

Kapitel 6

Zusätzliche Hilfsmittel für die Vorhersage

6.1 Numerische Methoden

6.1.1 Numerische Wettervorhersage

In den letzten 30 Jahren hat sich die numerische Wettersimulation zu dem bedeutendsten Hilfsmittel für die synoptische Wettervorhersage entwickelt. Die numerischen Modelle und die Weiterverarbeitung (post processing) der Modellergebnisse (model output) der nationalen Wetterdienste unterscheiden sich bzgl. der Modellphysik, der Numerik und der räumlichen Auflösung. Deshalb können hier nur allgemeine Aussagen getroffen werden, die sich im wesentlichen auf die Modellkette und das post processing im Deutschen Wetterdienst beziehen.

Die numerische Wettervorhersage hat jetzt einen Stand erreicht, wo globale Modelle (GM) nicht nur von den internationalen Vorhersagezentren, wie z.B. vom Europäischen Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage, sondern auch von den größeren nationalen Wetterdiensten im operationellen Betrieb eingesetzt werden. Diese Modelle haben eine typische räumliche Auflösung von 100 - 200 km (horizontal) und 500 bis 1000 m (vertikal). Ihr Vorhersagezeitraum umfaßt 6 bis 10 Tage. Eine Vielfalt von Vorhersagefeldern werden in digitaler Form im GRIB-Code über schnelle Datenleitungen den kleineren Wetterdiensten und den Regionalzentralen zur Verfügung gestellt. Hier werden diese Daten als Randwerte und zur Initialisierung für genestete Regionalmodelle oder mesoskalige Modelle verwendet, die z.B. eine Fläche im regionalen oder mesoskaligen Scale (Europa, Mitteleuropa, usw.) abdecken. Diese Modelle haben eine typische räumliche Auflösung von 25 bis 50 km (horizontal) und 100 bis 500 m (vertikal). Sie unterstützen die regionale Wettervorhersage in einem Vorhersagezeitraum bis zu 3 Tagen. Die Ergebnisse dieser Modelle können wiederum als Randwerte für hochaufgelöste Modelle mit einer räumlichen Auflösung von 2 bis 20 km (horizontal) und 10 bis 100 m (vertikal) und damit für lokale und regionale Kurzzeitvorhersagen verwendet werden.

Im Deutschen Wetterdienst wird mit dem lokalen Modell (LM) bereits ein mesoskaliges, nichthydrostatisches Modell mit einer horizontalen Auflösung von 7 km und einer vertikalen Auflösung weniger als 100 m operationell eingesetzt. Damit können Vorhersagen von Temperatur-, Feuchte- und Windprofilen mit einer Genauigkeit geliefert werden, die ausreicht, um eine flächenhafte Thermikvorhersage mit eindimensionalen Konvektionsmodellen auf einer Workstation oder auf einem PC zu ermöglichen. TOPTHERM und die Konvektionskarten sind hierfür typische Produkte. Die Vorhersagetemps und die Auswerte-Software für die Tempanalyse sind z.B. in MAP oder im pc_met verfügbar.

6.1.2 Einsatz von PCs

Die zunehmende Verfügbarkeit von preiswerten Hochleistungs-PCs eröffnet die Möglichkeit, numerische Simulationen für die Luftspport-Wettervorhersage zu nutzen. Mobile PCs (Laptops, Notebooks) können mit direkter Anbindung an die Datenbanken der Vorhersagezentralen z.B. für die meteorologische Betreuung eines Wettbewerbs vor Ort eingesetzt werden.

Als Eingangsdaten sollten ein oder mehrere Vertikalsondierungen vorliegen, die für das Vorhersagegebiet repräsentativ sind. Die Vertikalsondierungen sollten entweder als gemessene Radiosondendaten und/oder als synthetische Vorhersageprofile von einem numerischen Modell vorliegen. Zusätzlich werden Informationen über die lokale Topographie (Höhenlage, Flachland, Hügelland, Gebirge, usw.), den aktuellen Bodenzustand (naß, trocken, Vegetation, usw.) und den Bedeckungsgrad mit Schichtwolken benötigt.

