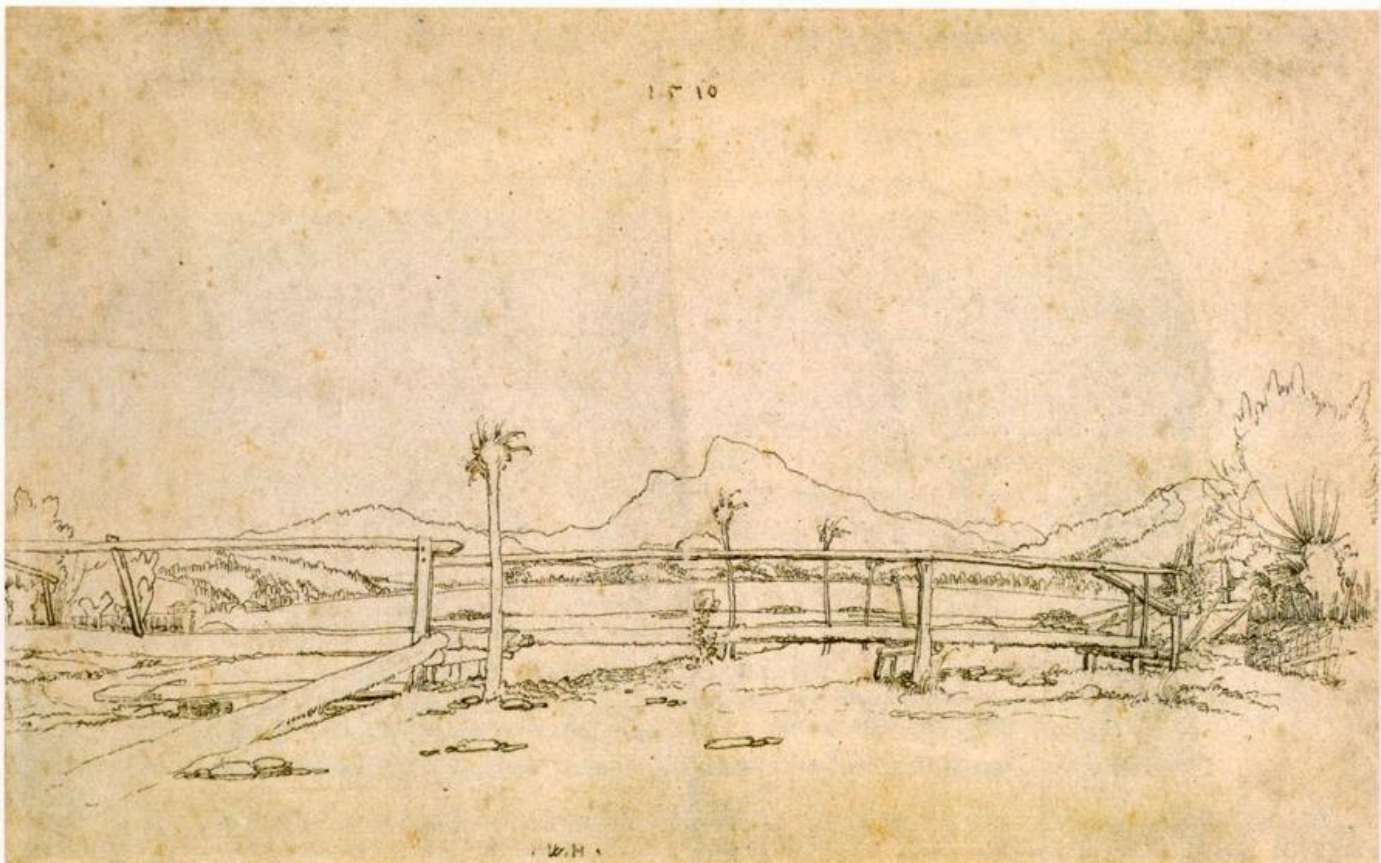


**promet**

3/4 '91

meteorologische fortbildung

## ALPEX – Das Alpine Experiment I



## Herausgeber

Deutscher Wetterdienst

## Hauptschriftleiter

Dipl.-Met. H.-D. Kirch

## Redaktionsausschuß

Prof. Dr. A. Baumgartner (München)  
Prof. Dr. J. Egger (München)  
Prof. Dr. F. Fiedler (Karlsruhe)  
Prof. Dr. H.-W. Georgii (Frankfurt a. M.)  
Prof. Dr. H. Graßl (Hamburg)  
Dr. F. Kasten (Hamburg)  
Dipl.-Met. H. Kruse (Traben-Trarbach)  
Dr. H. Reiser (Offenbach)  
Dr. R. Simonis (Langen/Hess.)  
Prof. Dr. F. Wippermann (Darmstadt)

## Zum Titelbild:

Federzeichnung 'Ansicht des Mondsees mit dem Schafberg im Salzkammergut' (1510) von Wolfgang Huber (1485-1553). Der Zeichner und Baumeister Huber war neben Altdorfer der bedeutendste Künstler der Donauschule. Die Zeichnung befindet sich im Germanischen Nationalmuseum in Nürnberg. Literatur: Die Landschaftszeichnungen von W. Huber. Münchner Jahrb. d. Bild. Kunst (N.F.) Bd. VII, 1930, S. 1-104. Nachdruck mit Zustimmung des Germanischen Nationalmuseums.

pro **met** erscheint im Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes - Zentralamt - Frankfurter Straße 135, 6050 Offenbach am Main. Bezugspreis pro Jahrgang (4 Hefte) im Abonnement DM 36,-, Einzelheft DM 10,-, Doppelheft DM 20,-, Dreifachheft DM 30,-. Für den Inhalt der Arbeiten sind die Autoren verantwortlich. Alle Rechte bleiben vorbehalten.

Druck: Weppert GmbH & Co. KG,  
8720 Schweinfurt,  
Zehntstraße 17

ISSN 0340-4552

# Meteorologische Fortbildung

21. Jahrgang, Heft 3/4, 1991

Thema des Heftes:

## ALPEX - Das Alpine Experiment I

(Fachliche Redaktion: J. Egger, München)

Beiträge	Seite
Zur Einführung	69
M. KURZ	
1 Zur synoptischen Situation und Entwicklung von Leezyklonen während der speziellen Beobachtungsperiode	69
R. STEINACKER	
2 ALPEX - Daten	79
E. REIMER	
3 Numerische Analyse für ALPEX	83
A. TAFFERNER	
4 Numerische Simulation der Leezyklognese	89
J. EGGER	
5 Theorien zur Leezyklognese	101
<b>Institute stellen sich vor</b>	
Die meteorologischen Institute in Ostdeutschland (P. HUPFER)	106
Zentrum für Meeres- und Klimaforschung der Universität Hamburg (J. SÜNDERMANN)	110
<b>Aus dem Deutschen Wetterdienst</b>	
METLIS - Das Meteorologische Literaturinformationssystem des DWD (M. GOESCH)	113
<b>Das interessante Satellitenbild (M. KURZ)</b>	117
<b>Habilitationen, Promotionen und Diplom-Hauptprüfungen 1990</b>	118
<b>Buchbesprechungen - Neuerscheinungen</b>	105, 120
Vorausschau Tagungen	120

# Thema des Heftes: ALPEX – Das Alpine Experiment I

## Zur Einführung

Die Erkenntnis, daß selbst mäßig große Gebirge das Wetter in praktisch allen Skalen beeinflussen, führte zum Alpinen Experiment, ALPEX, dem letzten der internationalen Großprojekte des sogenannten Global Atmospheric Research Program (GARP).

Mutter Natur sorgte im Frühjahr 1982 für eine günstige Nordwest-Strömung, die eine Serie von Leezyklonen erzeugte (eines der Haupt-Studienobjekte von ALPEX), wodurch sie allerdings auch Fälle von starkem Südföhn verhinderte. Mit den Zyklongenese über dem Mittelmeer waren andere Phänomene verbunden, die gleichfalls auf dem Programm von ALPEX standen, z. B. die Deformierung von Fronten, Stau, Mistral, Bora, Sturmfluten in der Adria, Leewellen an den Pyrenäen.

Die Anregung, die von ALPEX ausging, erreichte Wissenschaftler in vielen Ländern und führte zu einer Intensivierung der Erforschung orographischer Einflüsse. Eine Reihe von neuen Theorien der Leezyklongenese ist entstanden, die auch Gegenstand dieses und des nächsten Heftes sind. Neue Erkenntnisse über Berg- und Talwinde, über den Strömungswiderstand der Alpen u. a. werden gleichfalls dargestellt. Die Diskussion der ALPEX-Daten zeigt, daß die Bemühungen der teilnehmenden Wissenschaftler schließlich einen Datensatz von hoher Qualität erzeugt haben.

Die wissenschaftlichen Ergebnisse von ALPEX sollten selbst im mittelfristigen Bereich zu verbesserten Prognosen orographischer Effekte, besonders auch der Leezyklongenese, führen. Die vorliegenden Veröffentlichungen mögen hierzu beitragen.

J. Kuettner

## 1 M. KURZ Zur synoptischen Situation und Entwicklung von Leezyklonen während der speziellen Beobachtungsperiode März/April 1982 innerhalb des internationalen Feldexperiments ALPEX

### 1 Einleitung

Die Hauptmeßkampagnen innerhalb des ALPEX-Feldexperiments wurden in der speziellen Beobachtungsperiode (SOP) vom 1. 3. – 30. 4. 1982 durchgeführt. Für diesen Zeitraum wird nachfolgend eine Beschreibung der großräumigen synoptischen Situation und ihrer Veränderungen gegeben. Entsprechung der Zielsetzung von ALPEX werden dabei die Verhältnisse während der Entwicklung von Zyklonen im Lee der Alpen bzw. über dem westlichen Mittelmeerraum den Schwerpunkt der Darstellung bilden.

### 2 Großwetterlagen und ALPEX-Wetterphänomene

Die Tabellen 1 und 2 enthalten eine Auflistung der Großwetterlagen über Mitteleuropa während SOP zusammen mit den Wetterphänomenen im Alpenraum, die zur jeweiligen Zeit untersucht wurden. Die Daten stammen aus der DWD-Veröffentlichung *Die Großwetterlagen Europas* sowie von GUTERMANN und WANNER (1982).

Man sieht, daß insbesondere der März mit seinen überwiegend zyklonal geprägten Großwetterlagen eine Fülle von Wetterentwicklungen und -phänomenen brachte, die in den Arbeitsbereich des ALPEX-Experiments fielen.

Tiefdruckgebiete, die in dem genannten Bericht als Leezyklonen angesprochen wurden, entwickelten sich im westlichen Mittelmeerraum am 2. 3., 4.-6. 3., 13. 3., 17./18. 3., 20.-23. 3., 24.-26. 4. sowie 30. 4. 1982. Die für die jeweilige Großwetterlage gemittelte 500-hPa-Geopotentialverteilung

ist in Bild 1 wiedergegeben. Es zeigt sich, daß bei den Märzlagen die Alpen und das westliche Mittelmeer unter einer WNW-NW-Strömung lagen, die zum Teil gerade im Alpenbereich eine deutliche Diffluenz aufwies. Die Verteilung für den 6. sowie für den 21.-23. 3. zeigt mit einem abgeschlossenen Höhentief westlich von Italien bereits das Ergebnis der Zyklongenese. Die Entwicklungen Ende April vollzogen sich dagegen im Bereich einer leicht diffluenten Nordströmung.

### 3 Zyklonenentwicklung im Lee der Alpen und im westlichen Mittelmeerraum

Nachfolgend wird eine kurze Charakterisierung der einzelnen Episoden mit Lee-Zyklongenese gegeben. Zur Illustrierung enthält Bild 2 für die beiden ersten und die beiden letzten Entwicklungen je zwei im 12-stündigen Abstand aufeinanderfolgende Analysen des Geopotential- und Temperaturfeldes für 850 und 500 hPa. Eingezeichnet wurden zusätzlich die Bodenfronten. Die Analysen wurden manuell unter Verwendung der operationell zur Verfügung stehenden Daten angefertigt. Sie können also nur die großskaligen Strukturen der betreffenden Felder widerspiegeln.

#### 2. 3. 1982

*Boden, 850 hPa:* Bodentrog mit Kaltfrontcharakter überquert von Frankreich die Alpen und stößt ins westliche Mittelmeer vor. Vorderseitig der Front Zyklongenese im Leetrog über Norditalien. Tief verlagert sich anschließend südostwärts zum östlichen Mittelmeer. (weiter S. 74)

Tab. 1: Großwetterlagen über Mitteleuropa während SOP im März 1982

GWL	LZM	Wetterphänomene
01		LEW-A-E
02	LZM-N	MIS/FOH-N/LEW-A-S/FUA/ONS
03	W <sub>Z</sub>	
04		MIS/FOH-N/FUA
05	LZM-N	MIS/FOH-N/BOR/LEW-A-S/ONS
06		MIS/FOH-N/BOR/LEW-A+P-S
07	BM	FOH-N/BOR/LEW-A-S/ONS
08		
09		FOH-S
10	W <sub>Z</sub>	FOH-S/LEW-A-N/ONS
11		MIS/FOH-N/LEW-A-S/FUA
12		FOH-S
13	ZM-N	MIS/FOH-N/BOR
14		FOH-N/BOR
15		FOH-S
16	TB	FOH-S/LEW-A-NE+E/FUA
17		FOH-S/LEW-A-NE+E/FUA/ONS
18		MIS/ONS
19	TRM	FOH-N/LEW-A+P-S
20	LZM-N	MIS/LEW-P-S/FUA
21		MIS/BOR/LEW-P-S
22	LZM-S	MIS/FOH-N/BOR/LEW-A+P-S
23	LZM-S	MIS/FOH-N/BOR/LEW-A+P-S
24	BM	MIS/BOR/LEW-A-SW
25		BOR
26		
27		FOH-S
28		FOH-S/LEW-A-N/ONS
29	Ü	FOH-S/LEW-A-NE/ONS
30	HB	MIS/FUA
31		LEW-A-NE/ONS

Tab. 2: Großwetterlagen über Mitteleuropa während SOP im April 1982

GWL	LZW	Wetterphänomene
01		LEW-A-N
02	SW <sub>Z</sub>	LEW-A-NE/FUA
03		
04	HM	LEW-P-N
05		FOH-S/LEW-A+P-N
06		
07	SW <sub>Z</sub>	
08		LEW-A-SE/FUA/ONS
09	N <sub>Z</sub>	MIS/FOH-N/BOR/LEW-A-SE
10		MIS
11		MIS
12		MIS/FUA
13		BOR
14	BM	MIS/BOR/ONS
15		BOR
16		BOR
17		
18	HB	
19		
20		MIS
21	BM	MIS
22		ONS
23		ONS
24	HB	MIS/LEW-A-SW/FUA
25	LZM-N	MIS
26	LZM-N	
27		MIS/FOH-N/FUA
28		MIS/FOH-N/LEW-A-S
29	NW <sub>Z</sub>	MIS/LEW-A-SE/FUA
30	LZM-N	MIS/FOH-N/LEW-A+P-S/FUA/ONS

**Erläuterungen zu Tabelle 1 und 2**

GWL Großwetterlagen

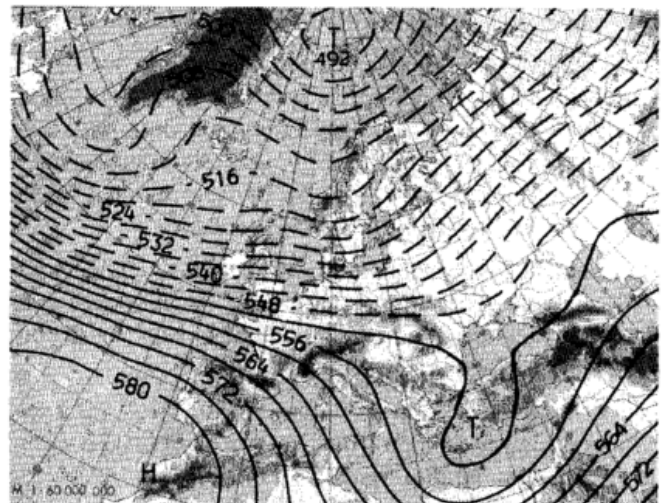
- W<sub>Z</sub> Westlage, zyklonal
- SW<sub>Z</sub> Südwestlage, zyklonal
- NW<sub>Z</sub> Nordwestlage, zyklonal
- N<sub>Z</sub> Nordlage, zyklonal
- TB Tief Britische Inseln
- TRM Trog Mitteleuropa
- BM Hochdruckbrücke über Mitteleuropa
- HB Hoch Britische Inseln
- BM Hochdruckbrücke über Mitteleuropa
- HM Hoch über Mitteleuropa
- Ü Übergangslage

LZM Leezyklone im westlichen Mittelmeerraum

-N Nordhälfte; -S Südhälfte

Wetterphänomene

- MIS Mistral
- FOH Föhn im Alpenraum; -N Nordföhn; -S Südföhn
- BOR Bora
- LEW Leewellen; -A Alpenraum; -P Pyrenäen  
-NW, -N, -NE, -E, -SE, -S, -SW nordwestlich (etc.)  
des Gebirges
- FUA Front über der Alpenregion
- ONS Orographische Niederschläge im Alpenraum

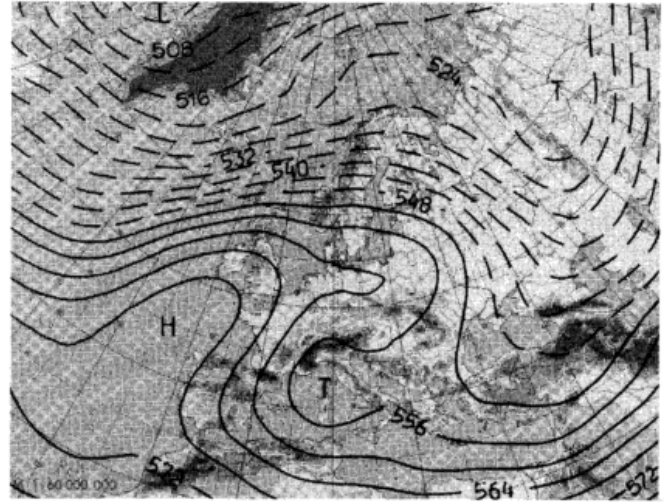


28. 2.-5. 3. 82 (6 Tage)

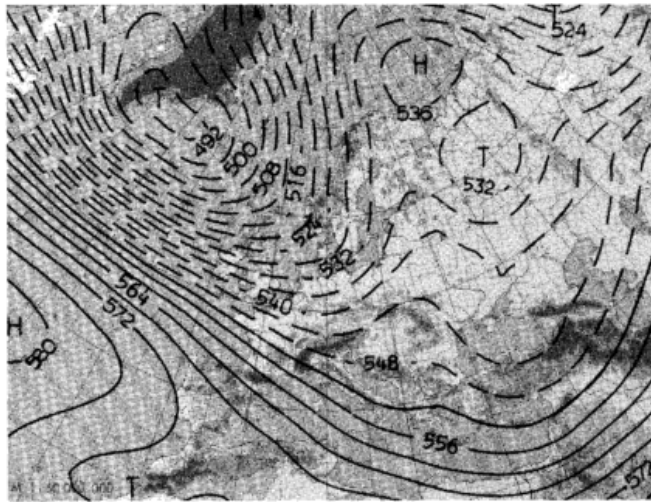
Westlage, zyklonal (Wz).



6.-8. 3. 82 (3 Tage) Hochdruckbrücke über Mitteleuropa (BM).



21.-28. 3. 82 (8 Tage) Hochdruckbrücke über Mitteleuropa (BM).



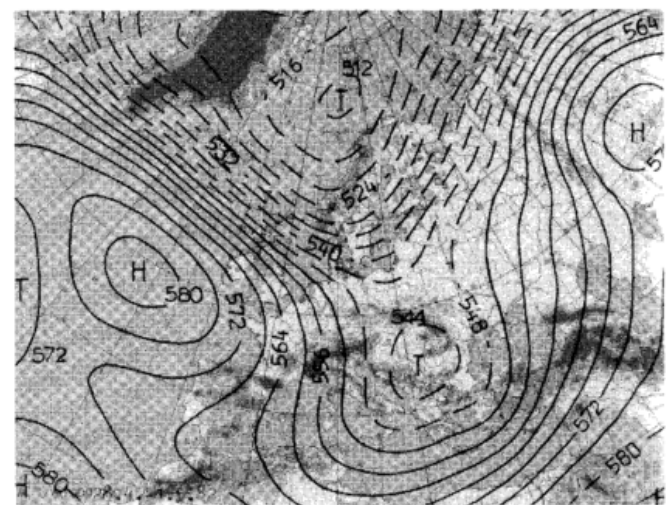
9.-14. 3. 82 (6 Tage) Westlage, zyklonal (Wz).



