafenbereich. Außerdem laufen Versuche zur direkten Ortung und Verfolgung von Sogwirbeln mit Laser-Doppler-Systemen und akustischen Radarsystemen, wie z.B. am JFK-Flughafen in New York (6).

Der Vollständigkeit halber soll erwähnt werden, daß man andererseits bemüht ist, durch technische Änderungen am Luftfahrzeug die Bildung dieser energiereichen Wirbel zu verhindern. Nach umfangreichen Tests und sorgfältiger Analyse aller angefallenen Meßdaten wird dann die Entscheidung über die Einführung und Integrierung eines Vortex Avoidance Systems in den Flugsicherungsbetrieb getroffen werden können. Bis zu diesem Zeitpunkt gelten noch die augenblicklichen erhöhten Staffelungsminima. Ziel der US-Luftfahrtbehörde FAA ist es, ganz allgemein im Anflugbereich eine 2 nm-Separation zu erreichen.

Literatur

- (1) NASA
NASA research in wake turbulence and trailing vortex. Aviation Fact Sheet, Sept. 1970
- (2) SHEFTEL, D. J.
AGARD-Conference Proceedings Nr. 212 on aircraft operational experience and its impact on safety and survivability (1976). Vortr. Nr. 18, S. 1 - 8.
- (3) FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA)
Advisory Circular. AC No: 90 - 23 B. 19. Febr. 1971.
- (4) HALLOCK, J. N.; WOOD, W. D.
Joint US/UK Vortex Tracking Program at Heathrow International Airport. Transportation Systems Center, Cambridge/Mass., FAA-RD-76-58 (1976)
- (5) HALLOCK, J. N.; GOLDSTONE, L.
US/UK Vortex Monitoring Program at Heathrow Airport. Proceedings of 20th Symposium of the Guidance and Control Panel, Plans and Developments for Air Traffic Systems. AGARD (1975). S 24-1 - 24-9.
- (6) HALLOCK, J. N.; WOOD, W. D.; SPITZER, E. A.
The motion of wake vortices in the terminal environment. Proceedings of the AIAA/AMS Sixth Conference on Aerospace and Aeronautical Meteorology, El Paso, Texas, Nov. 1976. S. 393 - 398.

3 F. WEBER, Oberpfaffenhofen Strahlströme im Satellitenbild

Neben der Sicherheit ist die Wirtschaftlichkeit der wesentliche Faktor im kommerziellen Luftverkehr. Seit der Ölkrise sind die Luftverkehrsunternehmen mit ihren Großraum- und Überschallflugzeugen mehr denn je darauf bedacht, auf dem Minimum-Flugweg, also mit einem Minimum an Zeit zum Ziel zu gelangen (s. Beitrag DEMMLER S. 17). Daß starker Gegenwind, speziell im Bereich von Strahlströmen, auch heute noch auf der vielbeflogenen Nordatlantikroute für Überraschungen sorgt, zeigte eine Zwischenlandung

einer "Concorde" wegen Kraftstoffmangels im März dieses Jahres in Halifax/Neuschottland auf dem Flug von Paris nach New York. Deshalb kommt besonders über spärlich besiedelten Gebieten und über Ozeanen, wo direkte Messungen fehlen, der Lokalisierung von Starkwindfeldern bzw. Strahlströmen mit Hilfe von Satellitenbildern erhöhte Bedeutung zu. WHITNEY, TIMCHALK und GRAY (1) stellten fest, daß in 80% der Fälle beim Auftreten von Wolken ein Jet identifiziert werden kann. Auch KLETTER (2) er-

wähnt, daß ein Strahlstrom entlang seiner Achse ausgeprägte cirroforme Wolken erzeugt. Nach DZYUBENKO und TSARKOVA (3) konnte die geographische Lage der Strahlströme über der UdSSR anhand von Satellitenbildern im sichtbaren und infraroten Bereich in 46% der Fälle ermittelt werden. In 54% der Fälle gab das Wolkenfeld keinen Hinweis auf einen Jetstream bzw. der Himmel war wolkenlos.

Die Möglichkeit der Lokalisierung von Strahlströmen anhand von Satellitenbildern bzw. einer Aufnahme aus dem Weltraumschiff Gemini-12 soll im folgenden an besonders charakteristischen Wolkenformationen aufgezeigt werden.

Im ersten Fall handelt es sich um einen Polarfront-Strahlstrom, dessen Achse am 26. 3. 1968 von Belgien über Schweden nach Südfinnland verläuft. Die 12.00-GMT-Topographie der 300-mbar-Fläche läßt einen schwachen Höhentrog über Skandinavien, der Nordsee und dem Kanal erkennen (Abb. 1).

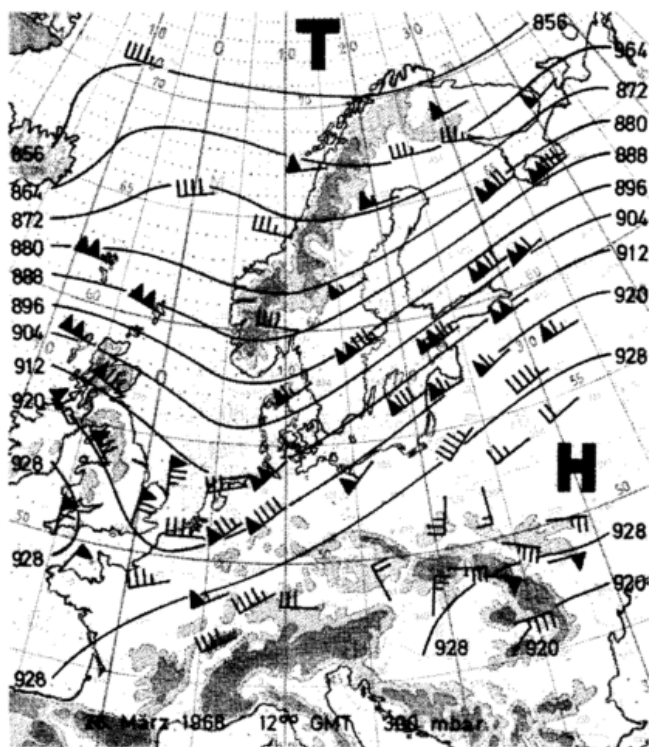


Abb. 1: Topographie der 300-mbar-Fläche vom 26. 3. 1968, 12.00 GMT

Eine Zone hohen Luftdrucks erstreckt sich von Nordafrika über die Alpen hinweg nach Mittelrußland. Tiefer Druck herrscht im Raume Novaja Semlja – Spitzbergen – Grönland vor. Auf der Vorderseite des Trogas befindet sich eine ausgeprägte Frontalzone, in der Windgeschwindigkeiten von über 135 kn angetroffen werden. Aufgrund eines engmaschigen Radiosondennetzes in Europa lassen sich die Windverhältnisse im Jet-Bereich exakt erfassen und somit die geographische Lage der Strahlstromachse gut lokalisieren. In Ergänzung hierzu zeigt die Abbildung 2 in einem Vertikalschnitt senkrecht zur Frontalzone zwischen Minsk und Bodö für den Höhenbereich von 6 – 14 km den Verlauf der Isothermen und Isotachen für 00.00 GMT. Während zwischen Minsk und Stockholm die Isothermen annähernd horizontal verlaufen, stellt sich zwischen Stockholm und Bodö ein starkes horizontales Temperaturgefälle ein. So wird in 7 km Höhe über Stockholm eine Temperatur von

-32°C beobachtet, über Bodö hingegen von -49°C. In etwa 11 km Höhe erfolgt eine Umkehr des horizontalen Temperaturgradienten. Die Tropopause befindet sich auf der antizyklonalen Seite der Frontalzone in rund 12750 m Höhe, auf der Tiefdruckseite in 8500 m. Im Zwischenbereich wird das Windmaximum, also der Jet-Kern, um Mitternacht mit rund 230 km/std in reichlich 9000 m Höhe über Stockholm angetroffen. Hier sei noch vermerkt, daß im Bereich der Frontalzone eine Tropopause im üblichen Sinne überhaupt nicht existiert (4).

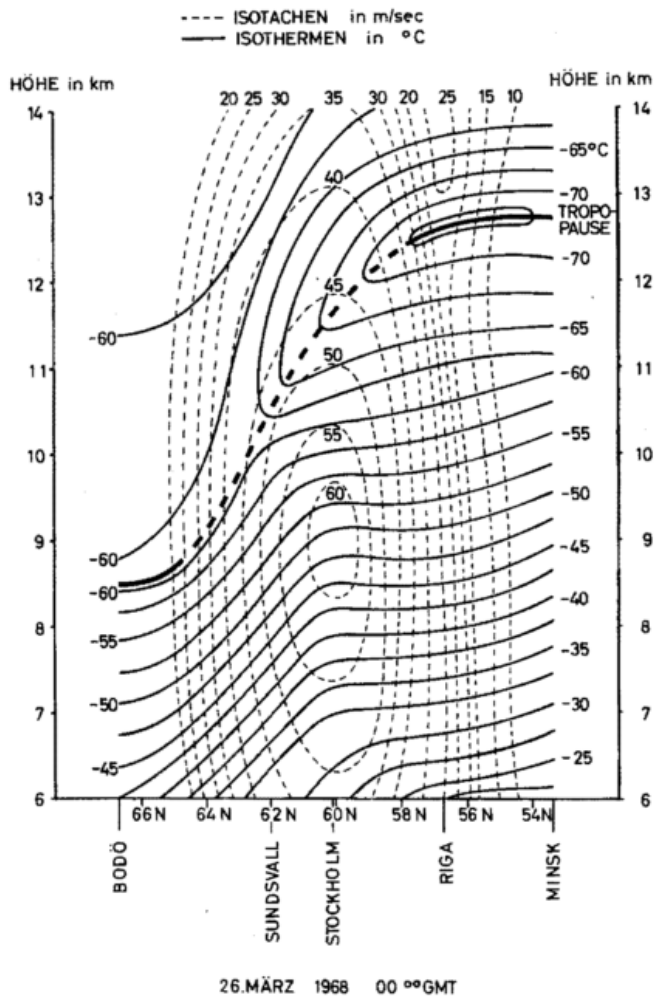


Abb. 2: Vertikalschnitt senkrecht zur Frontalzone: Isothermen und Isotachen 26.3.1968, 00.00 GMT

Im Satellitenbild kann man die Lage der Jetstream-Achse mit einem Blick über große Strecken hin festlegen (Abb. 3). Die ESSA-8-Aufnahme vom 26. März um 09.51 GMT läßt deutlich das schnee- und eisbedeckte Norwegen und Schweden sowie den Bottnischen Meerbusen erkennen, der in seinem nördlichen Teil noch eine geschlossene Eisdecke aufweist. Bemerkenswert für den Meteorologen ist ein breiter Cirrostratusschirm, der sich von Deutschland über die Ostsee hinweg mit leicht antizyklonaler Krümmung nach Südfinnland erstreckt. Die scharfe Begrenzung dieses Wolkenbandes an seiner polaren, in Windrichtung gesehen linken Seite, ist identisch mit der Strahlstromachse. Diese verläuft von Luxemburg über Kopenhagen und Stockholm nach Archangelsk. Befindet sich unterhalb der hohen Schichtbewölkung eine Schicht tiefer Wolken, oder ist die Erdoberfläche mit Schnee und Eis bedeckt, so ergibt sich unter entsprechenden Voraussetzungen durch Schattenwurf ein dunkler Strei-

fen auf dem Satellitenfoto. Durch diese Erscheinung wird die Diagnose der geographischen Lage der Jet-Achse noch wesentlich erleichtert.

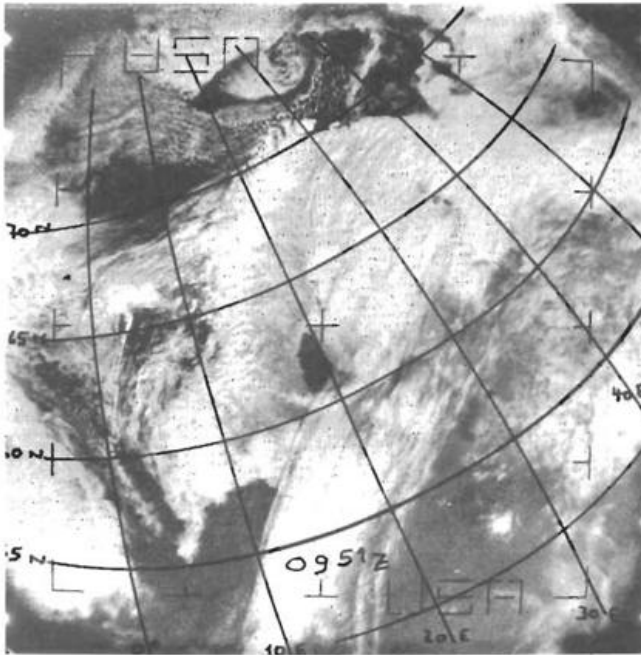


Abb. 3: Charakteristisches cirroformes Schichtwolkenband auf der antizyklonalen Seite eines Polarfront-Strahlstromes am 26.3.1968, 09.51 GMT (Aufnahme: ESSA 8, APT-Empfangsanlage DWD, Offenbach a.M.)

Über dem dichtbesiedelten Europa lassen sich Starkwindfelder anhand der in ausreichender Zahl zur Verfügung stehenden Radiosondierungen gut diagnostizieren, wie dieses Beispiel vom 26. 3.1968 gezeigt hat. Anders verhält es sich über den ausgedehnten Ozeanen, dünn besiedelten Gebieten oder unterentwickelten Ländern der Erde mit einem sehr weitmaschigen Radiosondennetz oder sogar fehlenden aerologischen Aufstiegsstationen. Hier sind Satellitenaufnahmen für Analyse und Prognose synoptischer Verhältnisse und aerologischer Zustände, speziell von Starkwindfeldern, unentbehrlich geworden, wie das folgende Beispiel vom 11. November 1970 zeigt.

An diesem Tage liegt ein Höhentrog, der von einem Tief bei Island ausgeht, über dem östlichen Nordatlantik, wie aus der absoluten Topographie der 300-mbar-Fläche von 12.00 GMT zu ersehen ist (Abb. 4).

Auf der Trogvorderseite verläuft ein Strahlstrom vom Gebiet nördlich der Azoren über Schottland hinweg nach Süd-Norwegen. Das Satellitenfoto vom 11. November 1970, aufgenommen vom ESSA 8 um 12.06 GMT in 1450 km Höhe, läßt einen ausgedehnten hellen Cirrusschirm auf der südlichen, der subtropischen Seite eines Polarfront-Strahlstromes erkennen (Abb. 5). Es handelt sich hierbei um cirroforme Schichtbewölkung, deren Obergrenze mit Hilfe von Infrarotaufnahmen auf 11000 m Höhe bestimmt wurde. Der scharfe, glatte linke Wolkenrand kennzeichnet die Jet-Achse. Auf der linken, der zyklonalen Seite des Strahlstroms, liegt die instabile Kaltluft mit cumuloformer Bewölkung.

Eine Isotachenanalyse des Windfeldes im 300-mbar-Niveau anhand von Flugberichten und Radiosondierungen und eine Lokalisierung der Jet-Achse aufgrund von Wolkensystemen mittels Satellitenfotos führt zum gleichen Ergebnis (5). Eine

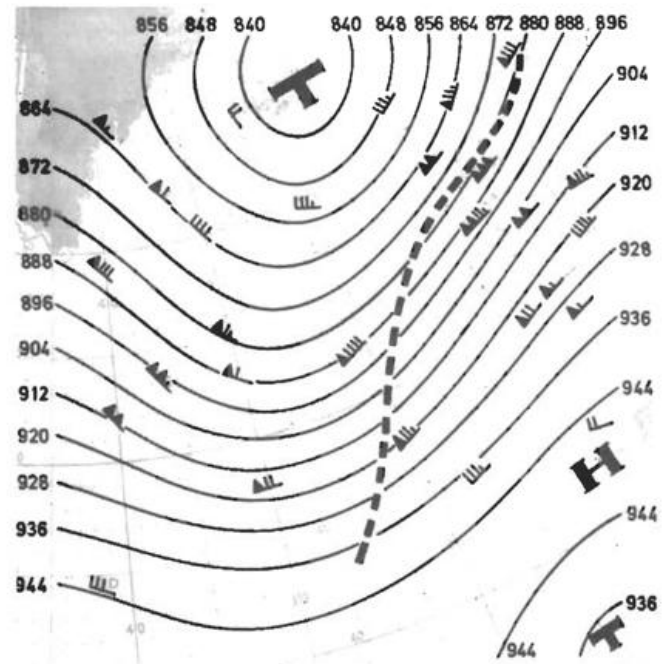


Abb. 4: Absolute Topographie der 300-mbar-Fläche 11.11. 1970, 12.00 GMT

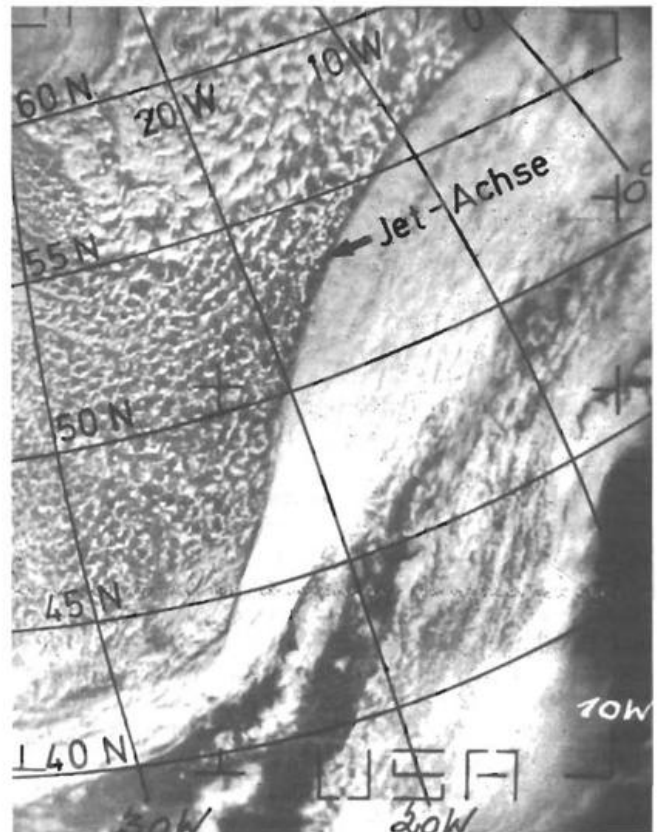


Abb. 5: Strahlstrom im Satellitenbild vom 11.11.1970, 12.06 GMT (Aufnahme: ESSA 8, APT-Empfangsanlage DWD, Offenbach a.M.)

zusätzliche Isotachenanalyse mit Hilfe der aktuellen Radiosondierungen vom selben Tage um 12.00 GMT senkrecht zur Frontalzone zwischen Paris und Thorshavn (Faröern) bestätigt das Jet-Maximum über Shanwell in Schottland (Abb. 6).

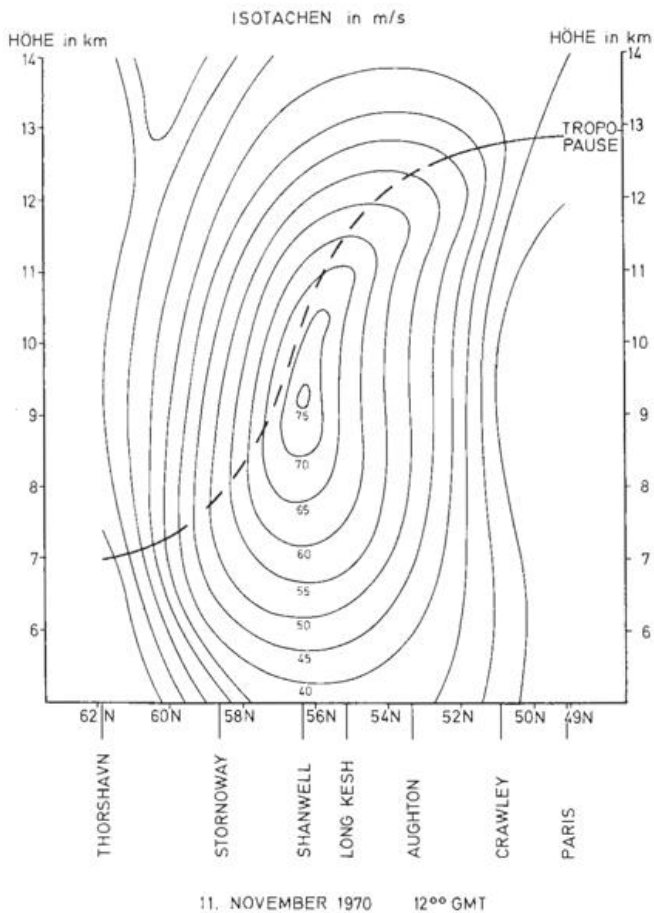


Abb. 6: Vertikalschnitt senkrecht zur Frontalzone: Isotachen 11.11.1970, 12.00 GMT

Also auch hier führt sowohl eine Isotachenanalyse, basierend auf gemessenen Winddaten, als auch die Auswertung von Satellitenaufnahmen zum gleichen Ergebnis. Besonders erwähnenswert ist die Tatsache, daß im Bereich der Achse des Höhentropes über dem Nordatlantik die Isohypsen und die Strahlstromachse keineswegs parallel verlaufen, sondern sich unter einem beträchtlichen Winkel schneiden.