Bei den gemessenen Radiosondenprofilen kann die manuelle Auswertemethode aus Kapitel 2 angewandt werden, um die Veränderungen der Profile aufgrund der Aufheizung und der großräumigen Advektion im Tagesverlauf abzuschätzen. Es gibt aber bereits eine Reihe von PC-Programmen, mit denen die Tempmodifikation und -auswertung simuliert werden kann. Beispiele hierfür sind beschrieben durch Heimann (1983), Friedrich (1987) sowie Liechti und Neining (1993) für ALPTHERM und TOPTHERM, das im DWD verwendet wird.

Die Vorhersage der lokalen Thermikverhältnisse kann durch die Anwendung eines numerischen Konvektionsmodells verbessert werden. Vereinfachte eindimensionale Modelle, die auf einem gewöhnlichen PC lauffähig sind, wurden von Ogura und Takahashi (1971) und Nelson (1979) eingeführt. Lokale Vertikalprofile der Temperatur und der Feuchte, die den Zustand der Umgebungsluft im Tagesverlauf an verschiedenen Punkten im Wettbewerbsgebiet repräsentieren, werden als Eingangsdaten benötigt und vom Modell als Randbedingungen benutzt. Diese Daten können von einem numerischen Wettervorhersagemodell oder von einem Auswerteschema, wie oben beschrieben, bereitgestellt werden. Der Vorteil der numerischen Simulation ist die Mitberücksichtigung zusätzlicher Einflüsse, die bei den manuellen Methoden nicht gegeben sind, bzw. sehr grob abgeschätzt werden müssen. Diese Einflüsse sind Auftriebseffekte, Reibung, laterale Einmischung (entrainment), Massenträgheit und latenter Wärmeaustausch. Das Modell liefert die Vertikalprofile der thermischen Vertikalgeschwindigkeit und die Höhe der Cumulusunter- und -obergrenzen im Tagesverlauf für das betrachtete Gebiet. Zusätzlich gibt das Modell Hinweise auf Überentwicklung durch Cumulonimbus und Ausbreitung durch Stratocumulus.

6.2 Satellitenbilder

An den meisten Flugplätzen sind heute aktuelle Satellitenbilder aus dem Internet, über pc_met oder im Direktempfang für die Flugvorbereitung verfügbar.

Falls keine hochaufgelösten digitalen Bilder empfangen werden können, so werden zusätzlich die Satellitenbilder als Analogsignale im sogenannten APT (Analogbildübertragung) oder WEFAX (Wetter-Faksimile) - Format übertragen. Kleinere einzelne Wolken oder schmale Lücken in einem Wolkenfeld können in diesen Bildern nicht erfaßt werden. So ist es z.B. nicht möglich, kleine Cumuluswolken beim Einsetzen der Thermik zu erkennen.

APT-Bilder der polarumlaufenden Satelliten (wie der NOAA-Satelliten) haben günstigenfalls eine horizontale Auflösung von 4 km, während die Infrarot-Bilder (WEFAX) der geostationären Satelliten (wie METEOSAT) eine Auflösung von ca 30 km haben.

Das Auflösungsvermögen der Bilder von geostationären Satelliten nimmt mit zunehmender Entfernung vom Sub-Satellitenpunkt (SSP) beträchtlich ab. So verschlechtert sich z.B. in 50 Grad Breite auf dem gleichen Meridian wie der SSP das Auflösungsvermögen um den Faktor 2. Der große Vorteil der Bilder von geostationären Satelliten ist, daß sie alle 30 Minuten verfügbar sind. Mit dem gegenwärtigen System von zwei polarumlaufenden Satelliten werden jeweils gleiche Stellen der Erde dagegen nur etwa alle 6 Stunden beobachtet.

Satellitenbilder stellen eine wertvolle Hilfe für die Analyse und Diagnose der Wetterlage dar. Zusätzlich zum Netz der Wetterstationen liefern sie flächenhafte Informationen über die Bewölkungsverhältnisse, die insbesondere auch für die Luftfahrt genutzt werden.

