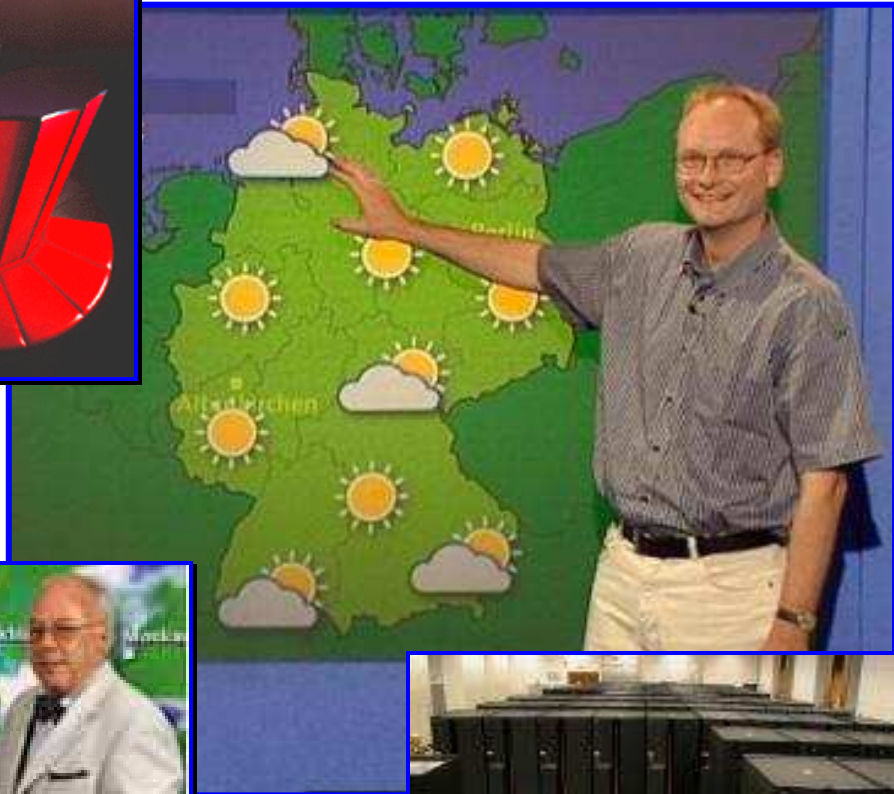
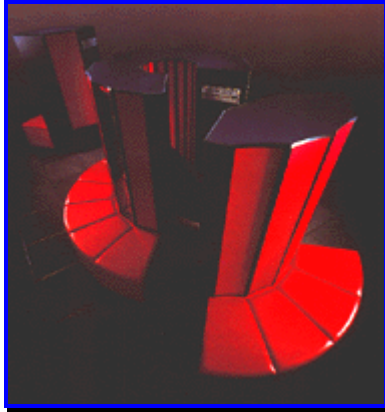


## Zwischen Supercomputer und Fernsehshow:



**Zur Rolle der klassischen Synoptik  
in der modernen Wettervorhersage**

von

**Dipl.-Met. Manfred Kurz, Neustadt/Weinstraße**

**Vortrag am Institut für Meteorologie und Klimaforschung**  
**der Universität Karlsruhe/des Forschungszentrums Karlsruhe**  
**am 1. Juli 2003**

Gemäß Definition der WMO bezeichnet man als "Synoptische Meteorologie" oder kurz: "Synoptik" den Teil der Meteorologie, der sich auf der Grundlage von synoptischen Beobachtungen mit dem Studium der meteorologischen Phänomene in ihrer räumlichen Verteilung und zeitlichen Änderung befasst und eine Vorhersage zum Ziel hat. Zu diesem Zweck muss aus den Beobachtungen zunächst eine dreidimensionale Wetteranalyse erstellt werden, die die Basis für eine Diagnose darstellt, die schließlich zur Wetterprognose führt (Abb. 1). Die synoptische Diagnose hat dabei die Funktion, die physikalischen Vorgänge, die sich z. Zt. der Analyse in der Atmosphäre abspielen, zu erkennen und in ihrer Wirkung auf das Verhalten der analysierten synoptischen Strukturen abzuschätzen. Besonders wichtig ist darüber hinaus, das Potenzial für Neuentwicklungen zu identifizieren.

Wegen des großen organisatorischen Aufwands ist die operationelle Synoptik, also die Ausgabe von Wettervorhersagen aller Art, eine der Hauptaufgaben der nationalen Wetterdienste sowie vergleichbarer privater Dienstleister. Eine Universitätsvorlesung "Synoptische Meteorologie" soll dagegen das dafür erforderliche Grundwissen über die relevanten meteorologischen Phänomene und Strukturen sowie über die Methoden von Analyse, Diagnose und Prognose vermitteln.

In den letzten drei bis vier Jahrzehnten hat sich ein entscheidender Wandel in den Verfahren der Synoptik vollzogen. Supercomputer erlauben es heute, hoch auflösende numerische Modelle zu betreiben, die Vorhersagen nahezu aller interessierender Parameter bis zu 10 Tagen und länger bereitstellen. Und da die Qualität der numerischen Produkte inzwischen im Mittel recht hoch, auf jeden Fall aber zufrieden stellend ist, hat sich auch die Rolle des Menschen innerhalb des synoptischen Arbeitsprozesses verändert. Das wird deutlich, wenn man neuere Beschreibungen dieses Prozesses betrachtet. Nach ihnen laufen Analyse und Vorhersage, die früher die Domäne des Synoptikers waren, voll automatisch ab, es folgt evtl. ein ebenfalls automatisches „Postprocessing“, mit dem versucht wird, systematische Modellfehler zu korrigieren, und erst ganz zum Schluss erscheint der Mensch im so genannten manuellen „Postprocessing“, was überwiegend die Erzeugung kundengerechter Produkte durch entsprechende Aufbereitung bzw. Verpackung beinhaltet (Abb. 1). Das ist dann auch der Platz für die Fernsehshow, in der versucht wird, mit mehr oder weniger einfallreicher Animationstechnik in meist viel zu kurzer Zeit das Wesentliche von der zukünftigen Wetterentwicklung über den Schirm zu bringen - mit mehr oder weniger Erfolg.