Das letzte Bild aus der Weltraumperspektive, inzwischen als bekanntes Lehrbeispiel in die Literatur eingegangen, zeigt den Subtropen-Jet über Mittelägypten und dem Roten Meer, erkennbar an Cirrus-Wolkenbändern (Abb. 7).

Es handelt sich um eine Aufnahme, die von Bord des Gemini-12-Raumschiffes aus gemacht wurde. Die Achse des Subtropenstrahlstromes der Nordhalbkugel ist im Mittel zwischen 25° und 40° Breite zu finden. Da in diesen Zonen, speziell über Afrika, nur vereinzelte Radiosondierungen vorliegen, werden die Daten und Fotos des im November 1977 gestarteten geostationären europäischen Satelliten "METEOSAT" in der Luftfahrtmeteorologie von besonderem Interesse sein, Lücken im Beobachtungsnetz zu schließen und Diagnosen und Prognosen wesentlich verbessern helfen.

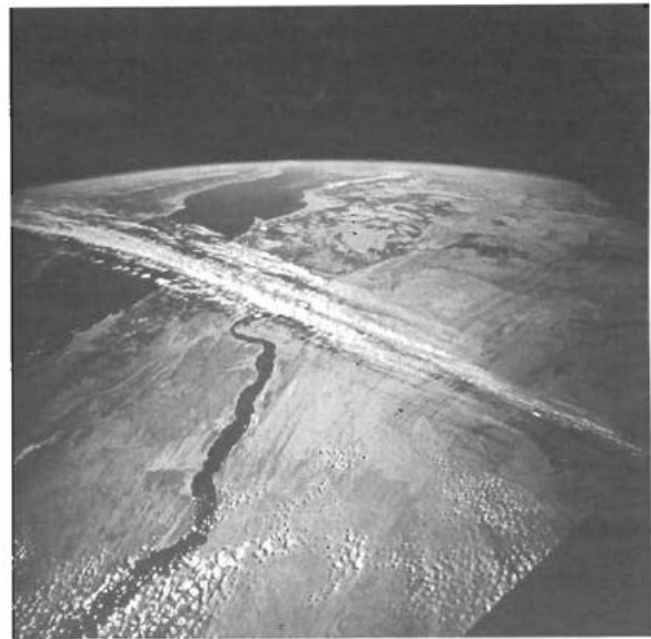


Abb. 7: Subtropen-Jet über Mittelägypten und dem Roten Meer, erkennbar an Cirrus-Wolkenbändern, Blickrichtung Südost. Gemini-12-Flug am 15.11.1966 (Goddard Space Flight Center Greenbelt, USA)

Abschließend soll jedoch nicht verschwiegen werden, daß Strahlströme in vielen Fällen weniger auffällig im Wolkenbild in Erscheinung treten, als an den hier gezeigten Bildern demonstriert werden konnte. Gelegentlich muß man aus Einzelbeobachtungen und Details im Satellitenbild sich einen Überblick über synoptische und aerologische Systeme verschaffen, die, wie Strahlströme, maßgeblich den Luftverkehr beeinflussen. Die NASA prüft gegenwärtig die Möglichkeit, in Zukunft Bilder von geostationären Satelliten direkt an Luftfahrzeuge im Fluge zu übermitteln (6).

Literatur

- (1) WHITNEY, L.; TIMCHALK, A.; GRAY, T.
On locating jet streams from TIROS photographs. Monthly Weather Rev. 94 (1966) Nr. 3, S. 127 – 138.
- (2) KLETTER, L.
Die Verwendung der Bilder von Wettersatelliten zur Verbesserung der Wetteranalyse und der Wettervorhersage. Arch. f. Meteorol. Geophys. Bioklimatol. A 17 (1968) S. 215 – 245
- (3) DZYUBENKO, T.; TSARKOVA, A.
Determination of position of jet streams axis based on cloud cover data from a weather satellite. Trudy Hydro-meteorol. Res. Center Nr. 36 (1968) S. 9 – 14
- (4) WEBER, F.
Die Temperaturstruktur im Bereich von Polarfront-Strahlströmen. DLR-Forschungsbericht 69 - 67.
- (5) REGULA, H.
Meteorologie und Luftverkehr. Steinebach-Wörthsee: Luftfahrtverl. W. Zuerl (1974) S. 55 – 86.
- (6) CAMP, D.; LUERS, J.; KADLEC, P.
Satellite images to aircraft in flight. Seventh Conference on Aerospace and Aeronautical Meteorology and Symposium on Remote Sensing from Satellites Nov. 16 - 19, 1976, Melbourne, Fla. Boston: Amer. Meteorol. Soc. 1976. S. 159 – 161.

4

F. WEBER, Oberpfaffenhofen

Clear Air Turbulence

Bei der Clear Air Turbulence (CAT) handelt es sich um Böigkeit, um Flugunruhe in der Atmosphäre oberhalb der planetarischen Grenzschicht und außerhalb von Gebieten mit konvektiver Aktivität. Das bedeutet, daß mechanische Turbulenz, die an der Grenzschicht Boden–Luft entsteht, und Turbulenz in labilen Schichten der Atmosphäre gemäß Definition nicht als CAT zu bezeichnen sind. Allerdings gibt es international keine einheitliche Definition für dieses Phänomen und nach FORTAK (1) "keine voll überzeugende Theorie für das Auftreten und für die speziellen Eigenschaften von CAT". Ihre Gefahr besteht darin, daß sie fast immer ohne jegliche Vorwarnung angetroffen wird. Wenn auch die Entstehungsbedingungen der Clear Air Turbulence noch nicht in allen Einzelheiten geklärt sind, so hat sich doch bei Flugmessungen gezeigt, daß diese Art von Böigkeit mit ganz bestimmten atmosphärischen Bedingungen verbunden ist (2). So kann man generell sagen, daß mit schwerer Böigkeit im Bereich von Gebirgshindernissen beim Auftreten von Leewellen gerechnet werden muß. Bei diesen Wellen handelt es sich um vertikale Transversalschwingungen. Ihre Bildung setzt eine annähernd senkrecht zum Gebirge gerichtete Luftströmung mit einer Mindestgeschwindigkeit von ca. 10 m/s in Kammhöhe voraus. Außerdem ist eine stabile Temperaturschichtung oberhalb des Hindernisses, besser noch eine Inversion annähernd in Gipfelhöhe und zunehmende Windgeschwindigkeit bis zur Tropopause notwendig. Die Anregung der Luftschwingungen geht vom Gebirgshindernis aus, die Energie zu ihrer Aufrechterhaltung wird der Luftströmung entnommen. Die Leewellen (Mountain Waves) sind häufig an ihren charakteristischen Wolkenformen zu erkennen und geben dem Piloten einen direkten Hinweis auf turbulenzgefährdete Zonen (Abb. 1).



Abb. 1: Hinderniswellen bei West-Jet über den Anden in ca. 30 000 ft Höhe (Aufnahme: F. Weber)

Auch in der Schicht zwischen Erdoberfläche und Wellenwolken muß mit Flugunruhe gerechnet werden, und so wird man auf jeden Fall versuchen, in einer über diesen Wolken liegenden Flugfläche zu fliegen. Damit ist jedoch auch noch keine Garantie für ein Fliegen in ruhiger Luft gegeben. Nicht selten sind in diesen Schichten ebenfalls Hindernis-

wellen anzutreffen, jedoch infolge zu geringer Luftfeuchte nicht sichtbar. Eine Studie von SORENSON und BECKWITH (3) zeigte, daß nahezu 50% aller beobachteten schweren Turbulenz von Leewellen verursacht wurden. Heute lassen sich Wellenwolken häufig mit Hilfe von Satellitenbildern lokalisieren und somit hat man einen Hinweis auf Turbulenzonen (Abb. 2).

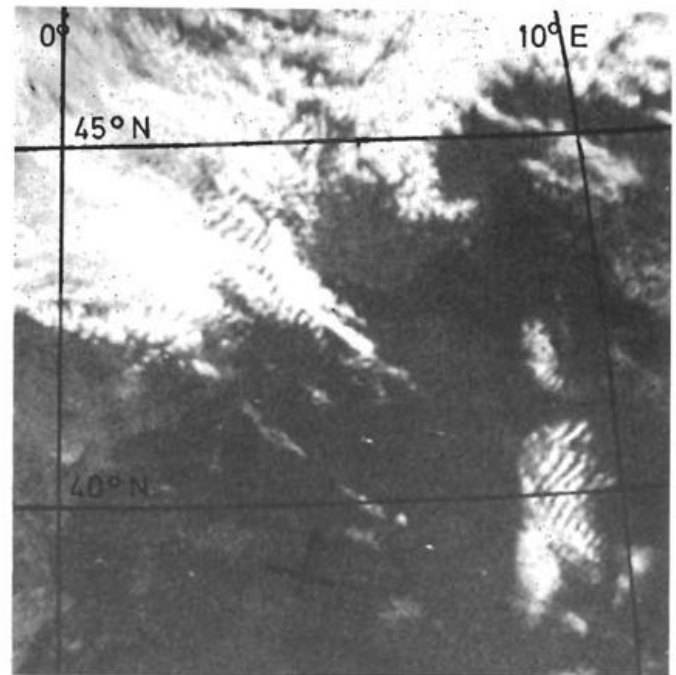


Abb. 2: Hinderniswellen bei NW-Jet über den Cevennes, dem Golf du Lion und Sardinien (Aufnahme: ESSA-8, APT-Empfangsanlage DWD, Offenbach)

Gebiete schwerster Turbulenz sind sog. Rotoren, Luftwalzen mit horizontaler Achse, die sich annähernd in Gipfelhöhe von Hindernissen ausbilden. Bei genügender Luftfeuchtigkeit sind Rotoren durch spezifische Wolkenformen zu erkennen (s. Titelbild).

CAT wird weiter in Verbindung mit Kelvin-Helmholtz-Wellen angetroffen. Bei diesen Luftwogen handelt es sich um interne Schwingungen um Gleichgewichtslagen an Grenzflächen zweier übereinander lagernder Luftschichten unterschiedlicher Dichte bei entsprechender vertikaler Windscherung. Im Mittel liegen die Wellenlängen bei 500 m; die Extremwerte sind 40 m und 2000 m. In allen o.a. Fällen ist es üblich, von "wave induced turbulence" zu sprechen.

Außerdem hat es sich herausgestellt, daß eine Strömung instabil werden kann bei entsprechender horizontaler Windscherung und Krümmung der Isohypsen; es kommt dann zu Trägheitslabilität. CROSSELY (4) konnte u.a. zeigen, daß die Vertikalkomponente der absoluten Vorticity negativ werden muß, damit die Strömung labil wird.

Die Darlegungen haben erkennen lassen, daß die Clear Air Turbulence ein mesoscaliges Phänomen ist und deshalb mit synoptischen Hilfsmitteln und Methoden eine präzise lokale und zeitliche Prognose von derartigen Turbulenzerscheinungen nicht erwartet werden kann. Außerdem handelt es sich bei dem zur Beratung zur Verfügung stehenden Material um prognostizierte Unterlagen, die dementsprechend bereits mit Fehlern behaftet sind. Deshalb bemüht man sich mit einem beträchtlichen finanziellen Aufwand, CAT-Zonen vom Flugzeug aus mit technischen Hilfsmitteln zu erfassen. Versuche, mit Hilfe von Bord-Radargeräten unter Benutzung verschiedener Wellenlängen CAT-Gebiete zu orten, sind mißlungen. Ebenso hat die Verwendung von Lasern noch zu keinem positivem Ergebnis geführt. Auch Messungen mit Radiometern im infraroten Bereich und in der CO₂-Absorptionsbande bei 15 µm zur Erfassung von Temperaturfluktuationen, die in Verbindung mit CAT stehen, schlugen fehl. Erfolg verspricht man sich jetzt in den USA von Radiometermessungen in den Wasserdampfkanälen bei 6,3 µm und zwischen 19,0 bis 37,0 µm. Man hofft, Wasserdampf-anomalien, die in Verbindung mit Turbulenzonen, speziell mit brechenden Kelvin-Helmholtz-Wogen stehen, bereits 4 – 10 Flugminuten im voraus erfassen zu können (5). Allerdings befindet sich noch kein derartiger Sensor im prakti-

schon Einsatz, und so gilt auch weiterhin für den Flugpassagier die Devise: "Fasten seat belt", um vor unangenehmen Überraschungen geschützt zu sein.

Literatur

- (1) FORTAK, H.
Meteorologie. Berlin, Darmstadt: C. Habel Verlagsbuchhandlung 1971.
- (2) WEBER, F.
Die synoptisch-aerologischen Bedingungen für das Auftreten von Clear Air Turbulenz. DLR-FB-70-29 (1970).
- (3) SORENSON, J.; BECKWITH, W.
Clear Air Turbulence forecasting as practiced in air line operations. Paper presented at the Federal Aviation Agency Symposium on Clear Air Turbulence Forecasting, Aug. 12, 1975, Washington, D.C., 22.
- (4) CROSSELY, A.
Extremes of wind shear. Scient.Paper Meteorol.Office, London, No. 17 (1962).
- (5) KUHN, P.; CARACENA, F.; GILLESPIE, C.
Clear Air Turbulence: Detection by infrared observations of water vapor. Science 196 (1977) S. 1099 – 1100.

5

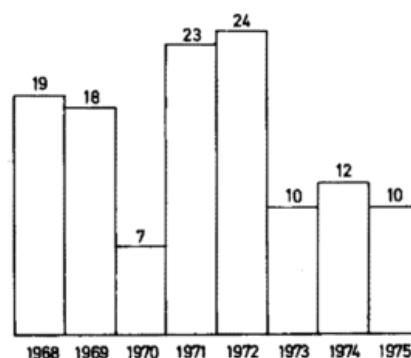
F. WEBER, Oberpfaffenhofen

Statistische Untersuchungen über das Auftreten markanter Temperaturinversionen in den unteren Luftschichten über München-Riem

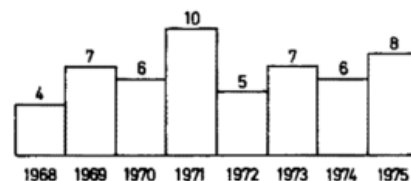
Die Praxis hat gezeigt, daß starke Temperaturinversionen im bodennahen Bereich der Troposphäre für startende Flugzeuge eine nicht zu unterschätzende Gefahr darstellen können. Beim beginnenden Steigflug führt eine plötzliche starke Temperaturerhöhung längs des Flugweges zu einer gefährlichen Leistungsminderung des Triebwerkes und letzten Endes zu Auftriebsverlust. Verringerung der Steigrate, bzw. Erreichen der Abreißgeschwindigkeit, der "Stalling Speed", kann die Folge sein. Die Internationale Zivile Luftfahrtorganisation (ICAO) und die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) haben deshalb ihren Mitgliedern empfohlen, Untersuchungen über die Häufigkeit des Auftretens von Temperaturinversionen einer Stärke von $\geq 10^{\circ}\text{C}$ in der Schicht vom Boden bis 300 m Höhe durchzuführen und die Piloten nach Möglichkeit über markante Inversionen im genannten Höhenbereich zu informieren.

Aus den erwähnten Gründen wurden für den Flughafen München-Riem die Temperatursondierungen von 00.00 GMT und 12.00 GMT der Jahre 1968 – 1975 zu entsprechenden Untersuchungen herangezogen. Da die Erfahrung gezeigt hat, daß sich die Stärke einer Inversion in unseren Breiten zwischen Mitternacht und Sonnenaufgang im allgemeinen noch um einige Grad Celsius erhöht, wurden für den 00.00-GMT-Aufstiegstermin sowohl die Inversionen $\geq 10^{\circ}\text{C}$ als auch die Temperaturumkehrschichten von $7,5^{\circ}\text{C} \leq T < 10^{\circ}\text{C}$ zusätzlich erfaßt. Die Ergebnisse sind aus den folgenden graphischen Darstellungen ersichtlich. Abbildung 1 zeigt die absolute Häufigkeit des Auftretens von Inversionen zum Mitternachtstermin von München-Riem für die einzelnen Jahre 1968 – 1975. Mit Tempera-

turumkehrschichten $\geq 10^{\circ}\text{C}$ ist im Jahresdurchschnitt rund 7 mal zu rechnen, das Minimum lag bei 4 Fällen im Jahre 1968, das Maximum bei 10 Fällen im Jahre 1971. Mehr als doppelt so häufig treten zum gleichen Termin Inversionen der Stärke $7,5^{\circ}\text{C} \leq T < 10^{\circ}\text{C}$ auf.



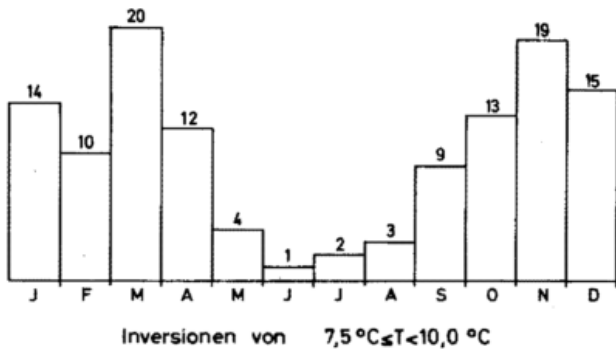
Häufigkeit von Inversionen $7,5^{\circ}\text{C} \leq T < 10,0^{\circ}\text{C}$ über München in der Schicht 0-300 m ü.B.Gr. (1968-1975) 00⁰⁰GMT



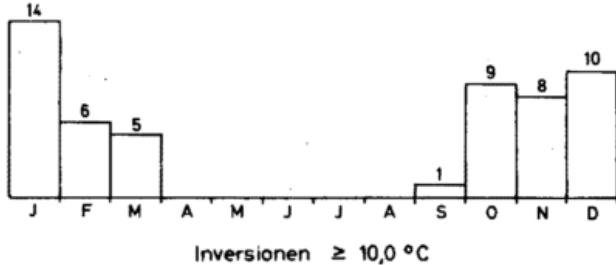
Häufigkeit von Inversionen $\geq 10,0^{\circ}\text{C}$ über München in der Schicht 0-300 m ü.B.Gr. (1968-1975) 00⁰⁰GMT

Abb. 1

Die Abbildung 2 läßt die absolute Häufigkeit dieser beiden Inversionsklassen für den achtjährigen Zeitraum von 1968 – 1975 für die einzelnen Monate erkennen. Wie ersichtlich, bildeten sich Inversionen der Stärke $\geq 10^{\circ}\text{C}$ in den Monaten April bis August um Mitternacht bis 300 m Höhe über Grund überhaupt nicht aus. Die stärksten Inversionen von rund 15°C wurden am 14.1.1969 bzw. am 14.9.1975 je-



Häufigkeit von Inversionen über München in der Schicht 0-300 m ü.Gr. (1968-1975) 00⁰⁰GMT



Häufigkeit von Inversionen über München in der Schicht 0-300m ü.Gr. (1968-1975) 00⁰⁰GMT

Abb. 2

weils um 00.00 GMT angetroffen. Die Großwetterlagen waren "Tief Britische Inseln" bzw. "antizyklonale Südlage". Ergänzend sei noch bemerkt, daß es sich bei allen hier erwähnten Inversionen fast ausschließlich um Bodeninversionen handelte.