Bei der Interpretation der Satellitenbilder ist jedoch auch Vorsicht geboten (vgl. hierzu Abschnitt 6.2.1 und 6.2.2). Häufig kann man die Informationen aus Satellitenbildern nur dann richtig interpretieren, wenn VIS- und Infrarotbilder verglichen werden und zusätzliche Wetterinformationen (z.B. Augenbeobachtungen, Radarbilder, Blitzkarten, usw.) vorliegen. Aktuelle Satellitenbilder stellen auch immer nur eine Momentaufnahme der jüngsten Vergangenheit (ca. 10 - 30 Minuten) dar. Sie ersetzen somit auf keinen Fall die Wetterprognose!

Mit Filmläufen von Satellitenbildern kann man die Entwicklung (Bildung, Intensivierung, Abschwächung und Auflösung) und die Zugrichtung und -geschwindigkeit von Wolkenfeldern bis nahe zur Gegenwart verfolgen. Durch Extrapolation lassen sich daraus auch Prognosen für die nächsten 1-2 Stunden ableiten. Dazu sind jedoch spezielle Nowcasting-Verfahren erforderlich.

6.2.1 Hinweise zur Interpretation von Bildern im sichtbaren Spektralbereich (VIS)

VIS-Bilder sind nur während der hell ausgeleuchteten Tagesperiode verfügbar. Bei den geostationären Satelliten ist ihre Auflösung besser als in Infrarotbildern. Bilder von den Kanälen im sichtbaren Spektralbereich sind am besten geeignet, um Wolken zu erkennen. Ein helles oder weißes Gebiet ist entweder eine Wolke oder die schnee- oder eisbedeckte Erdoberfläche. Es ist oft schwierig, Wolken von Schnee zu unterscheiden.

Eine Möglichkeit zur Unterscheidung bietet sich, wenn die Bilder als Filmläufe (loops) dargestellt werden: Wolken driften üblicherweise, während eine schneebedeckte Erdoberfläche stationär ist.

Wenn einzelne Teile eines einheitlichen Gebietes auf der Erdoberfläche in VIS-Bildern dunkler erscheinen als andere Teile, so können wir daraus schließen, daß der Erdboden an den dunkleren Stellen feuchter ist.

Eiswolken erscheinen dunkler als eine schneebedeckte Oberfläche. Die Helligkeit von Wüstengebieten kann höher sein als die der Wolken, so daß manche Eiswolken (Cirren) über diesen Gebieten kaum in VIS-Bildern zu erkennen sind.

6.2.2 Hinweise zur Interpretation von Bildern im infraroten Spektralbereich (IR)

IR-Bilder sind zu allen Tageszeiten verfügbar. Sie können unter gewissen Umständen zu Fehlinterpretationen führen, falls keine zusätzlichen Wetterinformationen verfügbar sind.

IR-Bilder liefern Informationen über die Wolkenoberflächentemperaturen und somit auch über deren Höhe. Unter wolkenfreien Bedingungen liefern sie Informationen über die Temperaturen der Erdoberfläche.

Falls keine spezielle Kontrastaufbereitung angewendet wird, erscheinen die Wolken in IR-Bildern umso heller je kälter sie sind. Einzelne Wolkenstrukturen und unterschiedliche Wolkenoberflächentemperaturen können mit mehr Details und präziser erfaßt werden, wenn IR-Bilder in Farbe zur Darstellung gebracht werden.

Oft ist es schwierig, ja manchmal sogar unmöglich, Nebel oder tiefen Stratus in IR-Bildern zu erkennen, besonders während der Nachtstunden, da diese Wolken dann die gleichen Temperaturen wie die benachbarte wolkenfreie Erdoberfläche haben. Es ist wichtig, sich dieser Problematik bewußt zu sein, denn eine erste Auswahl der Gebiete, über denen eventuell Segelflüge hinwegführen sollen, erfolgen zu solchen Zeiten, wenn nur IR-Bilder verfügbar sind. Ein Hilfsmittel ist hier ebenfalls der Filmlauf, da hier die wolkenfreie Erdoberfläche im Tagesgang schneller erwärmt wird und somit eine Abgrenzung zu den tiefen Wolken erfolgen kann.

Besondere Beachtung sollte den sogenannten "Split-Fronten" geschenkt werden. Der vordere Teil solch eines Kaltfrontsystems erscheint in den Satellitenbildern markant hell. Diesem Wolkenystem folgt ein weites Band von Wolken im unteren Niveau, das nur schwierig in den IR-Bildern zu sehen ist. Diese niedrigen Wolken werden von Kaltluft in der Höhe überströmt, die Bodenkaltfront selbst befindet sich am hinteren Ende des Bandes der tiefen Wolken. Ein Vergleich mit einem VIS-Bild (falls verfügbar) ist hierbei sinnvoll.