In diesem Schema fehlt die naturgemäß manuelle Diagnose, sie wird aufgrund der mittleren Güte der Modelle für überflüssig gehalten. Damit stellt sich natürlich sofort die Frage, ob gemäß diesem Schema die klassische Synoptik wirklich tot ist und ob es wirklich nur noch darauf ankommt, möglichst leistungsfähige Modelle zu betreiben und ihren Output so gut wie möglich aufzubereiten. Das ist verbunden mit der Frage, wie viele Synoptiker man in den

Diensten überhaupt noch braucht und ob man ihre Dienstposten nicht besser zur Modellentwicklung einerseits und zum Vertrieb andererseits verschieben sollte, und schließlich auch mit der Frage nach Sinn und Nutzen der klassischen Synoptik-Vorlesung an den Universitäten.

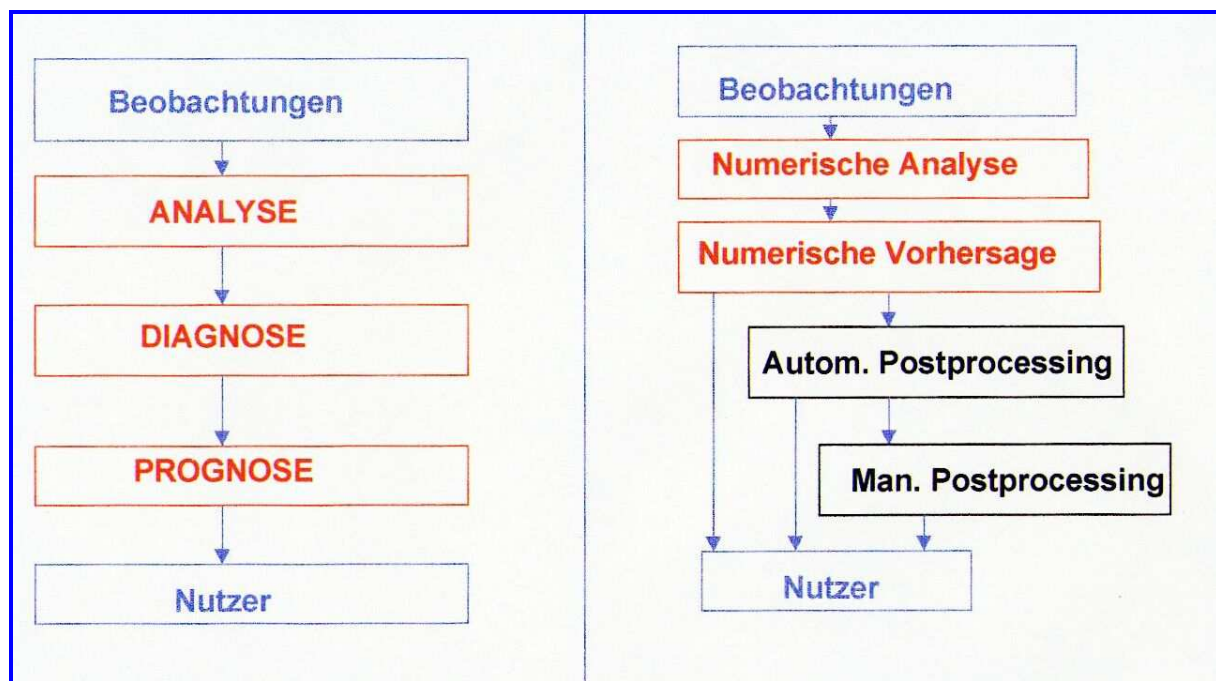


Abbildung 1: Der Prozess "Wettervorhersage". Links Schema der klassischen synoptischen Arbeitsweise, rechts Schema mit überwiegend automatisierter Produktion.

Allerdings muss spätestens hier auch gefragt werden, ob dieses Schema überhaupt richtig und stichhaltig ist für alle Bereiche, die von der Wettervorhersage abgedeckt werden sollen, und ob wir die 10-20% Modellfehler, die nach wie vor zu verzeichnen sind, als gottgegeben hinnehmen müssen, bis in einer lichtvollen Zukunft die 100%ige numerische Vorhersage zur Verfügung steht. Betrachtet man die Zeitskala der Vorhersagen, so gilt für den Kurzfristbereich jenseits von 24-36 Stunden sowie für die gesamte Mittelfrist in der Tat, dass der Mensch - zumindest im statistischen Mittel - kaum noch Verbesserungen am Modelloutput anbringen kann, so dass das obige Schema für diese Bereiche gerechtfertigt erscheint (Tab. 1). Das gilt aber nicht für „Nowcasting“ und Kurzfristvorhersage, also den Vorhersagebereich von 00-12 Stunden, in dem zeitlich und räumlich detaillierte Vorhersagen erwartet werden und im Fall gefährlicher Wetterentwicklungen rechtzeitig konkrete Warnungen ausgegeben werden müssen. Denn immer wieder kommt es vor, dass gerade signifikante Entwicklungen von den Modellen nicht rechtzeitig oder nicht korrekt simuliert werden. Dann muss natürlich der Mensch eingreifen, muss den numerischen Output korrigieren oder alternativ dazu und unabhängig von der „Modell-Guidance“ Vorhersagen und Warnungen formulieren - zumindest bis zum nächsten Modelllauf. Das setzt aber voraus, dass dieser Mensch die dafür erforderlichen Methoden beherrscht, insbesondere die Methoden einer sauberen synoptischen Diagnose. Die Grundlagen für dieses Know-how sollten natürlich bereits während des Studiums, in der Synoptik-Vorlesung also, gelegt werden.