Zum 12.00-GMT-Aufstiegstermin wurden am Flughafen München-Riem Inversionen der Stärke $\geq 10^{\circ}\text{C}$ vom Boden bis 300 m über Grund in den 8 Beobachtungsjahren nur an insgesamt 6 Tagen, und zwar in den Monaten Dezember und Januar, festgestellt. Da bis heute an den wenigsten Verkehrsflughäfen eine Bestimmung des Temperaturverlaufes mit der Höhe möglich ist, kommt der Kenntnis der Abhängigkeit der Inversionen von der allgemeinen Wetterlage für eine Prognose besondere Bedeutung zu. So läßt sich für München ganz allgemein sagen, daß starke Temperaturumkehrschichten sich am häufigsten immer dann ausbilden, wenn in der kalten Jahreszeit in unmittelbarer Bodennähe eine flache Kaltluftschicht liegt – Restluftmasse einer abwandernden Antizyklone – und in den Schichten darüber relativ warme Luftmassen aus Westen bzw. Südwest oder Süd vordringen. Bei südlichen Luftströmungen erfahren die advektiv herangeführten Warmluftmassen im nördlichen Voralpenraum noch eine zusätzliche Erwärmung durch den Föhneffekt und verstärken vorhandene Inversionen. Abschließend soll noch erwähnt werden, daß bekanntlich an ausgeprägten Inversionen nicht selten extreme Windrichtungsänderungen auftreten, die mit beachtlichen vertikalen Geschwindigkeitsänderungen verbunden sein können und möglicherweise den genannten Effekt der Auftriebsverminderung noch erhöhen. Andererseits kann bei der Landung, also beim Eintauchen des Luftfahrzeugs in eine flache Bodenkaltluftschicht, der umgekehrte Effekt auftreten. Ein Überschießen über die Landebahn hinaus kann die Folge sein.

6

F. WEBER, Oberpfaffenhofen

Das Erscheinungsbild und die synoptisch-aerologischen Bedingungen eines Nebel einbruchs am Flughafen München-Riem

Verspätungen, Flugumleitungen und die Annullierung von Flügen wegen Nebels kostete die US-Luftverkehrsgesellschaft bei Inlandsflügen im Jahre 1971 75 Millionen Dollar, wobei Kosten, die durch Unfälle bei schlechten Sichtbedingungen verursacht wurden, unberücksichtigt blieben (1). Diese Ausgaben erhöhen sich durch den zunehmenden Einsatz von Großraum- und Überschallflugzeugen mit ihren hohen Nutzlasten und dem enormen Kraftstoffverbrauch ständig, und so ist der Nebel im Luftverkehr zu einem ernststen wirtschaftlichen und logistischen Problem geworden. Auch in Mitteleuropa stellt der Nebel den größten Störfaktor im Luftverkehr dar. Da eine vollautomatische Blindlandung, technisch heute bereits möglich, sowohl an Bord der Luftfahrzeuge als auch am Boden teure zusätzliche Installationen voraussetzt und außerdem auch Raum und Gewicht kostet, wird in absehbarer Zeit der

weitaus größte Teil aller Luftfahrzeuge auf eine Landung mit entsprechender Sicht angewiesen sein. Somit kommt der künstlichen Nebelbeseitigung höchste Priorität zu (2).

Während in den USA und in Europa bereits seit Jahren praktische Versuche zur Auflösung unterkühlten Nebels mit Erfolg durchgeführt werden, bereitet die Auflösung warmen Nebels mit wirtschaftlich vertretbaren Kosten noch große Schwierigkeiten. In den USA rechnet man mit der Installation und dem Einsatz eines umfangreichen Systems zur Beseitigung von warmem Nebel auf einem Luftwaffenstützpunkt frühestens im Jahre 1981 (3). Es wird im Prinzip nach dem Turboclair-Verfahren – Aufheizung der Luft mit Düsentriebwerken – arbeiten, wie es bereits auf den Pariser Flughäfen Orly und Charles de Gaulle im Einsatz ist. An den Flugmeteorologen wird man zumindest noch in den

nächsten Jahren größte Anforderungen in bezug auf eine Nebelprognose stellen. Nun gehört aber die Nebelprognose zu den schwierigsten meteorologischen Vorhersageproblemen. Diese Aussage gilt vor allem bei Nebeleinbrüchen, also bei advektiv herangeführten Nebelfeldern. Ein derartiger Nebeleinbruch im Dezember 1965, der am Flughafen München-Riem den gesamten Flugverkehr zeitweise zum Erliegen brachte, konnte vom Tower des Flughafens aus gut verfolgt werden (4). Da außerdem Beobachtungs- und Registriermaterial u.a. der Flugwetterkarte und die Aufstiegsdaten der Aerologischen Station am Flughafen für diese Zeit vorliegen, soll diese für den Luftverkehr gefährliche Erscheinung hier einmal ausführlich analysiert werden.

Die Wetterlage am 15. Dezember 1965 war durch ein Hochdruckgebiet über Mitteleuropa gekennzeichnet, das mit seinem Schwerpunkt über den Alpen lag. An verschiedenen Stationen wurde in den Mittagsstunden im Bereich dieser Antizyklone Nebel oder Dunst beobachtet. Bei geringen Windgeschwindigkeiten am Boden war die Windrichtung unterschiedlich, jedoch herrschte in Süddeutschland Südost vor. Über die aerologischen Verhältnisse bis rund 5 km Höhe gibt der Mittagsaufstieg von München-Riem Aufschluß (Abb. 1).

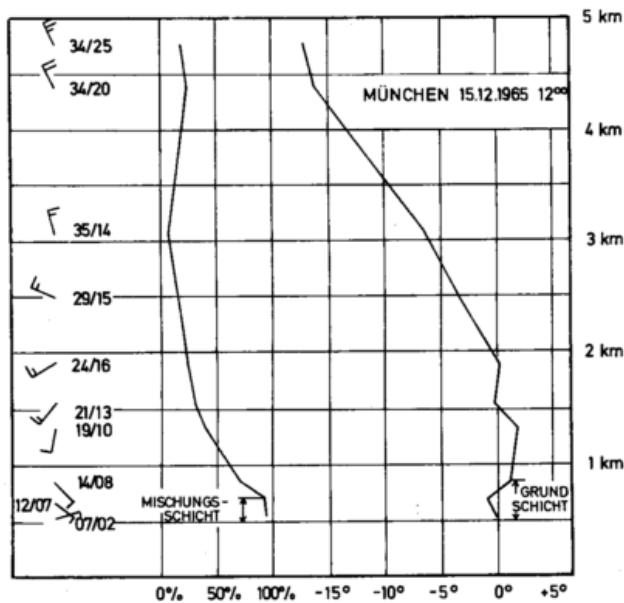


Abb. 1: Aerologische Verhältnisse über München, 15.12.1965, 12.00 GMT

Der Start der Radiosonde erfolgte um 11.45 MEZ. Zum Aufstiegstermin betrug der Luftdruck 961,3 mbar in Stationshöhe (525 m), die Temperatur 0°C und die relative Feuchte 96%. Der Bodenwind wurde mit 70° und 2 kn angegeben. Im Bereich der Grundschicht drehte der Wind über Ost auf 140° an deren Obergrenze in ca. 600 m Höhe über Grund; die Windgeschwindigkeit erhöhte sich hier auf 8 kn. In der unteren und mittleren Troposphäre drehte der Wind weiter über Süd auf 350 bzw 340°. Diese Windrichtung wurde bis in die untere Stratosphäre beibehalten. Besonders hingewiesen werden soll hier auf die Feuchtigkeitsverhältnisse in der unteren Troposphäre. In der Mischungsschicht, die bis etwa 150 m Höhe über Grund und bis zur Untergrenze der bodennahen Inversion reichte, betrug die relative Luftfeuchte über 95%. Darüber ging die Luftfeuchte stark zurück, was auf das Absinken von Luft-

massen im Hochdruckgebiet zurückzuführen war. Die Registrierdaten der Sichtweite (Transmissometer und Streulichtschreiber), des Windes, der relativen Feuchte und Temperatur enthält die Abbildung 2.

In dem beigefügten schematischen Lageplan des Flughafens sind die jeweiligen Meßpunkte bzw. Beobachtungsstellen eingetragen (Abb. 3).

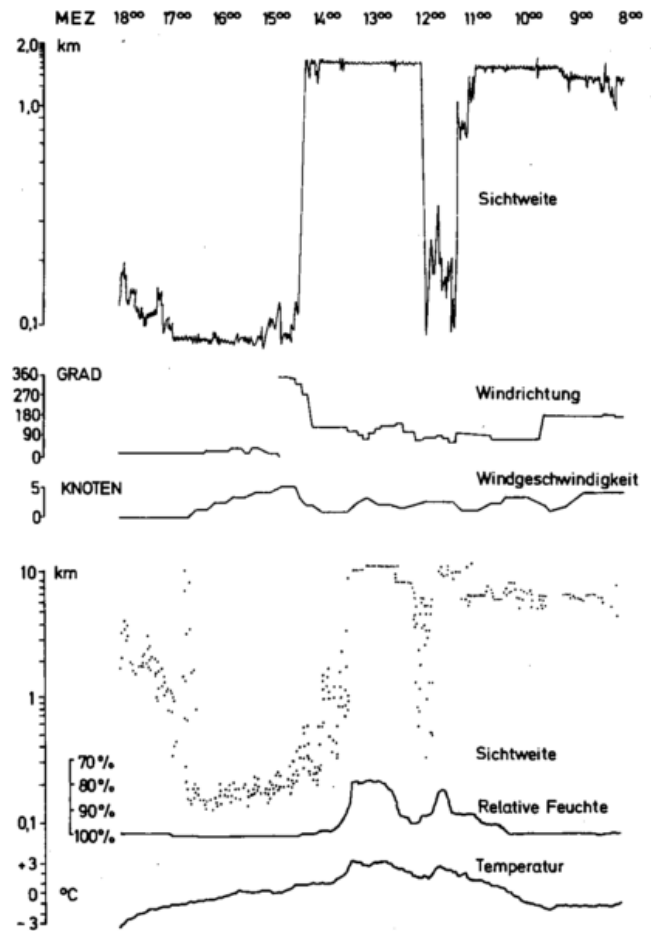


Abb. 2: Registrierungen verschiedener meteorologischer Parameter (Sichtweite, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, relative Feuchte, Temperatur)

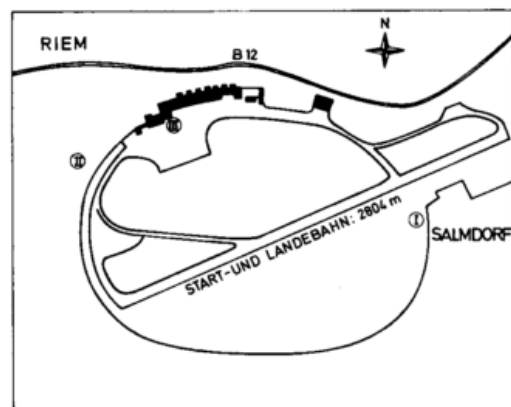


Abb. 3: Lageplan des Flughafens München Riem. I, II und III: Meß- bzw. Beobachtungspunkte

Streulichtschreiber, Temperatur- und Feuchtigkeitsmeßgeräte befanden sich außerhalb des Rollfeldes an der mit II gekennzeichneten Stelle in nordwestlicher Richtung vom Flughafenbezugspunkt. Transmissometer und Windschreiber stehen in unmittelbarer Nachbarschaft des Abbremsplatzes südlich der Betonstartbahn (I). Die photographischen Aufnahmen wurden von der mit (III) bezeichneten Stelle oder deren unmittelbaren Umgebung aus gemacht.

Nachdem am Vormittag des 15. Dezember bei nahezu wolkenlosem Himmel strahlender Sonnenschein herrschte, begann gegen 11.10 MEZ die Sichtweite am Meßpunkt I merklich abzusinken, und ca. 11.22 MEZ erfolgte an dieser Stelle der erste Nebelbruch aus einer Richtung von annähernd 120° . Die geschätzte Sicht betrug um 11.35 MEZ 300 m. Der Wind frischte zu dieser Zeit leicht auf (3kn). Um 11.52 MEZ stieg die Sicht wieder an, der obere Schwellenwert des Transmissometers wurde erreicht. QBT (Sichtweite, von der Landebahnschwelle aus ermittelt) wurde um 11.53 MEZ zu 2500 m bestimmt.

An der rund 2 km westlich gelegenen Station II begann der Durchzug der Nebelfelder gegen 11.45 MEZ, also 23 Minuten später als an der Station I. Die relative Feuchte erhöhte sich zu diesem Zeitpunkt stark und die Temperatur sank um reichlich 1°C ab. Dabei drehte der Wind annähernd auf SE. Der Abzug der Nebelschwaden erfolgte in nordnordwestlicher Richtung. Kurz vor 12.00 Uhr war der Flughafen wieder nebelfrei.

Reichlich eine Stunde später aber näherte sich nun eine Nebelwand aus NNW dem Flughafen (Abb. 4). Es sei hervorgehoben, daß der Nebel entgegen der am Flughafen herrschenden SE-Strömung zog. Die Rauchfahne eines in ca. 3 km Entfernung östlich vom Beobachtungspunkt III gelegenen Industrieschornsteins zeigte noch, als der Tower bereits in Nebel gehüllt war, Südostwind an.



Abb. 4: Nebelbruch aus NW am Flughafen München-Riem 15.12.1965

Die Fortbewegungsgeschwindigkeit der einbrechenden Nebelmassen mit gut erkennbarer Obergrenze betrug schätzungsweise 3 – 5 kn. Während der Nebel als nahezu senkrechte Wand in breiter Front den Flughafen überflutete, konnte im Nordosten in ca. 3 km Entfernung ein keilförmiges Vorstoßen beobachtet werden. Ab etwa 12.30 Uhr waren das Hallenvorfeld und ein Teil der Zurollbahnen in Nebel gehüllt, jedoch lagen Start- bzw. Landebahn noch im Sonnenschein und waren nebelfrei. Es ergab sich die nicht alltägliche Situation, daß die Startfreigabe vom Tower aus immer erst dann erfolgte, nachdem sich der Flugsicherungslotse jeweils beim Piloten der

zum Start bereitstehenden Maschine nach der Landebahnsicht erkundigt hatte. Erst nach 14.00 Uhr begann die Windfahne am Meßpunkt I, also in unmittelbarer Startbahnnähe, über Süd auf Nord zu drehen. Der Wind frischte dabei auf, und um 14.15 Uhr sank dort die Sichtweite rapide ab. Nach Angaben der Verkehrsabteilung des Flughafens Riem erfolgte auch die letzte Landung um 14.15 Uhr. Knapp eine Stunde und 50 Minuten benötigte also der Nebel, um die Strecke von ca. 1 km zwischen Tower und Landebahn zurückzulegen, und während dieser gesamten Zeit war es möglich, den Luftverkehr noch aufrechtzuerhalten. Um 14.21 Uhr wurde die Landebahnsicht zu 180 m bestimmt. Erst um 16.44 konnte wieder ein Flugzeug starten. Zu diesem Zeitpunkt setzte am Meßpunkt II eine merkliche Sichtbesserung ein. Um 16.50 betrug die Landebahnsicht 300 m. Zu gleicher Zeit begann auch am Meßpunkt I (Transmissometer) die Sicht anzusteigen. Allerdings lagen die hier registrierten Werte weitaus niedriger als an der Station II (Streulichtschreiber).

Abschließend zu den gemachten Ausführungen soll bemerkt werden, daß mit Nebelbrüchen der hier geschilderten Art im Bereich kontinentaler winterlicher Hochdruckgebiete gerechnet werden muß. Die aerologischen Verhältnisse sind nach SCHNEIDER-CARIUS (5) in der Grundsicht durch den Inversionstyp mit bodennaher Mischungsschicht gekennzeichnet. Infolge Luftbewegung in der bodennächsten Schicht und der dadurch bedingten Austauschprozesse bildet sich in einer ursprünglich durch nächtliche Wärmeabstrahlung gebildeten reinen Bodeninversion die sogenannte Mischungsschicht von etwa 100 – 200 m Dicke mit hoher, annähernd konstanter relativer Luftfeuchte und geringem negativen Temperaturgradienten aus. Hier können kompakt treibende Nebelmassen größeren Ausmaßes angetroffen werden. In derartigen Fällen ist jedoch eine einigermaßen zeitliche und lokale Nebelprognose kaum möglich. Die Windverhältnisse variieren von Ort zu Ort und in kürzester Zeit. Welche Schwierigkeiten sich hieraus für den Flugmeteorologen ergeben, braucht nicht besonders erwähnt zu werden. Auf jeden Fall machen aber derartige meteorologische Verhältnisse für eine rechtzeitige Nebelwarnung die Aufstellung von automatischen Wind- und Sichtmeßgeräten in der gesamten Umgebung des Flughafens erforderlich.

Literatur

- (1) BECKWITH, W.
The effect of weather on the operations and economics of air transportation today. Bull. Amer. Meteorol. Soc. 52 (1971) Nr. 9, S. 863 – 868.
- (2) MÜLLER, H. G.
Nebel und Nebelbeeinflussung. Fachl. Mitt. d. Geophys. Beratungsd. d. Bundeswehr Nr. 179 (1974).
- (3) KUNKEL, B.; WEINSTEIN, A.
A modern warm fog dispersal system. Seventh Conference on Aerospace and Aeronautical Meteorology and Symposium on Remote Sensing from Satellites, Nov. 16 – 19, 1976, Melbourne, Fla. Boston: Amer. Meteorol. Soc. 1976. S. 225 – 227.
- (4) WEBER, F.
Über einen besonders gefährlichen Nebelbruch an einem Flughafen. DLR-Mitt. 67-03 (1967).
- (5) SCHNEIDER-CARIUS, K.
Die Grundsicht der Troposphäre. Leipzig: Akad. Verlagsges. Geest und Portig KG 1953.

Die Höhenwindvorhersage aus der Sicht der Flugwegplanung

Was ist Flugwegplanung?

Spätestens seit der Ölkrise spürt es jeder Autofahrer: die Preise für Öl und seine Kraftstoffderivate klettern. Das trifft umso mehr die Linienluftfahrt, da hier der Treibstoffverbrauch nicht nur nach Litern, sondern gleich nach Tonnen mißt. Der Kraftstoffverbrauch eines Flugzeuges ist u.a. abhängig vom Gesamtgewicht. Eine DC-10 beispielsweise verbrennt auf einem Langstreckenflug mit rd. 90 to Treibstoff etwa ein Drittel ihres Startgewichts. Erhöht man diese Kraftstoffreserve, erhöht man nicht nur das Gesamtgewicht der Maschine, sondern auch den Kraftstoffverbrauch, und zwar so, daß etwa ein Drittel jeder zusätzlich getankten Tonne Kerosin nur für den Transport eben dieser Tonne aufgebraucht wird. Man ist deshalb bemüht, die Treibstoffreserven so knapp als möglich anzusetzen und so steht vor Beginn eines jeden Mittel- bis Langstreckenfluges eine sorgfältige Optimierung des Flugweges, der Flugzeit und des daraus resultierenden Kraftstoffverbrauchs.

Das Gesamtgewicht der Maschine, sowie der temperaturabhängige Wirkungsgrad von Strahltriebwerken beschränken die Wahl der Reise Flughöhe bei derzeit üblichen Typen auf den Bereich zwischen FL 290 und 390 (bei neueren B-747 bis FL 420). Die Nutzung niedriger Höhen verbietet sich, auch wenn dort günstigere Windverhältnisse anzutreffen sind, wegen des wesentlich höheren Kraftstoffverbrauchs. Da sich während des Fluges mit abnehmendem Treibstoffvorrat das Gewicht der Maschine verringert, wäre der optimale Flugweg eine mit abnehmendem Gewicht ansteigende Flugbahn über die gesamte Strecke. Da sich dies aus Flugsicherungsgründen verbietet, wird dieser Weg durch ein Stufenprofil mit zumeist drei Stufen angenähert, innerhalb derer eine horizontale Optimierung erfolgt.

Bei vorgegebener Flughöhe und vorgegebenem Gewicht gibt es für jeden Flugzeugtyp eine *Machzahl* (*), bei der der Treibstoffbedarf ein relatives Minimum aufweist (Abb. 1). Im Reiseflug wird mit dieser konstanten Machzahl geflogen und der Kraftstoffverbrauch ist dann im wesentlichen eine Funktion

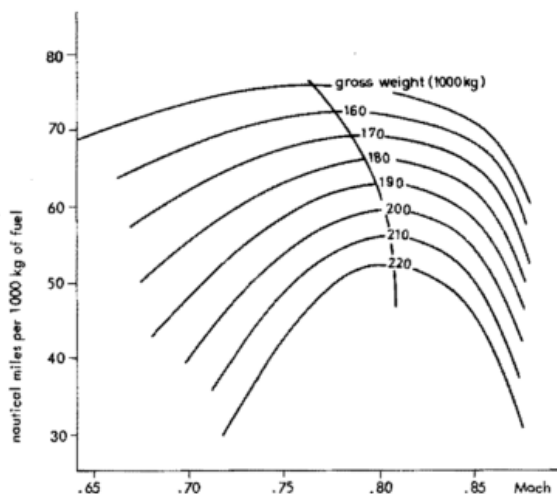


Abb. 1: Spezifische Reichweite als Funktion der Machzahl am Beispiel einer DC-10 in FL 350

der Flugzeit, die bestimmt wird durch die Geschwindigkeit über Grund, d.i. die Summe aus Eigengeschwindigkeit *) plus Windvektor. Der Einfluß der Temperatur auf die Eigengeschwindigkeit liegt bei nur 1 kn pro °C Temperaturänderung, so daß der einflußstärkste Parameter der Wind ist. Man ist also bemüht, mit möglichst geringem Gegenwind und möglichst großen Rückenwindkomponenten zu fliegen. Bei wachsender Verkehrsdichte ist es allerdings nicht mehr möglich, während des Fluges den Jet zu suchen bzw. ihm auszuweichen. Auch über dem Atlantik bestehen inzwischen vorgeschriebene Luftstraßensysteme innerhalb derer man allenfalls im voraus einen optimalen Weg wählen kann, ein Überwechseln während des Fluges ist ausgeschlossen. Die Auswahl dieses optimalen Weges erfolgt mit EDV-Anlagen aufgrund von 12, 18 und 24stündigen Höhenwindvorhersagen für die Schichten 500 (400), 300, 250 und 200 mb in digitaler Form.