Cirruswolken können leicht in den IR-Bildern erkannt werden, da sie sehr kalt sind. Manchmal erscheinen die Cirruswolken so markant, daß man irrtümlicherweise annehmen könnte, daß es sich um ein Schlechtwettergebiet (Aufzugsbewölkung) handelt. Dies ist besonders dann der Fall, wenn keine anderen Wetterinformationen verfügbar sind. Tatsächlich kann es jedoch vorkommen, daß die Sonnenstrahlung die Cirruswolken durchdringt, und sich brauchbare Segelflugbedingungen darunter entwickeln. Gewisse Informationen über die Dicke von Cirruswolken können durch Vergleich mit VIS-Bildern gewonnen werden, falls sie verfügbar sind. Dünner Cirrus, obwohl markant in IR-Bildern, ist in VIS-Bildern kaum zu sehen.

6.3 Wetterradar

Das Wetterradar eignet sich besonders, um Niederschlagsgebiete zu lokalisieren. Darauf ist bei der Flugwetterüberwachung und bei der Kurzfristvorhersage (Nowcasting) nicht mehr zu verzichten. Auch wenn der Luftsport im allgemeinen bei "gutem" Wetter durchgeführt wird, ist die Kenntnis über die Lage und Bewegung von Niederschlagsgebieten - hier meist Schauer oder Gewitter - insbesondere bei Streckenflügen von Bedeutung.

Mit einem Wetterradar wird das gesamte atmosphärische Volumen im Umkreis von ca. 240 km und bis zu einer Höhe von etwa 12 km innerhalb weniger Minuten abgetastet. Daraus werden Radarbilder erstellt, die eine horizontale Verteilung der vom Radar gemessenen Reflektivität zeigen. Vielfach stehen auch noch Vertikalschnitte zur Verfügung. Die Reflektivität gibt an, wie stark die vom Radar ausgesendete Strahlung zurückgestreut wird. Sie ist ein Maß für die Menge des Niederschlags und wird deshalb auch vielfach direkt in die Niederschlagsmenge umgerechnet. 25 dBZ entsprechen einem leichten Regen von ca. 1 mm/h, 40 dBZ etwa 10 mm/h und 50 dBZ einem Starkregen von ca. 50 mm/h. Bei höheren Werten ist normalerweise auch mit dem Auftreten von Hagel zu rechnen. Allerdings sieht das Radar nicht nur Niederschlag sondern auch Hindernisse wie z.B. Berge. Diese Bodenechos werden zum größten Teil aus den Daten herausgefiltert. Sie sind jedoch häufig noch auf Radarbildern vorhanden und können nicht immer sofort als solches identifiziert werden. Auffallend ist, daß sich die Bodenechos von Messung zu Messung nicht oder nur unwesentlich verändern. Das Wetterradar ist auch in der Lage, aus der wolkenfreien konvektiven Grenzschicht Signale aufzunehmen. Diese sogenannten "clear-air echos" werden aber in der Regel ebenfalls unterdrückt, um keinen Niederschlag vorzutäuschen.

Die meisten Wetterradars sind heute in der Lage, neben der Reflektivität auch die Dopplergeschwindigkeit der Echos, d.h. deren Bewegung auf das Radar zu oder von ihm weg, zu erfassen. Auch wenn diese Daten noch nicht allgemein zur Verfügung stehen und die Interpretation der Dopplergeschwindigkeit nicht einfach ist, lassen sich doch Produkte, wie z.B. das vertikale Profil der Windrichtung über dem Radar ableiten.