<b>Zeitraum</b>	<b>Größenordnungsbereich</b>	<b>Typisches Produkt</b>	<b>Hilfsmittel, Methoden</b>
<b>0 – 2 h</b>	Nowcasting	Flugplatz-Vorhersage	Beobachtungen Fernerkundungsdaten Extrapolationsverfahren
<b>2 – 12 h</b>	Kürzestfrist	Warnungen; Spezielle Vorhersagen	Konzeptionelle Modelle; Synoptische Interpretation der Modelle
<b>12 – 36 h</b>	Kurzfrist	Vorhersagen für die Medien	Output von Modellen mit Postprocessing (Kalman filtering, MOS); Synoptische Interpretation bis 36 h möglich und notwendig
<b>36 – 72 h</b>	erweiterte Kurzfrist		
<b>72 – 240 h</b>	Mittelfrist	Wochenvorhersagen	Output globaler Modelle; Ensemble Vorhersage mit Postprocessing; automatisierbarer Output

Tabelle 1: Die verschiedenen Zeitskalen der Wettervorhersage

Während der COST-Aktion 78, die sich mit der Verbesserung der Methoden des „Nowcasting“ befasste, wurden folgende Phänomene identifiziert, bei denen Defizite in der NWV existieren:

- **Kleinräumige, rapid ablaufende Zyklgenese**
- **Starke Konvektion**
- **Nebel und Hochnebel**

Das gilt heute noch genau so wie vor 10 Jahren, als die Aktion gestartet wurde, und bei Nebel und Hochnebel sind die Probleme nach wie vor so groß, dass inzwischen eine neue COST-Aktion dafür ins Leben gerufen wurde.

Was muss nun der Synoptiker tun, damit er im Fall einer vom Modell nicht richtig simulierten Zyklonenentwicklung bzw. bei der Auslösung starker Konvektion erfolgreich eingreifen kann? An sich ist ja das „Nowcasting“ die Domäne des Menschen, denn in dieser Zeitskala kann er Fähigkeiten einsetzen, die ihn besser machen als die numerischen Verfahren:

- **Er kann kleinräumig genauer analysieren, z. B wenn es um die Nutzung von einzelnen Schiffsbeobachtungen geht,**
- **Er hat immer einen zeitlichen Vorsprung gegenüber den Modellläufen, d.h. er weiß, wenn der Output eines Laufs eintrifft, bereits, wie sich das Wetter in der Zwischenzeit wirklich entwickelt hat,**
- **Er kann typische Signaturen und Strukturen in den Daten erkennen, etwas womit sich numerische Verfahren nach wie vor schwer tun, und**
- **Er kann sich - zumindest bei rein deterministischen Vorhersagen - Alternativszenarien der Entwicklung ausdenken.**

Um typische Signaturen und Strukturen wieder erkennen und Alternativszenarien sich ausdenken zu können, muss man sie natürlich erst einmal kennen. Und da genügt hinsichtlich der Zyklonenentwicklung sicher nicht nur die Kenntnis des Lebenslaufs der Polarfrontzyklone, wie ihn BJERKNES und Mitarbeiter vor ca. 80 Jahren beschrieben haben. Denn nicht jedes Tief, das an der Polarfront entsteht, durchläuft diesen Zyklus, manche bleiben schwach und lösen sich wieder auf, während andere urplötzlich eine rapide Intensivierung erfahren. Auch erfolgt die Zyklonogenese nicht immer an der Front, sondern z. T. abseits von ihr in Kalt- oder Warmluft, woraus dann - wenn man dieses abweichend Verhalten nicht ins Kalkül zieht - u. U. eine Fehlanalyse der Bodenfronten resultiert. Und was diese Bodenfronten angeht, so ist ihre Verbindung zu den Wolken- und Niederschlagsgebieten durchaus nicht immer so simpel, wie es das Schema der Idealzyklone suggeriert. Leider ist allerdings festzustellen, dass viele Synoptiker im In- und Ausland nach wie vor geradezu sklavisch an diesen Schemata hängen und alles Wetter mit dem Einzeichnen obskurer Linien in die Bodenkarte, die sie ja als einzige Karte noch analysieren, zu erklären versuchen.

Für die wirkliche und physikalisch korrekte Diagnose zyklonogenetischer Effekte ist es vielmehr entscheidend, sowohl Boden- als auch Höhenkarten zu betrachten und die Interaktionen zwischen den verschiedenen Schichten der Atmosphäre, insbesondere zwischen unterer und oberer Troposphäre, zu erfassen. Da eine Zyklonogenese in Bodennähe Produktion zyklonaler Vorticity durch Konvergenz voraussetzt, ist es besonders wichtig, den Antrieb für großräumige Hebung diagnostizieren zu können. Das quasigeostrophische Gleichungssystem liefert dafür die Aussage, dass Hebung zu erwarten ist in Gebieten mit positiver Vorticityadvektion (PVA) in der Höhe, maximierter Warmluftadvektion (WLA) und/oder maximierter diabatischer Erwärmung (z.B. beim Freiwerden von Kondensationswärme). Mit Hilfe des Q-Vektors lassen sich die adiabatischen Effekte zusammenfassen in der Konvergenz dieser Vektoren. Der Q-Vektor erlaubt darüber hinaus mit seiner isothermensenkrechten Komponente eine Diagnose frontogenetischer oder frontolytischer Effekte im horizontalen Windfeld und der damit gekoppelten Querkirkulationen, die häufig entscheidend für die Wetterwirksamkeit von Fronten sind.

Es ist bekannt, dass kräftige, u. U. explosionsartig ablaufende Zyklonogenesen meist nicht das Ergebnis des Labilwerdens einer einzigen baroklinen Welle sind, sondern aus der Interaktion zunächst unabhängiger zyklonaler Systeme in der Höhe und in Bodennähe resultieren. Geeignete Strukturen in der Höhe, in denen Divergenz für den notwendigen Druckfall und die Auslösung einer aufwärts gerichteten Vertikalbewegung sorgen kann, sind seit SCHERHAG und BJERKNES-HOLMBOE bekannt. Es sind die Konfluenz- bzw. Diffluenzzonen stromauf bzw. stromab eines Jetmaximums sowie kurze, progressiv wandernde Wellen der Höhenströmung, wo durch ageostrophische Komponenten quer, bzw. längs zur Strömung Vergenzen erzeugt werden. Und das konzeptionelle Modell für die Interaktion hat vor beinahe 50 Jahren PETERSEN entwickelt. Zyklonogenese ist demnach dort zu erwarten, wo ein Gebiet signifikanter PVA in der Höhe (meist vorderseitig eines kurzwelligen Höhentrog) sich einer langsamer wandernden Front oder bereits existierenden Frontalwelle in der unteren Troposphäre annähert und schließlich überlagert (Abb. 2). Die PVA zeigt die Divergenz in der Höhe an. Ihr Effekt wird zunächst durch darunter wirksame Kaltluftadvektion kompensiert, kann sich aber dann voll durchsetzen, wenn die PVA auf die Frontalzone und ihre Vorderseite übergreift.