Im Computer ist eine Vielzahl von Streckensegmenten abgespeichert, die sich zu möglichen Flugwegen aneinanderreihen. Jedem Segment wird ein gewichteter mittlerer Wind zugeordnet und die segmentparallele Komponente errechnet. Innerhalb des so vorbereiteten Segmentnetzes wird nun der Weg mit den größten Rückenwind- bzw. den geringsten Gegenwindkomponenten und die über alle Segmente der Flugstrecke aufsummiert kürzeste Flugzeit ausgewählt. In einem Flugplan werden die Flugstrecke, die Flughöhen, Flugzeit, Ladefaktoren und vor allem die benötigte Treibstoffmenge ausgedrückt. Bei diesem Verfahren ist die Vorgabe digitaler Winddaten unerlässlich.

Die althergebrachte analoge Höhenvorhersagekarte wird zwar noch als Übersicht sowie als Entscheidungshilfe des Piloten in Notfällen verlangt, für die Flugwegplanung aber wäre ihre Verwendung viel zu personal- und zeitaufwendig. Die Verbesserung numerischer Vorhersagen durch manuelle Überarbeitung hat daher keinerlei Einfluß auf dieses Planungsverfahren, es sei denn, die manuelle Korrektur hätte irgendeine Rückwirkung auf die Erstellung der digitalen Daten. Die volle Genauigkeitsaufforderung, die früher der manuell bearbeiteten Karte zukam, ist damit an das numerische Produkt selbst gestellt.

Vorhersagefehler, ihre Auswirkung . . .

Im ICAO Annex III ist ein Maßstab für die geforderte Vorhersagegenauigkeit gegeben: in 90% aller Fälle soll die Vektordifferenz (vorhergesagter – tatsächlicher Wind) im Mittel über 500 nm nicht mehr als 20 kn – unterhalb FL 250 sogar nicht mehr als 15 kn – betragen. Ob diese Forderung erfüllt ist, wird bisher durch keine fortlaufenden Statistiken belegt. Die übliche Vorhersageprüfung, der Korrelationsfaktor, ist für solche Betrachtungen ungeeignet. Besser wäre

*) Die relative Eigengeschwindigkeit zwischen Flugzeug und Luft heißt Eigengeschwindigkeit oder True Air Speed. Der Quotient aus Eigengeschwindigkeit und Schallgeschwindigkeit ergibt die *Machzahl*.

eine Auszählung der Gitterpunkte, an denen die Vektordifferenz von 20 kn überschritten wird. Allerdings dürfte als Maßstab nicht die numerische Analyse zum cut-off Termin herangezogen werden, sondern eine Spätanalyse, die alle, auch verspätet verfügbare Daten berücksichtigt.

Im Flugplan stellen sich Vorhersagefehler als Zeitdifferenz zwischen berechneter und tatsächlicher Flugzeit dar. Ein Vorhersagefehler von 20 kn wäre, wenn er über 3000 nm voll als Gegen- oder Rückenwind zur Wirkung kommt, gleichbedeutend mit einer Zeitdifferenz zwischen berechneter und wahrer Flugzeit von ± 15 Min bei Mach 0.84 und ± 18 min bei Mach 0.80. Diese Werte werden in der Tat nur in 5 bis 10% (je nach Flugstrecke) überschritten (Abb. 2). Dennoch kann daraus nicht ohne Einschränkung auf die Güte der Vorhersagen geschlossen werden, denn

- auch grobe Fehler kompensieren sich umso mehr, je länger die Flugstrecke ist,
- innerhalb der genannten 5 bis 10% betragen die größten Zeitdifferenzen – akkumuliert über rd. 3000 nm – im Herbst- und Winterhalbjahr bis zu einer Stunde.

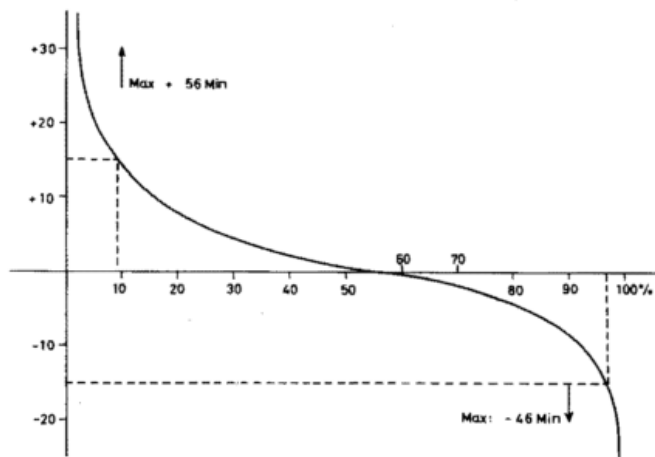


Abb. 2: Häufigkeitssummenkurve der Zeitdifferenz (berechnete minus tatsächliche) Flugzeit auf dem Streckenabschnitt Karachi – Ankara

Die Größe dieser Zeitdifferenz und der Umstand, daß man ja nie weiß, wann sie auftreten wird, stellen das eigentliche Problem dar. Bei stärkerem Gegenwind als vorhergesagt besteht das Risiko einer Zwischenlandung wegen Treibstoffmangels, bei stärkerem Rückenwind wird unnötig viel Treibstoff mitgeführt und evtl. Nutzfracht zurückgelassen. Beides führt zu erheblichen Mehrkosten für Treibstoff, Landegebühren, Besatzungswechsel bei Überschreitung gesetzlicher Fristen, u.a.m.

Zu denken gibt auch eine Auszählung der Vektordifferenzen (vorhergesagter minus erfolgener Segmentmittelwind) von ca. 50 Flügen auf dem Streckenabschnitt Nizza – Dakar, wobei jedes Segment ca. 250 bis 300 nm lang ist. Auf nur 43% aller Segmente war die Vektordifferenz kleiner oder gleich 20 kn und auf 12% aller Segmente wurden 40 kn Vektordifferenz überschritten. Ob die Genauigkeitsforderung des ICAO Annex III für Höhenwindvorhersagen erfüllt ist, bleibt also zumindest in Teilbereichen fraglich. Fehler dieser Art werden im Winterhalbjahr auf allen Strecken beobachtet – ihre Häufigkeit ist auf den Atlantikstrecken etwas geringer als 5%, überschreitet aber die 10%-Grenze auf Strecken im Bereich des Subtropenjets.

... und ihre Ursache

Auf jedem Flug werden sogenannte AIREPs (Air Reports) erstellt, d.i. Angaben über Wind und Temperatur in Flughöhe, deren Meßgenauigkeit heute der von Radiosonden überlegen ist. Bei Flugzeugführern, die gehalten sind, nicht mehr Treibstoff zu tanken als nötig, stößt es daher immer wieder auf Unverständnis, wenn sich gleiche Vorhersagefehler – wie z.B. ein zu schwach vorhergesagter Maximalwind – an aufeinanderfolgenden Vorhersageterminen wiederholen, obwohl AIREP-Formblätter mit den erfolgten Winddaten an den Wetterdienst weitergeleitet wurden.

In der Tat liegt die Vermutung nahe, daß solche Fehler – es handelt sich ja um relativ kurze Vorhersagetermine – nicht so sehr im Vorhersagemodell, sondern bereits in der numerischen Analyse begründet sind. Einerseits sind viele – in einigen Bereichen sogar die meisten – Radiosonden-daten zum cut-off-Termin noch gar nicht vorhanden. Andererseits können z.Zt. übliche dreidimensionale Analyseverfahren asynoptische Daten wie AIREPs nur unvollkommen nutzen.

In weiten Teilen der Welt (Asien, Afrika, Ozeane) mit ihrer relativ dünnen Radiosondendichte stehen heute schon wesentlich mehr asynoptische AIREP- und Satellitendaten zur Verfügung als synoptische Radiosondendaten, jedoch werden AIREP-Daten von den Wetterdiensten aller Länder nicht mit der gebührenden Sorgfalt weiterverbreitet und die EDV-Anlagen sind selten in der Lage, die üblichen Codes – insbesondere Positionsangaben im 3-letter-code – zu lesen.

Erst für die 80er Jahre läßt ein neuerer Entwurf des World Weather Watch-Planes der WMO eine bessere Verbreitung und Nutzung asynoptischer Daten erhoffen.

Anforderungen für die Zukunft

Neben den hohen Genauigkeitsforderungen an die Höhenwindvorhersage verlangt die elektronische Verarbeitung dieser Daten auf einem weltweiten Streckennetz nach einer nahezu globalen Abdeckung. Wo die Wetterdienste nur mit nordhemisphärischen Modellen arbeiten, muß im Bereich der Tropen und auf der Südhalbkugel noch aufwendig mit Karten und ROFORs (Route Forecast for Aviation, WMO-Code FM 54-V) gearbeitet werden. Das Verfahren der elektronischen Flugwegplanung wird nun seit etwa 10 Jahren angewandt. Bisher hat nur der amerikanische Wetterdienst versucht, den Bedürfnissen der Linienluftfahrt zu genügen, nämlich:

- globale Abdeckung mit digitalen Daten, d.h. auch in den Tropen und auf der Südhalbkugel. In diesen Bereichen werden zwar z.Zt. nur Analyse-Daten geliefert, Vorhersagemodelle für die Tropen und die Südhalbkugel sind aber in der Erprobung,
- Ausgabe der Daten in einem an den Bedürfnissen der Nutzer orientierten, geographischen Kartennetz (Marsden – squares),
- Verwertung auch verspätet eingegangener Daten in einer Spätanalyse mit Rückwirkung auf die Vorhersage – (in Washington ca. 10 Std. nach einem synoptischen Termin H mit anschließender 12stündiger Vorhersage als first guess für die Analyse des nächsten Termins H + 12),
- Verwertung aller (auch verspäteter AIREP- und Satelliten-) Daten in ihren jeweils üblichen Codes.

Die Mehrheit der europäischen Luftfahrtgesellschaften zieht es daher heute vor, auf eigene Kosten für Transatlantikleitungen digitale Daten von Washington zu beziehen, obwohl nordhemisphärische Daten auch in Europa zu erhalten wären. Es ist wohl an der Zeit, daß auch die europäischen Wetterdienste die Erstellung und/oder den Austausch qualitativ hochwertiger digitaler Daten mit globaler Abdeckung und die räumlich-zeitliche Assimilation aller asynoptischen Daten anstreben.

Der Austausch digitaler Daten in standardisierten Übertragungsnetzen und Codes böte außerdem eine elegante Methode, das gegenwärtig nicht mehr sehr effektive ICAO/ Area Forecast System zu sanieren, indem man bei Bedarf die digitalen Daten in analoge Kartenform zurückverwandelt. Auch die für den Nutzer leidige Diskrepanz zwischen digitalen Daten und Karten wäre damit beseitigt.

8

R. ANIOL und J. RIEDL, Hohenpeißenberg

Grenzen und Möglichkeiten des Einsatzes von Wetterradargeräten im Flugwetterdienst

1 Grenzen der Einsetzbarkeit

Das Prinzip der Radarmessung wurde bereits im Promet-Heft 3/1974 (1) behandelt. Jedoch sollen die allgemeinen Grundlagen in zwei Punkten noch ergänzt werden, die die Grenzen der Einsetzbarkeit von Wetterradargeräten betreffen.

1.1 Verteilung der Wolken und Regentropfen

Die Spektrenbreite der Wolken- und Regentropfen erstreckt sich etwa über 3 Zehnerpotenzen mit der Obergrenze von rund 6 mm Tropfendurchmesser. Welcher Teil davon vom Radar erfaßt und gemessen werden kann, hängt von den technischen Daten des Gerätes, im wesentlichen von der Wellenlänge, der Sendeleistung und der Empfängerempfindlichkeit sowie von der Entfernung des Zieles ab. Die folgenden Angaben gelten für das im DWD verwendete Gerät EEC WR 100-5 (Sendeleistung 250 kW, Wellenlänge 5,3 cm, 8-ft-Parabolspiegel mit 1,5° Keulenbreite). Die obere Grenze für die Radarmessung ist festgelegt durch die Wellenlänge, da die in der Praxis benutzte Rayleigh-Approximation zur Mie-Theorie fordert, daß die Wellenlänge des Radars groß gegenüber den Tropfendurchmessern sein muß. Die Angaben dieses Verhältnisses schwanken in der Literatur zwischen 3 : 1 und 20 : 1. Nimmt man ein mittleres Verhältnis von 10 : 1 an, dann bedeutet dies, daß mit dem zur Verfügung stehenden Radar als obere Grenze Regentropfen bis zu einem Durchmesser von 5,3 mm, also nach oben praktisch alle Tropfen quantitativ gemessen werden können. Als untere Grenze der Empfangsmöglichkeit berechnet sich aus der Radargleichung mit den technischen Daten des o.a. Radars in 10 km Entfernung für den Radarreflektivitätsfaktor Z ein Wert von rund 37. Die Abbildung 1 zeigt nun die Beziehungen, die zwischen Radarreflektivitätsfaktor Z , Tropfendurchmesser D und Tropfenzahl bestehen. Betrachtet man z.B. einen Tropfen mit einem Durchmesser von 0,1 mm, der im allgemeinen als Grenze zwischen den schwebenden Wolken- und den fallenden Regentropfen gilt, dann ergibt sich bei $Z = 37$ eine Tropfenzahl von $37/\text{cm}^3$, was einem Wassergehalt von $19,4 \text{ g/m}^3$ entspricht. Die größten gemessenen Wassergehaltswerte in Wolken liegen jedoch

knapp über 5 g/m^3 , für die meisten Wolken sind Werte unter 1 g/m^3 normal; die 5-g/m^3 -Linie ist in der Abbildung eingezeichnet, d.h. alle größeren Werte (in der Abbildung unterhalb der 5-g/m^3 -Linie) sind lediglich theoretischer Natur. Dem Schnittpunkt der $Z = 37$ Geraden mit der 5 g/m^3 -Linie ist eine Tropfengröße von etwas über 0,15 mm Durchmesser zugeordnet, die bereits im Bereich des Nieselns liegt. Bei größeren Entfernungen steigt der Z -Wert an, der die untere Grenze der Empfangsmöglichkeit angibt, so daß die erfassbaren Tropfengrößen gleichfalls ansteigen. Das Ergebnis lautet also: Das WR 100-5 kann im allgemeinen alle Regentropfen, aber keine Wolkentropfen erfassen und messen.

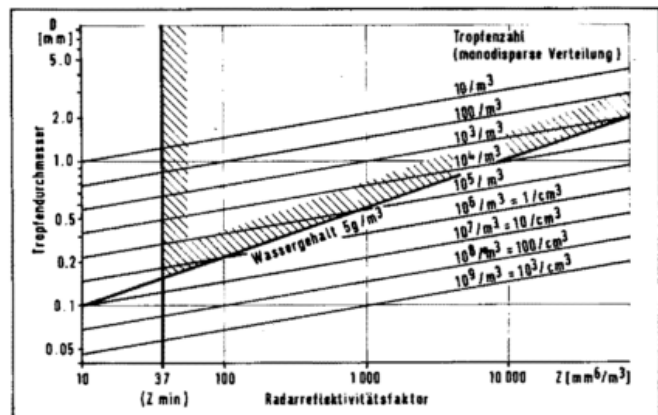


Abb. 1: Untere Grenze für das Erfassen von Tropfen mit dem WR 100-5 (8 ft) in 10 km Entfernung

1.2 Ausbreitung des Radarimpulses

Bedingt durch die Erdkrümmung wird der Abstand zwischen dem fast geradlinig sich ausbreitenden Radarstrahl und der Erdoberfläche bei normalen Ausbreitungsbedingungen mit zunehmender Entfernung immer größer (Abb. 2). Diese einfache Tatsache hat zur Folge, daß z.B. in 300 km Entfernung die Niederschlagsteilchen in einer Wolke mindestens bis zu einer Höhe von 5,5 km reichen müssen, um vom Radar überhaupt "gesehen" werden zu können. Für eine Radarmessung gilt außerdem die Voraussetzung, daß der Radarstrahl voll mit Niederschlagsteilchen erfüllt ist.

* Nach einem Vortrag auf der Flugwetterdiensttagung 1978 (s. S. 29)

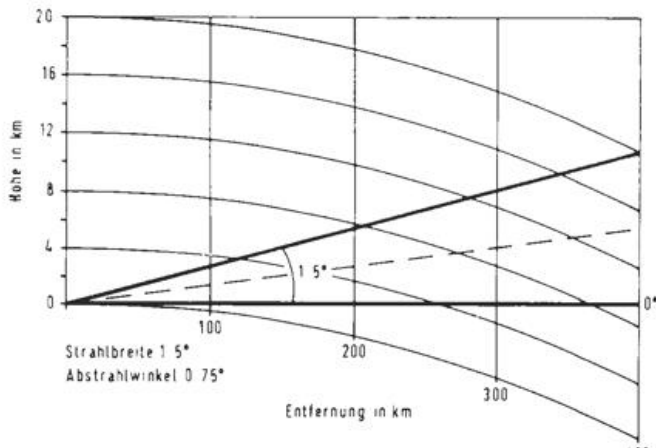


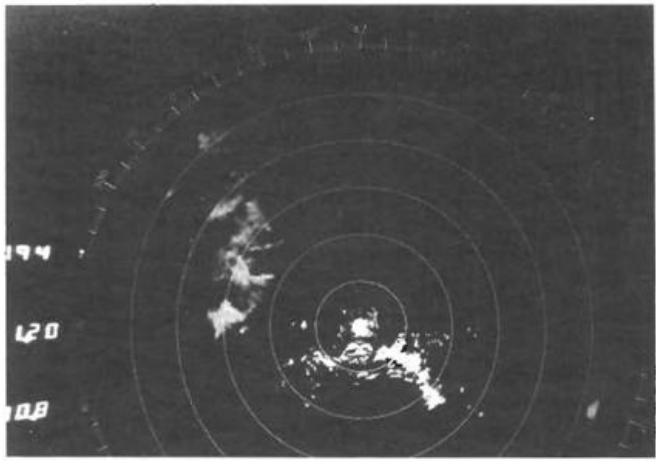
Abb. 2: Verlauf des Radarstrahls bei Normalrefraktion

Daraus folgt aber, daß die Niederschlagsteilchen in einer Wolke in 100 km Entfernung bis zu einer Höhe von 3 km, in 200 km Entfernung bis fast 8 km hinaufreichen müssen. Im letzteren Fall ist weiterhin zu berücksichtigen, daß im hiesigen Klimagebiet die Nullgradgrenze während des Sommers im Durchschnitt um 4 km hoch liegt, also die Niederschlagsteilchen bereits ins Eisniveau reichen werden, wodurch eine quantitative Radarmessung sehr erschwert, wenn nicht unmöglich wird. Dieses Ergebnis bedeutet für die Pra-

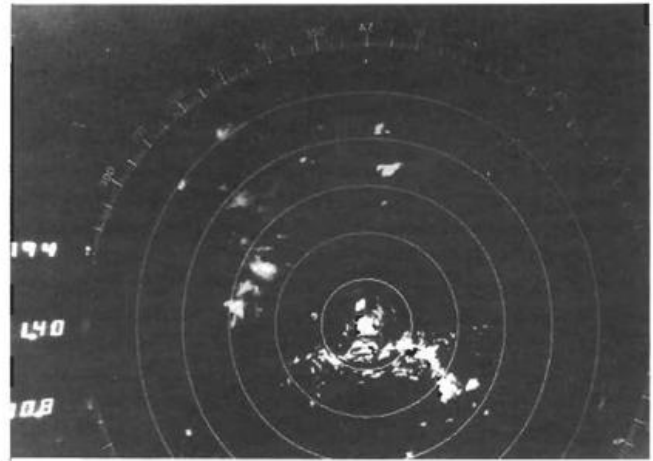
xis, daß bei optimaler Aufstellung des Radargerätes eine qualitative Aussage im allgemeinen bis etwa 200 km, eine quantitative Messung aber nur bis rund 100 km Entfernung möglich ist.