24.-27. 4. 82 (4 Tage) Hoch Britische Inseln (HB).

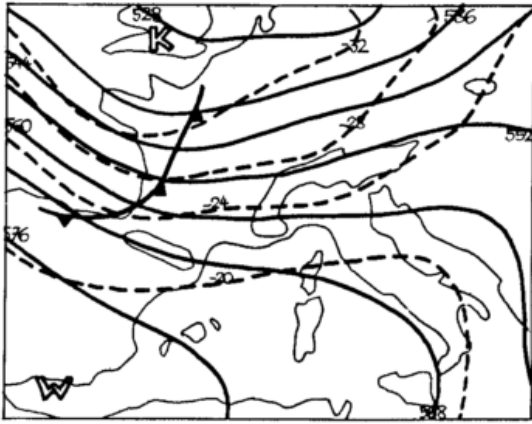


18.-20. 3. 82 (3 Tage) Trog Mitteleuropa (TRM).

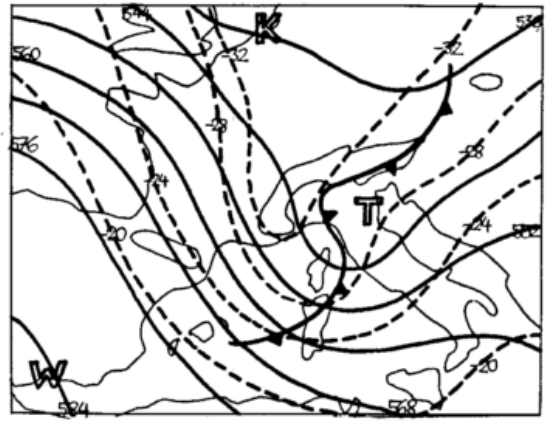


28. 4.-1. 5. 82 (4 Tage) Nordwestlage, zyklonal (NWz).

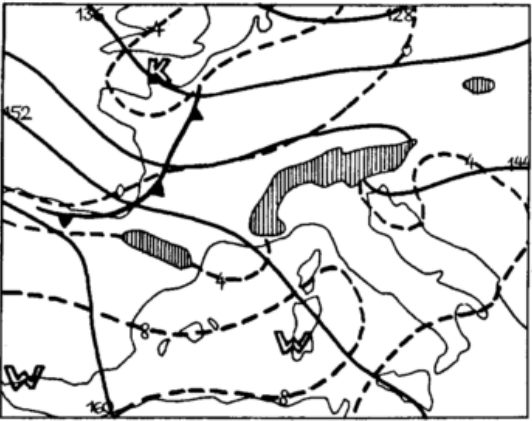
Bild 1: Mittlere Verteilung des Geopotentials 500 hPa (in gpdm) für die angegebenen Zeiträume innerhalb ALPEX-SOP (Deutscher Wetterdienst, Offenbach).



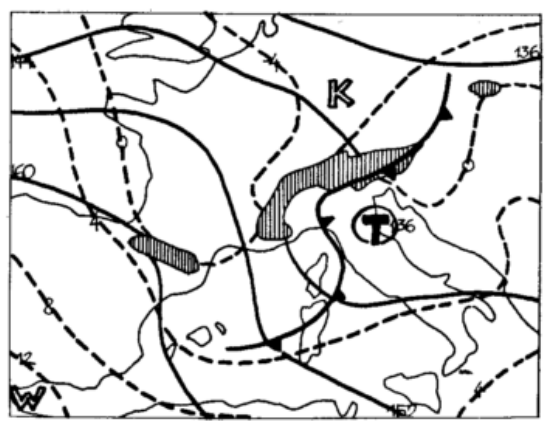
02.03.1982, 00 UTC



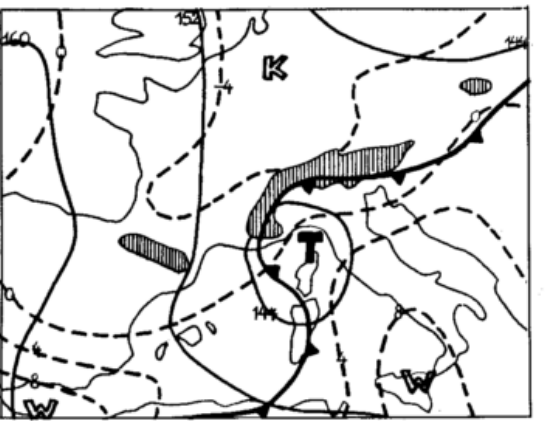
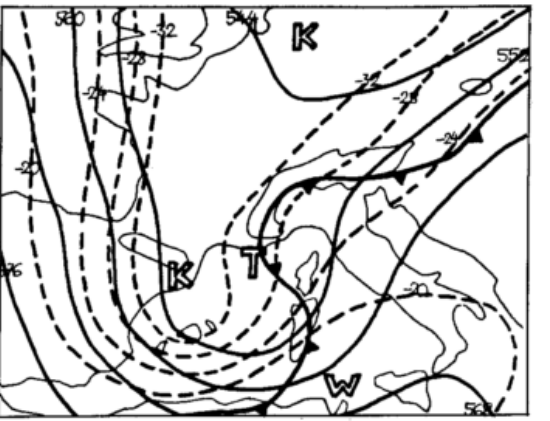
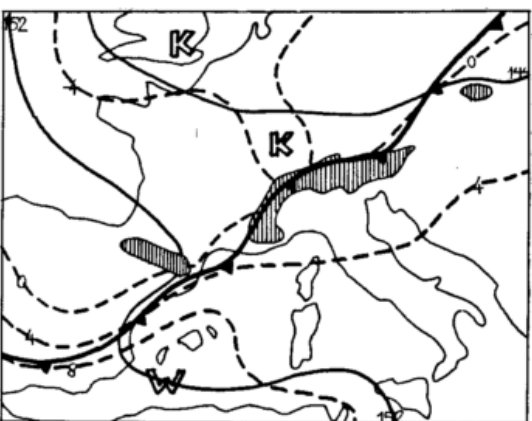
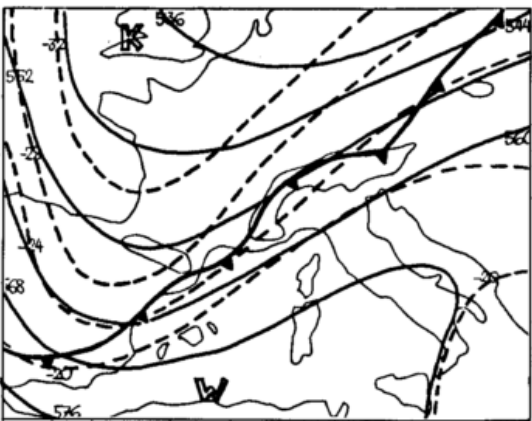
02.03.1982, 12 UTC

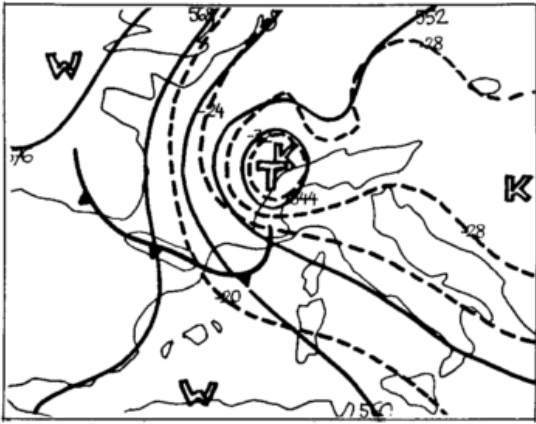


04.03.1982, 12 UTC

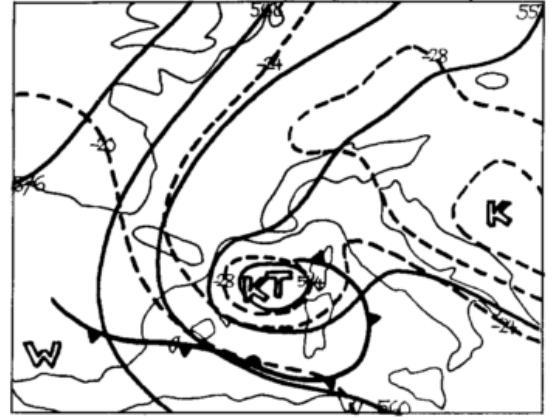


05.03.1982, 00 UTC

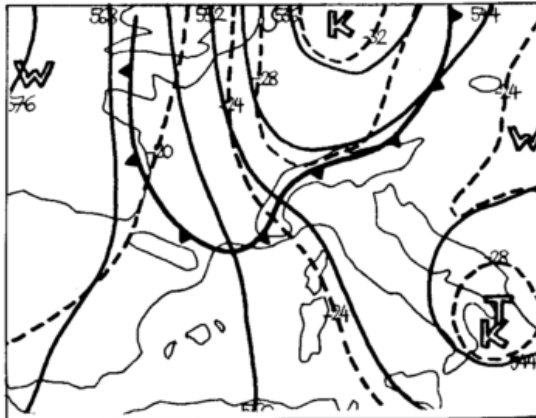
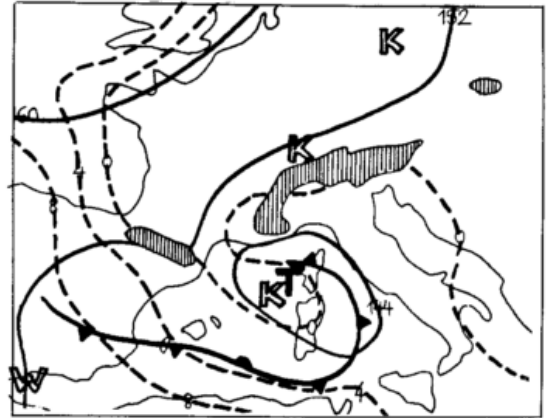
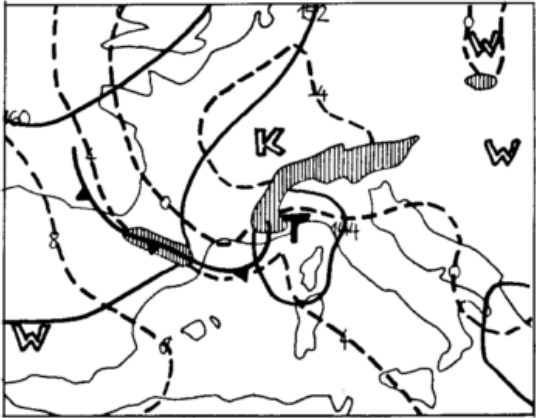




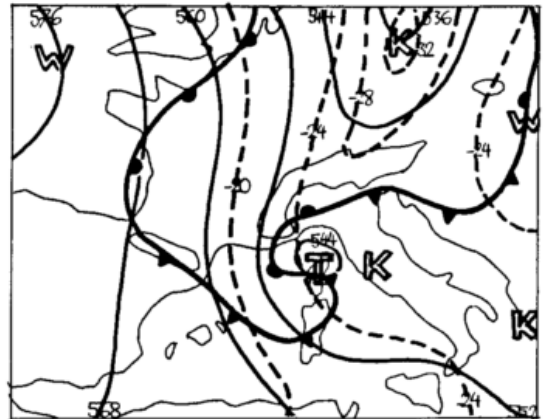
24.04.1982, 12 UTC



25.04.1982, 00 UTC



30.04.1982, 00 UTC



30.04.1982, 12 UTC

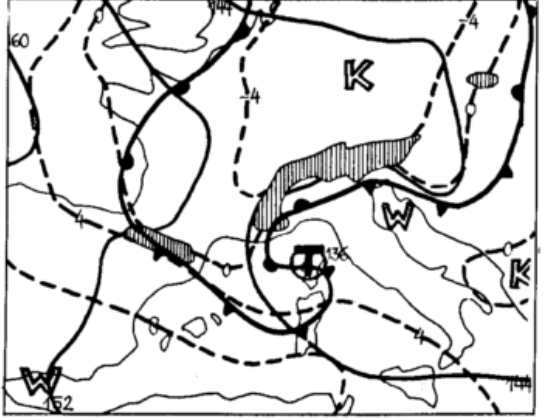
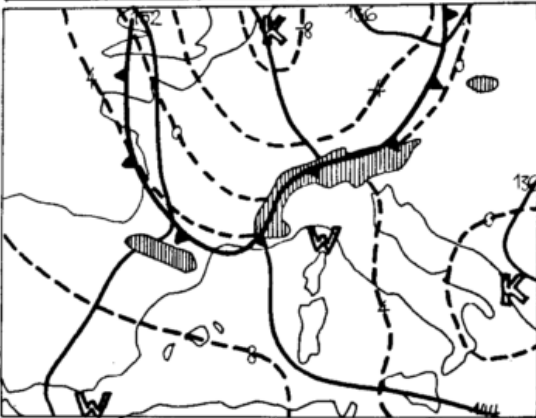
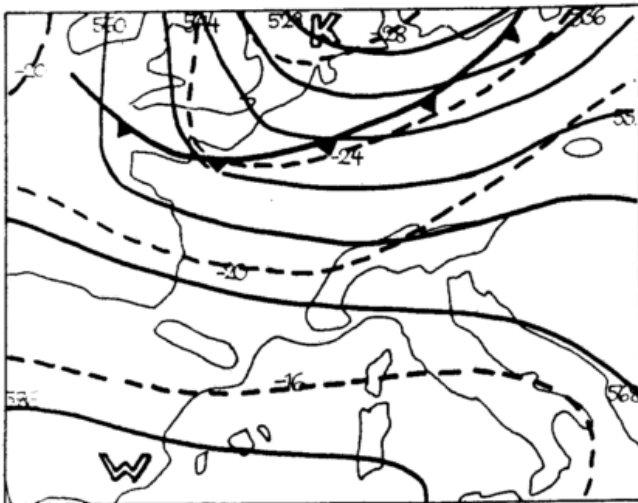
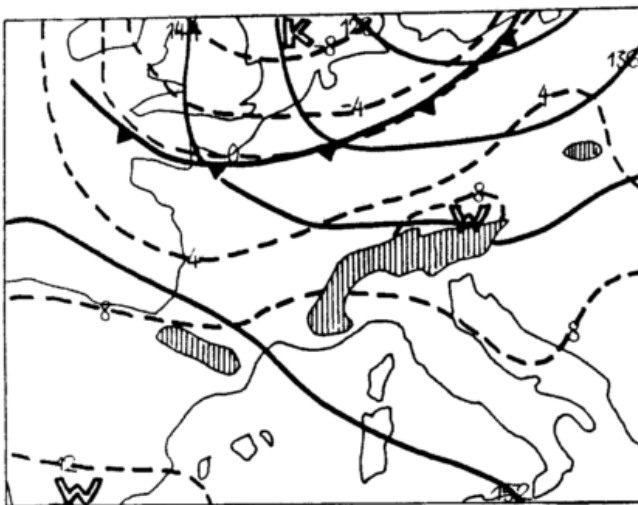


Bild 2: Analysen 500 hPa (oben) und 850 hPa (unten) für vier Lee-Zyklogenese während ALPEX-SOP. Dargestellt sind Geopotential (ausgezogen, in gpdam) und Temperatur (strichliert, in °C); außerdem eingezeichnet wurden die Bodenfronten.



08.04.1982, 12 UTC



09.04.1982, 00 UTC

500, 300 hPa: Höhentrog schwenkt von Westfrankreich ost-südostwärts über die Alpen hinweg. Dabei Amplitudenvergrößerung und Abschluß eines Höhentiefs, das mit dem Bodentief zum östlichen Mittelmeer wandert. Jet-Maximum rückseitig des Troges, zunehmende Diffluenz vorderseitig.

#### 4.-6. 3.1982

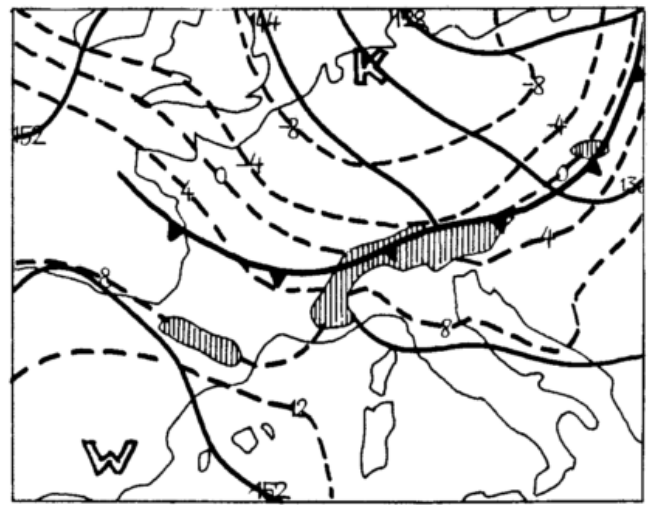
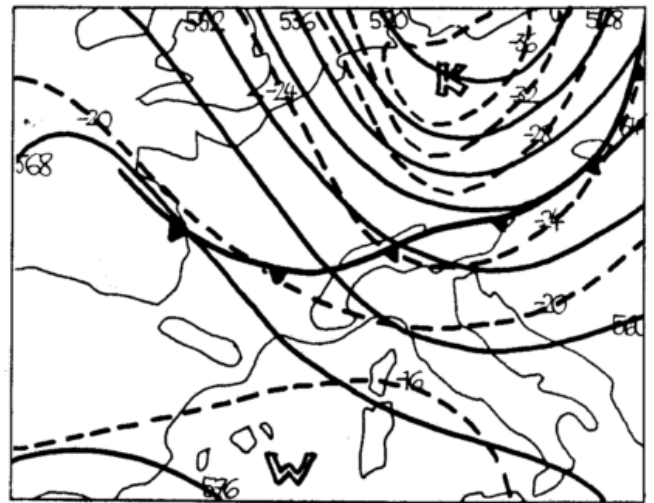
*Boden, 850 hPa:* Kaltfront überquert von NW Iberische Halbinsel sowie - stark verzögert - den Alpenraum. Vorderseitig der Front rasche und kräftige Zyklonogenese über dem Löwengolf und dem Ligurischen Meer und Entwicklung eines Sturmtiefs, das in den Folgetagen langsam südostwärts wandert.

500, 300 hPa: Markanter Höhentrog über der Iberischen Halbinsel schwenkt langsam ostwärts. In ihm Abschluß eines Höhentiefs, das sich bis zum 6. 3. über das Bodentief schiebt. Jet-Maxima beidseitig der Trogachse.

#### 13. 3. 1982:

*Boden, 850 hPa:* Kaltfront überquert von NW die Alpen und dringt ins westliche Mittelmeer vor. Zyklonogenese über Oberitalien und dem inneren Golf von Genua, vorderseitig der Front beginnend. Tief verlagert sich anschließend zum Balkan.

500, 300 hPa: Breiter Trog schwenkt von Frankreich über die Alpen hinweg südostwärts. Dabei Amplitudenver-



größerung und schließlich Abschluß eines kleinen Höhentiefs. Jetmaximum im Trogbereich.