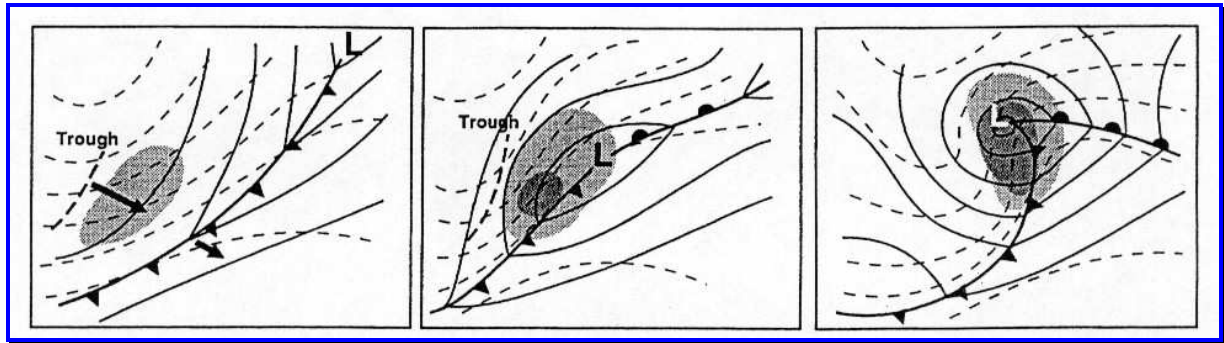


Abbildung 2: Zyklogenese durch Annäherung eines oberen Vorticitymaximums an eine Front in der unteren Troposphäre. Ausgezogen: Isobaren des Bodenluftdrucks; strichliert: Isothermen der Mitteltemperatur; schattiert signifikante positive Vorticityadvektion in der Höhe (Petterssen, 1956).

Den gleichen Prozess kann man auch mit Hilfe von Analysen der isentropen potentiellen Vorticity (IPV) verfolgen. Dieses äußerst wirksame diagnostische Hilfsmittel wurde bereits von KLEINSCHMIDT in den fünfziger Jahren des letzten Jahrhunderts zur Erklärung von Tiefdruckentwicklungen herangezogen, ist aber erst durch die berühmte Arbeit von HOSKINS, McINTYRE und ROBERTSON aus dem Jahre 1985 in den Mittelpunkt der modernen synoptischen Diagnose gerückt worden (Abb. 3). Wenn sich eine obere positive IPV-Anomalie mit ihrer zunächst auf die Höhe beschränkten zyklonalen Zirkulation einer Frontalzone in der unteren Troposphäre annähert und überlagert, kann sich wegen der reduzierten statischen Stabilität die Zirkulation bis in Bodennähe durchsetzen. Sie führt zu einer wellenförmigen Deformation der Isothermen und damit zur Bildung einer positiven Temperatur- und IPV-Anomalie in Bodennähe, die mit ihrer zyklonalen Zirkulation nun auch die Strömung in der Höhe beeinflusst. Insgesamt ergibt sich eine Kopplung, bei der beide Anomalien anwachsen, bis sich ein neuer Gleichgewichtszustand einstellt. Besonders wichtig ist in diesem Zusammenhang das Freiwerden größerer Mengen Kondensationswärme, durch das in den unteren Schichten eine direkte Zunahme der IPV und damit natürlich auch der Vorticity des Windfelds erfolgt.

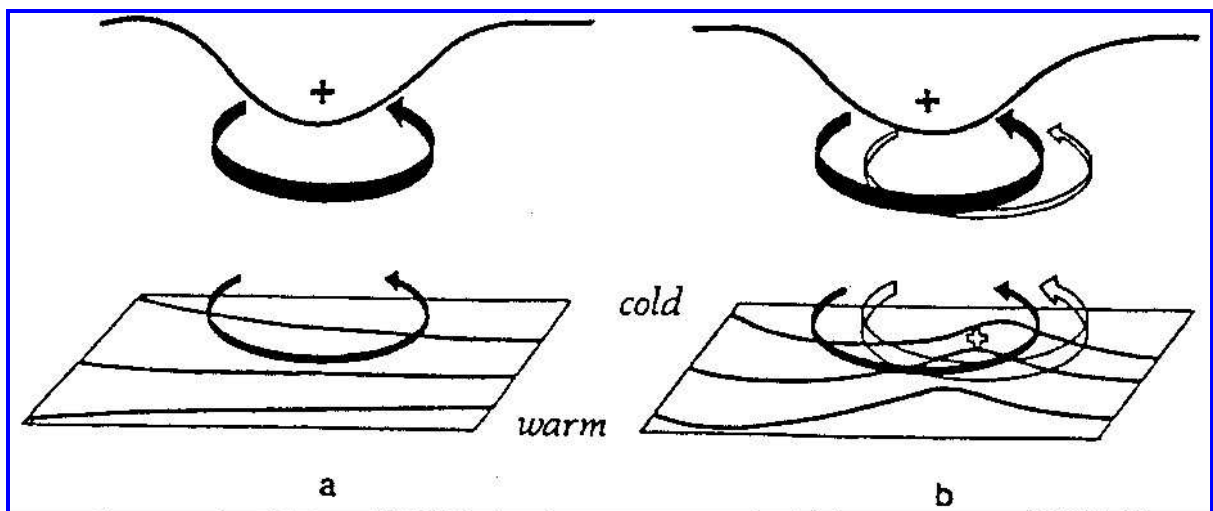


Abbildung 3: Zyklogenese durch Annäherung einer IPV-Anomalie in Tropopausennähe an eine untere Frontalzone. Die obere Anomalie ist durch das + Zeichen oberhalb der tief liegenden Tropopause, die mit ihr verbundene zyklonale Zirkulation durch ausgefüllte Pfeile wiedergegeben. Die untere Frontalzone ist durch drei Isothermen repräsentiert. Das offene + zeigt die neu entstandene untere Anomalie, die offenen Pfeile die mit ihr verbundene Zirkulation (Hoskins et al., 1985).