1.3 Arbeitsorganisation

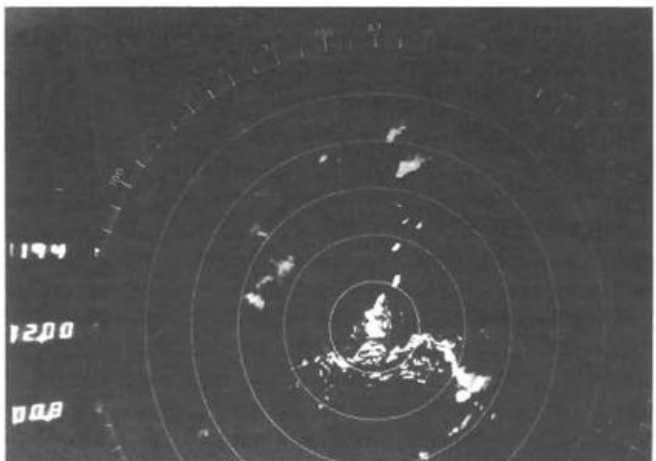
Neben diesen allgemeinen Grundlagen sei noch erwähnt, daß auch die Arbeitsorganisation mitunter zu einer Begrenzung der Aussagemöglichkeit von Wetterradargeräten führen kann. Im DWD werden zur Zeit von den Radarstationen routinemäßig stündliche Beobachtungen des PPI-Bildes (Plan Position Indicator = Horizontalbildschirm) in verschlüsselter Form über das Fernschreibnetz verbreitet. Aus solchen stündlichen Augenblicksbildern können aber wesentliche Fehlinterpretationen der Wetterlage entstehen. Nach einer Auswertung von Radarbeobachtungen im Alpenvorland (2) beträgt die Lebensdauer von konvektiven Niederschlagswolken im Mittel 54 Minuten, die häufigste Lebensdauer ist jedoch 27 Minuten. Eine Serie von PPI-Aufnahmen (Abb. 3) soll verdeutlichen, daß z.B. bei labilen Wetterlagen stündliche Radarbeobachtungen nicht ausreichend für eine klare Aussage über die Entwicklung sind. Das erste Bild um 11.20 Uhr zeigt eine aus dem Westen heranziehende Schauerstaffel. Eine Stunde später liegt eine Schauerstaffel rund 120 km östlich des ersten Standortes.



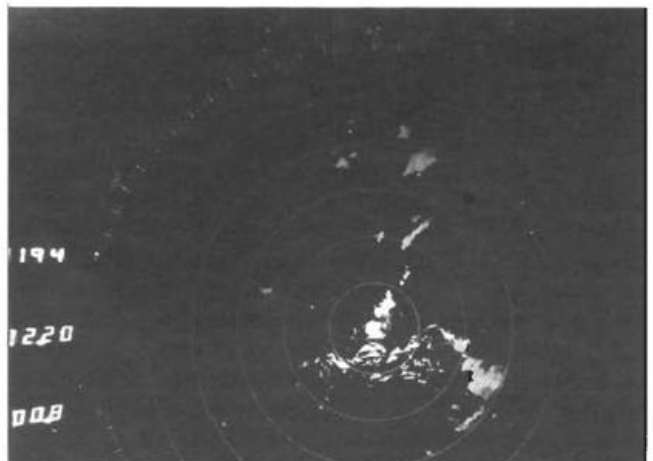
11.20 Uhr



11.40 Uhr



12.00 Uhr



12.20 Uhr

Abb. 3: PPI-Aufnahmen vom 13. 07. 1977 im 200-km-Bereich

Die Zwischenaufnahmen im 20-Minuten-Abstand beweisen jedoch, daß es sich nicht um die gleiche Schauerstaffel handelt, sondern um eine Neubildung, während die erste Staffel sich weitgehend auflöst. Zu ähnlichen Fehlinterpretationen kann es auch bei großflächigem Niederschlag kommen. Daher muß bei kritischen Wetterlagen das Radarbild ständig beobachtet werden, d.h. während dieser Zeiten muß ausgebildetes Personal für diese Aufgabe zur Verfügung stehen.

2 Weiterverarbeitung von Wetterradarsignalen

Bevor auf die Möglichkeiten des Einsatzes von Wetterradargeräten innerhalb der aufgezeigten Grenzen eingegangen wird, sollen in gedrängter Form die technischen Grundlagen für die Weiterverarbeitung von Wetterradar-Signalen und ihre Auswirkungen auf das Ergebnis bei der Berechnung des Niederschlags aus dem Radarecho behandelt werden.

2.1 Genauigkeit der Ausgangsgrößen

Beim Einsatz eines Wetterradargerätes zur Bestimmung der Niederschlagsintensität bildet die zur Antenne rückgestreute Leistung die Ausgangsgröße für die weitere Verarbeitung. Diese rückgestreute Leistung \bar{P}_r ist über die Radargleichung mit der Radarreflektivität Z verknüpft. Eine gebräuchliche Form dieser Gleichung lautet:

$$\bar{P}_r = \frac{\pi^3}{1024 \ln 2} \cdot \frac{P_t \cdot h \cdot G^2 \cdot \theta \cdot \phi}{\lambda^2} \cdot |K|^2 \frac{Z}{r^2}$$

Hierbei bedeuten: P_t [W] = Sendeleistung, h [m] = Impulslänge im Raum, G = Antennengewinn, θ, ϕ [radians] = Halbwertsbreite, λ [m] = Wellenlänge, r [m] = Entfernung und Konstante $|K|^2 = 0,93$. Eventuell notwendige Korrekturfaktoren für unvollständige Strahlfüllung oder Dämpfung des Radarstrahls sind hier weggelassen. Die Radarreflektivität Z [mm^6/m^3] ist wiederum über die empirische Beziehung $Z = A \cdot R^B$ mit der Niederschlagsintensität R [mm/h] verknüpft. Die meisten Faktoren in der Radargleichung kann man während der Messung als konstant annehmen. Den stärksten Schwankungen unterliegt die Radarreflektivität infolge der sich ständig ändernden Verteilung der fallenden Tropfen. Allgemein gibt man für das nach einer Gauß'schen Verteilung streuende Ausgangssignal eines logarithmischen Empfängers eine Standardabweichung von $\sigma = 5,57$ dB an (3). Dies bedeutet eine Genauigkeit (95%-Grenzen) von $\pm 10,9$ dB, die für eine Abschätzung der Niederschlagsintensität bei weitem nicht ausreicht.

2.2 Echo-Integration

Zur Steigerung der Genauigkeit wird im Video Integrator and Processor (VIP), ebenso wie im neueren Digital Video Integrator and Processor (DVIP), über mehrere Echopulse integriert. Die Integration über N_I statistisch unabhängige Echowerte reduziert die Standardabweichung um den Faktor $\sqrt{N_I}$ (4, 5). Der analoge VIP integriert jeweils über eine Strecke von 1 nautical mile (nm) in der Entfernung und über einen Winkel von 2° im Azimut. Jedes 1-nm-Streckenstück liefert bei einer Sendepulslänge von 600 m 6.17 unabhängige Echowerte, da jeweils die Echos aus der halben Pulslänge gleichzeitig bei der Antenne ankommen. Beim Überstreichen eines Winkelsegments von 2° werden bei einer Antennenrotation von 3 UpM und einem Sendeinter-

vall von 4 ms 27.78 Echowerte empfangen. Diese sind aber nicht statistisch unabhängig voneinander. Das Verhältnis von unabhängigen Echowerten N_I zur Gesamtzahl N hängt ab von der Wellenlänge λ , der Pulswiederholfrequenz PRF und der Standardabweichung σ_v der Geschwindigkeitsverteilung der Tropfen (≈ 2 m/s) (4).

$$\frac{N_I}{N} = \frac{2 \cdot \sqrt{2\pi} \cdot \sigma_v}{PRF \cdot \lambda}$$

Für das WR 100-5 erhält man $N_I = 0,76 \cdot N$. Insgesamt wird also bei dem "Flächenelement $1 \text{ nm} \times 2^\circ$ " über 129.7 unabhängige Echowerte integriert. Daraus resultieren eine Standardabweichung $\sigma_{\text{VIP}} = 0,49$ dB und eine Genauigkeit (95%-Grenzen) von $\pm 0,96$ dB. Dies bedeutet eine Verbesserung um den Faktor 11.

Der neue DVIP stellt eine digitale Version des analogen VIP dar. Mit ihm kann wahlweise über ein Entfernungselement (Δr) von 1 oder 2 km bzw. über 15 oder 31 Echopulse in Azimutrichtung (N_A oder β) integriert werden. Aus den Einstellmöglichkeiten resultieren dann die nachfolgend angegebenen Standardabweichungen:

Δr	N_A	15	31
1 km	σ_{DVIP}	0.90	0.63 dB
2 km		0.64	0.44 dB

2.3 Auswirkungen der Echointegration

Die Echointegration führt zwar zu einer wesentlichen Verbesserung der Genauigkeit, sie hat jedoch auch einige Nachteile. In der Darstellung des integrierten Videosignals auf dem Horizontalbildschirm (PPI) tritt ein effektiver Winkelfehler von etwa 1° auf, da sich die Antenne während der Integration weiterdreht. Diesen Fehler kann man beobachten, wenn man die Antenne im VIP-Betrieb (c-log) von Hand über ein Ziel hin und her bewegt. Es ist dann zu sehen, wie die Grenzlinien zweier Pegelwerte bei Änderung der Drehrichtung springen. Außerdem werden kleinräumige Starkechos durch die Mittelung über ein festes Flächenelement zwangsläufig zu niedrig bewertet. Der Radarbeobachter sollte sich stets darüber im klaren sein, daß mit der Wahl der Integrationsparameter Schrittweite Δr und Probenzahl N_A ein Kompromiß zwischen erreichbarer Genauigkeit und flächenmäßiger Auflösung verbunden ist. Einen Eindruck, wie der Parameter "Schrittweite Δr " das Ausgangssignal "integriertes Video" beeinflusst, soll Abbildung 4 geben. Es zeigt das integrierte Videosignal von kleinen Festzielen bei unterschiedlichen Schrittweiten. Deutlich ist zu erkennen, wie die Echos über die Schrittweite gemittelt werden und welche große Amplitudenunterschiede daraus resultieren. Die anschließende Pegelzuordnung erfolgt nur noch über die Amplitudenhöhe.

Die Pegelgrenzen werden nach vorgewählten Niederschlagsintensitätswerten über eine feste Z/R -Beziehung errechnet und eingestellt. Damit ist folgendes klar: Sobald Zahl oder Größe der Hydrometeore im Radarvolumen sehr verschieden ist von der bei der Wahl der Z/R -Beziehung angenommenen Verteilung, werden die vom Radar angezeigten Pegelgrenzen verschoben. Außerdem wirkt sich die Wahl der Pegelgrenzen sehr stark auf die praktische Nutzbarkeit der Intensitätsabschätzung durch den VIP bzw. DVIP aus. Tabelle 1 gibt eine Gegenüberstellung der Häufigkeitsvertei-

lung von Minutenintensitäten für drei Meßstationen (Hohenpeißenberg, Raisting in der Ammerebene und Windachspeicher im flachen Hügelland westlich vom Ammersee) nach zwei verschiedenen Klasseneinteilungen. Bei der oberen, auf stärkste Niederschläge ausgelegten Klasseneinteilung fallen bei allen drei Stationen etwa 98% aller Ereignisse in die ersten beiden Klassen, so daß die restlichen vier Pegelstufen praktisch kaum noch vorkommen. Deshalb wurde versucht, durch die untenstehende Klasseneinteilung eine bessere Auflösung und damit eine bessere praktische Nutzbarkeit zu erreichen.

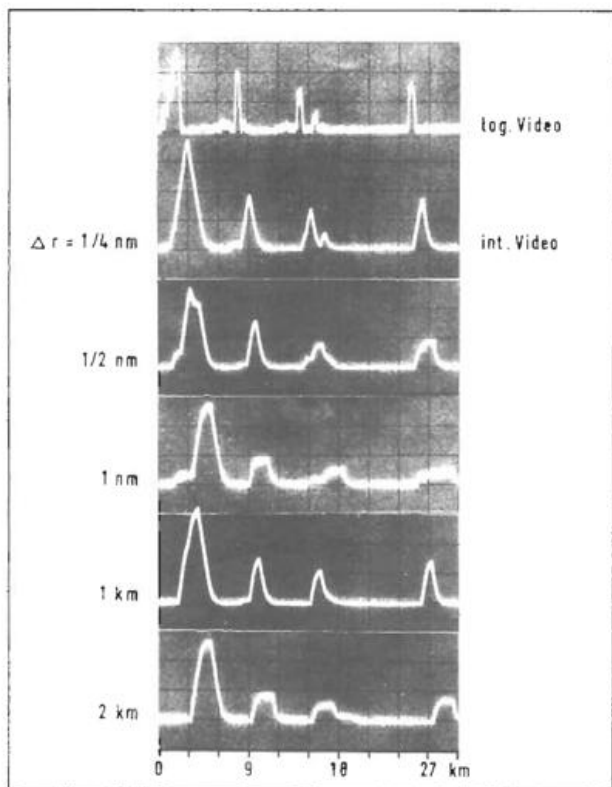


Abb. 4: Integrierte Videosignale bei verschiedenen Entfernungsschrittweiten

Tab. 1: Prozentuale Häufigkeitsverteilung von Regenintensitäten an 3 Stationen für unterschiedliche VIP-Pegelstufen (Minutenwerte der Sommerniederschläge, Mai – September, der Jahre 1972 – 76).

Klasseneinteilung	Hohenpeißenberg	Raisting	Windachspeicher
P1: ≤ 2.50 mm/h	82.6 %	84.3 %	83.8 %
P2: 2.51 – 12.49	15.9	14.5	14.9
P3: 12.5 – 24.99	0.9	0.8	0.9
P4: 25.0 – 49.99	0.4	0.3	0.3
P5: 50.0 – 124.99	0.2	0.1	0.1
P6: ≥ 125.0	0.0	0.0	0.0

P1: ≤ 0.49 mm/h	31.2 %	30.6 %	32.1 %
P2: 0.50 – 1.49	35.4	41.9	33.6
P3: 1.50 – 4.99	27.2	22.1	28.1
P4: 5.0 – 14.99	5.1	4.4	5.3
P5: 15.0 – 49.99	0.9	0.8	0.8
P6: ≥ 50.0	0.2	0.2	0.1

2.4 Einfluß der Z/R-Beziehung

Welchen Einfluß die Wahl der richtigen, d.h. für das jeweilige Niederschlagsereignis gültigen Z/R-Beziehung auf das Ergebnis der Echointegration hat, soll anhand der Abbildung 5 abgeschätzt werden. Mit dem schraffierten Balken ist die prozentuale Auswirkung eines Fehlers von ± 1 dB in der Messung der reflektierten Leistung auf die errechnete Niederschlagsintensität dargestellt. Die ± 1 -dB-Fehlergrenze liegt in der Größenordnung, wie sie oben als Genauigkeit

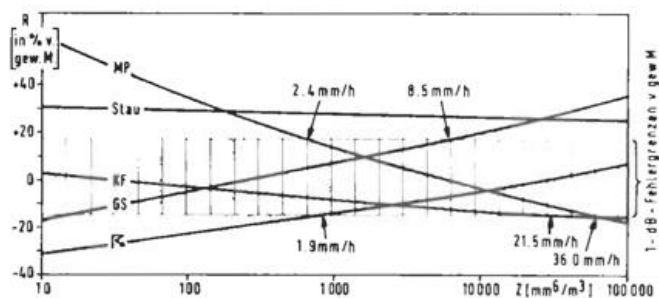


Abb. 5: Niederschlagsmengen für wetterlagenabhängige Z/R-Beziehungen in % von denen des gewichteten Mittels von Hohenpeißenberg (aus (6))

von VIP und DVIP ermittelt wurde. Ein Fehler von $+1$ dB beim Radar ergibt einen Fehler von $+17,5\%$, ein Fehler von -1 dB einen solchen von $-14,9\%$ bei der Niederschlagsintensität. Für die Berechnungen wurde die gewichtete mittlere Z/R-Beziehung vom Hohenpeißenberg $Z = 291 \cdot R^{1,43}$ verwendet. Weiter sind eingetragen die relativen Niederschlagsfehler verschiedener, wetterlagenabhängiger Z/R-Beziehungen bezogen auf das gewichtete Mittel. Man erkennt, daß die Kurven mancher Z/R-Beziehungen teilweise oder ganz außerhalb der ± 1 dB-Fehlergrenzen liegen. In diesen Fällen kann die Radar-Niederschlagsmessung durch die Verwendung spezifischer Z/R-Beziehungen verbessert werden.

Die Schwankungen der Z/R-Beziehungen sind nicht nur wetterlagenabhängig, sondern auch klimabedingt. 2-jährige Messungen des Regentropfenspektrums in Oberbayern und Mittelfranken erbrachten ein gewichtetes Mittel für Lichtenau bei Weilheim: $Z = 258 \cdot R^{1,42}$, für Nürnberg: $Z = 316 \cdot R^{1,40}$, die Werte für die einzelnen Niederschlagswetterlagen zeigen ähnliche Unterschiede. Es ist sehr wahrscheinlich, daß zwischen Nord- und Süddeutschland noch größere Unterschiede vorhanden sein werden. Aus diesem Grunde sollen im Rahmen einer langjährigen Planung auch für andere Klimagebiete das Regentropfenspektrum gemessen und daraus mittlere Z/R-Beziehungen berechnet werden. In diesem Jahr ist der Beginn der Messungen in Hamburg vorgesehen.

3 Möglichkeiten des Einsatzes von Wetterradargeräten

3.1 Derzeitiger Stand

Zur Zeit arbeitet im DWD praktisch jedes Radargerät unabhängig von den anderen, abgesehen von dem bereits erwähnten, stündlichen Austausch der Radarmeldungen. Die nachfolgenden Anforderungen an einem operativen Einsatz im

Flugwetterdienst sind dem Leitfaden "Das Wetterradar" (7) entnommen: Lage und Umfang von konvektivem Niederschlag; Lage, Art und Intensität von Niederschlägen; Angaben über Richtung und Geschwindigkeit der Verlagerung von markanten Echos; Höhe der Nullgradgrenze; Lage und Intensität von Turbulenzonen; Höhe der Niederschlagsgebiete; Hagelerkennung; Lage und Ausdehnung von für den Flugverkehr ungefährlichen Lufträumen.

Dieser Aufgabenkatalog und weitere Anforderungen, die aus dem praktischen Dienst kommen, enthalten z.T. Problemstellungen, die noch einer völligen Klärung bedürfen; d.h. es muß noch Forschungsarbeit geleistet werden. Ein Beispiel dafür ist die Hagelerkennung. In der Literatur findet man eine Anzahl von Arbeiten, die sich mit der Hagelerkennung beschäftigen. Doch sind die dabei genannten Kriterien z.T. im praktischen Dienst nur bedingt anwendbar und die Ergebnisse recht uneinheitlich. Die mitunter aus der Praxis geäußerte Annahme, daß die Überschreitung einer bestimmten Echoleistung, d.h. das Erreichen eines bestimmten VIP-Pegels ausreicht, um Hagel von starkem Regen zu unterscheiden, ist in dieser einfachen Form nicht richtig. Die Abbildung 6 zeigt die Verteilung der mit Radar gemessenen Niederschlagsintensität längs einer 37 km langen Strecke während einer Minute. Das Intensitätsniveau ≥ 50 mm/h, im DWD einem VIP-Pegel 6 entsprechend, erstreckt sich über etwa 8 km, selbst die Zone mit mehr als 125 mm/h ist noch rund 3 km breit. Aufgrund von anderen Beobachtungen handelt es sich in diesem Fall um einen Starkregen, bei dem Hagel völlig auszuschließen ist.

Von solchen, noch in den Forschungsbereich gehörenden Aufgaben abgesehen, kann bereits beim derzeitigen Stand mit einem modernen Radar eine Menge hochwertigen Beobachtungsmaterials erarbeitet werden, das durch entsprechend geschulte Meteorologen und Radarbeobachter interpretiert und in die sonstigen synoptischen Unterlagen eingefügt werden müßte. Allerdings ist die Durchführung dieser Aufgaben z.T. arbeitsaufwendig. Überlegungen zu einer weitgehenden Automation des Radareinsatzes im praktischen Dienst gewinnen daher auch im DWD an Bedeutung.