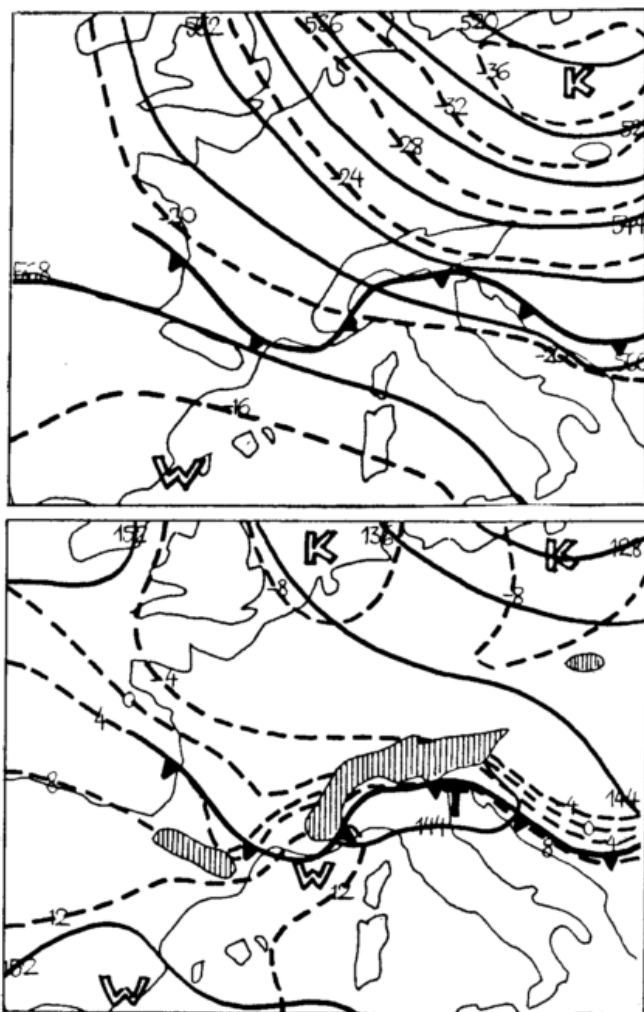
#### 17./18. 3. 1982

*Boden, 850 hPa:* An einer schleifenden Kaltfront zunächst Wellenbildung nördlich der Alpen; dann Vorstoß ins westliche Mittelmeer und Zyklonogenese über dem Ligurischen Meer. Front überschreitet dabei Alpen zunächst nur im Westen, später auch in den anderen Bereichen. Tief verlagert sich ostwärts Richtung Ungarn.

500, 300 hPa: Höhentrog schwenkt von Nordspanien ostwärts zum Löwengolf. Durch nachfolgenden Sekundärtrog Amplitudenvergrößerung und schließlich Abschluß eines Höhentiefs über den Ostalpen. Anfangs Geschwindigkeitsmaxima im Jetniveau beidseitig der Trogachse, später starke Geschwindigkeiten rückseitig.

#### 20.-23. 3. 1982

*Boden, 850 hPa:* Kaltfront bewegt sich von Frankreich ost- und südostwärts, dringt ins westliche Mittelmeer vor, wird aber an den Alpen zurückgehalten und löst sich dort auf. Vorderseitig der Front Zyklonogenese über dem Golf von Genua. Weiterentwicklung zum kräftigen Tief, das langsam südostwärts wandert.



09.04.1982, 12 UTC

**500, 300 hPa:** Kurzwelliger Trog verlagert sich von Frankreich zum westlichen, später zentralen Mittelmeer. Dabei Abschluß eines Höhentiefs über dem Bodentief. Kräftiger NW/N-Jet rückseitig des Troges, deutliche Diffluenz vorderseitig.

**24.-26. 4. 1982**

**Boden, 850 hPa:** Vorstoß kalter Luftmassen von NE und N durch Lücke zwischen Alpen und Pyrenäen ins westliche Mittelmeer. Rasche Zyklonogenese über dem Ligurischen Meer. Bei langsamer Südostverlagerung ebenso rasche Auffüllung am Folgetag.

**500, 300 hPa:** Markantes Höhentief mit Kaltlufttropfen-Charakter verlagert sich innerhalb eines Kurzwellentroges von Südostfrankreich zum westlichen Mittelmeer. Jetmaximum an der Westflanke des Höhentiefs.

**30. 4. 1982**

**Boden, 850 hPa:** Kaltfront wird von N gegen die Alpen geführt und überquert sie langsam. An den Flanken des Gebirges Kaltluftvorstöße Richtung Balkan und westliches Mittelmeer. Vorderseitig der Front Zyklonogenese über dem westlichen Oberitalien und dem Golf von Genua. Tief verlagert sich anschließend südostwärts.

**500, 300 hPa:** Markanter Trog überquert von N die Alpen; dabei Abschluß eines Höhentiefs. Kräftiger Nord-Jet rückseitig des Troges, deutliche Diffluenz vorderseitig.

Bild 3: Analysen 500 hPa (oben) und 850 hPa (unten) für 8. 4. 1982, 12 UTC bis 9. 4. 1982, 12 UTC. Dargestellt sind Geopotential (ausgezogen, in gpdam) und Temperatur (strichliert, in °C); außerdem eingezeichnet wurden die Bodenfronten.

Allen Fällen ist gemeinsam, daß

- in der unteren Troposphäre eine barokline Zone (Front) existiert, die sich aus dem Sektor W-N den Alpen nähert, sie teilweise auch überschreitet und gleichzeitig ins westliche Mittelmeer vordringt, und
- in der Höhe ein deutlich auszumachender Trog vorhanden ist, unter dessen Vorderseite die zyklonale Entwicklung beginnt.

Alle Fälle zeigen auch in der unteren Troposphäre die typische Deformation von Strom-, Geopotential- und Temperaturfeld im Bereich der Alpen, d. h.

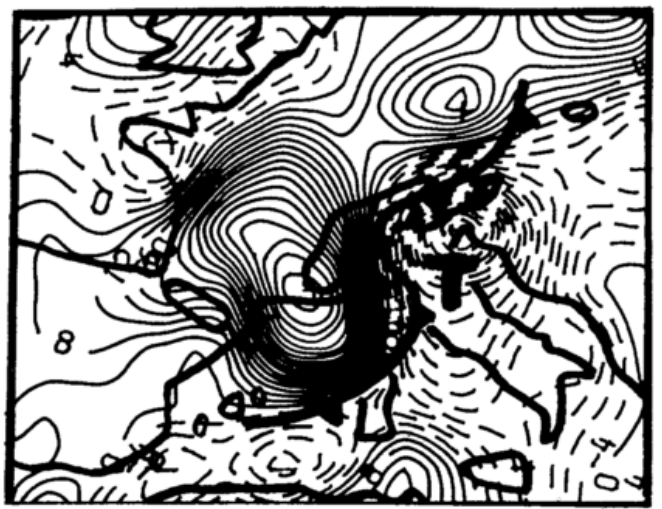
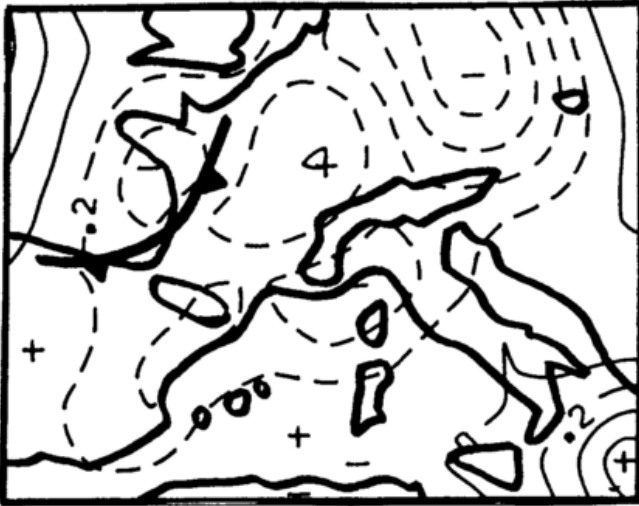
- die Tendenz zur Aufspaltung der Strömung im Luv und zum Umströmen des Hindernisses, hier besonders via Rhonetal ins westliche Mittelmeer,
- die Bildung eines Hochkeils im Luv und eines Troges im Lee im Zusammenhang mit dem Überströmen sowie
- die Tendenz zur Bildung einer warmen Aufwölbung der Isothermen südlich der Alpen durch die kombinierte Wirkung des Umströmens sowie der Absinkerwärmung bei Überströmen, die die advektive Abkühlung mehr oder weniger stark kompensiert.

Dementsprechend wird bei allen Fällen Mistral, bei vielen Nordföhn und bei einigen Bora vor und während der Zyklonogenese beobachtet.

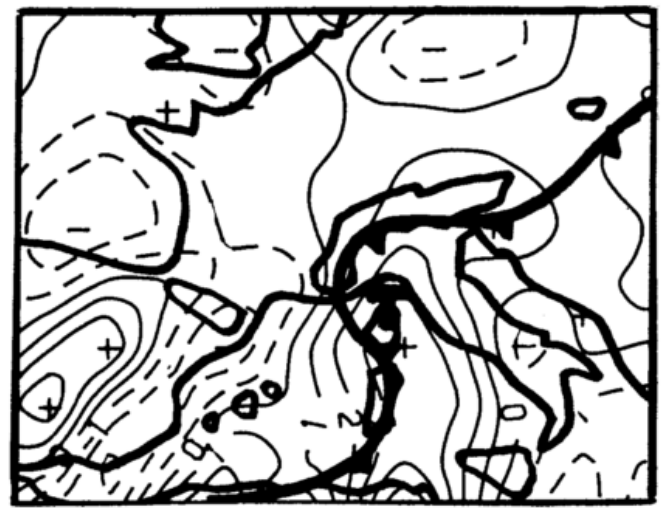
Allerdings ist zu unterscheiden nach der Orientierung der Boden- und Höhenströmung relativ zu den Alpen und damit verbunden nach dem Ort, wo die zyklonale Entwicklung einsetzte, und nach dem Beitrag, welchen das Gebirge direkt dazu lieferte.

Bei den Fällen von 2. 3., 13. 3. und 30. 4. 1982 verlief sowohl die Strömung in der unteren Troposphäre als auch die Höhenströmung vorderseitig des Troges aus dem Sektor W-NW über dem Westalpenbogen hinweg und die Entwicklung begann im unmittelbaren Lee des Gebirges über Oberitalien bzw. dem inneren Golf von Genua. Dies sind Fälle des *Überströmungstyps* nach PICHLER und STEIN-ACKER (1986) und somit Fälle einer echten Lee-Zyklonogenese im klassischen Sinn, bei der der Leetrog den Ansatz der Entwicklung bildet.

Bei den Fällen von 4.-6. 3. und 17./18. 3. 1982 dagegen hatte die Strömung vorderseitig des Höhentroges südwestliche Richtung, verlief also alpenparallel, es existierte kein eigentlicher Leetrog, und die Zyklonogenese setzte weiter entfernt vom Gebirge über dem Löwengolf bzw. dem Ligurischen Meer ein. Die Bezeichnung Lee-Zyklonogenese für diese Entwicklungen (*Vorderseitentyp* nach PICHLER und STEIN-ACKER) ist deshalb leicht irreführend, zumal in beiden Fällen die niedertroposphärische Strömung südlich der Alpen gegen das Gebirge gerichtet war und auch längere Zeit so blieb. (weiter S. 78)



02.03.1982, 00 UTC (links) und 12 UTC (rechts)



04.03.1982, 12 UTC (links) und 05.03.1982, 00 UTC (rechts)

Bild 4: Quasigeostrophische Diagnosefelder für die ersten beiden Lee-Zyklogenese während ALPEX-SOP. Oben Vorticityadvektion in 500 hPa (in  $10^{-9}s^{-2}$ ); Mitte Temperaturadvektion in 500 hPa (in  $Kh^{-1}$ ); unten Antriebsterm der quasigeostrophischen Omega-Gleichung für 500 hPa (in  $10^{-16}Km^{-2}s^{-1}$ ; negative Werte zeigen einen Antrieb für Hebung an).

Eine mittlere Position nehmen die Fälle vom 20.-23. 3. und 24.-26. 4. 1982 ein, bei denen die Höhenströmung vorderseitig des Troges den äußersten Süden des Westalpenbogens kreuzte und eine direkte Leewirkung beim Einsatz der Entwicklung beteiligt gewesen sein mag.

Wichtig ist festzuhalten, daß die bodennahe Zyklogenese in den meisten Fällen vorderseitig der von NW nahenden Kaltfront, also im Bereich der Warmluft, ihren Anfang nahm. Das ist der Unterschied zur normalen Zyklogenese an der Polarfront, die im allgemeinen direkt an der Bodenfront beginnt. Außerdem ist zu bemerken, daß in vielen Fällen eine klare Kopplung der Entwicklungen im Alpenraum mit Entwicklungen weiter stromauf festzustellen war. Dadurch wurden insbesondere Richtung und Geschwindigkeit der Höhenströmung und somit Verlagerung und Struktur des die Zyklogenese auslösenden Höhentrog beeinflusst.

Sehr interessant ist der Vergleich mit einer Lage, bei der zwar auch eine Kaltfront von NW gegen die Alpen vordrang, sie auch bis zum Südfuß überschritt, bei der es aber nicht zu einer Lee-Zyklogenese kam. Es handelt sich um die Wetterlage vom 8./9. 4. 1982. Wie die Analysen des Bildes 3 zeigen, bildete sich dabei ein deutlicher Bodentrog im Lee der Alpen, aus dem sich bis zum Mittagstermin des 9. 4. ein seichtes Tief abschloß. Eine weitere Entwicklung erfolgte jedoch nicht. Das Temperaturgefälle der Frontalzone in der unteren Frontalzone war sehr groß und wuchs an der jugoslawischen Adriaküste, im Bereich der Südalpen und über dem südlichen Rhonetal auf über 10 K/100 km an. Am 9. 4. wurde Bora, Nordföhn und (vergleichsweise schwacher) Mistral beobachtet.

Ein Unterschied zu den Lagen mit Lee-Zyklogenese ist die Tatsache, daß die bodennahe Kaltluft zwar rasch in Richtung Balkan vorstieß, die Kaltluftadvektion aus dem Rhonetal-Einschnitt in Richtung westliches Mittelmeer dagegen gering blieb bzw. durch starkes Absinken und diabatische Erwärmung sogar überkompensiert wurde (Temperaturanstieg über Nimes vom 9. 4., 00 - 12 UTC von 6 auf 10 °C trotz anhaltender Nordwinde).

Der entscheidende Unterschied betrifft allerdings die Höhenströmung. Auch am 8. 4. existierte ein Höhentrog hinter der Kaltfront - allerdings weiter im Norden als in den anderen Fällen. Er schwenkte rasch über den Ostteil der Alpen hinweg zum Balkan, wobei die höhenkalte Luft nördlich des Gebirges verblieb. In der Rückseitenströmung folgte am 9. 4. ein Sekundärtrog, der aber ebenfalls sehr rasch die Alpen kreuzte. Eine stärkere Ausdehnung der Tröge in Richtung Süden blieb ebenso aus wie der Abschluß eines Höhentiefs.

#### 4 Quasigeostrophische Diagnostik

Abschließend soll gezeigt werden, inwieweit die beschriebenen Entwicklungen durch die quasigeostrophische Diagnostik qualitativ verständlich gemacht werden können.

Ausgangspunkt ist die Tatsache, daß bei einer Zyklogenese die Luftpartikel in dem betreffenden Bereich zyklonale Vorticity aufgeprägt bekommen müssen. In Bodennähe setzt das bei normalerweise geringer Advektion und verschwindenden Vertikalbewegungen Horizontalkonvergenz

voraus, die mit aufsteigender Luftbewegung und Divergenz oberhalb davon gekoppelt sein muß. Damit gleichzeitig der Druck fällt, muß die Höhendivergenz die bodennahe Konvergenz betragsmäßig überwiegen.

Nach der quasigeostrophischen Omega-Gleichung ist Hebung zu erwarten in einem Gebiet mit

- aufwärts zunehmender positiver Vorticityadvektion (PVA) und/oder
- maximierter Warmluftadvektion (WLA).

Das wären somit Gebiete, wo eine Zyklogenese in der unteren Troposphäre möglich ist. Durch Freiwerden von Kondensationswärme kann die Hebung und damit die zyklonenetische Tendenz erheblich verstärkt werden.

Ein Antrieb für Absinken resultiert umgekehrt in einem Gebiet mit

- aufwärts zunehmender negativer Vorticityadvektion (NVA) und/oder
- maximierter Kaltluftadvektion (KLA).

Unter dem Absinkgebiet kommt es zu horizontaler Divergenz und damit zur Produktion antizyklonaler Vorticity bzw. zum Abbau zyklonaler Vorticity. Das wären also Bereiche, in denen in Bodennähe Zyklolyse bzw. Antizyklogenese zu erwarten wäre.

Aus der Beschreibung in Abschnitt 3 ist zu entnehmen, daß alle zyklonalen Entwicklungen sich vorderseitig deutlich ausgeprägter Höhenträge vollzogen haben. In diesem Bereich herrscht normalerweise aufwärts zunehmende PVA, die einen Antrieb für Hebung signalisiert. Bild 4 zeigt für die ersten beiden Fälle die aus numerischen Analysen abgeleitete Verteilung der Vorticityadvektion in 500 hPa, die diese Aussage klar bestätigen. Die gleichzeitig wirksame Temperaturadvektion auf dieser Fläche war unterschiedlich. Teils herrschte schwache KLA, teils aber auch WLA vorderseitig der Höhenträge. Wie aber der aus beiden Teilen berechnete Gesamtantrieb beweist, ergab sich in beiden Fällen ein starker Antrieb für Hebung über dem Gebiet, wo sich die Zyklogenese ereignete.

Allerdings kommt es nicht immer und überall zu zyklonalen Entwicklungen in Bereichen oberer PVA. Das wird zum einen verhindert, wenn die barokline Zone, in der sich die Vertikalbewegungen entwickeln, nicht bis in Bodennähe herabreicht. Zum andern ergibt sich auch bei Existenz von Bodenfronten sehr häufig eine Kompensation des oberen Antriebs durch entgegengerichtete Effekte in der unteren Troposphäre. Das trifft gerade für Kaltfronten zu, in deren Bereich der zyklonenetische Effekt der oberen PVA durch untere KLA wettgemacht wird.

An Kaltfronten vorderseitig eines Höhentroges kann es somit nur dann zu einer Zyklogenese kommen, wenn in irgendeinem Gebiet die KLA gestoppt oder zumindest stark abgeschwächt wird. Und das ist genau im Bereich von Gebirgen der Fall, an deren Luvflanke die Kaltluftzufuhr blockiert oder zumindest abgebremst wird, während an den Seiten die KLA ungehindert oder sogar beschleunigt erfolgt. Das Gebiet im Lee ist somit ein Gebiet, in dem sich der zyklonenetische Effekt der oberen PVA ungehindert durchsetzen und zur Bildung eines Bodentiefs führen kann.

Für die Entwicklung der Höhenträge ist umgekehrt die untere KLA von Bedeutung, die durch Absinken Konvergenz und damit Vorticityproduktion in der Höhe verursacht. Die starke KLA aus der Lücke zwischen Alpen und Pyrenäen in Richtung westliches Mittelmeer, die alle Fälle zeigen, bewirkte dementsprechend eine Vorticityzunahme in den Trögen, die zu verstärkter vorderseitiger Advektion Anlaß gab und damit den Entwicklungsprozeß weiter anfachte.

Die Diagnosen der Nichtentwicklung vom 8./9. 4. 1982 zeigen zwar auch PVA und Hebung vorderseitig der über die Alpen hinwegschwenkenden Tröge. Allerdings war die Verlagerungsgeschwindigkeit der Tröge so groß, daß die Hebung nur kurze Zeit wirken und dementsprechend keine

stärkere Zyklogese anregen konnte. Wegen des Fehlens der unteren KLA kam es auch nicht zu einer stärkeren Ausdehnung der Tröge in Richtung westliches Mittelmeer.

## Literatur

GUTERMANN, T. und H. WANNER: ALPEX SOP März/April 1982. Arbeitsbericht Nr. III. Schweizerische Meteorologische Anstalt, Zürich (1982).

PICHLER, H. und R. STEINACKER: On the synoptics and dynamics of orographically induced cyclones in the Mediterranean. Meteorol. and atmospher. Phys. 36 (1987), S. 108-117.

# 2 R. STEINACKER ALPEX-DATEN

## 1 Einleitung

Bereits in der Anfangsphase der Planung für ein internationales meteorologisches Gebirgsexperiment (MOUNTEx) im Rahmen von GARP wurde der Alpenraum (ALPEX) favorisiert. Hier konnte auf ein bereits bestehendes, außerordentlich dichtes Meßnetz synoptischer und aerologischer Stationen zurückgegriffen werden, und die Höhe und Ausdehnung der Alpen reicht aus, den größten Teil der meteorologischen Phänomene im Zusammenhang mit Gebirgen feststellen zu können. Gleichzeitig war es jedoch klar, daß die Untersuchung kleinerer Scales die Installierung zusätzlicher Meßsysteme notwendig macht.