Die synoptische Diagnose mit den genannten Hilfsmitteln sollte jeden Tag durchgeführt werden, nicht nur dann, wenn der Model Output zweifelhaft erscheint. Das hat den großen Vorteil, dass es dadurch möglich wird, die von den Modellen simulierte Wetterentwicklung zumindest qualitativ auf einer physikalisch korrekten Basis zu verstehen und nachvollziehen zu können, erlaubt aber auch, sich auf der Grundlage der eigenen Diagnose gewisse Varianten oder Alternativen zur numerisch simulierten Entwicklung vorstellen zu können.

Da die genannten diagnostischen Parameter normalerweise aus operationellen numerischen Analysen oder Prognosen abgeleitet werden, erscheint ihre Nutzung zweifelhaft, wenn diese Analysen oder Prognosen als fehlerhaft betrachtet werden müssen. Dann müssen Diagnoseverfahren eingesetzt werden, die überwiegend auf Beobachtungen basieren. Besonders wichtig sind dabei Fernerkundungsdaten wie Satellitenbilder sowie Radar- und Blitzortungsdaten.

Es gibt eine große Anzahl so genannter "Conceptual Models" (CM), die typische Stadien der Entwicklung synoptischer Strukturen anhand von Satelliten- und/oder Radardaten beschreiben. Ein bekanntes CM dieser Art ist das für eine intensive oder gar explosionsartig verlaufende Zyklonogenese (Abb. 4). Charakteristisch dafür ist, dass sich in der Höhe eine Zunge trockener Luft bildet, die sich einer Front oder Wellenstörung in der unteren Troposphäre nähert oder überlagert. Das Vordringen der trockenen Luft, das in den Bildern des IR- oder WV-Kanals geostationärer Satelliten gut zu verfolgen ist, zeigt die mit Divergenz gekoppelte Advektion zyklonaler Vorticity (oder IPV) in der Höhe an. Als Reaktion entwickelt sich eine Wolkenstruktur über dem unteren Tief, die zyklonal nach rückwärts gebogen ist und als "Cloud head" bezeichnet wird. Sie zeigt an, dass Hebung nun nicht mehr nur vorderseitig, sondern auch über und hinter dem Bodentief eingesetzt hat, so dass die darunter wirksame Konvergenz zur Intensivierung der zyklonalen Vorticity des Tiefs führen kann.

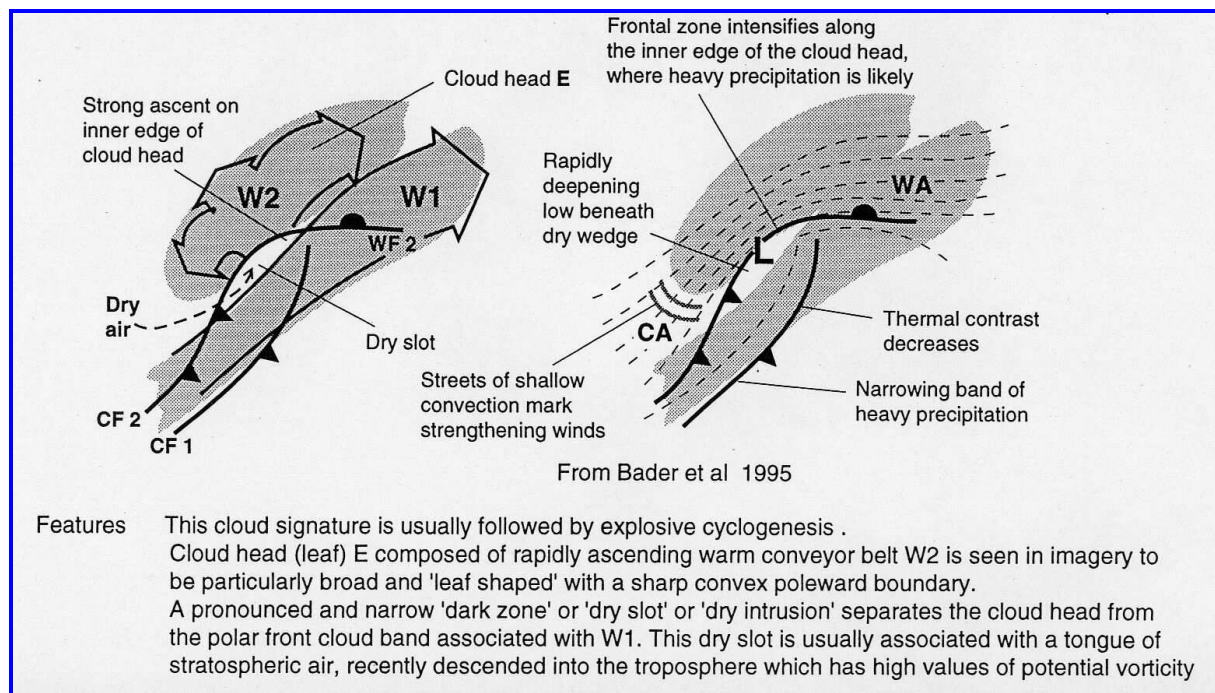


Abbildung 4: "Conceptual Model" für eine explosive Zyklonogenese (COST 78).