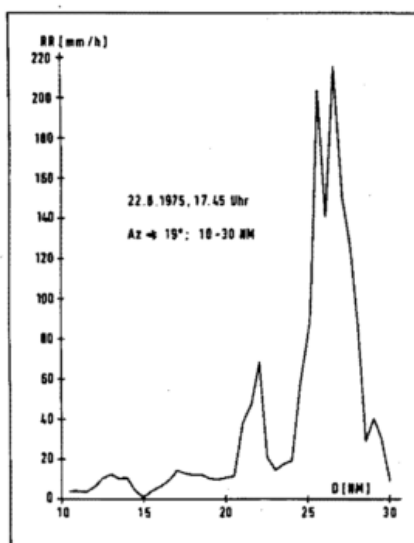


Abb. 6: Beispiel einer Verteilung der Niederschlagsintensität für 1 Minute längs einer Strecke (aus (8))

3.2 Radar-Verbundsystem

In der Abbildung 7 sind die Standorte der sechs (WR 100-5) Radargeräte bei den Flugwetterwarten Hamburg, Hannover, Düsseldorf, Frankfurt, Nürnberg, München und Stuttgart als nächster Standort für ein modernes Radargerät eingezeichnet. Legt man einen 200-km-Umkreis um jede Station als Reichweite für qualitative Aussagen über wesentliche Niederschlagserscheinungen im Sommerhalbjahr zugrunde, wird von den 7 Geräten bereits das gesamte Bundesgebiet ohne Berlin überdeckt. Für quantitative Niederschlagsmessungen sowie für Informationen, die aus dem RHI-Bild (Range Height Indicator = Vertikalbildschirm) gewonnen werden (nutzbare Entfernung bis 100 km), klaffen noch einige Lücken.

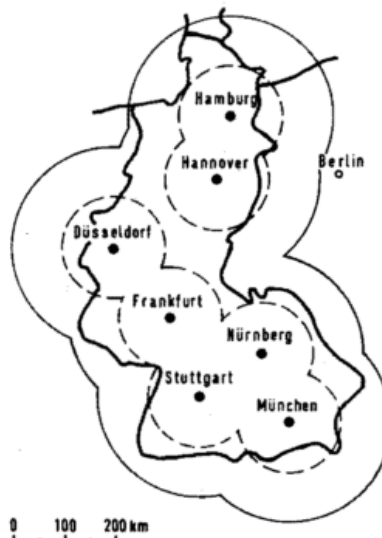


Abb. 7: 200-km- und 100-km-Bereiche für 7 Radarstandorte

3.2.1 Verarbeitung am Radarstandort

Für die weitergehende Nutzung der Radarinformation muß ein Prozeßrechner eingeschaltet werden. Die Abbildung 8 stellt als Blockschaltbild die Anschaltung eines Prozeßrechners an ein Wetterradar dar. Die Echodaten werden ohne

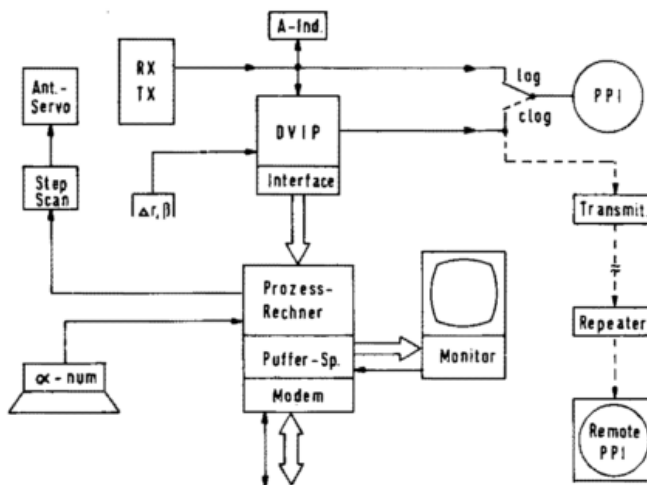


Abb. 8: Blockschaltbild Radar-Verbundsystem: Prozeßrechner am Radarstandort

Pegelbewertung an den Rechner gegeben. Im Rechner erfolgt anhand einer vom Radarbeobachter festzulegenden Z/R-Beziehung die Umrechnung der gemessenen Leistungswerte in Niederschlagsintensitäten. Für eine Weiterverarbeitung der Daten, insbesondere für eine spätere Bildkomposition ist der Übergang vom Polar- auf ein rechtwinkliges Koordinatensystem zweckmäßig. Im Monitor-Interface können die Niederschlagswerte einer 8stufigen Farbskala für die Darstellung auf einem Farbfernsehmonitor zugeordnet werden.

Von besonderem Interesse sind im Flugwetterdienst die Höhen der Radarechos. Um diese für den gesamten 360°-Bereich zu ermitteln, ist eine Abtastung des Raumes in unterschiedlichen Höhenwinkeln notwendig. Dazu steuert der Prozeßrechner über eine sog. Step-Scan-Einrichtung die Antenne schrittweise nach jedem Umlauf um einen bestimmten Winkelbetrag höher und ermittelt in einem sogenannten CAPPI (Constant Altitude PPI)-Programm die Echostärken in mehreren Höhenschichten. Solche Höhenschichten, z.B. 3, 6, 9 und 12 km können dann auf dem Monitor dargestellt werden. Ein Step-Scan-Zyklus würde je nach der Zahl der Höhenschichten etwa 3 - 5 Minuten dauern, so daß dem Radarbeobachter noch ca. 10 Minuten Zeit für manuelle Bedienung am Radar verbleiben, wenn man von einer Bilderneuerungsrate von 15 Minuten ausgeht. Ein Weg zur Reduzierung der Datenmenge bei der Fernübertragung wäre das Anfügen von zwei zusätzlichen Balken für die Zeilen und Spalten an das Grundbild, in denen die jeweils maximale Höhe der Echos pro Zeile bzw. Spalte angegeben ist.

Als weitere Aufgabe hat der Prozeßrechner die normalen Bodenechos zu berücksichtigen. Dies geschieht, indem die in einem Routineprogramm während der niederschlagsfreien Zeit ermittelte Bodenechokarte im feinsten Raster (z.B. 1 x 1 km) mit dem aktuellen Echo verglichen wird. Vier Elemente dieses Rasters bilden jeweils die Unterzellen der Flächenelemente von 2 x 2 km im Haupttraster. Ist mindestens eine Unterzeile der "Clutterkarte" frei von Bodenechos, so kann im Haupttraster der höchste Echowert der clutterfreien Unterzellen als Niederschlagswert angegeben werden; ist keine der Unterzeilen frei von Bodenechos, so muß das ganze Flächenelement mit dem niedrigsten Echowert der Unterzellen belegt und die Clutterkennzeichnung für das Flächenelement gesetzt werden. Die Clutterbits werden mit ausgegeben, so daß der Beobachter an einem Monitor die Wahl zwischen dem Echobild mit oder ohne dem normalen Clutter hat. Die Möglichkeit der Unterdrückung von Bodenechos besteht bei den bisher üblichen "Remoting Systems", wie es in Abbildung 8 gestrichelt eingezeichnet ist, nicht. Schließlich sollte der Beobachter am Radar noch die Möglichkeit haben, den entfernten Benutzer des Bildes auf Besonderheiten wie Intensivzonen und deren Höherstreckung oder Ausbreitungsanomalien hinzuweisen. Besonders Überreichweiten und Angels sind in Farb- oder Graucodierung nicht mehr von Niederschlagsechos zu unterscheiden, wenn man — wie der entfernte Betrachter — keinen A (Amplituden)-Indikator zur Verfügung hat. Für die Kennzeichnung wäre eine α -numerische Eingabe in den Prozeßrechner zu benutzen, mit der das entsprechende "Planquadrat" adressiert und mit einer bestimmten Kennung versehen wird. Die Lokalisierung könnte auch mit einem sog. graphischen Display bewerkstelligt werden. Durch Abtasten der gewünschten Punkte mit einem Griffel auf dem Display werden die Koordinaten automatisch bestimmt, auf der Tastatur wird dann nur noch die Codierung eingetastet.

Zur besseren Orientierung auf dem Monitorbild sollte die Möglichkeit bestehen, ein Geographie-Overlay einzublenden.

3.2.2 Zentrale Datenverarbeitung

Für eine überregionale Nutzung werden dann die Daten sämtlicher Radargeräte an einen zentralen Rechner gegeben. Abbildung 9 zeigt das Blockschaltbild der zentralen Verarbeitung. Die über Modems von den einzelnen Radar-

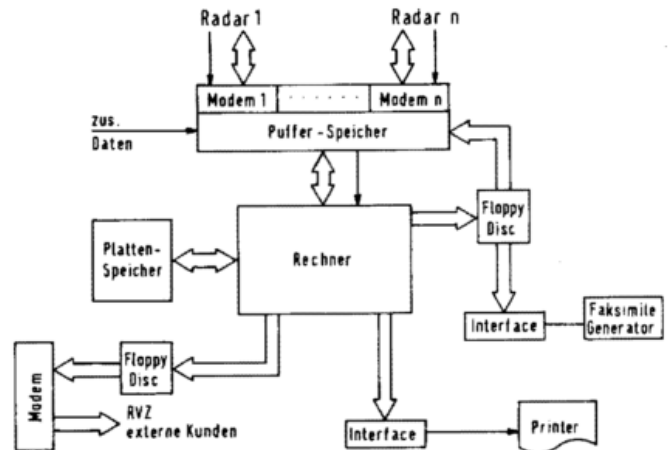


Abb. 9: Blockschaltbild Radar-Verbundsystem: Zentrale Datenverarbeitung

standorten einlaufenden Daten werden in einem Pufferspeicher gesammelt. An dieser Stelle bestünde die Möglichkeit, zusätzlich Daten anderer Quellen, z.B. Satelliten, einzuspeisen. Wegen des enormen Datenanfalls wird man zur Ergänzung des Rechners einen Plattenspeicher benötigen. Der Rechner hat die Aufgabe, die "Bilder" der einzelnen Radargeräte zu Regionalbildern oder zu einem Gesamtbild zusammenzufügen. Auch die weitere Verarbeitung der Daten, wie z.B. die Erstellung von Niederschlagssummenkarten, wäre von diesem Rechner zu übernehmen. Abhängig von der gewünschten Ausgabeart, Drucker, Faksimile oder TV-Monitor, hat der Rechner die Daten über seine Peripherie im entsprechenden Format bereitzustellen. Die Radarstandorte und die Regionalen Vorhersagezentralen (RVZ) sollten die Möglichkeit haben, das Bild eines jeden anderen Radars und alle Bildkompositionen von der Zentrale abzurufen. Ebenso könnten den externen Kunden, wie z.B. der Flugsicherung, die für sie wichtigen Bilder übertragen werden. In den dortigen Bildschirmen wäre die Einspeisung der bereits interpretierten Wetterradar-Informationen z.B. in schraffierter Form wie in Abbildung 10 vorstellbar. Die Ausgabe über Faksimile oder Drucker dürfte mehr der Dokumentation bzw. der Ausgabe von Niederschlagssummenkarten vorbehalten sein.

3.2.3 Schrittweiser Ausbau

Es ist klar, daß ein dermaßen komplexes Verbundsystem nicht in einem Zug verwirklicht werden kann. Dagegen sprechen neben den Problemen der Finanzierung auch Zweckmäßigkeitsgründe. Man wird immer einen schrittweisen Ausbau vornehmen müssen, um während des Ausrüstungsvorgangs bereits die zwischenzeitlich gewonnenen Erfahrungen der vorhergehenden Ausbauschritte berücksichtigen zu können. Trotzdem müssen zuvor in einem Gesamt-

konzept die meteorologischen Anforderungen des Fachdienstes mit den radartechnischen, übertragungstechnischen und rechnerischen Möglichkeiten abgeklärt sein.

Als ersten Schritt wird man am Radar, soweit noch nötig, den alten analogen VIP gegen einen DVIP austauschen, der bereits mit einem Ausgangsinterface ausgerüstet ist. Eine bessere Ausnutzung der Radardaten würde erst der zweite Schritt – Anschluß von Prozeßrechner, Monitor und Step-Scan-Einrichtung – bringen. Wenn im dritten Schritt die Station mit α -numerischer Eingabe und Modem vervollständigt ist, wären als Zwischenlösung bereits Übertragungen der Bilder einzelner Stationen untereinander möglich. Als vierter Schritt würde sich dann die Ausrüstung der RVZs mit Modem und Monitor ergeben, damit diese Dienststellen auch Radarbilder anfordern können. Als fünfter Schritt käme die Einfügung des zentralen Rechners, mit dessen Hilfe dann Bildkompositionen und weitergehende Verarbeitung durchzuführen sind. Als Fernziel schließlich sollte eine Zu-

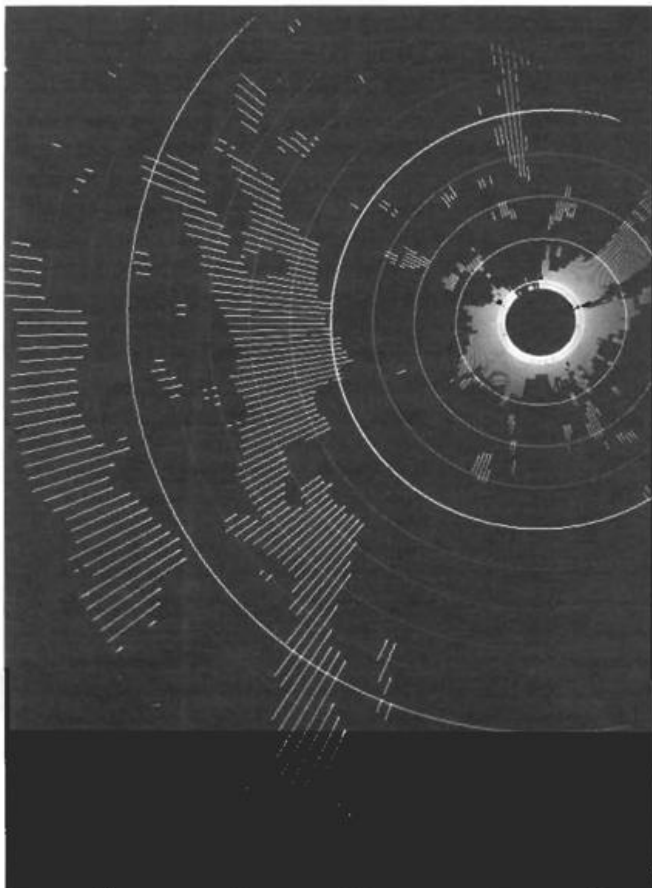


Abb. 10: Darstellung integrierter Radarechos als Schraffur (mit Genehmigung der Thomson-CSF, Fotolabor).

sammenschaltung mit geeigneten Radargeräten benachbarter Länder angestrebt werden. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß z.B. der Schweizer Wetterdienst einige Teile des hier kurz geschilderten Verbundsystems bereits in der Praxis eingeführt hat (9)

4 Schlußbemerkung

Trotz der beträchtlichen finanziellen und technischen Mittel, die zur Verwirklichung dieser Vorschläge benötigt werden, sind und bleiben Meteorologe und Radarbeobachter in diesem System sehr wichtig. Das Wetterradargerät erfaßt von meteorologischen Erscheinungen im allgemeinen nichts anderes als Echos von Niederschlagsteilchen. Jeder Schluß aus den verschiedenen Darstellungsarten, ob Zustand oder Vorhersage, ist eine Interpretation, die meteorologisch fundiert sein muß. Dies erfordert einerseits noch einige Forschungsarbeit und andererseits die entsprechende Aus- und Weiterbildung von Radarbeobachtern und Meteorologen als Grundvoraussetzung für eine verbesserte Anwendung und Ausnutzung der modernen Radargeräte im praktischen Wetterdienst.

5 Literatur

- (1) Das Prinzip des Radars.
Promet 4 (1974) Nr. 3, S. 1 – 6.
- (2) MÜLLER, H. G.; SINGLER, A.
Radarbeobachtungen an konvektiven Niederschlägen im Voralpengebiet. Meteorol. Rdsch. 25 (1972) S. 45 – 51
- (3) SIRMANS, D.; DOVIK, R. J.
Meteorological radar signal intensity estimation. NOAA Techn. Mem. ERL NSSL-64 (1973).
- (4) MARSHALL, J. S.; HITSCHFELD, W.
Interpretation of the fluctuating echo from randomly distributed scatters. Pt. 1. Canad. J. Phys. 31 (1954) S. 962 – 994.
- (5) NATHANSON, E.
Radar design principles. New York: McGraw-Hill Book Comp. 1969.
- (6) ANIOL, R.; RIEDL, J.
Schwankungen der Z/R -Beziehungen und ihre Auswirkung auf die quantitative Radarniederschlagsmessung. Meteorol. Rdsch. 29 (1976) S. 151 – 159.
- (7) OHLBRÜCK, G.
Das Wetterradar. Leitfäden für die Ausbildung im Deutschen Wetterdienst Nr. 7 (1975).
- (8) ATTMANNSPACHER, W.; RIEDL, J.
Gleichzeitige Flächenniederschlagsmessungen mit einem X- und einem C-Band-Radargerät. Kleinheubacher Berichte Nr. 20 (1977) S. 371 – 378.
- (9) JOSS, J.
Erfassung von Wetterradardaten in der Schweiz. Arbeitsber. Schweiz. Meteorol. Zentr.-Anst. Nr. 79 (1978).

Zum Berufsbild des Meteorologen und Wetterberaters

Studiensituation

Seit nunmehr 5 Jahren wird vom Meteorologischen Institut der Universität München aufgrund von Umfragen bei den Hochschulen eine Statistik über die Studiensituation erstellt. Das Ergebnis der letzten Umfrage ist in Tabelle 1 zusammengefaßt. Die Zahlen gelten für das Wintersemester 1977/78 bzw. für das Jahr 1977.

- 12: Zahl der Planstellen für Wissenschaftler am jeweiligen Institut
- 13: Zahl der Stellen, die aus Drittmitteln bezahlt werden
- 14: Zahl der Stellen unter (12) und (13), die mit Doktoranden besetzt sind.

Tab. 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Berlin	151	20	(11)	20	20	11	1	3	2	2	4	34	6	4
Bonn	113	9	10	7	15	5	1	4	-	1	1	6	5	4
Darmstadt	84	14	14	3	(30)	4	-	-	4	-	-	5	7,5	3
Frankfurt	88	10	8	6	23	5	-	2	2	1	-	3	6	5
Hamburg	(120)	20	23	5	19	4	-	2	2	-	-	10	16	5
Hannover	85	11	6	6	14	10	-	2	5	-	2	6	5	6
Karlsruhe	46	9	10	-	10	1	-	-	-	-	1	4	2	-
Kiel	91	10	10	2	12	6	-	-	2	-	4	5	3	2
Köln	53	10	5	6	16	4	-	-	3	1	-	4	6	5
Mainz	118	24	2	8	14	6	2	1	2	-	3	10	4	6
München	131	42	27	9	10	3	1	1	3	-	-	24	6	9
Summe	1080	179	126	72	183	59	5	15	25	5	15	111	66	49

Zum Vergleich die Ergebnisse der letzten vier Jahre:

1976/77	1106	179	327	57	151	43	12	17	15	4	20	113	57	38
1975/76	1295	570	258	70	101	39	15	24	22	5	20	106	62	60
1974/75	829	316	172	69	96	31	17	27	18	4	?	93	69	53
1973/74	672	260	?	≈43	≈70	38	8	17	13	6	?	111	?	?

Erläuterungen:

- Spalte 1: Gesamtzahl der Studenten im Hauptfach Meteorologie
- 2: Zahl der Studenten im 1. und 2. Semester
- 3: Zahl der Dritt- und Viertsemestrigen
- 4: Zahl der Doktoranden
- 5: Zahl der Vordiplome im Jahr 1977
- 6: Zahl der Abschlüsse mit dem Diplom
- 7: Zahl der Promotionen
- 8: Zahl der zum DWD und Geophys. BDBW gegangenen Absolventen
- 9: zu wissenschaftlichen Instituten gegangen
- 10: zu anderen Arbeitgebern gegangen
- 11: noch ohne feste Anstellung

Die Zahlen in Klammern sind geschätzt.

Gegenüber dem Vorjahr ist sowohl die Anfängerzahl als auch die Gesamtstudentenzahl, die wesentlich von der Zahl der Studienanfänger bestimmt wird, stabil geblieben. Das liegt wohl

Tab. 2

	N.C.		Anfänger (voraussichtlich)		
	SS 77	WS 77/78	SS 78	WS 78/79	
Berlin	nein	-	unbeschränkt		
Bonn	ja	-	19	-	19
Darmstadt	ja	-	22	-	22
Frankfurt	ja	-	18	-	?
Hamburg	ja	15	17	18	(18)
Hannover	ja	-	16	-	11
Karlsruhe	ja	-	9	-	13
Kiel	ja	3	7	?	?
Köln	ja	-	14	?	?
Mainz	ja	-	20	-	20
München	nein	-	unbeschränkt		

daran, daß an 9 von 11 Universitäten ein Numerus Clausus (N.C.) besteht. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Zulassungsquoten des vergangenen Jahres und über die voraussichtlichen Quoten für 1978.