Zur Diagnose von Strukturen in der synoptischen Skala (Makro- und oberer Meso- $\alpha$ -Scale) wurde eine horizontale Auflösung von 150 km und eine zeitliche von 3 h gefordert. Um den gesamten Meso- $\alpha$ -Bereich abdecken zu können, wäre gar ein Stationsabstand von 50 km anzustreben gewesen. Für die Erfassung noch kleinerer Scales wurde an spezielle Meßvorrichtungen gedacht, die entweder einen eng begrenzten Raum abdecken (z. B. Mikrobarographenkette), oder nur zu ausgewählten Zeiten operieren (z. B. Meßflugzeuge).

Um die Flut von Meßergebnissen nach dem Ende des Feldexperiments einem möglichst breiten Interessentenkreis zugänglich zu machen, wurde die Errichtung einer zentralen Stelle für die Sammlung und Aufbereitung der Daten (Internationales Alpex Datenzentrum = IADC) als notwendig erachtet und im Europäischen Zentrum für Mittelfristige Wettervorhersage (EZMW) in Reading, Großbritannien, gefunden.

## 2 Konventionelle Daten

Unter konventionellen Daten werden hier solche verstanden, die routinemäßig über das globale meteorologische Telekommunikationssystem (GTS) im Rahmen der Weltwetter-Wacht (WWW) in Echtzeit zur Verfügung stehen.

Es handelt sich insbesondere um SYNOP-, AUTOSYNOP-, SHIP-, TEMP-, TEMPSHIP-, PILOT-, PILOTSHIP-Meldungen etc.

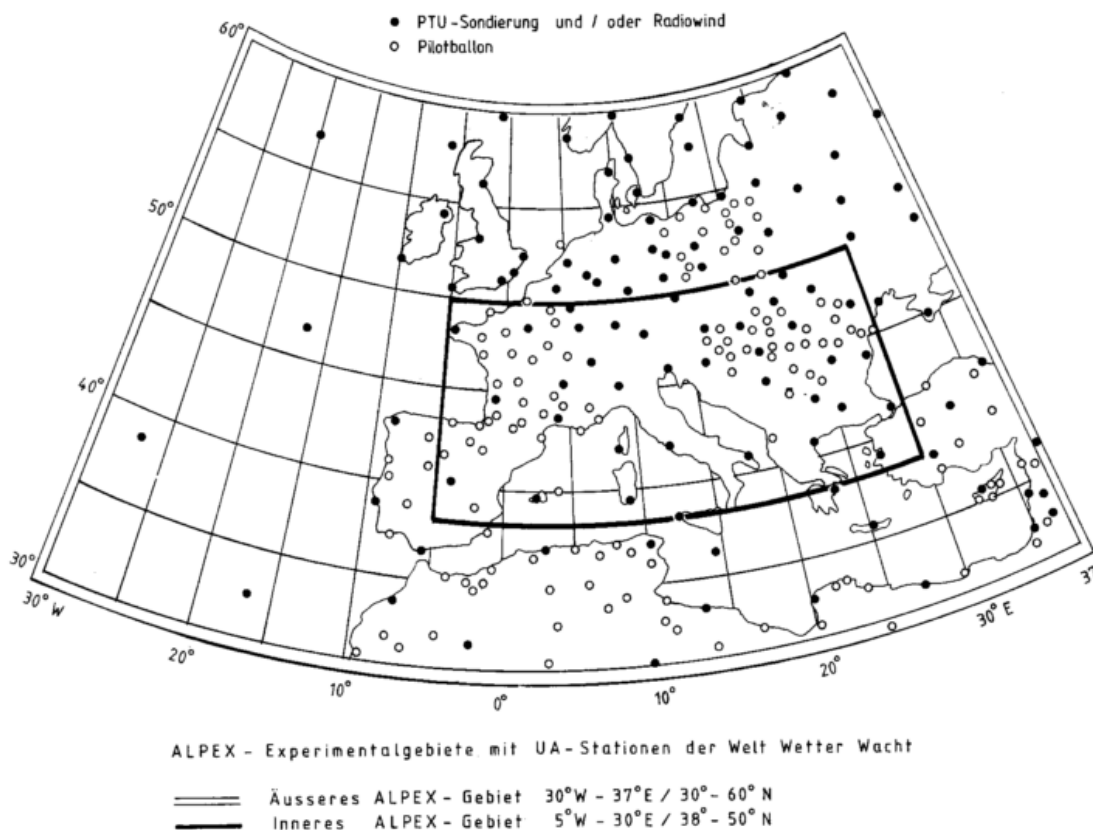
Das Gebiet des Feldexperiments erstreckte sich von 38° bis 50°N und von 5°W bis 30°E und wurde mit IAA (Inner Alpex Area) bezeichnet, aber auch die konventionellen Daten in einem größeren umgebenden Gebiet (OAA = Outer Alpex Area, 30° bis 60°N und 30°W bis 37°E) sollten gesammelt werden, um für spätere numerische Simulationen genügend Randinformation zur Verfügung zu haben (vgl. Bild 1).

In der ca. 3.7 Mio km<sup>2</sup> großen IAA operierten im Jahre 1982, vor Beginn der SOP, 881 SYNOP- und AUTO-SYNOP-Stationen im Rahmen der WWW, was einem mittleren Stationsabstand von 65 km entspricht. Selbst wenn in einigen Gebieten des IAA (z. B. Mittelmeer) die Stationsdichte erheblich unter diesem Durchschnitt lag, so war auch dort, unter Berücksichtigung von Schiffsmeldungen, die synoptische Skala am Boden sehr gut erfaßt. Im Rahmen des an ALPEX angeschlossenen ozeanographischen Feldexperimentes MEDALPEX sollten eine Reihe von Forschungsschiffen im Mittelmeer stationiert sein, von denen auch intensive meteorologische Messungen zu erwarten waren.

Das damals existierende reguläre WWW-Aerologiemetz umfaßte 48 Stationen, 38 davon Radiosondenstationen, was einem mittleren Stationsabstand von 280 km gleichkommt. Trotz einer enormen Steigerung der Anzahl durch spezielle ALPEX-Aerologiestationen auf insgesamt 67 (61 Radiosondenstationen), konnte der mittlere Abstand „nur“ auf 235 km reduziert werden und lag somit noch deutlich über den geforderten 150 km.

Ein Blick auf die Verteilung der Aerologiestationen (Bild 2) zeigt jedoch, daß zumindest im engeren Alpenbereich eine äußerst hohe Stationsdichte existierte, so daß in diesem Gebiet eine gute Auflösung der Strukturen im Meso- $\alpha$ -Scale gewährleistet war.

Bild 1: Verteilung der WWW-Aerologiestationen im OAA (aus GUTERMANN 1982).



Eine zeitliche Folge der Sondierungen von 3 h war natürlich nur während der Intensivmeßphasen (IOP) durchzuführen und betraf i.a. auch nur Stationen im engeren Alpenbereich. Ein Vergleich der Anzahl täglicher TEMP-Meldungen (Bild 3) führt drastisch vor Augen, daß im Durchschnitt von SOP etwa doppelt so viele Aufstiege durchgeführt wurden als vor- und nachher, mit Spitzenwerten während IOP's bei weit über 200 pro Tag. In dieser Zahl nicht enthalten sind die von Forschungsflugzeugen durchgeführten Dropwindsondierungen, sowie die von MEDALPEX-Schiffen abgesetzten TEMPSHIP-Meldungen.

### 3 Nichtkonventionelle Daten

Hier ist zu unterscheiden zwischen Daten, welche - meist nachträglich - dem IADC zukamen und in den ALPEX-level-IIb Datensatz einbezogen, und solchen, die in speziell dafür vorgesehenen ALPEX Datenzentren (SADC) gesammelt und archiviert wurden. Zu den ersteren gehören vor allem Satelliten-, Flugzeug- und Klimadaten, zu den letzteren z. B. Mikrobarographendaten, zeitlich hochaufgelöste Daten der Forschungsflugzeuge und AIDS (Aircraft Integrated Data System), die in jüngster Zeit aus naheliegender Grund auf AIMS (Aircraft Integrated Monitoring System) umbenannt wurden.

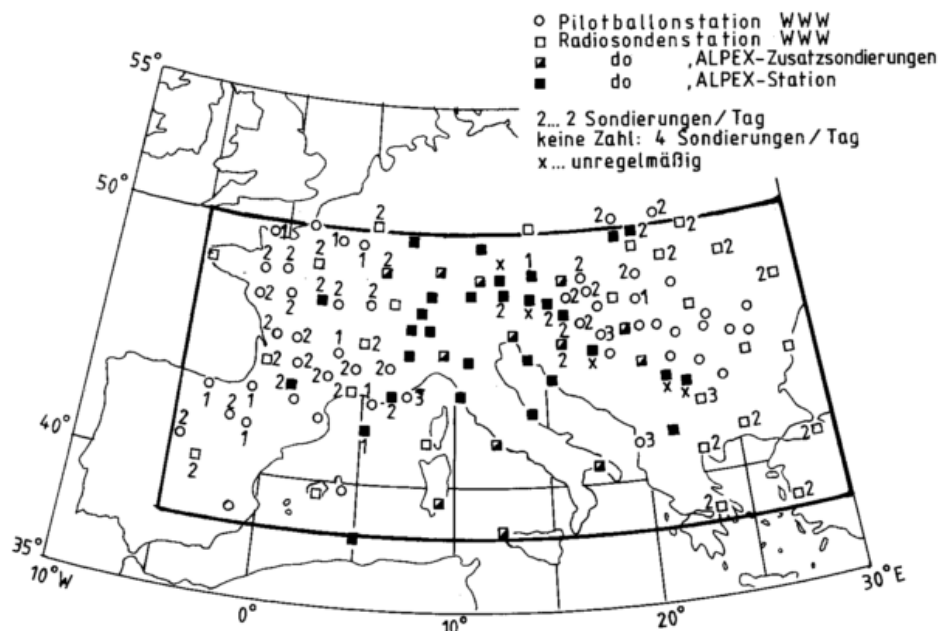


Bild 2: WWW- und ALPEX-Zusatz-Aerologiestationen im IAA (aus GUTERMANN 1982).

### 3.1 Satellitendaten

Das Centre de Météorologie Spatial (CMS) in Lannion, Frankreich, agierte hier als spezielles Datenzentrum, wo Wolkenanalysen, vertikale Temperaturprofile und Oberflächentemperaturen von TIROS Satelliten (NOAA 6 und 7) abgeleitet und dem IADC übermittelt wurden. Messungen von Meteosat (Satellitenwind, Meeresoberflächentemperaturen und Bewölkungsgrad) wurden von der European Space Agency (ESA) in Darmstadt ausgewertet, wobei geplant war, während ausgewählter Zeiten Rapid-scan-Aufnahmen durchzuführen. Durch technische Schwierigkeiten bedingt, lieferte Meteosat ab 18. März 1982 jedoch lediglich ein reduziertes Programm. Statt der geplanten 20 Stunden Rapid-scan-Operation, standen am Ende bloß solche Daten für 4 Stunden zur Verfügung (jeweils 1 h am 4., 5., 16. und 18. März 1982). Daneben fungierten einige nationale Forschungsinstitutionen, darunter die DLR in Oberpfaffenhofen, als SADC für spezielle Produkte aus Satellitendaten.

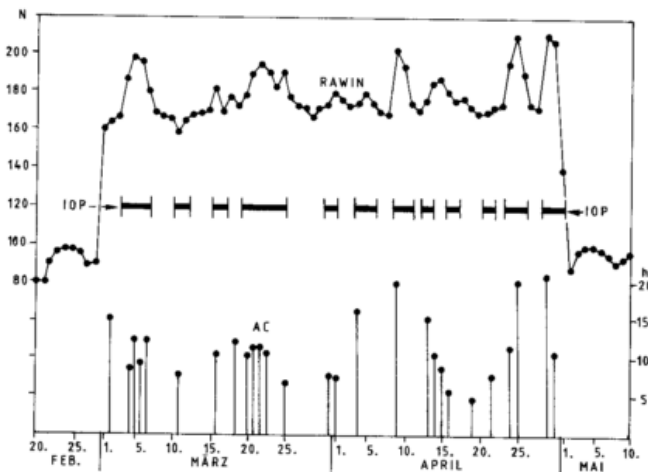


Bild 3: Anzahl der täglichen TEMP Meldungen (N) und Stundenanzahl (h) der Flüge mit den 3 großen Forschungsflugzeugen während ALPEX SOP.

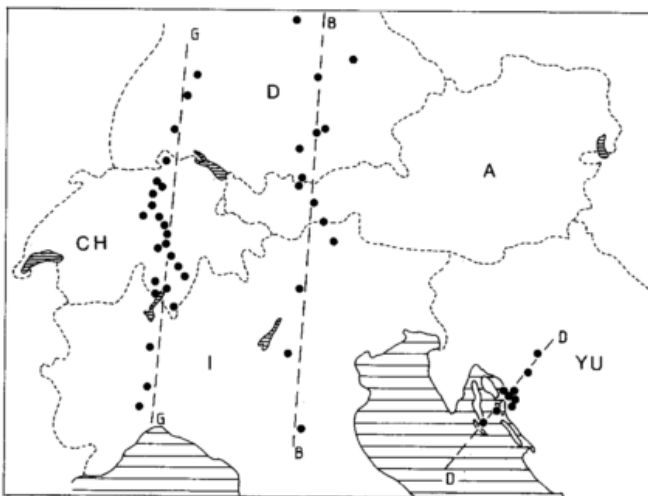


Bild 4: Lage der Mikrobarographenkettens während ALPEX SOP; G... Gotthardquerschnitt, B... Brennerquerschnitt, D... Querschnitt über die Dinarischen Alpen (aus RICHNER 1986).

### 3.2 Flugzeugdaten

Neben den routinemäßigen, von kommerziellen Flugzeugen abgesetzten AIREPS konnte während IOP's durch meteorologische Forschungsflugzeuge (P-3 von NOAA, Electra von NCAR, Falcon von der DFVLR und einer Reihe von Kleinflugzeugen) ein riesiger Datensatz hochaufgelöster Meßwerte (bis hin zu Turbulenzmessungen) gewonnen werden. Die täglichen Flugstunden der 3 großen Flugzeuge sind aus Bild 3 ersichtlich, wobei die Gesamtflugdauer während SOP beachtliche 322 Stunden betrug. Außerdem stellten einzelne Fluggesellschaften auch hochaufgelöste AIDS-Daten zur Verfügung. Als Datenzentrum für die großen meteorologischen Forschungsflugzeuge agierte das NCAR in Boulder, USA, für die hochaufgelösten AIDS-Daten von DC-10-Swissair-Flugzeugen die SMA in Zürich, Schweiz, für geringer aufgelöste das Niederländische Meteorologische Institut in De Bilt. Reduzierte Informationen aus zeitlich hochaufgelösten Datensätzen wurden von den jeweiligen SADC's dem IADC in Form von AIREPS zur Verfügung gestellt, so daß deren Gesamtanzahl während ALPEX SOP ein vielfaches von der sonstigen Zeit beträgt.

Daneben fanden im Rahmen von nationalen Subprogrammen Forschungsflüge mit Kleinflugzeugen und Motorseglern statt, wie etwa beim deutschen MERKUR-Programm.

### 3.3 Mikrobarographendaten

Zur Untersuchung des Widerstandes von Gebirgen auf die Luftströmung (Drag) war es notwendig, neben der Messung in der freien Atmosphäre mittels Flugzeugen besonders genaue Druckmessungen am Boden durchzuführen. Da das herkömmliche SYNOP-Meßnetz diesen Anforderungen weder bezüglich zeitlicher und räumlicher Auflösung, noch in Puncto Genauigkeit genügt, wurden an mehreren Stellen quer zum Gebirge Meßketten von Mikrobarographen installiert (s. Bild 4). Neben Querschnitten über den Gotthard- und Brennerpaß wurde auch quer zu den Dinarischen Alpen eine Meßkette zum Studium der Bora betrieben.

Diese speziellen Daten, welche eine Reihe von interessanten Aufschlüssen ergab - etwa daß auch bei relativ schwachen Strömungen ein erheblicher Druckwiderstand durch die Alpen aufgebaut wird - wurden im SADC am LAPETH (Laboratorium für Atmosphärenphysik an der ETH in Zürich) gesammelt und archiviert.

### 3.4 Klimadaten

Um eine möglichst flächendeckende Information etwa über Niederschlag, Schneebedeckung und Bodenfeuchte zur Parametrisierung als auch Verifikation von Zirkulationsmodellen zu erhalten, wurden die an ALPEX partizipierenden Länder ersucht, entsprechende Daten aus Klimabeobachtungen dem IADC zur Verfügung zu stellen. Leider wurde dies nicht von allen Ländern in gleicher Weise verwirklicht, so daß hier größere Lücken und regionale Unterschiede in der Informationsdichte im ALPEX-Datensatz vorhanden sind.

### 3.5 Radardaten

Im ALPEX-Jahr waren im IAA 22 reguläre Wetterradargeräte im Einsatz, welche zwar nicht flächendeckend waren, aber einen guten Teil des ALPEX-Gebietes umfaßten.

Leider fand sich hier kein Datenzentrum, das die Sammlung und das Zusammenspielen der Radarinformation übernommen hätte. So sind Nutzer dieser Informationen gezwungen, sich an die einzelnen nationalen Zentren zu wenden und sich mit unterschiedlichen Datenträgern und Formaten auseinander zu setzen.

Zu den speziellen Daten gehören auch solche aus Messungen, welche zum Teil nicht in ein nationales Datenzentrum eingespeist wurden. Zu erwähnen sind hier etwa Constant-pressure-balloon-Daten, Sodarmessungen, Hangprofile der Temperatur und Luftfeuchte, etc.

### 4 ALPEX-Datensätze

Kurz nach Ende der SPO stand Wissenschaftlern ein Quick-look-Datensatz zur Verfügung, der zwar unkontrollierte, aber doch umfassende, im IADC gesammelte Daten enthielt. Dieser Datensatz führte innerhalb kurzer Zeit zu zahlreichen wissenschaftlichen Arbeiten mit teilweise aufsehenerregenden Erkenntnissen, wie der früher unterschätzten blockierenden Wirkung der Alpen auf die Strömung, um nur ein Beispiel zu nennen. Die speziellen Datensätze der Mikrobarographen, der großen Forschungsflugzeuge (KENNEDY und FREY 1983), von AIDS, sowie die Satelliteninformationen waren innerhalb kurzer Zeit nach SOP von den jeweiligen SADCs erstellt und verfügbar, während der ALPEX-Level-II-b (überprüfte, bereinigte und dokumentierte Beobachtungsdaten) durch das zum Teil schleppende Einlangen einzelner nationaler Datensätze und durch intensive und aufwendige Qualitätsüberprüfung naturgemäß länger auf sich warten ließ. In der 2. Hälfte von 1983 war es dann soweit, daß der ALPEX II-b Datensatz verteilt werden konnte (MARTELLET et al. 1983).

Die daraufhin beginnende Analyse der Daten zeigte jedoch bald, daß bei den SYNOPS zum Teil unterschiedliche Einheiten (etwa bei der Windgeschwindigkeit Knoten statt m/s) verwendet worden waren, bei den Aerologiedaten traten besonders während der 3-stündigen IOPs inkonsistente Meldungen auf. Dies war darauf zurückzuführen, daß es beim Zusammenspielen und zeitlichen Ordnen der Aerologiedaten mit der vorhandenen Software am ECMWF, bei der nur 6-stündige Intervalle vorgesehen waren, zur Vermischung der 3-stündigen Sondierungen gekommen war. Das Problem bestand nun darin, daß die ohnedies knappen personellen und finanziellen Ressourcen des IADC erschöpft waren. Der engagierten Initiative der ALPEX-Regionalgruppe (s. ALPEX-Regional-Bulletins 1 bis 13) – einem informellen Zusammenschluß von Wissenschaftlern im engeren Alpenraum – ist es zu verdanken, daß es schließlich doch noch gelang, die festgestellten Mängel zu beheben. Der Abschluß dieser Tätigkeit dauerte bis Anfang 1985, somit war erst 3 Jahre nach dem Feldexperiment der sogenannte *Final ALPEX-IIb-Data-Set* verfügbar. Die Verzögerung brachte es mit sich, daß viele ALPEX-bezogene Publikationen mittels des Quick-look Datensatzes durchgeführt wurden, und manche Wissenschaftler,

insbesondere aus Übersee, auch dem endgültigen II-b-Datensatz mit großer Skepsis begegneten.