Ein prominentes Beispiel für die erfolgreiche Nutzung dieses CMs war das Orkantief “Martin”, das am 27./28.12.99 Frankreich heimsuchte. Bei diesem Beispiel kann man insgesamt sehr gut die Vorteile des manuell betriebenen „Nowcasting“ demonstrieren: Am Anfang steht die Identifikation eines klaren Fehlers in der numerischen Analyse des Bodendruckfeldes. Aufgrund eines falschen “Initial guess” wird eine Schiffsmeldung nicht akzeptiert und damit der Scheitel einer Frontalwelle gegenüber der Handanalyse um einige 100 km zu weit im Süden analysiert. Das mag geringfügig erscheinen. Vergleicht man aber beide Positionen mit den numerisch simulierten Vertikalbewegungen in 500 hPa und der Divergenz in 300 hPa, sieht man sofort, dass die numerisch analysierte Frontalwelle ungünstig, die manuell analysierte dagegen durchaus günstig für eine Weiterentwicklung lagen. Als die von dieser Analyse ausgehenden Modellvorhersagen vorlagen, waren bereits die Beobachtungen von 03 UTC und wenig später die von 06 UTC verfügbar und ließen keinen Zweifel daran, dass die Vorhersagen katastrophal schlecht waren. Und der Vergleich mit den Satellitenbildern aus dem WV-Kanal von METEOSAT (Abb.5) zeigte, dass sich eine Zunge trockener Luft in der Höhe dem Wellentief näherte, dass also gemäß dem eben besprochenen CM ein Kopplungsprozess a la PETERSSSEN ablief, der bei der hohen Feuchte der beteiligten Warmluft zu einer starken Zyklonogenese führen musste. Das wurde auch von den „Forecastern“ des französischen Wetterdienstes erkannt, so dass trotz der schlechten numerischen Prognosen rechtzeitig detaillierte Warnungen vor dem über Frankreich hereinbrechenden Unwetter ausgegeben werden konnten. Damit konnte die Scharte bei dem Orkantief “Lothar” anderthalb Tage vorher, als trotz guter numerischer „Guidance“ durch die französischen Modelle die Warnungen zu spät kamen, wieder ausgewetzt werden.

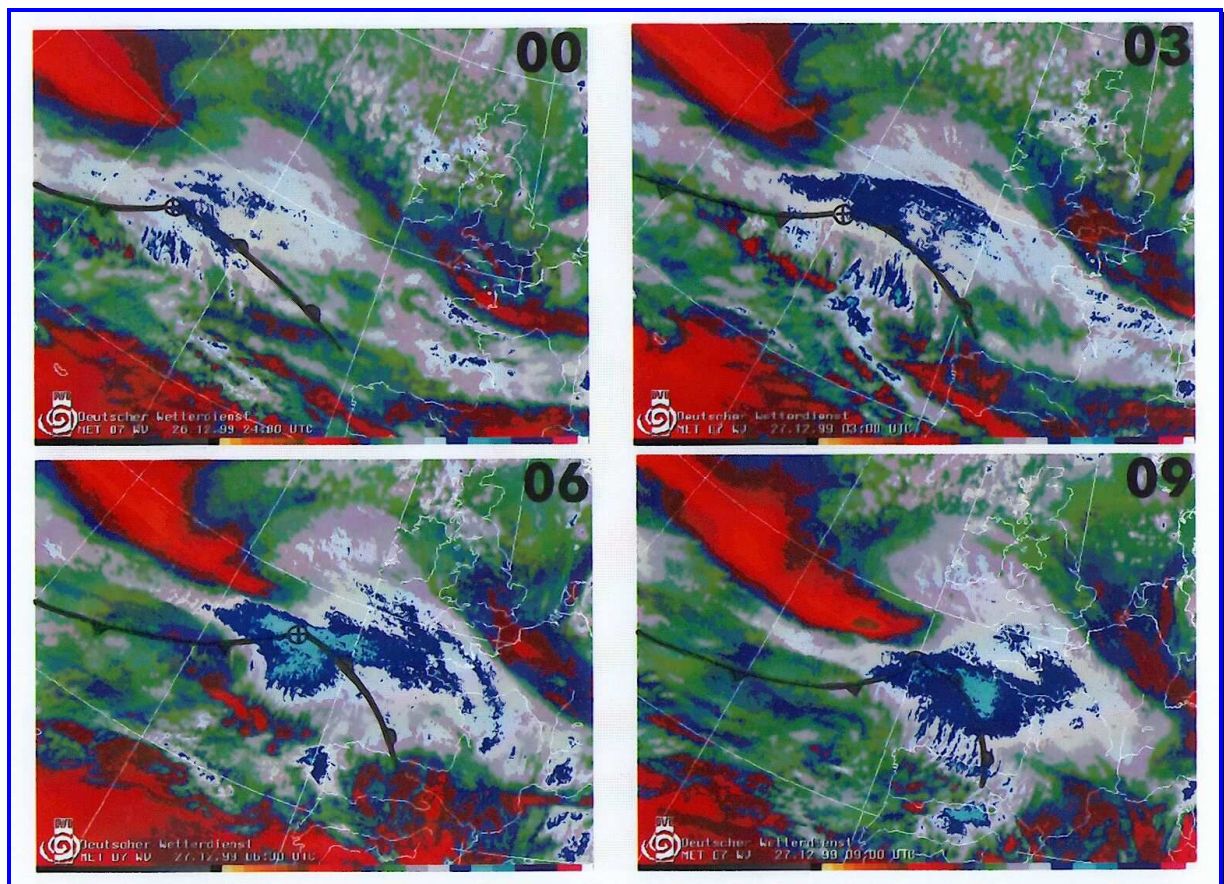


Abbildung 5: METEOSAT-Bilder des Wasserdampfkanals vom 27. 12. 1999, 00-09 UTC, mit Bodenfronten und Position des Bodentiefs. Rot eingefärbt ist die Zunge trockener Luft in der oberen Troposphäre wiedergegeben.