Abbildung 6.1 zeigt ein lokales Reflektivitätsbild des Radars Fürholzen bei München. Neben der horizontalen Darstellung mit einer Ausdehnung von 400 x 400 km² sind an der Oberkante und am rechten Rand noch Vertikalschnitte bis zu einer Höhe von 12 km dargestellt. Sie sind eine Maximalprojektion durch das gesamte Volumen von West nach Ost, bzw. von Süd nach Nord. Hier läßt sich die maximale vertikale Entwicklung von Schauern oder Gewittern ablesen. Dies ist von besonderer Bedeutung, wenn die Stärke eines Gewitters oder dessen Hagelgefahr abgeschätzt werden soll. Das Bild zeigt kräftige hochreichende Gewitter im Bereich nördlich des Radars und niedrigere Schauer im Alpenvorland südlich des Radars. Der Standort ist durch ein rotes Kreuz markiert.

In ganz Europa werden von den nationalen Wetterdiensten Wetterradars betrieben. Bilder der einzelnen Radars (16 in Deutschland, 3 in der Schweiz und 4 in Österreich) werden alle 5 bis 15 Minuten erstellt und dann sofort zu Kompositbildern zusammengefaßt. Da der typische Abstand zwischen den einzelnen Radars weniger als 200 km beträgt, überlappen sich die einzelnen Bereiche. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, auch niedrige Schauer zu lokalisieren, die mit einem einzelnen Radar aufgrund der Erdkrümmung leicht "über-"sehen werden können.

Abbildung 6.2 zeigt ein solches Kompositbild für Deutschland. Die Vertikalschnitte stehen hier nicht mehr zur Verfügung. In der Schweiz oder in Österreich werden auch für das Komposit Vertikalschnitte erstellt. Deutlich zu erkennen sind zwei Niederschlagskomplexe, von dem der südlichere zum Teil auch von dem Münchner Radar gesehen wurde. Durch die Überlagerung der Messungen mit den anderen Radars wird das gesamte Niederschlagsgebiet, das aus Gewittern und Schauern besteht, erfaßt. Weiterhin ist im Norden der Niederschlag eines kleinen Tiefdruckgebietes zu erkennen.

Die Verwendung von Radarbildern für die Belange des Streckensegelfluges beschränkt sich im wesentlichen auf die Lokalisierung und Verfolgung von Niederschlagsgebieten im Zusammenhang mit Schauern, Gewittern oder Fronten. Dieses Monitoring kann durch den Wettbewerbsmeteorologen oder die Bodenmannschaften erfolgen. Es kann zum Beispiel von Bedeutung sein, wenn eine Front in das Wettbewerbsgebiet zieht und sich eventuell im präfrontalen Bereich Schauer oder Gewitter bilden. Es ist auch bei der Vorhersage der thermischen Entwicklung aufschlußreich, zu wissen, ob in einem Gebiet kurz vorher Niederschlag gefallen ist. Eventuell ist es sogar möglich, gezielt ein Gewitter oder einen Schauer zu umfliegen, wenn dessen Lage und mögliche Zugrichtung bekannt sind. Dies setzt allerdings voraus, daß die Bodenmannschaft Kontakt mit dem Piloten hat.