Das erneute Zusammenspielen der ALPEX-Daten bewirkte, daß vor allem die vorher mit Akribie durchgeführte Qualitätskontrolle nicht mehr am IADC fertiggestellt werden konnte. Wiederum war es der tatkräftigen Initiative der ALPEX-Regionalgruppe zu verdanken, daß mehrere Institutionen sich bereit erklärten, dies nachträglich durchzuführen, um so eine möglichst lückenlose Fehlerdokumentation der konventionellen ALPEX-Daten zu ermöglichen.

### 5 Qualität des ALPEX-IIb-Datensatzes

In zum Teil objektiven, automatischen (z. B. RICHNER und TRÜB 1986) und subjektiven, händischen (z. B. STEIN-ACKER et al., 1987 1988) Verfahren, konnte festgestellt werden, daß die SYNOP- und Aerologiedaten einiger Länder eine geradezu unglaublich geringe Fehlerhäufigkeit aufweisen. Die eigenständige Qualitätskontrolle der Datensätze einzelner Länder, vor deren Übermittlung an das IADC, hatte sich hier sehr positiv ausgewirkt.

Infolge der hohen räumlich-zeitlichen Auflösung der Messungen konnten auch systematische Fehler untersucht werden, wobei neben offensichtlichen Fehlern einzelner Luftdruckstationen auch ein teilweise signifikanter systematischer Sprung des Luftdruckes über Ländergrenzen hinweg (allerdings im 1/10-hPa-Bereich) gefunden wurde.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß im ALPEX-IIb-Datensatz im IAA im Mittel bei 18 aus 1000 SYNOP-Druckmeldungen und bei nicht ganz 3 aus 1000 Temperaturmeldungen fehlerhafte Werte vorliegen.

Im gesamten ALPEX-Gebiet (OAA) muß man bei Hauptdruckflächen der TEMPs bei rund 10 Promille der Geopotentialwerte und bei rund 2.5 Promille der Temperatur- und Windmeldungen mit Fehlern rechnen. Damit weisen die konventionellen ALPEX-Daten eine deutlich bessere Qualität auf als übliche Routinedaten, welche über GTS verbreitet werden.

Ein Vergleich der Fehlerhäufigkeit der im Rahmen der WWW operierenden Aerologiestationen mit den speziellen ALPEXstationen zeigt, daß mit Ausnahme der italienischen NAVAIID's (Radiosonden, deren Ortung mit dem OMEGA-System durchgeführt wird) die Qualität der Messungen von Spezialstationen durchwegs geringer ist. Dies ist verständlich, wenn man berücksichtigt, daß eine neu formierte Bedienungsmannschaft mit einer häufig weniger guten Ausrüstung und in teilweise exponierter Lage auch bei bester Motivation nicht die Leistung eines routinierten Betriebes erbringen kann.

Die Daten der Forschungsflugzeuge wurden ebenfalls sorgfältig auf ihre Qualität hin überprüft, was durch parallele Vergleichsflüge der 3 großen Flugzeuge während SOP besonders begünstigt wurde (FIMPEL und RICHNER 1986). Aus dem Vergleich zwischen AIDS und Radiosondendaten konnte schließlich auch die Qualität dieser Flugzeuginformation überprüft werden (GUTERMANN 1988).

## 6 Schluß

Der ALPEX-IIb-Datensatz, inklusive der Spezial-Datensätze, stellt ein Dokument dar, das nicht nur einzigartig ist in Bezug auf räumliche und zeitliche Informationsdichte in einem Gebirgsraum, sondern auch in qualitativer Hinsicht. Durch die Kenntnis der enthaltenen Fehler und Möglichkeit diese zu eliminieren oder durch rekonstituierte Werte zu ersetzen, steht nun ein weitgehend fehlerfreier Datensatz zur Verfügung. Weder vor noch seit ALPEX gab es – und vermutlich wird dies auch in naher Zukunft nicht anders – eine vergleichbare Basis für Untersuchungen des Einflusses eines Gebirgs auf die Atmosphäre. Jüngste Intentionen im Rahmen der Commission for Atmospheric Science (CAS) der WMO, einen Level-III-b-Datensatz für die ALPEX-SOP zu erstellen, um damit eine Grundlage zum Testen und Verifizieren verschiedener mesoskaligen Modelle zu besitzen, geben Zeugnis von der wichtigen Rolle der ALPEX-Daten. Seit kurzem ist eine komplette Information über die verfügbaren ALPEX-Daten (ALPEX Master Data Catalog) in der Datenbank des INFOCLIMA des WCP der WMO enthalten (RICHNER 1989).

So ist den ALPEX-Daten eine noch weitere Verbreitung in der wissenschaftlichen Gemeinschaft zu wünschen, liegen doch noch zahlreiche unbearbeitete Informationen in diesem Daten„schatz“, die zu „heben“ es sicher lohnt.

Freilich hat die Erstellung des II-b-Datensatzes alle Beteiligten um eine wichtige Erfahrung bereichert, daß nämlich der volle Erfolg eines internationalen Großprojektes nicht

nur in einer optimalen Meßphase, sondern auch in einer ausreichenden Dotation für die nachfolgende Sammlung und Qualitätskontrolle der Daten begründet liegt.

## Literatur

- FIMPEL, H. P.; H. RICHNER, 1986: Results of the ALPEX aircraft intercomparison on 19 April 1982. Scientific Results of the ALPEX Experiment, GARP Publ. 27, WMO.
- GUTERMANN, Th., 1982: Feldexperiment ALPEX, SMA, Zürich.
- GUTERMANN, Th., 1988: Variabilität von Wind und Temperatur aus AIMS- und TEMP-daten des ALPEX-Feldexperimentes. CIMA, Sestola (in Druck).
- KENNEDY, P. J.; D. FREY, 1983: ALPEX aircraft data documentation. NCAR, Boulder.
- MARTELLET, J.; H. PÜMPEL; L. WEISEL, 1983: User Guide to the ALPEX level II-b Dataset. IADC, Reading.
- RICHNER, H., 1986: Analysis and quality of ALPEX data. Scientific Results of the Alpine Experiment; GARP Publ. 27, WMO.
- RICHNER, H.; J. TRÜB, 1986: The Overall quality of ALPEX level II-b upper air data. LAPETH Tech. Note No. 8606, Zürich.
- RICHNER, H., 1989: ALPEX Master Data Catalog (INFOCLIMA, WCP). ALPEX-Regional Bulletin No. 12.
- STEINACKER, R.; W. KLÖTZER; A. LANZINGER, 1987, 1988: The Quality of ALPEX level II-b SYNOP and RAWIN data; A documentation of errors. Techn. Rep., Inst. f. Meteor., Univ. Innsbruck, 4 Volumes.
- ALPEX-Regional Bulletin 1983-1989, SMA Zürich, 13 Hefte.

# 3 E. REIMER Numerische Analyse für ALPEX

## 1 Einleitung

Im Rahmen der ALPEX-SOP wurde ein meteorologischer Datensatz erstellt, der mit einer hohen Auflösung in Raum und Zeit die Untersuchung des Alpeneinflusses auf die Wetterentwicklung und damit verbundene lokale Ereignisse ermöglicht. Ein Ziel bestand und besteht bis heute in der objektiven Darstellung meteorologischer Diagnosefelder unter Verwendung numerischer Analysemethoden.

Es ergeben sich aus den sehr unterschiedlichen Meßmethoden und den damit verbundenen verschiedenen Skalen (z. B. Radiosonden im Vergleich zu Flugzeugmessungen) grundsätzliche Probleme für numerische Interpolationsschemata.

Daher ist das Ziel der Erstellung eines IIIb-Datensatzes für ALPEX, d. h. eines umfassenden, objektiv analysierten Datensatzes, bisher noch nicht erreicht. So wurden für spezielle Untersuchungen unterschiedliche Verfahren herangezogen, wobei bisher meist die Standardbeobachtungen (wie z. B. Radiosonden-, Pilot- und Bodenbeobachtungen) mit der erhöhten räumlich-zeitlichen Auflösung berücksichtigt wurden.

Neben den operationellen Analysen des ECMWF sind diesbezüglich die Untersuchungen von MCGINLEY (1987) zu erwähnen, wo in einem Analyse/Initialisierung/Prognose-Ablauf eine möglichst große Zahl von Beobachtungen verwendet wird. Diese Analysen werden in Sigma-(Druck)-Koordinaten erstellt und unter Anwendung der Variationsmethode interpoliert. Ein wesentlicher Vorteil besteht in der durch dieses Verfahren direkt eingeführten Konsistenz erzwingung für die Massenkonservierung, die Ageostrophie des horizontalen Windvektors und die alpine Orographie.

Jedoch ergeben sich durch die Wahl des Koordinatensystems und auch durch die eingeführten Konsistenzbedingungen Einschränkungen z. B. in der Darstellung frontaler Strukturen und ihrem dynamischen Verhalten im Alpenraum.

Daher ist frühzeitig für Untersuchungen in Bezug zu ALPEX alternativ zu den Druck-Koordinaten die Potentielle Temperatur als Vertikalkoordinate herangezogen worden (BLECK und MATTOCKS 1984, TREVISAN et al. 1985, REIMER 1982, LANZINGER et al. 1990), weil im Ver-

gleich isentrope Flächen Frontalzonen und die Temperaturstrukturen allgemein günstiger auflösen. Das gilt in der Folge auch für andere Variable, wie das Wind- und Feuchtefeld, die auf den entsprechenden Koordinatenflächen dargestellt werden.

Für einige Bilanzberechnungen von Energie- und Masseflüssen wurden bei HANTEL et al. (1984) die Zyklogenesefälle während ALPEX-SOP objektiv analysiert. Es ergaben sich in der Folge verfahrensmäßige Weiterentwicklungen (REIMER 1985). Einige Probleme, die bei der Auswertung der Standarddaten der Aerologie und am Boden auftreten, sollen hier angesprochen werden.

## 2 Verfahren

Die Analysen werden auf isentropen Flächen mit einer Gitterweite von 63.5 km und 31.75 km in 60°N der stereographischen Projektion dargestellt.

Die Variablen sind:

Montgomery-Potential	$M = C_p T + \Phi$
Druck (Temperatur)	$p^k = (p/1000)^{2/7}$
lokale Stabilität	$\Delta p^k$
Windvektorkomponenten und relative Feuchte, Vertikale Windscherung	
Bewölkungs- und Wetterbeobachtung der Bodenbeobachtungen	
Potentielle Temperatur in 2 m Höhe	
Bodendrucktendenz (3std.)	

die auf 24 isentropen Flächen und einer Bodenfläche (Sigma-Koordinate) dargestellt werden.

Das Schema ist als skalenabhängiges Korrekturverfahren aufgebaut und verwendet großräumige Analysen oder Vorhersagefelder als Ausgangspunkt. Wurde in einem ersten Schritt (HANTEL et al. 1984) die großräumige Analyse des DWD herangezogen, so wird zur Zeit die Datenassimilation des ECMWF verwendet, weil dort alle Standardvariablen in konsistenter Form bereitstehen. Diese Analysen beschreiben den globalen, großräumigen Skalenbereich meteorologischer Phänomene. Mit Hilfe der statistischen Interpolation werden in einem Ausschnitt kleinräumige Korrekturen auf diese Ausgangsfelder aufgeprägt.

Dafür werden die ECMWF-Felder auf das feine Gitter interpoliert und auf isentrope Flächen transformiert. Aus den Differenzen zu den Beobachtungen werden nachfolgend synoptische oder für mehrere Folgetermine gemittelte Autokorrelationsfunktionen bestimmt, mit denen die Interpolation auf isentropen Flächen durchgeführt wird. Für alle Felder werden am Rand des Ausschnitts und zur Stratosphäre hin die großräumigen Felder erhalten und ein sanfter Übergang in den korrigierten Bereich erzwungen. In datenarmen Gebieten, wie z. B. dem Ostatlantik, wo eine weitere Verfeinerung nicht möglich ist, bleibt so eine sinnvolle Felddarstellung erhalten.

Tabelle 1 zeigt für den 1.-3. 1982 die Varianzanteile, die im Vergleich zu den Varianzen der Beobachtungen in der ECMWF-Analyse und der feinmaschigen Analyse eingebracht wurden. Dafür sind aus den jeweiligen Analysen „Beobachtungen“ interpoliert worden.

Tab. 1: Anteile an der beobachteten Varianz, die in den Analysen realisiert sind (in Prozent)

	ECMWF	Feinmaschige Analyse
<i>Boden</i>		
Unreduzierter Luftdruck	34%	58%
Potentielle Temperatur	53%	73%
u-Komp. (10m-Wind)	33%	57%
v-Komp. (10m-Wind)	31%	53%
<i>Troposphäre</i>		
Montgomery-Potential	89%	89%
Exnerfunktion (Temperatur)	74%	83%
lokale Stabilität	31%	50%
u-Komp. des Windvektors	65%	75%
v-Komp. des Windvektors	74%	82%
u-Komp. Windscherung	20%	43%
v-Komp. Windscherung	34%	52%

Hierbei ist erkennbar, daß sehr unterschiedliche Anteile der beobachteten Varianz in den globalen ECMWF-Analysen dargestellt werden. Dies, wie auch die Verbesserungen durch die feinmaschige Korrektur zeigen, weist darauf hin, daß in den Beobachtungen erhebliche Anteile an skalenmäßig kleineren Strukturen oder auch an Meßfehlern enthalten sind. Bei der Behandlung des Montgomery-Potentials ist auffällig, daß im Vergleich keine Veränderung erfolgt, weil der überwiegende Teil der Varianz bereits durch großräumige Strukturen erklärt wird, und daher eine Autokorrelation der Abweichungsfelder meist nicht bestimmbar ist. Daher wird hier als wesentlicher Punkt nicht das Potential als Hauptvariable sondern der Luftdruck (Temperatur) auf isentropen Flächen analysiert. Das Potential wird nachträglich über die hydrostatische Gleichung durch Integration bestimmt.

Für die Einbeziehung der Bodenbeobachtungen in die dreidimensionale Analyse wird hier ein spezieller Weg gegangen. Während bei TREVISAN et al. (1985) eine Reduktion und Interpolation zur Modellorographie stattfindet, werden bei BENJAMIN (1989) die Bodenwerte direkt einer isentropen Koordinatenfläche zugeordnet und gleichwertig mit den troposphärischen Daten zur Interpolation verwendet. Bei letzterem Verfahren wirken die entsprechenden Bodenwerte entlang der isentropen Flächen schräg in den Raum. Im Gegensatz hierzu werden bei REIMER (1982, 1985) die Bodenbeobachtungen auf der Fläche des unreduzierten Bodendrucks dargestellt, der durch die Beobachtungen allein gegeben wird. Das heißt, es muß für alle Bodenstationen der unreduzierte Bodendruck entweder vorliegen (was für ALPEX-SOP zutrifft) oder bestimmt werden. Diese Fläche stellt nicht unbedingt eine naturnahe Orographie dar, sondern spiegelt das aus sehr unterschiedlichen Gründen entstandene Bodenmeßnetz. Dadurch ergibt sich aber eine mit den Radiosonden konsistente untere Grenzbedingung.

Der numerische Abgleich in der Vertikalen wird zwischen Potential, Temperatur und lokaler Stabilität einerseits und den Windkomponenten und den Windscherungen andererseits mit Variationsansatz durchgeführt. Dabei werden die Bodenfelder als Randbedingung verwendet und können

in die Variable wirken. Abschließend werden alle Felder auf eine Modellorographie und zum Vergleich auch auf isobare Darstellungen hin interpoliert.

Ein Abgleich zwischen dem Masse- und Windfeld wurde speziell für die Bestimmung von Energie- und Massehaushalten bei z. B. HANTEL und EMEIS (1985) nur für den divergenten Windanteil durchgeführt, indem über die Omegagleichung eine neue divergente Windkomponente berechnet wurde und nachfolgend die divergenten Masseflüsse zwischen vorgegebenen dreidimensionalen Boxen abgeglichen wurden. Im folgenden jedoch wurde bewusst keine besondere Kontrolle der Ageostrophie eingebaut, weil die ECMWF-Windfelder diesbezüglich bereits abgeglichen sind und eine weitere Vorgabe zunächst nicht sinnvoll erscheint, weil im alpinen Raum erhebliche Ageostrophien während der Zyklonogenese in der Troposphäre auftreten können (z. B. TAFFERNER 1989).

### 3 Beispiel

Im folgenden sollen am Beispiel der Zyklonogenese vom 4. zum 5. 3. 1982 einige Hinweise zur Analyse gegeben werden.

Bild 1 zeigt den zeitlichen Verlauf der Bodenfront nach STEINACKER (1987), wo die Frontpositionen anhand der Bodentemperatur festgelegt wurden. Um die in der numerischen Analyse dargestellte dreidimensionale Front zu verdeutlichen, sind für den bodennahen Bereich im Zeitraum vom 4.3. 12 UTC zum 5.3. 12 UTC in Bild 2 und 3 die Deformation eines regelmäßigen Gitters in stereographischer Projektion und der horizontale Massetransport in 200 m über Grund durch kinematische Trajektorien dargestellt. Hierbei zeigt die durchgezogene Linie am 4. 3. 12 UTC die Lage der bodennahen Front, und die Kalt- bzw. Warmluft

ist durch verschiedene Symbole gekennzeichnet. Die Trajektorien sind rein diagnostisch bestimmt über die Interpolation der 6std. Analysen.

Zum 5. 3. 12 UTC zeigt sich eindrucksvoller als in den Temperaturdarstellungen am Boden, daß in den dreidimensionalen Analysen die Front als Konvergenzlinie und teilweise auch als Massengrenze erfaßt ist, und im Vergleich zur Frontpassage nach STEINACKER (1987) zeigen sich auch die Kaltlufttransporte westlich und östlich der Alpen in guter Übereinstimmung, was auf die konsistente Verbindung von Bodenelementen zu den isentropen Darstellungen in der Troposphäre hinweist.

Außerdem zeigt sich eine divergente, bodennahe Strömung in der Kaltluft im westlichen Mittelmeer. Die Vertikalschnitte der Temperatur in den Bildern 4 bis 7 zeigen, daß die Kaltluft als wohldefinierter „Kegel“ bis 400 hPa erkennbar ist, wobei die troposphärische Front durch isotherme oder inverse vertikale Temperaturschichtungen hervortritt. Dies ist ein spezielles Anliegen des oben angedeuteten Analysenablaufs.

Betrachtet man den Frontverlauf über Nord- und Mittelitalien in Bild 1, so zeigt sich, daß die Warmluft während der Zyklonogenese im Leebereich der Alpen verbleibt und der spätere Okklusionsprozeß durch die die Alpen umströmende Kaltluft hervorgerufen wird. Dabei entsteht mit der Zyklonogenese südlich von Genua am 5.3. über Norditalien ein niedertroposphärisches, östliches Starkwindfeld, das in Bezug zu der dort verbliebenen niedrigen Warmluft zu stark ageostrophischem Verhalten in der unteren Troposphäre führt. In Bild 8 ist für die Druckschicht 800/900 hPa das Produkt aus vertikaler Windscherung und horizontalem Temperaturgradienten dargestellt, was im geostrophischen Fall dem Quadrat des Betrages des Gradienten entspräche.