Was die Vorhersage starker, z. T. mesoskalig organisierter Konvektion angeht, so ist zunächst festzustellen, dass hier die Modellprobleme hauptsächlich aus Unzulänglichkeiten der Parametrisierung resultieren. Das heißt, die numerische Analyse und Prognose der relevanten Basisfelder wie Stabilität und Vertikalbewegung kann durchaus korrekt sein, der DMO (direct model output) sich aber dennoch als falsch erweisen. An Tagen mit Konvektion ist deshalb auf jeden Fall eine eigene Diagnose angeraten. Da starke Konvektion zumeist nicht allein thermisch, sondern durch zusätzlich wirksame Hebung ausgelöst wird, sollte ein Vergleich der Stabilitätsverteilung mit den vorhergesagten Feldern der Vertikalbewegung oder des quasigeostrophischen Omega-Forcings durchgeführt werden. Besonders wichtig sind dabei potentiell instabile Luftmassen, die bei genügend lange wirksamer Hebung - z.B. vorderseitig eines kurzwelligen Höhentrog - durchgehend labilisiert werden können. Der Vergleich des KO-Indexes, der in grober Näherung mögliche potentielle Instabilität zwischen 500 hPa und dem Boden anzeigt, mit dem Modell-Omega hat sich in vielen Fällen der Entwicklung schwerer Gewitter als überlegen gegenüber dem reinen Model Output erwiesen. Allgemein ist festzustellen, dass bei thermischer Auslösung der typische Tagesgang der Konvektion von den Modellen nicht richtig wiedergegeben wird: Cumulonimben mit Schauern und Gewittern erscheinen im Output viel zu früh und enden ebenfalls zu früh. Eine direkte Übernahme des zeitlichen Ablaufs für die Vorhersage kann deshalb nicht erfolgen.

Ansonsten ist für das Nowcasting von starker Konvektion der Einsatz von Satelliten-, Radar- und Blitzortungsdaten unerlässlich. Aber auch die Bodenbeobachtungen sollten nicht vergessen werden, da Konvergenzlinien im Bodenwindfeld der bevorzugte Platz für die Entstehung der ersten Konvektionszellen sind. Und Konvergenzlinien entstehen beispielsweise dort, wo auf engem Raum in kurzer Zeit große Temperaturunterschiede entstehen - z.B. am Rand von Wolken- und Niederschlagszonen über dem sommerlichen Festland während des Tages. Wie das in Abb. 6a und 6b wiedergegebene einfache CM für diesen Prozess zeigt, wird durch den Temperaturkontrast eine Zirkulation in Gang gesetzt, innerhalb derer eine Konvergenzlinie am warmen Rand der thermischen Kontrastzone entsteht. Je größer der Temperaturunterschied, desto stärker natürlich die Zirkulation, und wenn die warme Luft genügend feucht und potentiell instabil ist, kann die Hebung zur Bildung von Cumulonimben führen und die Konvergenzlinie sich zur „Squall line“ umbilden. Durch ein Monitoring der bodennahen Temperatur- und Windfelder am Rande größerer Wolken- und Niederschlagsgebiete können solche Prozesse frühzeitig erkannt werden.

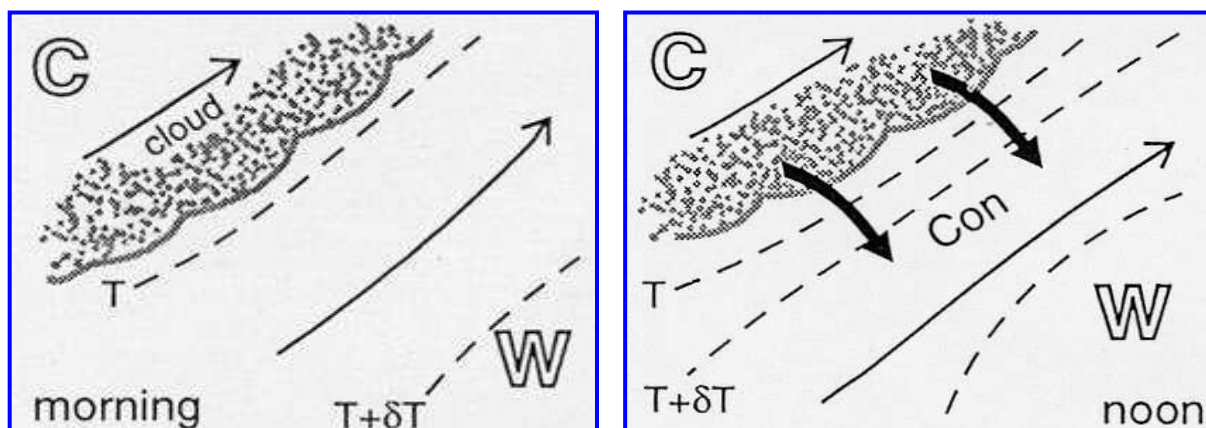


Abbildung 6a: Horizontaldarstellung des „Conceptual Model“ der thermisch direkten Zirkulation am Rande von Wolken- und Niederschlagszonen, die tagsüber über Land ausgelöst wird und zur Bildung von „Squall Lines“ führen kann.