Erstaunlich ist, daß nicht alle Zulassungsquoten ausgeschöpft wurden und auch in Berlin und München die Anfängerzahlen stark zurückgegangen sind. Der scharfe N.C. wird in einigen Jahren wesentlich zu einer Beruhigung der Berufssituation beitragen. Die Zahl der Drittsemester ist verglichen mit den Vorjahren geringer; die Schwundquote vom 1./2. zum 3./4. Semester beträgt aber nur 30% gegenüber 43% von 1975 auf 1976. Etwa 350 Studenten haben im vergangenen Jahr das Studium abgebrochen, nur $\frac{1}{7}$ davon im 1. und 2. Semester, die anderen in höheren Semestern. Die Zahl der Doktoranden ist von 1976 auf 1977 wieder angestiegen.

Die nächsten drei Jahre werden noch ganz im Zeichen eines Überangebots an Meteorologen stehen. Die Zahl der Vordiplome ist auf 183 angestiegen, und die Zahl der Diplome ist von 43 auf 59 angewachsen. Man muß in den nächsten Jahren mit weiter steigenden Absolventenzahlen rechnen. Erfahrungsgemäß sind zwar die Schwundquoten umso höher, je höher die Studentenzahlen sind, aber es werden sicherlich mehr als die Hälfte der 183 Vordiplomkandidaten in etwa 3 Jahren das Diplom erhalten.

Angesichts dieser Lage kann nicht oft genug darauf hingewiesen werden, daß Meteorologen eine mathematisch-physikalische Ausbildung haben und Spezialkenntnisse auf den Gebieten EDV, Elektronik, Luftchemie, Meßtechnik u.a. besitzen. Sie könnten also durchaus an Stellen vermittelt werden, die heute von Physikern oder Ingenieuren besetzt sind.

B. HENNEMUTH, München

Berufsaussichten

Bei der Abschätzung von "Berufsaussichten" empfiehlt es sich, *dreierlei* zu unterscheiden: Einmal die *Bewerbungs- oder Zulassungsaussichten*, d.h. die Möglichkeiten in den Beruf "hineinzukommen"; zum anderen die *Fortkommenschancen*, also die Möglichkeiten, im ergriffenen Beruf "voranzukommen" oder "aufzusteigen", und schließlich die *Entwicklung des Berufsbildes* selbst, die erfahrungsgemäß rasch und unmittelbar auf die beiden ersten Sachverhalte einwirkt.

Hier soll nachfolgend nur von *Berufsaussichten im erstgenannten Sinne* die Rede sein, nachdem inzwischen für alle drei im Deutschen Wetterdienst (DWD) und Geophysikalischen Beratungsdienst der Bundeswehr (GeophysBDBw) vertretenen Laufbahnen mehr Bewerber anstehen, als Nachwuchskräfte eingestellt werden können.

Bewerbungsaussichten

Üblicherweise werden die Bewerbungsaussichten durch eine Verhältniszahl ausgedrückt, die angibt, wieviele Bewerbungen auf jede zu besetzende Stelle entfallen. Aus dem Vergleich zwischen den voraussichtlichen Einstellungszahlen einerseits und den Bewerbungseingängen in den letzten Monaten andererseits, lassen sich nach den Erfahrungen der Vergangenheit für das Kalenderjahr 1978 folgende Bewerbungsaussichten abschätzen:

Höherer Dienst ("Referendarlaufbahn"): zwischen 1:3 und 1:4

Gehobener Dienst ("Inspektorenlaufbahn"): zwischen 1:50 und 1:80 *

Mittlerer Dienst ("Assistentenlaufbahn"): zwischen 1:10 und 1:15.

Mittlerer und Gehobener Dienst

Oberflächlich betrachtet trifft die allgemeine Arbeitsmarktlage die Bewerber für den Mittleren und Gehobenen Dienst am härtesten. Die Bewerber für diese beiden Laufbahnen haben jedoch

*) Zwischen den Einstellungsterminen Herbst 1978 und Frühjahr 1980 nach derzeitiger Planung keine Einstellungen in den gehobenen Dienst.

im Hinblick auf eine wetterdienstliche Tätigkeit in der Regel so gut wie keine Vorleistungen erbracht, während die Hochschulabsolventen bereits ein mehrjähriges, auf den angestrebten Beruf ausgerichtete Studium hinter sich haben, wenn sie als Bewerber für die Referendarausbildung auftreten.

Die für den Mittleren und Gehobenen Dienst angegebenen Verhältniszahlen spiegeln auch deswegen die Wirklichkeit nicht ganz richtig wider, weil meistens eine zweite, dritte oder weitere Bewerbung nebenher läuft, wozu auch von den Beratern bei den Schulen, Arbeitsämtern usw. ermuntert wird. Oft ist der gemeinsame Nenner der Parallelbewerbungen nur das Bestreben, in einen "Beamtenberuf" zu gelangen, ganz gleich wie diese Tätigkeit im einzelnen aussieht. Es wurden Bewerber bekannt, die sich Vordrucke hergestellt und Dutzende von Bewerbungen abgesandt hatten. Hierbei kann natürlich von einer besonderen inneren Neigung zu den meisten der oft aus Verzeichnissen ausgesuchten Berufe nicht mehr die Rede sein. Die Berufswahl ist hier unter dem Zwang der Verhältnisse zur Suche nach irgendeinem "Job" entartet.

Das Ausbildungsreferat des DWD, dem die büromäßige Bearbeitung obliegt, muß in Anbetracht hunderter und sonst kaum zu bewältigender Bewerbungen für den Mittleren und Gehobenen Wetterdienst im Auftrag der Ausleseausschüsse eine Vorauswahl anhand der Zeugnisse vornehmen, so daß nur etwa viermal so viele Bewerber, wie offene Stellen vorhanden sind, in die Endauswahl gelangen; diese haben dann, weitgehend gleichzeitig, an einer Reihe von Dienststellen des DWD einen schriftlichen Test zu bearbeiten und werden interviewt. Zeugnisnoten, andere schriftliche Unterlagen sowie die Ergebnisse der schriftlichen Tests und die Erkenntnisse aus den Bewerbergesprächen bilden die Grundlage für die endgültige Auslese durch die jeweiligen Ausleseausschüsse. Dabei müssen über die Bewerberzahl hinaus zunehmend mehr Ersatzbewerber mit ausgewählt werden, denn in der verhältnismäßig langen Zeitspanne zwischen Bewerbung und Auslese werden gerade die geeignetsten Bewerber auch von anderen Behörden und Firmen, bei de-

nen sie sich gleichzeitig beworben hatten, als "gut" erkannt. Sie stehen, sobald sie von irgendwoher einen positiven Bescheid auf eine Bewerbung erhalten haben, in der Regel zum Einstellungstermin nicht mehr zur Verfügung.

Eine von geübten Interviewern bisher noch bewältigte, aber zunehmende Schwierigkeit liegt in der vergleichsweise geschickten Vorstellungstaktik "schlechter" Bewerber, die sich mit jedem der erfolglos absolvierten Vorstellungsgespräche weiter verbessert. Der arglose Interviewer erfährt so z.B. zu seinem Erstaunen von vielen Bewerbern, daß sie schon in den Jahren frühester Kindheit, sozusagen aus dem Sandkasten heraus, regelmäßig ihre Augen zum Himmel richteten, um Wolkenformen und Wolkenzug zu beobachten. Ein "Hinterfragen" ergibt in fast allen Fällen, daß es sich hier um eine vorgespiegelte Motivation handelt.

Höherer Dienst

Eine oft geradezu leidenschaftliche Hinwendung zur Meteorologie liegt jedoch bei vielen Bewerbern für den Höheren Wetterdienst vor. Die Zahl derer, die durch eine Art "Trichtereffekt" infolge des Numerus clausus anderer Fachbereiche in die anfangs noch freien sog. "kleinen" Fächer, darunter die Meteorologie, gelangten, scheint vergleichsweise klein zu sein. Auch besteht der Eindruck, daß die von Anfang an motivierten Meteorologiestudenten in der Mehrzahl der Fälle ihr Studium auch erfolgreicher absolvierten, als die dorthinein verschlagenen.

Die Affinität zu meteorologischen Sachverhalten geht gelegentlich so weit, daß sich die Betroffenen innerlich dagegen sträuben, auch nur die Möglichkeit einer anderen beruflichen Tätigkeit zu erwägen. Hier sollte jedoch ein nüchterner Realitätssinn über die gefühlsmäßige Neigung siegen; die Wirklichkeit sieht einfach so aus, daß inzwischen von den Hochschulen mehr geeignete Absolventen des Meteorologiestudiums kommen, als Plätze für die Referendarausbildung verfügbar sind. Diese Tatsache trat erstmals 1975 zutage. Seither ist der sofortige

reibungslose Übergang von der Hochschulbildung in die Referendarzeit keine Selbstverständlichkeit mehr. Die derzeit gültige Laufbahn-, Ausbildungs- und Prüfungsordnung (LAPO) für den Höheren Wetterdienst vom 28. Mai 1974 sieht in § 2 (1) 2 vor, daß "bei Bedarf" auch Bewerber zugelassen werden können, die ihr Studium der Naturwissenschaften mit der Diplomprüfung oder Promotion an einer Universität oder einer anderen gleichstehenden Hochschule mit *Meteorologie als Nebenfach* oder *Physik als Hauptfach* abgeschlossen haben. Da diese Möglichkeit über die Berufsberatung der Arbeitsämter und sinngemäß auch durch die "Blätter zur Berufskunde" einem großen Kreis von Nicht-Meteorologen bekannt wurde, erfolgen seit Anfang 1977 vermehrt Anfragen vor allem von Physikern. Um die Bewerbungsaussichten der "Hauptfachmeteorologen" hierdurch nicht noch weiter absinken zu lassen, stellte der Ausleseausschuß im Juli 1977 einstimmig fest, daß ein "Bedarf" im Sinne des obigen Satzes derzeit nicht besteht, so daß Bewerbungen von reinen Physikern und "Nebenfachmeteorologen" nunmehr nicht weiter verfolgt zu werden brauchen. Solche Bewerber werden nur noch in besonderen Zweifelsfällen zu einem klärenden Gespräch eingeladen.

Die *Auswahl der Bewerber* für den Höheren Wetterdienst erfolgt nach § 3 (2) LAPO durch den vom Bundesminister für Verkehr hierzu bestellten *Ausleseausschuß*, der aus dem Präsidenten des DWD als Vorsitzendem sowie je 2 Beamten des Höheren Dienstes des DWD und des GeophysBDBw besteht. Die Auslese hat nach den Grundsätzen des § 8 Abs. 1 Satz 2 des Bundesbeamtengesetzes zu geschehen. Dieser lautet auszugsweise: "Die ... Auslese ist nach Eignung, Befähigung und fachlicher Leistung ohne Rücksicht auf Geschlecht, Abstammung, Rasse, Glauben, religiöse oder politische Anschauungen, Herkunft oder Beziehungen vorzunehmen."

Stipendiaten der Bundeswehr durchlaufen nach der augenblicklich gültigen Regelung grundsätzlich das gleiche Ausleseverfahren. Werden sie negativ beschieden, so müssen sie ihre Bewerbung noch über 2 Jahre aufrechterhalten.

Nach § 2 (2) der LAPO dürfen Bewerber am Tage der Einstellung in den Vorbereitungsdienst das 32. Lebens-

jahr, als Schwerbeschädigte das 40. Lebensjahr, nicht überschritten haben. Als Leiter der Gesamtausbildung ist der Präsident des DWD jedoch wie bisher bereit, für ältere Bewerber des DWD oder des GeophysBDBw, die ihm vom Ausleseausschuß als qualifiziert benannt wurden, den Bundesminister für Verkehr um Beantragung einer Ausnahme beim Bundespersonalaus-schuß zu bitten.

Die nachfolgende Zusammenstellung zeigt die Entwicklung bei der *Einstellung von Referendaren* in den Jahren 1976 und 1977 bis zum ersten Einstellungstermin 1978:

Einstellungs-termin	Bewerbungen			In den Vorbereitungsdienst aufgenommen für		
	Erstbewer-bungen	Erneute Bewerb.	Gesamt	DWD	Geophys BDBw	Gesamt
02.01. und 01.04.1976	18	4	22	4	10	14
01.10.1976	21	2	23	4	3	7
01.04.1977	20	13	33	3	1	4
01.10.1977	8	23	31	5	7	12
03.04.1978	20	12	32	10	3	13

Ganz gleich, wie man die Zahlen auswertet: Es besteht ein *Trend zur Verringerung der Bewerbungsaussichten*. Setzt man die Gesamtzahl der im einzelnen Jahr eingestellten Referendare zur Summe aller Bewerbungen des jeweiligen Jahres in Beziehung, so ergibt sich die Verhältniszahl für 1976 mit etwa 1 : 2, für 1977 mit etwa 1 : 4. Im Jahre 1976 war zunächst bereits für 1977 ein Rückgang der Bewerbungsaussichten auf 1 : 5 befürchtet worden. Daß dies nicht eintrat, liegt an dem Einfallsreichtum, den die Hochschulabsolventen inzwischen bei der Aufdeckung von Beschäftigungsmöglichkeiten bewiesen. Eine Dokumentation des "Arbeitskreises Berufsmöglichkeiten des Meteorologen (AKM)" am Meteorologischen Institut der Universität Bonn vermittelte zudem Anregungen und Adressen von möglichen Arbeitgebern. Außerdem banden die Hochschulinsti-tute selbst noch verhältnismäßig viele diplomierte Kollegen mit Zeitverträgen. Auch der DWD konnte mehrere Werk- und Zeitverträge anbieten, aus deren Abschluß aber keine Anwartschaft auf eine spätere Referendaraus-bildung abgeleitet werden kann. Vergleicht man die von B. HENNEMUTH

(Met. Inst. der Universität München) alljährlich in PROMET veröffentlichten Daten über die Zahl der Studierenden an den deutschen Hochschulen (s. hierzu S. 26) mit den Bedarfsabschätzungen des DWD und des GeophysBDBw für die kommenden Jahre, so ist zunächst *spätestens 1979* der oben bereits angesprochene *Abfall der Einstellungschancen auf unter 1:5* zu erwarten.

Nachdem sich inzwischen aus praktischen Erwägungen heraus halbjährliche Einstellungen eingebürgert haben, wird der *nächste Einstellungstermin voraussichtlich am 02. Oktober 1978*

liegen. Für diesen Termin muß man in Anbetracht auffallend vieler Anfragen mit rund 15 bis 25 Erst- und rd. 15 Erneutbewerbungen, insgesamt also mit 30 bis 40 Bewerbungen rechnen. Die Einstellungsquote dürfte sich auf 5 bis 6 Referendare für den DWD und 3 für den GeophysBDBw, also insgesamt 8 bis 9 belaufen. *Letzter Einsendetag für Bewerbungen zum Oktobertermin 1978 war der 30. Juni 1978*; der Hauptteil der Bewerbergespräche wurde Mitte Juli geführt. Unvollständige Bewerbungen können dem Ausleseaus-schuß nicht vorgelegt werden. Wegen der abnehmenden Bewerbungsaussichten glaubten gerade in letzter Zeit manche Diplomanden, sie könnten sich durch frühe Einsendung zunächst unvollständiger Unterlagen einen günstigeren Platz auf einer Warteliste sichern; eine solche Warteliste gibt es jedoch nicht.

Abgelehnte Bewerber können durch eine formlose schriftliche Mitteilung an das DWD-Zentralamt ihre Bewerbung für den nächsten Termin erneuern. Ein Wartebonus kann nicht vergeben werden, da das Abwarten eines späteren Termins in der Regel keine Erhöhung von Eignung und Befähigung bedingt. Ist jedoch der Bewerber in der Zwi-

schenzeit wissenschaftlich tätig gewesen oder hat er promoviert, so erhöht das, sofern die Tatsache schriftlich mitgeteilt wurde, die Erfolgsaussichten. Vor dem nächsten Auslesetermin werden die Unterlagen überprüft und zusammen mit denen der Mitbewerber dem Ausleseausschuß erneut vorgelegt. Eine nochmalige Vorstellung ist vor Ablauf von 2 Jahren nicht erforderlich.

Von besonderem Interesse dürfte der in den nächsten Jahren zu erwartende Bedarf an Referendaren für den DWD und den GeophysBDBw sein. Dieser Bedarf wird in den nächsten Jahren ansteigen, weil Mitte der achtziger Jahre die zu Beginn des Zweiten Weltkrieges in größerer Zahl ausgebildeten Meteorologen aus den Diensten ausscheiden. *Nach einer Personalbedarfsrechnung des DWD ergibt sich für den DWD von 1979 - 1981 eine jährliche Einstellungsquote von ca. 20 Referendaren, wogegen aber bereits ab 1982 über mehrere Jahre hinweg voraussichtlich nur sehr wenige Referendare eingestellt werden können.* Für den GeophysBDBw dürften ähnliche Bedingungen vorliegen.

Nach den Erhebungen bei allen Meteorologischen Instituten in der Bundesrepublik Deutschland und Berlin (West) entwickelten sich die Zahlen der Studierenden der Meteorologie in den letzten Jahren wie folgt:

Semester	Jahr	Studierenden insges.	davon im 1. und 2. Semester
Wintersemester	1973/74	672	260
"	1974/75	829	316
"	1975/76	1295	570
"	1976/77	1106	179
"	1977/78	1080	179

Der von 1975 auf 1976 erfolgte Rückgang der "Erstsemester" könnte bereits ab 1980 als Rückgang in den Absolventenzahlen in Erscheinung treten, so daß es dann bei gleichzeitig steigenden Einstellungsraten zu einer gewissen Entspannung der Lage kommen müßte. Man sollte jedoch bedenken, daß selbst dann, wenn Angebot und Nachfrage einander annähern würden, immer noch ein "Rückstau" von Bewerbungen vorhanden sein dürfte, sofern es bis dahin den in der Zwischenzeit abgewiesenen Meteorologen nicht gelungen ist, sich zusätzliche Berufsfelder zu erschließen.

Es bedarf wohl keines besonderen Hinweises darauf, daß eine Vorausschau, wie sie hier versucht wurde, mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist. Stelleneinsparungen z.B., wie sie in den letzten Jahren aus konjunktur- und finanzpolitischen Erwägungen heraus von der Bundesregierung angeordnet wurden, schlagen voll auf die Einstellungsquoten durch, ebenso wie es Stellenvermehrungen täten, die in Anbetracht der Aufgabenfülle des Wetterdienstes dringend erforderlich wären.

R. SIMONIS, Offenbach a.M.

Flugwetterdienst-Tagung 1978

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) hält im zeitlichen Abstand von 1 - 2 Jahren regelmäßig Tagungen der Leiter der Flugwetterwarten und Regionalvorhersagezentralen ab. Sie dienen im wesentlichen der Information und Koordination, dem gegenseitigen Gedankenaustausch und darüber hinaus auch der wissenschaftlichen Weiterbildung. Die Zweckmäßigkeit solcher Veranstaltungen erklärt sich aus der Verteilung flugwetterdienstlicher Aufgaben auf eine Vielzahl von Außenstellen und mehrere Abteilungen des Zentralamtes, deren Aufgabenstellung nicht auf den Flugwetterdienst beschränkt ist. Der Flugwetterdienst ist ein gut definierter Fachbereich, der sich allerdings nicht in einer entsprechenden Organisationsform darstellt. Es ist daher notwendig, die mitunter unterschiedliche Interessenlage der hier beteiligten Organisationseinheiten zu koordinieren und gemeinsam die Arbeitsrichtung für den Bereich Flugwetterdienst festzulegen, die sich am Bedarf der Luftfahrt orientiert und somit an deren Entwicklung angebunden ist.

Im Vordergrund der diesjährigen Tagung (1. - 3. Februar 1978) standen neben organisatorischen, betrieblichen und personalwirtschaftlichen Problemen vor allem auch die Fragen der *Einführung moderner Meß- und Übertragungstechniken* und daraus resultierende Maßnahmen zur Abstimmung von Betriebsverfahren und auf dem Ausbildungssektor.

Automation der Datenerfassung

Die moderne Meßtechnik erlaubt es seit einigen Jahren, bedeutende Teile

des meteorologischen Beobachtungsprogramms zu automatisieren. Wenngleich der Flugwetterdienst wohl auch künftig nicht auf Augenbeobachtungen verzichten kann, ist insbesondere den Verkehrsflughäfen die Einführung einer möglichst weitgehenden Automation der meteorologischen Datenerfassung und Verbreitung durch die fortschreitende Verbesserung der bord- und bodenseitigen Landehilfen und der damit einhergehenden Verminderung der Landewetterminima außerordentlich dringlich geworden. Dies gilt in ganz besonderem Maße für die Ermittlung und Direktanzeige der Landebahnsichtweite (RVR).