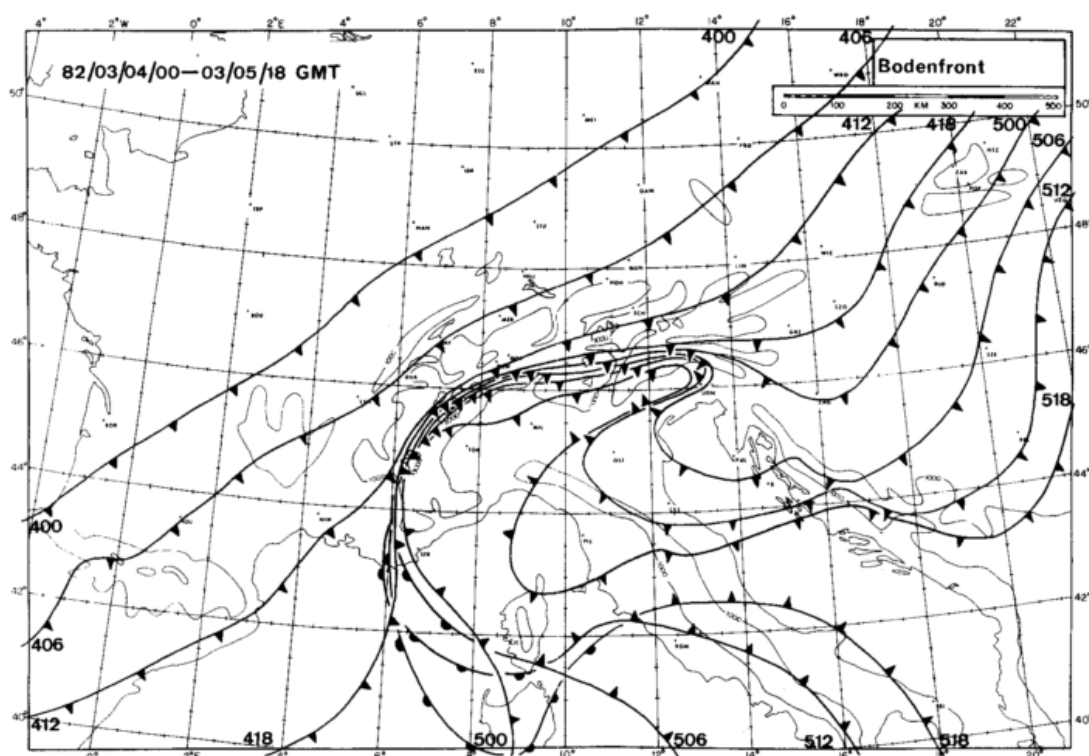


Bild 1: Zeitlicher Verlauf der Bodenfront vom 4.3.1982 00 UTC bis 5.3.1982 18 UTC nach STEINACKER (1987)

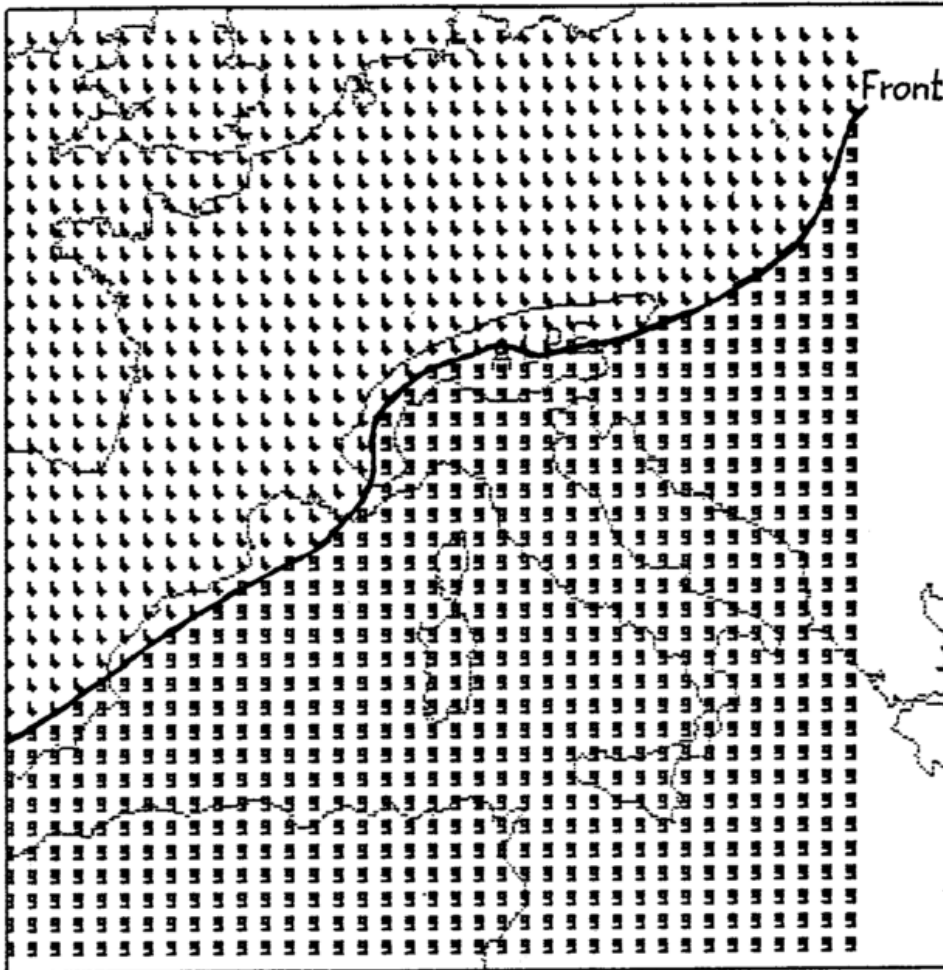


Bild 2: Luftmassendarstellung 200 m über Grund mit einem numerischen Gitter von 63.5 km in 60° N vom 4.3.1982 12 UTC: (9: Warmluft, 4: Kaltluft, durchgezogene Linie: Bodenfront).

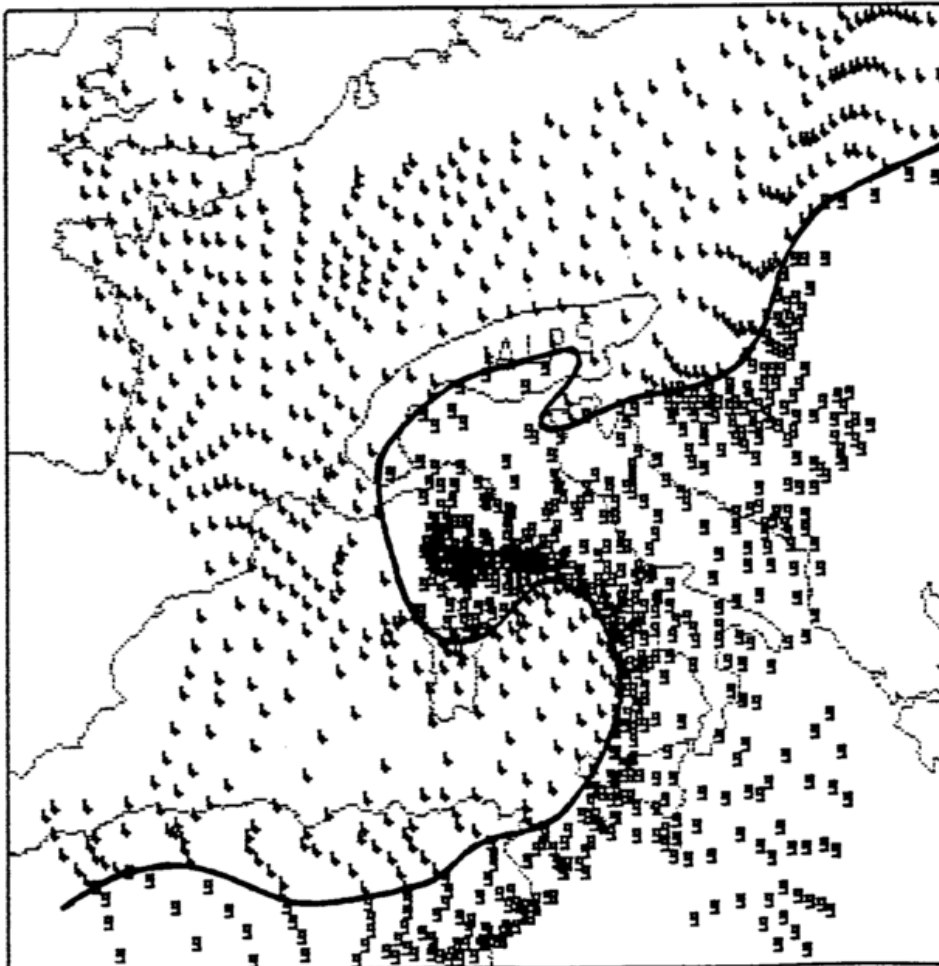


Bild 3: Luftmassendarstellung wie Bild 2 vom 5.3.1982. Deformation des numerischen Gitters mit Trajektorien.

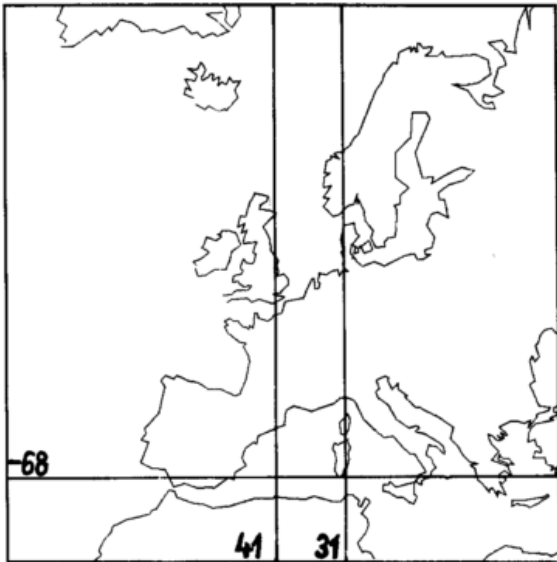


Bild 4: Lage der Vertikalschnitte.

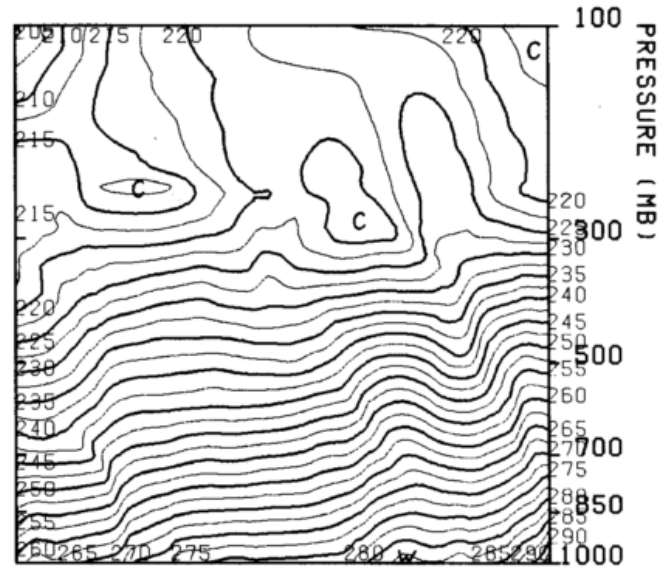


Bild 7: Vertikalschnitt der Temperatur vom 5.3.1982 12 UTC. Numerische Analyse mit einem Gitter von 63.5 km in 60° N. (Orientierung siehe Bild 4) (Nr. 31)

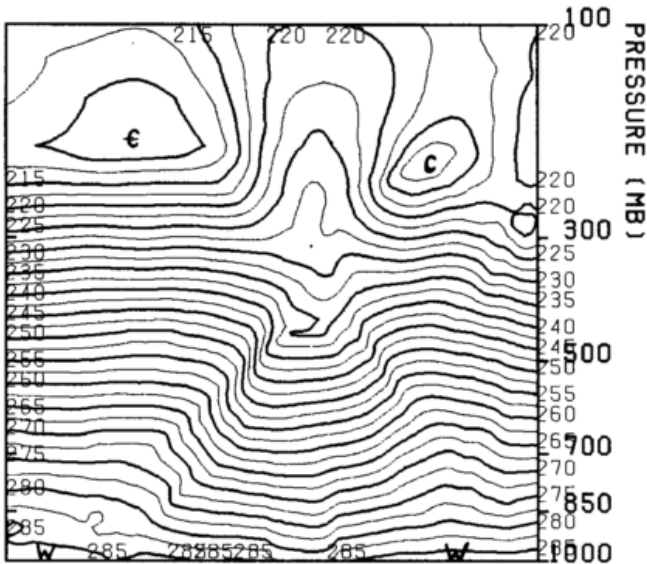


Bild 5: Vertikalschnitt der Temperatur vom 5.3.1982 12 UTC. Numerische Analyse mit einem Gitter von 63.5 km in 60° N. (Orientierung siehe Bild 4) (Nr. 41)

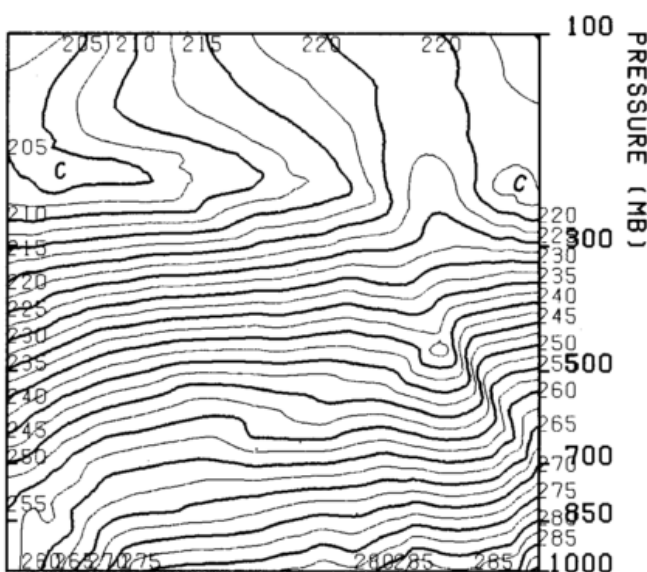


Bild 6: Vertikalschnitt der Temperatur vom 5.3.1982 12 UTC. Numerische Analyse mit einem Gitter von 63.5 km in 60° N. (Orientierung siehe Bild 4) (Nr. 41)

Jedoch zeigen sich im Bereich der Leezyklone nur geringe positive Werte im Bereich der Okklusion über Mittelitalien, während im Alpenraum und Norditalien eine zum Teil völlig ageostrophische Entkopplung der horizontalen Temperaturgradienten und der vertikalen Windscherung auftritt. Daß gerade bei diesem Phänomen die Auflösung des Analysengitters wichtig ist, demonstrieren die Bilder 8 bis 11. Dort sind zum Vergleich zusätzlich zwei Nord-Süd-Vertikalschnitte der Ost-West-Komponente des horizontalen Windvektors dargestellt, die aus einer 63.5- und einer 31.75 km-Gitter-Analyse gewonnen wurden. Während die thermische Ageostrophie nur etwas verfeinert ist, zeigen die Vertikalschnitte der Ost-West-Komponente ein wesentlich stärkeres und räumlich konzentrierteres Windfeld über Norditalien, so daß eine verfeinerte, numerische Analyse hier durchaus sinnvoll erscheint.

#### 4 Bemerkungen

Bedenkt man die Fülle an weiterem Beobachtungsmaterial, das hier nicht verwendet wurde, so bleibt dessen Verwendung in diesem Rahmen einzelnen Untersuchungen vorbehalten. Die Erstellung eines IIIb-Datensatzes, wie sie bei BUCHOLD (1991) mit einem für die numerische Simulation wesentlich erweiterten Bedarf an meteorologischen Parametern (z. B. Niederschlag-, Wolken- und Bodenparameter) als Planung beschrieben ist, ist sicherlich weiterhin schwierig, weil durch die sehr differenzierten Beobachtungen und verschiedenen Untersuchungsziele und -methoden ein universeller Analysensatz kaum möglich erscheint.

#### Literatur

- BENJAMIN, S. 1989: An isentropic meso-alpha-scale analysis system and its sensitivity to aircraft and surface observations. *Mon. Weather Rev.* 117, S. 1586-1603.
- BLECK, R. und MATTOCKS, C., 1984: A preliminary analysis of the role of potential vorticity in alpine lee cyclogenesis. *Beitr. Phys. Atmosph.* 57, S. 357-368.
- BUCHOLD, M. 1991: Production of the ALPEX level IIIb Analyses - Present Stage and Planned Work. ALPEX-Regional Bulletin, No. 17, Juli 1991, Ed. Th. Gutermann, SWISS Met. Inst., Zürich.

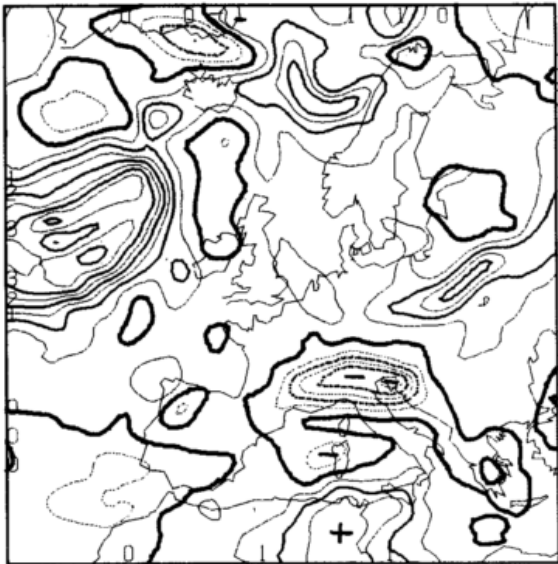


Bild 8: Produkt der vertikalen Windscherung  $\left|K \times \frac{\partial W_h}{\partial p}\right|$  und des horizontalen Gradienten der Potentiellen Temperatur  $\nabla_h \Theta$  für die Schicht 800/900 hPa vom 5. 3. 1982 12 UTC. Numerische Analyse mit einem Gitter von 63,5 km in 60°N.

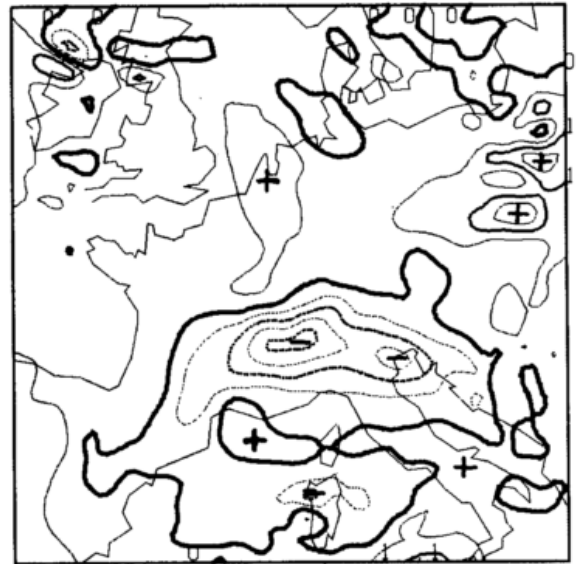


Bild 10: Produkt der vertikalen Windscherung  $\left|K \times \frac{\partial W_h}{\partial p}\right|$  und des horizontalen Gradienten der Potentiellen Temperatur  $\nabla_h \Theta$  für die Schicht 800/900 hPa vom 5. 3. 1982 12 UTC. Teilausschnitt aus Bild 8 aus einer numerischen Analyse mit einem Gitter von 31,75 km in 60° N.

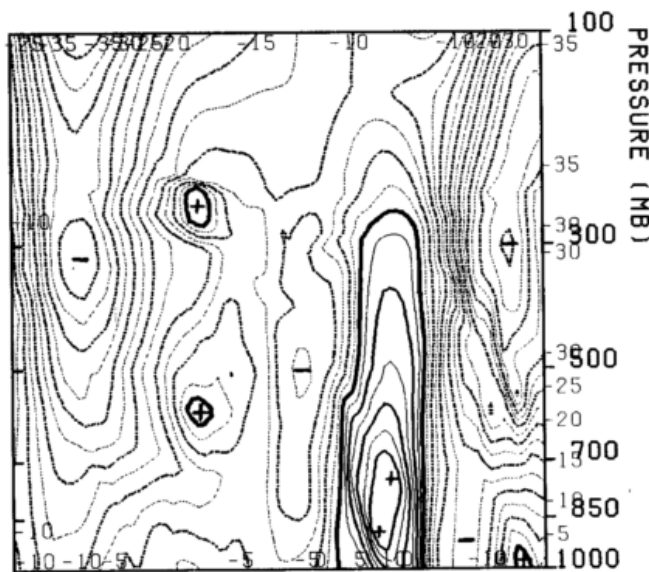


Bild 9: N-S-Vertikalschnitt der Ost-West-Komponente des horizontalen Windvektors über Norditalien hinweg vom 5. 3. 1982 12 UTC. Numerische Analyse mit einem Gitter von 63,5 km in 60° N. Durchgezogene Linien - positiv: Westwind, gestrichelte Linien - negativ: Ostwind. (Nr. 31)

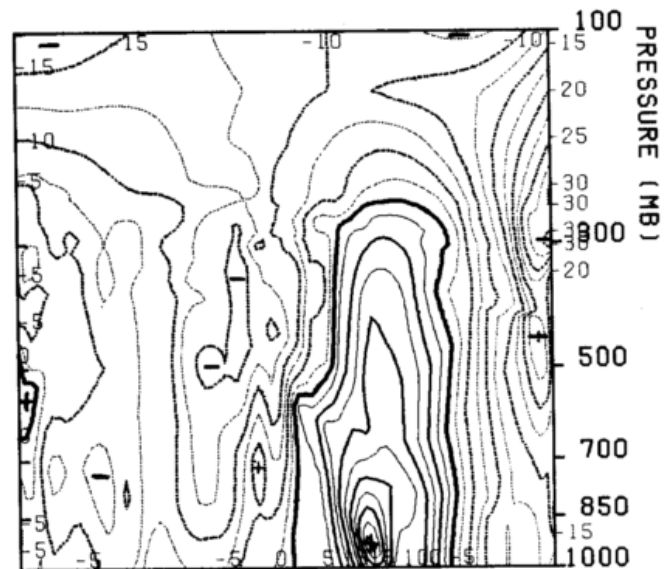


Bild 11: N-S-Vertikalschnitt der Ost-West-Komponente des horizontalen Windvektors über Norditalien hinweg vom 5.3.1982 12 UTC. Teilausschnitt aus Bild 8 einer numerischen Analyse mit einem Gitter von 31,75 in 60° N. Durchgezogene Linien - positiv: Westwind, gestrichelte Linien - negativ: Ostwind. (Nr. 31)

HANTEL, M., und EMEIS, S., 1985: A diagnostic modell for synoptic heat budgets. Arch. Meteorol. Geoph. Biokl. Ser. A, 33, S. 407-420.