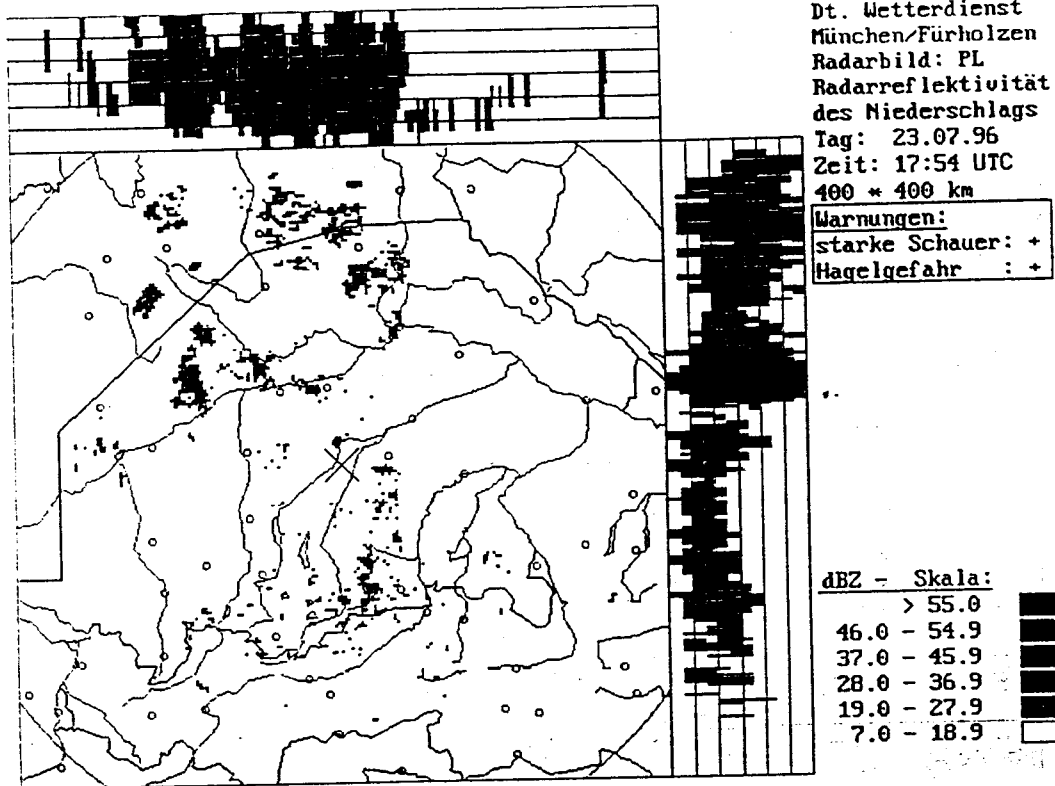


Abbildung 6.1 Beispiel eines lokalen Radarbildes

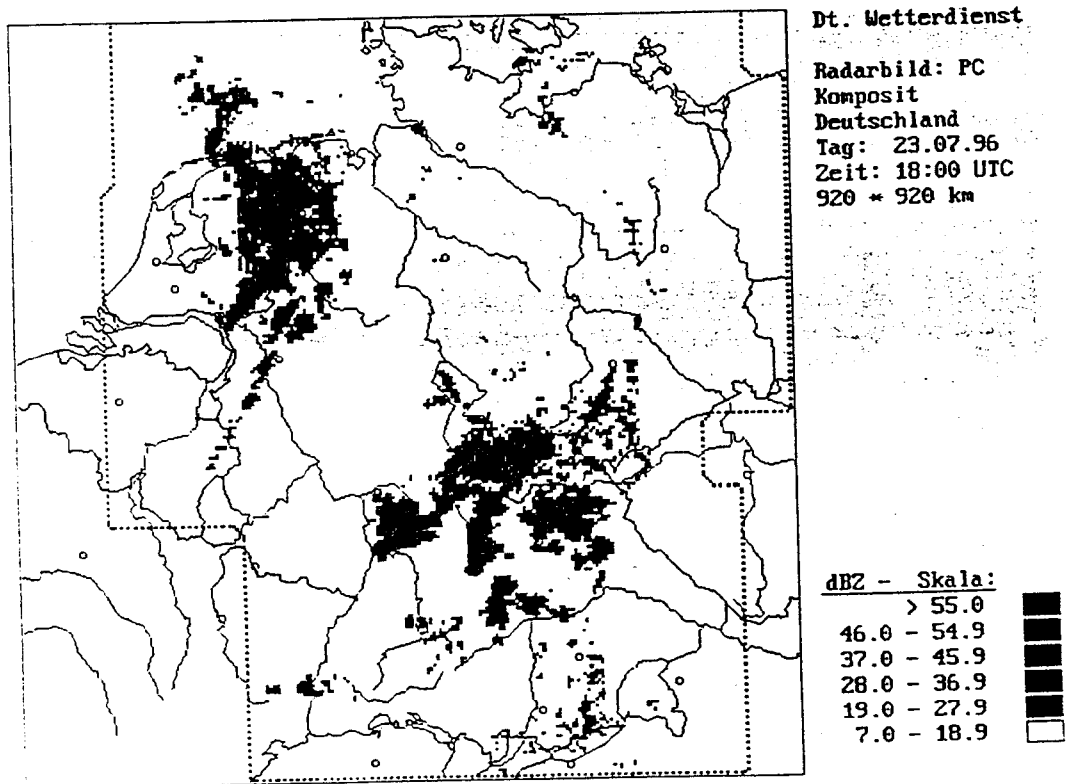


Abbildung 6.2 Beispiel eines Radar-Kompositbildes