Der DWD hat zu diesem Zweck ein eigenes umfassendes Automationskonzept entwickelt, dessen schrittweise Einführung an den deutschen Verkehrsflughäfen bis 1985 abgeschlossen sein soll. Es basiert auf den an den Flughäfen bereits existierenden Meßinstrumenten und verwendet wesentliche Teile der im Beobachtungsnetz seit einigen Jahren eingesetzten automatischen Wetterstationen. Darüber hinaus werden die flugwetterdienstlich benötigten Augenbeobachtungen vom Beobachter eingegeben. Die Zusammenstellung und Übertragung der fertigen Wettermeldung im jeweils benötigten Format übernimmt ein Minicomputer, der auch die unterschiedlichen Funktionen der Mittelbildung und interne Prüfvorgänge durchführt und die Direktanzeige an den verschiedenen Stellen im Flughafenbereich steuert.

Einsatz von Wetterradargeräten

Dieses Thema wurde in einem Vortrag (s. S.) behandelt und anschließend lebhaft diskutiert. Die Ausrüstung der Flugwetterwarten mit modernen Wetterradargeräten eröffnet neue Anwendungsmöglichkeiten, die insbesondere der Flugverkehrslenkung im Nahbereich der Verkehrsflughäfen zur Vermeidung von Schlechtwetterrisiken und nicht zuletzt auch der allgemeinen Luftfahrt zugute kommen. Diskutiert wurden vor allem Möglichkeiten zur Fernübertragung von Radardisplays und die meteorologische Interpretation für die verschiedenen Anwendungsbereiche des Wetterdienstes. Da ein nahezu flächendeckendes Netz von Wetterradarstationen in der Bundesrepublik bereits weitgehend verwirklicht ist, liegt der Gedanke eines Verbundsystems nahe und wird von Seiten des Flugwetterdienstes weiterverfolgt.

Messung der Windscherung im An- und Abflugbereich

Mit dem Einsatz von Großraumflugzeugen in der Linienluftfahrt nehmen Windscherungseffekte im Flughafenbereich unterhalb 2000 ft an Bedeutung für die Flugsicherheit zu. Der Forderung nach genauer meßtechnischer Erfassung des für den jeweiligen An- und Abflug zu erwartenden vertikalen Windprofils kann der DWD derzeit nur sehr unvollständig nachkommen. Ein erster Ansatz sind hier Messungen an Türmen im Platzbereich, deren flugbetrieblicher Nutzen jedoch im einzelnen noch zu untersuchen ist. Eine befriedigende Lösung dieses meßtechnischen Problems existiert derzeit noch nicht. Im DWD wird u.a. eine Erprobung von Schallradargeräten erwogen, die einer "in-situ"-Messung der Windscherung noch am ehesten nahekommen.

Automatisches Air-Reporting-System

Von der NASA wurde ein System zur automatischen Übermittlung von Flugwetterdaten, Aircraft to Satellite Data Relay (ASDAR), entwickelt, das den

direkten Abruf und die realtime Nutzung der für die Analyse und Vorhersage des Flugwetters außerordentlich wichtigen Höhenwind- und Temperaturinformationen gestattet. Der DWD beteiligt sich zusammen mit der Luft Hansa an dem 1978/79 laufenden internationalen Systemtest, der u.a. auch als Beitrag zu den Meßphasen des weltweiten GARP-Experiments (FGGE) gedacht ist.

Anpassung und Entwicklung von Betriebsverfahren

Die vorgenannten Neuerungen auf technischem Gebiet fordern zwangsläufig eine entsprechende Abstimmung der im Flugwetterdienst angewandten Betriebsverfahren und zum Teil auch die Entwicklung neuer Methoden. Dem muß in manchen Bereichen noch einige Forschungs- und Entwicklungsarbeit vorausgehen. Betont wurde in diesem Zusammenhang vor allem auch die Notwendigkeit entsprechender Aus- und Fortbildung, ohne die ein Teil der geplanten Investitionen nutzlos wäre.

Eine wesentliche Forderung der Tagung war die Einrichtung einer For-

schungsgruppe, die sich mit den im Flugwetterdienst anstehenden Fachproblemen auseinandersetzen soll.

Darüber hinaus wurde im einzelnen auch die Qualität der Vorhersagen für die allgemeine Luftfahrt und die Notwendigkeit von Modifikationen der für den Telefonansagedienst ausgegebenen kodifizierten Vorhersagen erörtert.

Über den Bereich des DWD hinaus wurde verstärktes Engagement von Meteorologen und Wetterberatern bei der Ausbildung von Privatpiloten gefordert, ebenso wie eine Vereinheitlichung des meteorologischen Lehr- und Prüfungsstoffes.

Die Tagung machte erneut deutlich, daß der DWD, obwohl er zu den leistungsfähigsten Wetterdiensten gehört, gerade im Fachbereich Flugwetterdienst noch große Anstrengungen unternehmen muß, um den ständig steigenden und in Entwicklung begriffenen Anforderungen seiner Nutzer und damit der Erfüllung seiner gesetzlichen Verpflichtung zur meteorologischen Sicherung der Luftfahrt nachkommen zu können.

S. MILDNER, Offenbach a.M.

Institute stellen sich vor

Institut für Physik der Atmosphäre der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR) in Oberpfaffenhofen

Allgemeines und Geschichtliches

Am Rand des Sonderflugplatzes Oberpfaffenhofen, 25 km südwestlich von München inmitten der bayerischen Seenplatte zwischen Ammer- und Starnberger See gelegen, hat das *Institut für Physik der Atmosphäre* seine Heimat. Es ist eines von 27 Instituten der *Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V.* (DFVLR), die in 5 Zentren in Köln/Porz, Braunschweig, Göttingen, Stuttgart und Oberpfaffenhofen zusammengefaßt sind und vorwiegend Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auf dem Gebiet der Luft- und Raumfahrt bearbeiten.

In seiner historischen Entwicklung ist das Institut aus der Meteorologischen Abteilung des Forschungsinstituts der Rhön-Rossitten-Gesellschaft und späteren Deutschen Forschungsanstalt für Segelflug (DFS) hervorgegangen, die unter ihrem Leiter, Prof. Dr. WALTER GEORGII, vor und im 2. Weltkrieg hauptsächlich in Darmstadt und zuletzt in Ainring/Oberbayern zahlreiche wertvolle Arbeiten auf dem Gebiet der Atmosphärenphysik, wie z.B. Luftströmung über Gebirgen, Luftelektrizität, Wolkenphysik, thermische Konvektion usw. geleistet hat.

Die Wiedergründung der DFS erfolgte nach dem Kriege 1954 in München, sie schloß u.a. zwei meteorologische Institute ein, nämlich das *Institut für Flugmeteorologie* unter der Leitung von Prof. Dr. HARALD KOSCHMIEDER und das *Institut für Flugraum-*

forschung unter der Leitung von Prof. Dr. WALTER GEORGII. Beide Institute wurden 1962 unter der Leitung von Prof. Dr. HANS GERHARD MÜLLER zusammengeführt zum *Institut für Physik der Atmosphäre*. Dieses erhielt nach einer Reihe von Fusionen innerhalb der Luftfahrtforschung seine feste Verankerung in der DFVLR und fand im Jahre 1967 in einem eigenen Neubau des Forschungszentrums Oberpfaffenhofen auf dem dortigen Sonderflugplatz seine endgültige Heimat (Abb. 1).



Abb. 1: Institutsgebäude

Heute ist das *Institut für Physik der Atmosphäre* eines von vier Instituten des Forschungsbereichs "Nachrichtentechnik und Erkundung" der DFVLR; die Nachbarinstitute sind das Institut für Hochfrequenztechnik, das Institut für Nachrichtentechnik und das Institut für Optoelektronik.

Aufgaben des Instituts

Als Institut einer Großforschungsanstalt wie der DFVLR sind die organisatorischen und arbeitstechnischen Voraussetzungen etwas anders gestaltet als etwa die eines Hochschulinstituts. Als allgemeine Rahmenbedingung ist die Satzung der DFVLR vorgegeben, die der Anstalt folgende Aufgaben stellt

- Forschung, vorwiegend auf dem Gebiet der Luft- und Raumfahrt
- Mitwirkung bei der Planung und Durchführung von Projekten
- Errichtung und Betrieb von Großversuchsanlagen
- Weiterbildung wissenschaftlicher Nachwuchskräfte
- Beratung und Unterstützung der zuständigen Stellen der Bundesregierung.

Hinzu kommt die Berücksichtigung spezieller Rahmenbedingungen

- Orientierung am Bedarf der Ressorts von Bund und Ländern, einschlägiger Wirtschaftszweige und anderer Forschungseinrichtungen
- Abstimmung der ausgewählten Ziele und Aufgaben mit Bedarfsträgern, Nutzern und Anwendern
- Prioritätensetzung im Hause unter Einbezug der technischen und personellen Ressourcen und unter Berücksichtigung fachlicher Kompetenz sowie vorhandener Kapazität.

Die Grundlage der Bewältigung wissenschaftlich-technischer Aufgaben ist eine Art Matrix-Struktur. Die organisatorische Gliederung erfolgt nach Fachdisziplinen in den Ebenen

- Forschungsbereiche
- Institute
- Abteilungen.

Diese fachlichen Einheiten führen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten nach folgender Gliederung durch:

- Schwerpunkte
- Programme
- Vorhaben.

Dabei kann ein Institut entsprechend seiner fachlichen Kompetenz z.B. an mehreren Programmen beteiligt sein, ein Programm kann aber auch multidisziplinär von mehreren Instituten und Abteilungen bearbeitet werden.

Dem Charakter der wissenschaftlichen Tätigkeit nach sind zu unterscheiden

- Studienprogramme für langfristigen Verlauf
- Forschungs- und Entwicklungsprogramme für mittelfristig zielorientierte Forschung und Entwicklung
- Projektbeteiligung und Unterstützung.

Die Hauptkapazitäten der DFVLR sind in den Forschungs- und Entwicklungsprogrammen gebunden. Als Freizeit der zielorientierten Forschung und Entwicklung in einem Programm sind ca. 5-7 Jahre anzusetzen, d.h. die Zielsetzung eines Programmes ist an sich mittelfristig. Die Vorhaben in den einzelnen Programmen sind im allgemeinen kurzfristiger, sie umfassen ca. 2-3 Jahre.

Die Hauptkapazität des Instituts wiederum ist im Schwerpunkt "Erkundungstechnik" gebunden, dort werden die beiden Programme "Erkundung der Atmosphäre" (EEA) als Basisprogramm und "Anthropogene Belastung der Atmosphäre" (EABA) als Anwendungsprogramm verantwortlich bearbeitet. Weitere Kapazitäten entfallen auf das Vorhaben "Atmosphäreinflüsse" im Programm "Zielerkennung und Aufklärung" und auf die Vorhaben "Bildverarbeitung Meteosat" und "Befliegungsprojekte Atmosphärenerkundung" im Rahmen der Projektunterstützung. Eine derzeit laufende "Studie Wolkenphysik" soll ergeben, welche wolkenphysikalischen Teilprobleme längerfristig bearbeitet werden müssen, um wesentliche Beiträge zu den mit der Wolkenphysik verbundenen Gesamtkomplexen zu liefern und zwar unter Berücksichtigung der bekannten nationalen und internationalen Aspekte und Zielsetzungen.

Einige Beispiele aus den o.a. Programmpaketen sollen die Aufgaben noch etwas näher erläutern.

Im Basisprogramm stehen als wesentliche Ziele im Vordergrund

- Gewinnung und Interpretation von Datensätzen der raum-zeitlichen Struktur meteorologisch-physikalischer Felder, z.B.
 - quantitative Beschreibung konvektiver kleinräumiger Vorgänge im Bereich der troposphärischen Grundschicht zur Einarbeitung in Grenzschichtmodelle
 - quantitative Beschreibung von atmosphärischen Turbulenz- und Transportvorgängen im Bereich

von Troposphäre und unterer Stratosphäre

- Fernmessung von Aerosolkonzentrationen vom Flugzeug und vom Boden aus mit Hilfe von Lasern und Lidar
 - Auswahl, Anpassung und Anwendung numerischer Simulationsmodelle auf mesoscalige Probleme, z.B. für den Alpenraum (Gebirgsstufe mit Flachland) oder für Konvektionsvorgänge.
- In diesem Bereich ist eine enge Kopplung der theoretischen Arbeiten mit den laufenden experimentellen Untersuchungen möglich. Sichtung und Auswahl der geeigneten mesoscaligen Modelle erfolgt zusammen mit dem Institut für Theoretische Meteorologie der Universität München (Prof. EGGER und Mitarbeiter).

Im Anwendungsprogramm stehen folgende Ziele im Vordergrund

- Ermittlung des Ist-Zustandes von Belastungserscheinungen im Zusammenhang mit meteorologischen Parametern, z.B.
 - quantitative Beschreibung der dreidimensionalen Konzentrationsverteilung von Gas- und Partikelkonzentrationen über Ballungsgebieten
 - Ausbreitungsexperimente über Land und Wasser
 - dreidimensionales Temperatur- und Feuchtefeld über Ballungsgebieten (Stadtklima)
- Untersuchung, Verifikation und Weiterentwicklung von hierfür geeigneten Simulationsmodellen, z.B.
 - Modifikation und Weiterentwicklung des dreidimensionalen Miller-Pearce-Modells für die Ausbreitung von Kühlturmfahnen und seine Anwendung auf Kraftwerkparcs
 - Bearbeitung eines Ausbreitungsmodells für Luftbeimengungen mittels deterministischer und/oder stochastischer Methoden.

Gliederung des Instituts

- Ab. 1. März 1978 hat das Institut eine neue fachliche Gliederung. Es besteht aus 4 Abteilungen, die das Grundkonzept "Theorie - Experiment - zugehörige Meßtechnik" widerspiegeln und zwar sind es die Abteilungen
- Theoretische Meteorologie
 - Experimentelle Atmosphärenphysik I
 - Experimentelle Atmosphärenphysik II
 - Meteorologische Meßtechnik.

Für die Abteilung "Theoretische Meteorologie" gilt als Hauptmerkmal der Arbeit der Umgang mit numerischen Simulationsmodellen. Diese sollen entsprechend der Forschungskonzeption des Instituts vorwiegend für den mesoskaligen Bereich entwickelt, weiterentwickelt oder angewendet werden. Eine enge Verzahnung und ständige gegenseitige Rückkopplung von theoretischer und experimenteller Arbeit ist unerlässlich. In der Abteilung "Experimentelle Atmosphärenphysik I" werden insbesondere Arbeiten zur Flugmeteorologie, atmosphärische Beimengungen und Radarmeteorologie durchgeführt. Hauptsächliches Arbeitsmerkmal ist die Anwendung erprobter Verfahren zur Vermessung der atmosphärisch-physikalischen Felder.

In der Abteilung "Experimentelle Atmosphärenphysik II" sind die Arbeiten zur Sichtbarkeit zusammengefasst, ausserdem werden Möglichkeiten der Lidartechnik und der Satellitenmessung zur Lösung meteorologischer Aufgaben erprobt.

Die Abteilung "Meteorologische Meßtechnik" ist zuständig für die Meß- und Verfahrenstechnik, die im Rahmen der meteorologischen Programme von den einzelnen Abteilungen benötigt wird. Sie ist insbesondere verantwortlich für die meteorologische Instrumentierung von Meßflugzeugen und anderen Meßplattformen, wobei der Ausrüstung und dem Betrieb des Meteorologischen Forschungsflugzeugs Mystère besondere Bedeutung zukommt. Der Abteilung obliegt ebenfalls das dafür erforderliche meteorologische Eichwesen sowie die Erfassung, Verarbeitung und Aufbereitung aller Daten, die mit den EDV-Anlagen MADRAS (Meßflugzeug Mystère) und MINIDIG (Meßflugzeug Queen Air, Cessna 310 und Motorsegler ASK 16) gewonnen werden.

Meßeinrichtung

Die Einbettung des Instituts in die DFVLR ermöglicht den Einsatz typischer Hilfsmittel und Meßeinrichtungen einer Großforschungsanstalt. Ein Beispiel hierfür ist das meteorologische Forschungsflugzeug Mystère (Abb. 2), für das ein Koordinationsstab zwischen Deutscher Forschungsgemeinschaft und DFVLR (KSMF) die Sicherung und Verteilung von ca. 100 Flugstunden pro Jahr für externe meteorologische Forschungsaufgaben der DFG übernimmt.



Abb. 2: Forschungsflugzeug "Mystère"

Die Motorsegler-Flotte von drei gleichartig ausgerüsteten ASK-16-Flugzeugen (Abb. 3) erlaubt nahezu synchrone



Abb. 3: Motorseglerflotte ASK 16

dreidimensionale Vermessung mesometeorologischer Strukturen und Vorgänge in der unteren Troposphäre bis ca. 4000 m NN. Das Institut verfügt weiterhin über eine Reihe zusätzlicher Meßsysteme und -verfahren zur Erfassung atmosphärischer Parameter, die in den genannten Flugzeugen eingesetzt zur Untersuchung flächenhafter und räumlicher Verteilung dienen. Diese werden ergänzt durch die Fernerkundungssysteme Radar, Lidar und Sodar.

Zur Erweiterung der wolkenphysikalischen Arbeiten ist geplant, das bisherige meteorologische Radargerät mit 3,2 cm Wellenlänge durch ein modernes leistungsfähiges System mit 5,5 cm Wellenlänge zu ersetzen.

Die Anfang 1977 erfolgte Installation eines Großrechners AMDAHL 470 V/6 erlaubt eine Erweiterung bisher verwendeter Rechenverfahren auf die Bearbeitung umfangreicher Simulationsmodelle und eine Ausweitung auf ganze Programmsysteme.

Ausblick

Vor diesem oben geschilderten Hintergrund sind nun Arbeitsprogramme und Struktur des Instituts für Physik der Atmosphäre zu sehen. Der Spielraum der freien Forschung, wie sie Universitäts- und Hochschulinstitute heute teilweise noch haben, ist sehr beschränkt. Gerade deswegen ist es für das Institut ein großes Anliegen, in enger Verbindung zu anderen meteorologischen Instituten, Einrichtungen und Diensten sowohl im In- als auch im Ausland fachlichen Kontakt und direkte Zusammenarbeit zu pflegen, ohne die Eigenständigkeit und die spezifischen Gegebenheiten einer Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt zu vernachlässigen.

M. REINHARDT, Oberpfaffenhofen

Wichtige Neuerscheinungen

ELIASSEN, A.; PODERSA, K.

Meteorology. An introductory course. Vol. 1: Physical processes and motion. Vol. 2: Application to weather and weather systems. Oslo: Universitetsforlaget 1977. 204 S., 166 S.

CHANG, J. (Ed.)

General circulation models of the atmosphere. New York: Academic Press. 1977. IX, 337 S. = Methods in computational physics. 17

HOUGHTON, J.

The physics of atmospheres. Cambridge u.a.: Cambridge Univ. Press 1977. XIII, 203 S.

SUFFET, I. H. (Ed.)

Fate of the pollutants in the air and water environments. P. 1: Mechanism of interaction between environments and mathematical modeling and the physical fate of pollutants. New York: Wiley 1977. XXI, 484 S.

JOHNSON, D. S.; VETLOV, I. P.

The role of satellites in WMO programmes in the 1980s. Geneva: World Meteorology Organization 1977 = WMO-No. 494. WWW Planning Report No. 36.

FRISINGER, H. H.

The history of meteorology: to 1800. New York: Neale Watson Academic Publications, Inc.; Boston, Mass.: American Meteorological Society 1977. 148 S.

Berichtigung

Heft 3'77, S. 29, linke Spalte, 13. Zeile:
statt 35 km: 35 mbar;
S. 30, linke Spalte, 30 Zeile: statt Spektral-
wellen: Spektralmodelle

Anschriften der Autoren:

Dr. Friedhold Weber,
DFVLR – Institut für Physik der Atmosphäre
8031 Oberpfaffenhofen – Post Wessling / Obb.

Dipl.-Met. Klaus Demmler
Markwaldstraße 15
6050 Offenbach a.M.

Dr. Rudolf Aniol
Dipl.-Ing. Johann Riedl
Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg
Albin-Schwaiger-Weg 10
8126 Hohenpeißenberg

Manuskriptsendungen werden erbeten an:

Deutscher Wetterdienst
Hauptschriftleitung "promet"
Frankfurter Straße 135
6050 Offenbach a.M.