HANTEL, M.; REIMER, E.; SPETH, P., 1984: ALPEX-diagnostics: Quantitative synoptics over Europe. Beitr. Phys. Atm. 57, S. 477-498.

LANZINGER, A. und STEINACKER, R. 1990: A fine mesh analysis scheme designed for mountainous terrain. Meteor. Atmos. Phys., 43, S. 213-220.

McGINLEY, J., 1987: A variational objective analysis scheme for analysis of ALPEX data set. Meteorol. Atmospher. Phys. 36, S. 5-23.

REIMER, E., 1982: Fine mesh analysis by use of isentropic surfaces. Workshop on Analysis, ECMWF, Reading, S. 227-239.

REIMER, E., 1985: Analysis of ALPEX data. ECMWF Workshop on fine mesh analysis, Reding.

STEINACKER, R. 1987: Orographie und Fronten. Wetter u. Leben 39, S. 65-70.

TAFFERNER, A. 1989: Strahlstromstruktur und Leezyklogene. Münchner Universitätsschriften, Universität München, Wiss. Mitt. 59.

TREVISAN, A.; BUZZI, A.; TOSI, E.; RAMBALDI, S. 1985: A fine-mesh objective analysis scheme in isentropic coordinates. Nuovo Cimento C.

# Numerische Simulation der Leezyklogeneese

## 1 Einleitung

### 1.1 Beobachtungen zur Alpinen Leezyklogeneese

Während eines Jahres ereignen sich etwa 40 Zykllogeneseen im westlichen mediterranen Raum. Die größte Häufigkeit findet man im Ligurischen Meer bei Genua, weshalb dort entstehende Zyklogeneseen auch als Genuazyklone bezeichnet werden (für statistische Beobachtungen siehe SPERANZA 1975). Aufgrund des offensichtlichen Einflusses des Gebirges der Alpen auf die Entstehung solcher Tiefdruckgebiete sind diese den sogenannten Leezykllogeneseen zuzuordnen, die wie folgt zu verstehen sind (ALPEX Experiment Design 1982):

Leezyklogeneese kann beschrieben werden als die Erzeugung einer extratropischen Tiefdruckstörung welche:

- a) sich in der Region im Lee eines Gebirgskomplexes ereignet, wobei „im Lee“ bezüglich der großskaligen Strömung zu interpretieren ist, und
- b) mit der Wirkung des Hindernisses auch die synoptischskalige Strömung verbunden ist.

BUZZI und TIBALDI (1978) hoben in einer Fallstudie einer Leezyklogeneese hervor, daß sich eine typische Leezyklone in zwei Phasen entwickelt, die sich sowohl in der zeitlichen wie auch räumlichen Charakteristik unterscheiden. In der ersten Phase, der schnellen Entwicklung, die in einer charakteristischen Zeit von 6 Stunden abläuft, entsteht eine kleinskalige Zirkulation in der unteren Troposphäre. In der zweiten Phase, der baroklinen Entwicklung, kommt es zur Reifung der Zyklogenese und zur Amplifizierung der baroklinen Welle in der oberen Troposphäre, in einem Zeitraum, der für außertropische Zyklogeneese typisch ist. Dabei beobachtet man oftmals das Abschließen des Höhentrogens in der mittleren Troposphäre (*cut-off*). Buzzi und Tibladi's Beobachtung folgte eine Reihe von Fallstudien von Leezykllogeneseen, die vor allem durch das Alpine Experiment ALPEX (September 1981 bis Oktober 1982) angeregt wurde, e.g. DELL'OSSO und TIBALDI (1982), BLECK und MATTOCKS (1984), BUZZI et al. (1984a, 1984b), MCGINLEY (1986), REIMER (1986), FRENZEN und SPETH (1986), PICHLER und STEINACKER (1987). Letztere analysierten vierzig Leezykllogeneseen, die während ALPEX auftraten und entdeckten zwei vorherrschende Entwicklungstypen: den Vorderseitentyp und den Überströmungstyp. Beim Vorderseitentyp kommt es zur Zyklogeneese auf der Vorderseite eines synoptischen Troges, der über den mediterranen Raum hinwegzieht. Im Druckfallgebiet im Lee der Alpen entsteht eine barokline Zone zwischen der kalten Luft, die über das Rhonedelta vordringt und der südwestlichen Warmluftströmung auf der Trogvorderseite. Beim Überströmungstyp verhält sich der Tiefdrucktrog quasistationär, und in einer nord-westlichen Höhenströmung dringt eine kurze Welle innerhalb des Troges über die Alpen vor. Die Bodenkaltfront wird an den Alpen deformiert und verzögert, und oftmals kommt es zur Neubildung derselben im Lee der Alpen. Hervorzuheben ist, daß Pichler und Steinacker in allen untersuchten Fällen die Blockierung von Kaltluft auf der Anströmseite der Alpen und das

Vorhandensein eines mehr oder weniger ausgeprägten Vorticitymaximums in der oberen Troposphäre beobachteten. Ihre Beobachtungen finden sich im Einklang mit vielen anderen Fallstudien, so daß man davon ausgehen kann, daß Kaltluftblockierung durch die Alpen und die Überströmung der Alpen durch Luft mit großer Vorticity, welche mit dem Höhentrog verknüpft ist, typische Vorgänge bei der Leezyklogeneese sind.

Bezüglich einer numerischen Simulation der Leezyklogeneese ist es daher notwendig, das Modell so zu gestalten, daß diese typischen Prozesse realistisch hervorgebracht werden können. Darauf wird in Kapitel 2 zurückgekommen.

### 1.2 Bisherige numerische Simulationen der Leezyklogeneese

Eines der wissenschaftlichen Ziele von ALPEX war das Verstehen der Dynamik der Leezyklogeneese. Die numerische Methode erschien den Planern von ALPEX als das aussichtsreichste Mittel, dieses Ziel zu erreichen.

Die erste erfolgreiche Simulation der Leezyklogeneese wurde von EGGER (1972) ausgeführt. Er ersetzte die Alpen im Modell durch eine 3.000 m hohe, vertikale Wand und ging von idealisierten Anfangsbedingungen aus, die ein Tiefdruckgebiet nordwestlich der Alpen (die Primärzyklone) in einer baroklinen, westlichen Strömung beschrieben. Im Laufe der numerischen Simulation kam es auf der Rückseite der Primärzyklone zu einem Kaltluftausbruch gegen die Barriere und in der Folge zu einer zyklonegenetischen Entwicklung im Lee. Bei einem Vergleichslauf ohne Gebirge im Modell kam es zu keiner sekundären Entwicklung. Der Erfolg seines numerischen Experiments ist auf die Repräsentation der Alpen durch eine hohe, vertikale Wand zurückzuführen, die die Blockierung der anströmenden Kaltluft realistisch hervorbrachte. Eine Analyse der verschiedenen Terme der Drucktendenzgleichung im zyklonegenetischen Gebiet ließ Warmluftadvektion über die Barriere als wesentlichen Beitrag zum Druckfall im Lee erscheinen. Darüberhinaus stellte er eine Abschwächung der Intensität der Primärzyklone während der Entwicklung der Leezyklone fest, was in der Simulation ohne Gebirgsbarriere nicht auszumachen war. In den folgenden Jahren wurden neben solchen Simulationen mit hypothetischen Startfeldern (e.g. TREVISO 1976, BLECK 1982, MATTOCKS und BLECK 1986, SCHÄR 1989) auch Versuche mit realen Daten (beobachteten Feldgrößen) unternommen. Erwähnt seien die Simulationen von BLECK (1977), MESINGER und STRICKLER (1982), DELL'OSSO und TIBALDI (1982), DELL'OSSO (1984), HORTAL et al. (1986), MCGINLEY und GOERRS (1986), TAFFERNER (1988, 1989) und MESINGER et al. (1988). Vergleichsläufe mit und ohne Berge im Modell brachten hervor, daß die Berge in vielen, aber nicht in allen Fällen eine Schlüsselrolle sowohl in der Lage als auch der Genese von Zyklogeneseen spielen. In einigen Fällen ergab sich auch ohne Gebirgsbarriere eine Sekundärzyklone, die im Vergleich zur gebirgs-induzierten Zyklogenese sogar stärker entwickelt sein konnte (e.g. MESINGER und

STRICKLER 1982). Begründet wurde dies dadurch, daß ein Gebirge durch die Blockierung meridionaler Bewegungen, auf die barokline Instabilität angewiesen ist, die zyklogene-tische Entwicklung behindert. Es erhob sich also die Frage nach „echten“ und „unechten“ Leezyklonen. Aus der Viel-zahl der beobachteten Fälle gewann man folgendes Bild (MESINGER und PIERREHUMBERT 1986): In den Fäl-len der echten Leezyklonogenese wirkt das Lee-Tief in der unteren Troposphäre als Auslöser (*trigger*) zur Entwicklung einer ausgereiften, außertropischen Zyklone. Dies ge-schieht zu einer Zeit, zu der der Strömungszustand in der mittleren Troposphäre für eine barokline Entwicklung gün-stig ist. Im anderen Fall dagegen würde die mitteltroposphä-rische Strömung auch ohne Auslöser an derselben Stelle eine Zyklonogenese hervorrufen. Dabei reduziert sich die Rolle des Gebirges zu modifizierenden Effekten.

Natürlich erwartet man unabhängig von der Art der Lee-zyklonogenese von einem numerischen Modell möglichst wirklichkeitsnahe Simulationen. Insbesondere soll ein Modell nicht nur ausgeprägte Ereignisse beschreiben kön-nen, wie z. B. die Leezyklonogenese vom 5. März 1982, son-derm gerade auch jene „flachen“ Zyklonen, die keine große vertikale Ausdehnung erlangen, wie die vom 24./25. April 1982. Noch haben einige Modelle Schwierigkeiten, den mit-teltroposphärischen Cut-off-Prozeß in der zweiten Entwick-lungsphase hervorzubringen. Das *step-mountain*-Modell von MESINGER et al. (1988) scheint von diesem Mangel nicht betroffen zu sein, wie eine Simulation der Leezyklone vom 3. April 1973 mit jener Modellversion anzeigt. Die Representation des Gebirges wie auch die räumliche Gitter-auflösung scheinen eng mit der Fähigkeit der Modelle, das Abschließen des Höhentrogs zu erreichen, zusammenzu-hängen. Der mögliche Einfluß diabatischer Prozesse wurde diesbezüglich noch nicht eingehend untersucht.

Verschiedene Koordinatensysteme kommen in den regio-nalen Prognosemodellen zur Anwendung. Diese unter-scheiden sich im wesentlichen darin, ob die Koordinatenflä-chen die Orographie schneiden oder dem Gelände folgen, wobei im letzteren Fall der Boden selbst eine Koordinaten-fläche bildet. In beiden Fällen trifft man auf Schwierigkei-ten bei der Berechnung des horizontalen Druckgradienten bei steiler Orographie. Im Falle geländefolgender Koordinaten berechnet sich der Druckgradient aus der Summe zweier Terme entgegengesetzten Vorzeichens, welche bei steiler Orographie annähernd gleich groß sind. Ein kleiner Fehler bei der Berechnung einer dieser Terme führt daher zu einem großen Summenfehler (zu dieser Problematik s. JANJIC 1977 und MESINGER 1985). Dieses im bekannten  $\sigma$ -System auftauchende Problem wird im sogenannten  $\eta$ -System von MESINGER et al. (1988) umgangen. Dort wird ein stufenweises Gebirge verwendet, dessen Höhen mit Koordinatenflächen zusammenfallen, wodurch jene quasi-horizontal zu liegen kommen.

In isentropen Modellen schneiden die Koordinatenflächen die Orographie. In älteren Modellversionen, z. B. von ELIASSEN und RAUSTEIN (1970), versuchte man durch Lösung einer Advektionsgleichung für  $\Theta_s$ , wobei  $\Theta_s$  die potentielle Temperatur einer dem Boden aufliegenden Schicht ist, der zeitlichen Änderung der Schnittlinien Rech-nung zu tragen. Das advehierte  $\Theta_s$ -Feld stimmte jedoch

nicht immer mit dem von der Kontinuitätsgleichung pro-gnostizierten Schichtdickenfeld (Druckdifferenz zwischen zwei Koordinatenflächen) überein, was zu numerischen Lärm führte. Verwendete man keine Advektionsgleichung für  $\Theta_s$  und leitete die Schnittlinien nur von der Kontinui-tätsgleichung ab, so hatte man noch weniger Erfolg, da es konventionelle Massenflußberechnungen nicht erlaubten, Schichten verschwindender Dicke zu erzeugen und auf-rechtzuerhalten. Überschießungseffekte, d. h. die Tendenz, negative Schichtdicken zu erzeugen stellte sich als das ernsthafteste Problem heraus. Erst numerische Techniken, wie der *Flux-Corrected-Transport* von ZALESK (1979), der in dem isentropen Modell von BLECK (1984) eingesetzt wurde, halfen dieses Problem zu beseitigen.

Die einfache und wirkungsvolle *grid-box-blocking*-Methode, wie von EGGER (1981) angewendet, wird von den oben erwähnten Problemen nicht berührt. Eine ähnliche Methode wird seit kurzem von Tafferner im Bleckschen Modell eingesetzt. Sie erlaubt die Vorgabe beliebig steiler Orographie, senkrechte Wände eingeschlossen. Ein Simu-lationsergebnis dazu wird in Kapitel 3 vorgestellt werden.

## 2 Simulation der Leezyklonogenese mit realen Daten

### 2.1 Vorausgehende Betrachtungen

Bevor das numerische Verfahren besprochen wird, sollen einige grundlegende Betrachtungen zum Modellaufbau angestellt werden. Da die alpine Leezyklonogenese in der überwiegenden Zahl der Fälle von einem bereits stark ent-wickelten synoptischen Trog, der über den alpinen Raum hinwegzieht, hervorgerufen wird, darf sich das numerische Integrationsgebiet nicht nur auf den Raum beschränken, wo sich das Tiefdruckgebiet bildet, sondern muß groß genug sein, um wenigstens einen wandernden synoptischen Wellenzug zu erfassen. Somit mißt das Modellgebiet einige tausend Kilometer in beiden horizontalen Richtungen, wobei eine starke Ausdehnung des Modellgebiets nach Westen und Norden, den Anzugsrichtungen der synopti-schen Störungen (s. o. Vorderseiten- und Überströmungs-tyt), unerläßlich ist. Auf der anderen Seite darf dies nicht auf Kosten der räumlichen Gitterauflösung des Modells gehen, da sonst die Gebirgsketten von nur wenigen Gitter-punkten erfaßt und somit ungemäß representiert werden (z. B. Bogenform der Alpen). Außerdem erfordert die beob-achtete mesoskalige Struktur der Leezyklonen in der ersten Entwicklungsphase eine horizontale Auflösung von wenig-stens 100 km, will man diese Entwicklung erfassen. In verti-kaler Richtung muß das Modell die ganze Troposphäre umspannen. Die Dynamik in der oberen Troposphäre innerhalb der Strahlströmung ist nämlich von ausschlagge-bender Bedeutung für die zyklonogene-tische Entwicklung, wie in den Arbeiten von BLECK und MATTOCKS (1984), MATTOCKS und BLECK (1986), TAFFERNER (1988), zum Ausdruck kommt. Sowohl innerhalb des Strahlstroms als auch in der Nähe des Gebirges ist die Strömung stark ageostrophisch (Rossby-Zahl ungefähr eins), was die Ver-wendung des vollen Satzes der primitiven Gleichung nahe-legt. Die hydrostatische Approximation ist in dem betrach-teten Skalenbereich – größer gleich 100 km – ohne weiteres verwendbar. In der Representation der Gebirge erfreut sich

in den numerischen Modellen die sogenannte *envelope*-Orographie immer größerer Beliebtheit, die auch im operationellen Prognosemodell des ECMWF Eingang gefunden hat (WALLACE et al. 1983). Da in den geschützten Regionen des Gebirges, selbst in größeren Gebirgstälern, Zirkulationssysteme vorgefunden werden, die von der großskaligen Strömung über und um das Gebirge herum entkoppelt sind (zur Winterzeit oftmals durch eine starke Inversion abgegrenzt), wurde von MESINGER (1977) und anderen vorgeschlagen, solche, durch ein großräumiges Gitter nicht aufgelöste Zirkulationen in Prognosemodellen dadurch zu „parameterisieren“, indem die geschützten Täler als Teil des Gebirges selbst betrachtet werden. Daher stammt der Begriff der *envelope* (einhüllenden) Orographie. Sie wird in einem Gittermodell erstellt, indem man an einem jeden Gitterpunkt Mittelwert und Standardabweichung aus Orographiedaten bestimmt, die in feinerer Auflösung als die des Modells vorliegen, und anschließend die zweifache Standardabweichung zum Gitterpunktmittelwert addiert. Das entstehende Geländeprofil wird schließlich mit einem 3-Punkt Filter in beiden Richtungen geglättet. Auch andere Darstellungen der Orographie, wie die einer senkrechten Wand (EGGER 1972), können zum Erfolg führen, solange sie nur die Blockierung der vordringenden bodennahen Kaltluft hervorrufen. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß bezüglich der Blockierung der Strömung in den unteren Luftschichten, die Höhe des Gebirges die entscheidende Größe ist und nicht so sehr sein Volumen (PIERREHUBERT 1984).

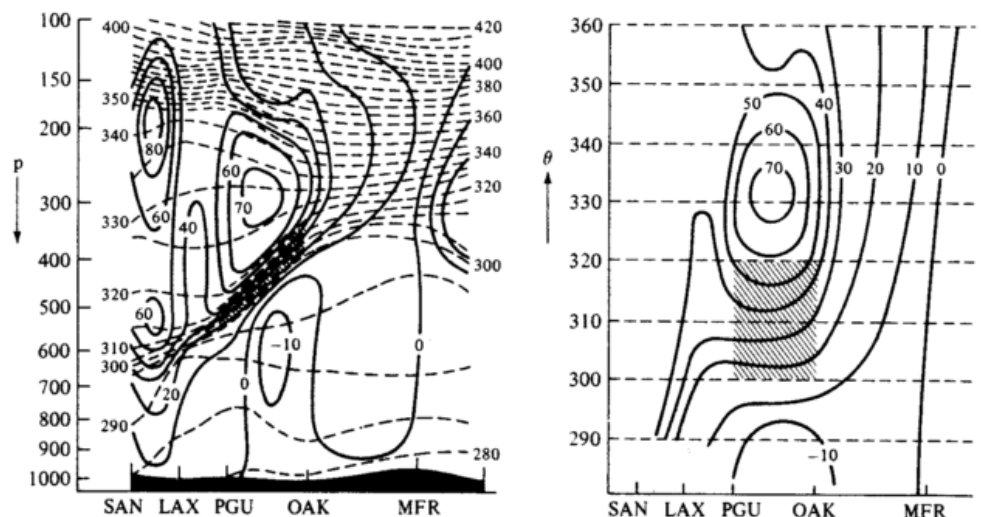
## 2.2 Die Verwendung isentroper Koordination

Ist man an Vorgängen im Skalenbereich 100-1000 km interessiert ohne diabatische Vorgänge in Betracht zu ziehen, so kann man die Atmosphäre als stabil geschichtet betrachten. Die potentielle Temperatur ändert sich dann monoton mit der Höhe und erfüllt somit die Voraussetzung zur Verwendung als vertikale Koordinate. Bekannte isentrope Modelle, wie die von ELIASSEN und RAUSTEIN (1970) und BLECK (1973, 1984), neigten während der Integration nicht zur Entwicklung überadiabatischer Gradienten, womit die Monotonie der potentiellen Temperatur gewährleistet blieb.