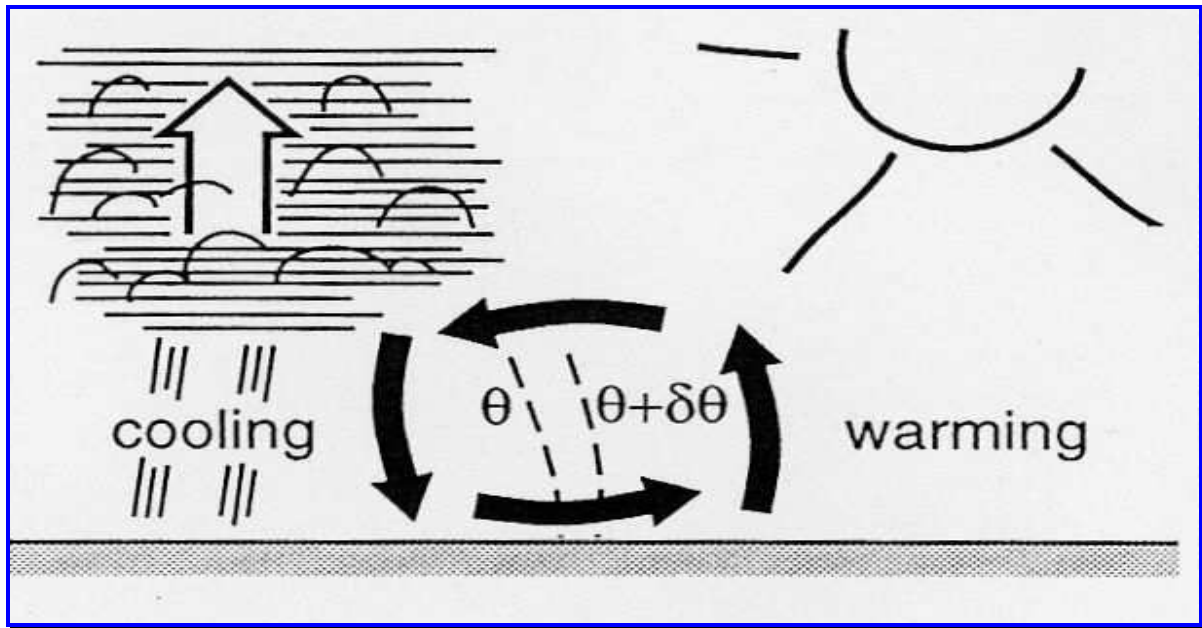


Abbildung 6b: Wie Abb. 6a, jedoch Vertikaldarstellung. Innerhalb weniger Stunden kann sich eine Konvergenzlinie mit einem markanten Temperatursprung an der Vorderseite des Wolkengebiets entwickeln. Zeigt die vertikale Temperatur- und Feuchteverteilung in der warmen Luft potentielle Labilität an, so können sich dort hoch reichende Quellwolken bilden. Die neu gebildete Frontalzone kann sich zu einer „Squall Line“ entwickeln (Kurz, 1984).

Um all die empfohlenen Methoden zeitgerecht einsetzen zu können, sollte der operationelle Arbeitsablauf der Wettervorhersage zusätzlich zu dem eingangs angesprochenen, von der rein numerischen Vorhersage dominierten Schema eine spezielle Schicht für „Nowcasting“ und Kurzzeitvorhersage beinhalten (Abb. 7).

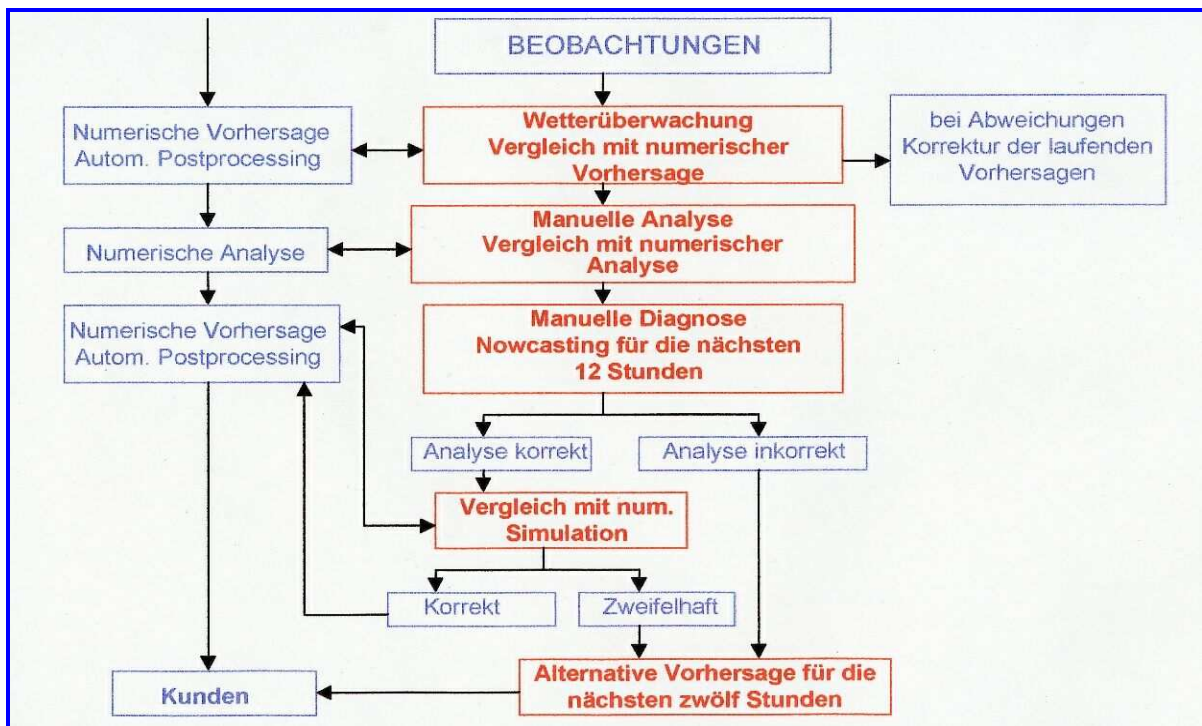


Abbildung 7: Schema des Prozesses Wettervorhersage im Nowcasting-Bereich.

Diese Schicht läuft parallel zu den numerischen Verfahren, startend mit einer kontinuierlichen Wetterüberwachung sowie manueller Analyse und Diagnose, gefolgt dann von einem Vergleich mit dem Model Output, um rechtzeitig Abweichungen von der wirklichen Wetterentwicklung zu erkennen und die laufenden Vorhersagen zu korrigieren bzw. im Falle inkorrektur Analysen oder zweifelhafter numerischer Simulationen alternative Vorhersagen für die nächsten 12 Stunden zu erzeugen, Warnungen vor gefährlichen Wettererscheinungen inklusive. Dafür muss natürlich Personal verfügbar sein, gut geschultes Personal, das fähig ist, eine physikalisch korrekte Diagnose durchzuführen, sich - wenn es darauf ankommt - von der numerischen „Guidance“ zu lösen und unabhängig davon Vorhersagen zu formulieren. Aus- und Fortbildung dafür sind natürlich Aufgaben der nationalen Wetterdienste, aber das grundsätzliche Wissen um die relevanten Prozesse sollte schon in der Synoptik-Vorlesung an der Uni erworben werden.

## **Literatur**

*Hoskins, B. J., McIntyre, M.E. and Robertson, A.W., 1985: On the Use and Significance of Isentropic Potential Vorticity Maps. Quart. J. R. Met. Soc., III, 877-946.*

*Kurz, M., 1984: Leitfäden für die Ausbildung im Deutschen Wetterdienst, Nr. 8: Synoptische Meteorologie. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main.*

*Petterssen, S., 1956: Weather Analysis and Forecasting. Vol. 1, McGraw-Hill Book Company, New York – Toronto – London.*