Bei der Untersuchung von alpinen Leezyklogenese stellte man fest, daß diabatische Prozesse in der Entstehungsphase von Leezyklonen kaum eine Rolle spielen, und der Vorgang somit adiabatisch behandelt werden kann. Wohl könnte das Freiwerden latenter Wärme im Reifeprozess einer Leezyklone einen Einfluß haben, gerade durch das Aufsteigen feuchtwarmer Luft aus dem Mittelmeer, doch bildet die Vernachlässigung diabatischer Prozesse keine große Einschränkung, solange man nur die Genese der Leezyklonen untersuchen will und nicht an der Zyklonenstruktur in der Spätphase interessiert ist.

Da man es bei Leezyklogenese mit baroklinen Prozessen und der Dynamik von Frontalzonen zu tun hat, bietet sich die Verwendung eines Modells mit der potentiellen Temperatur als Erhaltungsgröße geradezu an. Ein solches besitzt gleichermaßen eine variable vertikale Auflösung, indem Zonen starker Temperaturgradienten, wie sie z. B. in Jetfrontsystemen (das kombinierte System Strahlstrom und Höhenfront) auftreten, besonders gut erfaßt werden. Dies sei durch einen Vergleich zweier Vertikalschnitte durch ein beobachtetes Jetfrontsystem der Atmosphäre, die zum einen den Druck und zum anderen die potentielle Temperatur als Vertikalkoordinate verwenden, illustriert (Bild 1). Während die Frontalzone mit dem Druck als Vertikalkoordinate als enges Band erscheint (die schraffierte Fläche im linken Bild), wird dieselbe in isentropen Koordinaten stark auseinandergezogen (rechtes Bild), was bedeutet, daß die Dynamik innerhalb der Frontalzone mit isentroper Vertikalkoordinate wesentlich besser aufgelöst werden kann. Zu den Vorteilen der Verwendung dieser Vertikalkoordinate ist noch anzuführen, daß in den Gleichungen weder eine Vertikalgeschwindigkeit auftritt, weil bei Adiabasie die individuelle zeitliche Änderung der potentiellen Temperatur verschwindet, und auch keine thermodynamische Gleichung integriert zu werden braucht. Die Orographie läßt sich, als untere Randbedingung in der hydrostatischen Gleichung, leicht und exakt in das Modell einbringen. Die Atmosphäre in einem isentropen Koordinatenmodell kann man sich gleichsam als einen Satz flacher, übereinanderliegender Luftschichten vorstellen, jede davon charakterisiert durch einen konstanten Wert potentieller Temperatur. Die dynamischen Abläufe innerhalb der Schichten können durch

Bild 1: Vertikalschnitte durch ein Jetfrontsystem in der Darstellung in isobaren (links) und isentropen (rechts) Koordinaten, die anhand von fünf Radiosondenaufstiegen erstellt wurden. Es zeigen sich Isentropen (strichlierte Linien) und Isotachen (ausgezogene Linien). Die schraffierte Zone markiert die Höhenfront. Nach Shapiro und Bleck (DUTTON 1976).



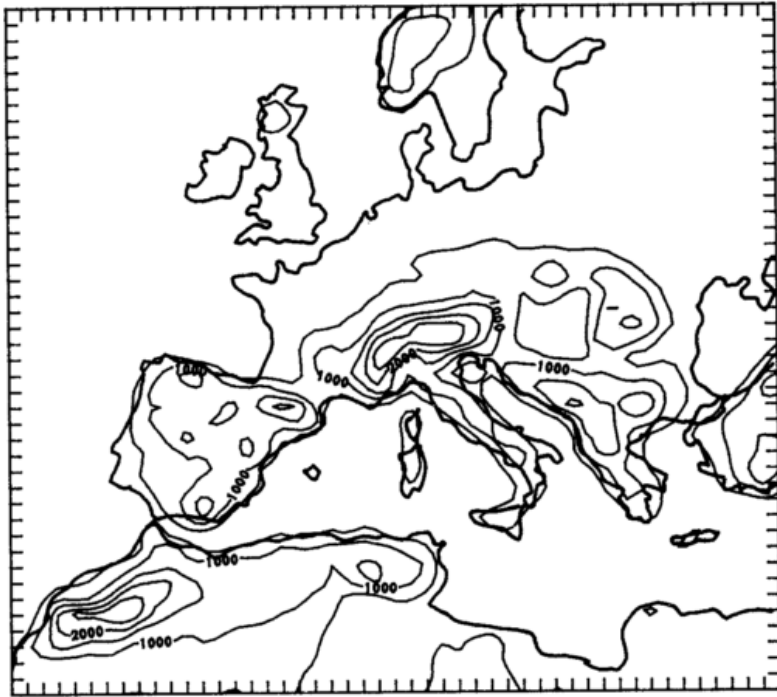


Bild 2: Modellgebiet mit „envelope“ Orographie (Isohypsenabstand 500 m).

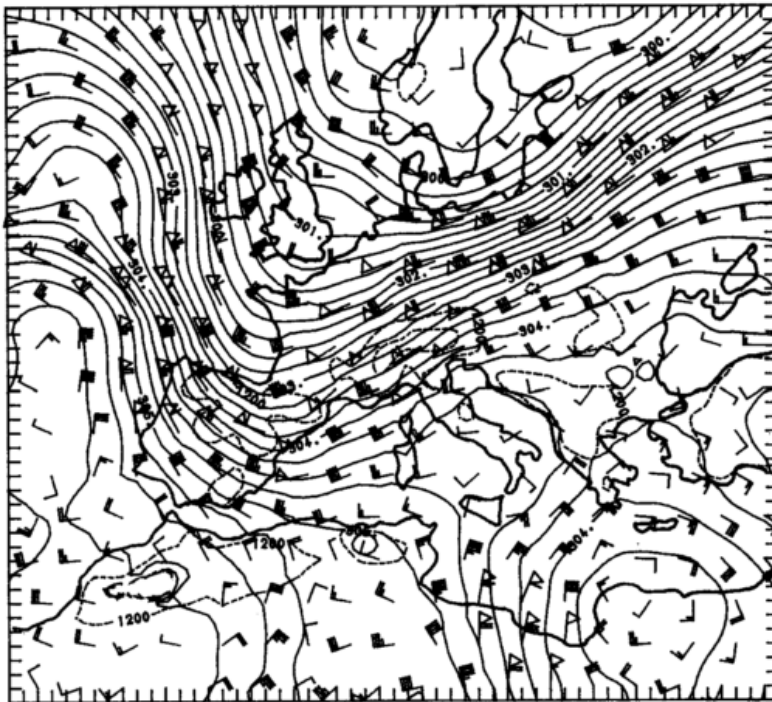
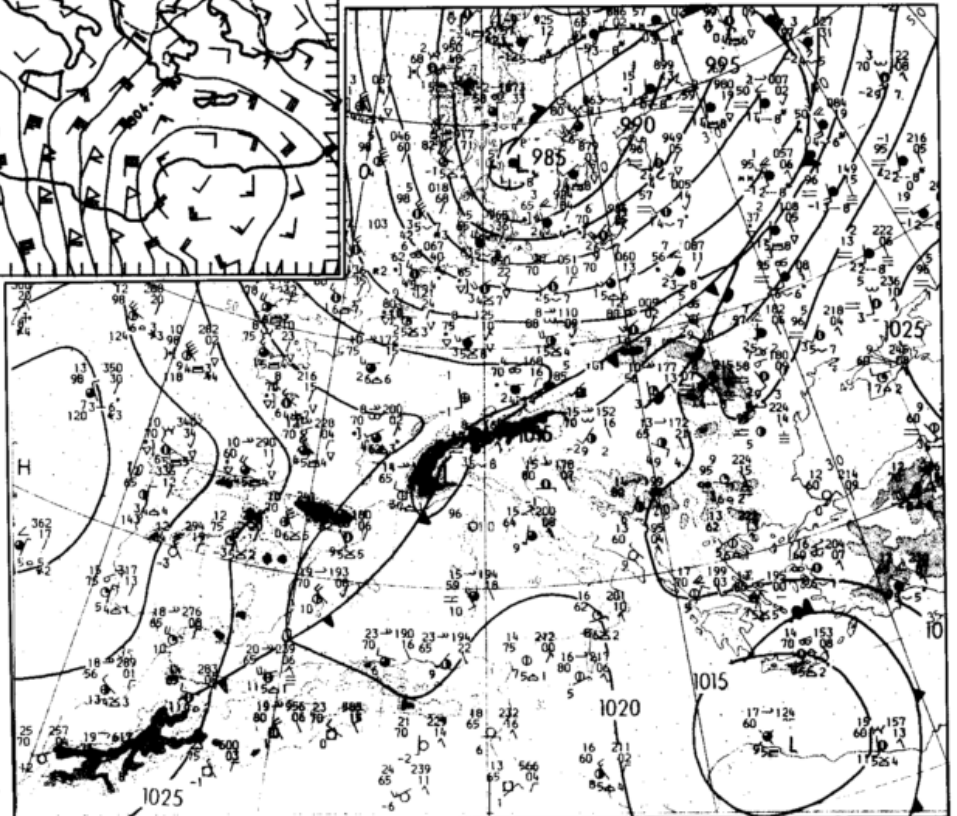


Bild 3a: Analyse der Höhenströmung am 4. März 1982 12 UTC. Montgomery Potential ( $1000 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ ) und Wind (Knoten, konventionelle Notation) auf der isentropen Fläche 300 K. Gebirgs-höhen von 1200 und 2400 m sind strichliert.

Bild 3b: Bodenkarte vom 4. März 1982 12 UTC. Europäischer Wetterbericht (Deutscher Wetterdienst, Offenbach).



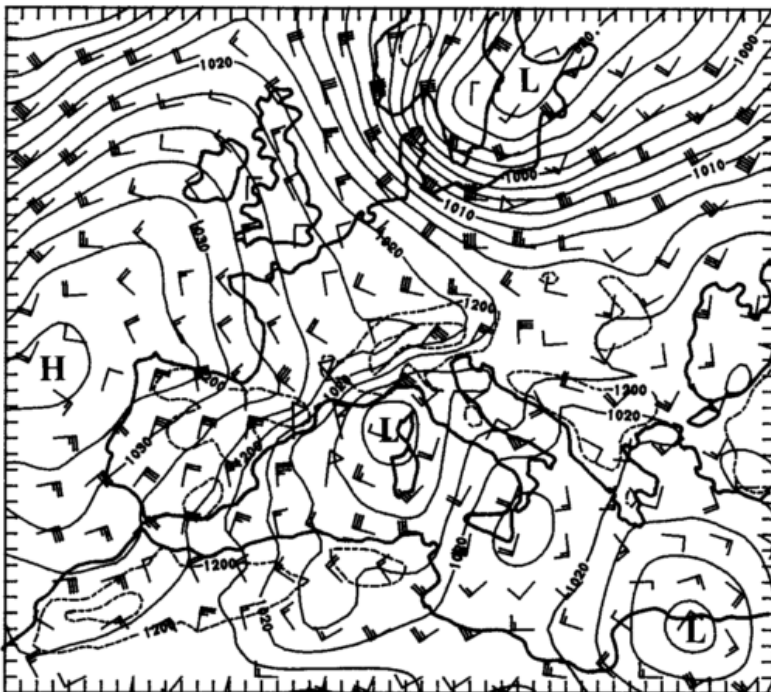
Gleichungen beschrieben werden, die den Flachwassergleichungen ähnlich sind. In der Vertikalen sind die Schichten durch die hydrostatische Gleichung gekoppelt. Zeitliche Änderungen im dreidimensionalen Temperaturfeld hängen ausschließlich von horizontalen Massenflüssen innerhalb jeder isentropen Schicht ab. Kaltluftadvektion am Boden erscheint als Entstehung von bodennahen isentropen Schichten, die anfangs noch verschwindende Dicke hatten und Warmluftadvektion hat den „Dampfwalzeneffekt“ Luft aus den unterliegenden Schichten auszupressen.

### 2.3 Das isentrope numerische Modell

Das hier behandelte isentrope Modell ist darauf angelegt, Simulationen mit reellen Daten auszuführen und besteht aus einem Analyse- und Prognoseteil. In einem ersten

Schritt werden Radiosondendaten auf Codierungsfehler und vertikale Konsistenz geprüft. Fehlerhafte Aufstiege, die nicht korrigiert werden können, werden dabei eliminiert. Anschließend erfolgt eine Interpolation der Radiosondendaten von Druck- auf isentrope Flächen. Ein objektives Analyseverfahren von BLECK (1975) angewendet auf das Montgomerypotential und den Wind bestimmt nach der Methode der optimalen Interpolation (GANDIN 1963) aus den beobachteten Werten der sehr ungleich verteilten Radiosondenstationen die Gitterpunktwerte des numerischen Modells. Die Gitterpunktwerte dienen dann als Anfangswerte für die numerische Integration der Bestimmungsgleichungen in dem Prognosemodell von BLECK (1984).

Bild 2 gibt die Größe des Rechengebietes wieder, Isohypsen zeigen die Modellorographie vom Typ *envelope* (s. Kap. 2.1).



50 mal 55 Gitterpunkte umspannen die Nord-Süd und West-Ost Richtungen. In der Variablen sind in der Horizontalen in einem Arakawa-C-Gitter angeordnet, wobei die Massenvariablen, wie das Montgomerypotential, der Druck und die Schichtdicke, im Zentrum eines Gitterquadrats zu liegen kommen und die Geschwindigkeitskomponenten dazu um eine halbe Gitterdistanz versetzt sind. Die vertikale Schachtelung behandelt den Druck, das Geopotential und die Exnerfunktion als Flächenvariable auf einer isentropen Fläche liegend, während der Wind, die potentielle Temperatur und das Montgomerypotential innerhalb einer isentropen Schicht angeordnet sind. Ein stereographisches Gitter wird angewendet, dessen Nordrichtung am Längengrad  $10^\circ$  Ost orientiert ist. Die Maschenweite beträgt durchschnittlich 90 km.

Die prognostischen Variablen an den seitlichen Rändern des Modells werden zwischen 12-stündigen Analysen linear interpoliert. Als oberer Rand dient eine isentrope Fläche mit konstantem Druck Null hPa. Den unteren Rand bildet

die Orographie zusammen mit der Oberflächentemperatur  $\Theta_s$ , die nach jedem Zeitschritt als massengewogenes Mittel der potentiellen Temperatur in den untersten 75 hPa der Modellatmosphäre berechnet wird. An Schnittpunkten der Koordinatenflächen mit der Orographie wird der horizontale Druckgradient – hier der Gradient des Montgomerypotentials – zu Null gesetzt. Dem liegt zugrunde, daß eine Wand eine gleichgroße, aber entgegengesetzte Kraft auf die Strömung ausübt. Entsprechend werden Geschwindigkeiten an Gitterpunkten, die innerhalb der Orographie zu liegen kommen (die Orographie „wandert“ im zeitlichen Verlauf durch das isentrope Gitter), gleich Null gesetzt.

Um hochfrequente Störungswellen, die aus unbalancierten Anfangsfeldern hervortreten können zu dämpfen, wird als Zeitschrittverfahren zu Beginn der Simulation das Euler-Backward Schema (MATSUNO 1965) verwendet. Nach einer Einschwingphase von einigen Stunden wird auf das nicht so rechenzeitintensive Leap-Frog-Schema umgeschaltet.

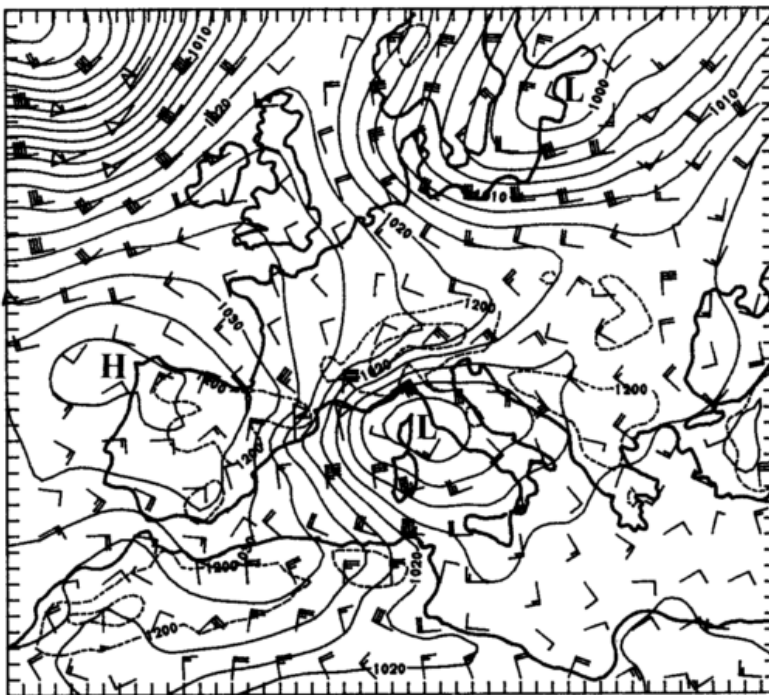


Bild 5a: 24-Stunden Boden-Vorhersage des isotropen Modells für den 5. März 1982 12 UTC. Isobarenabstand 2.5 hPa.

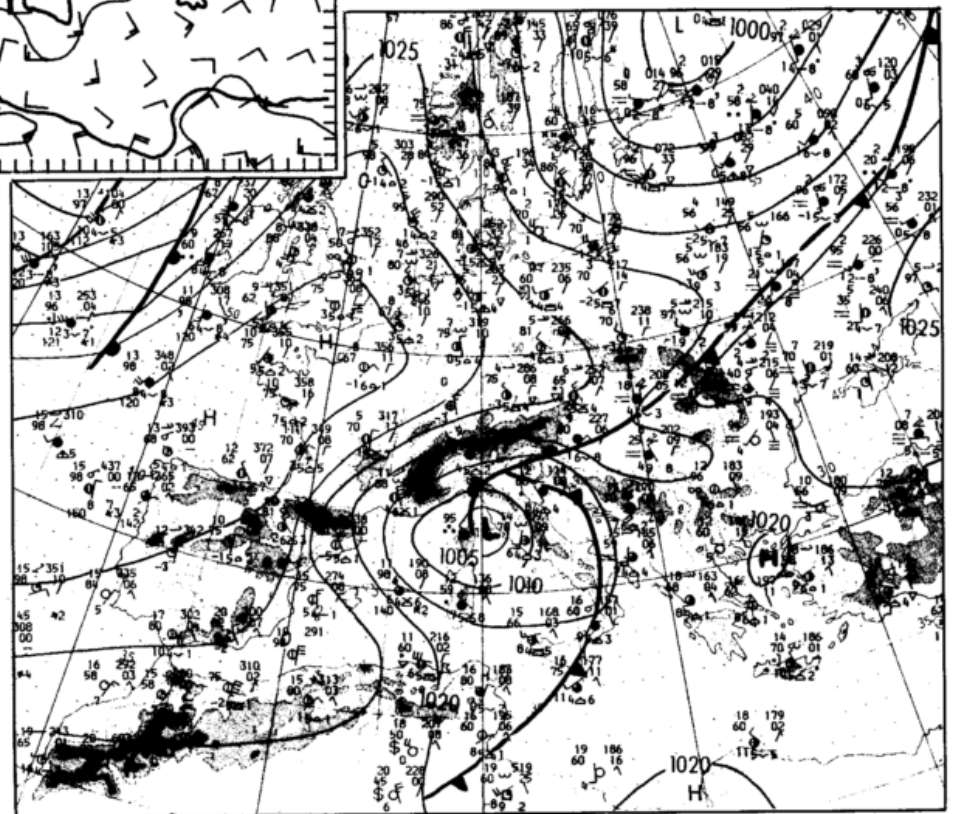
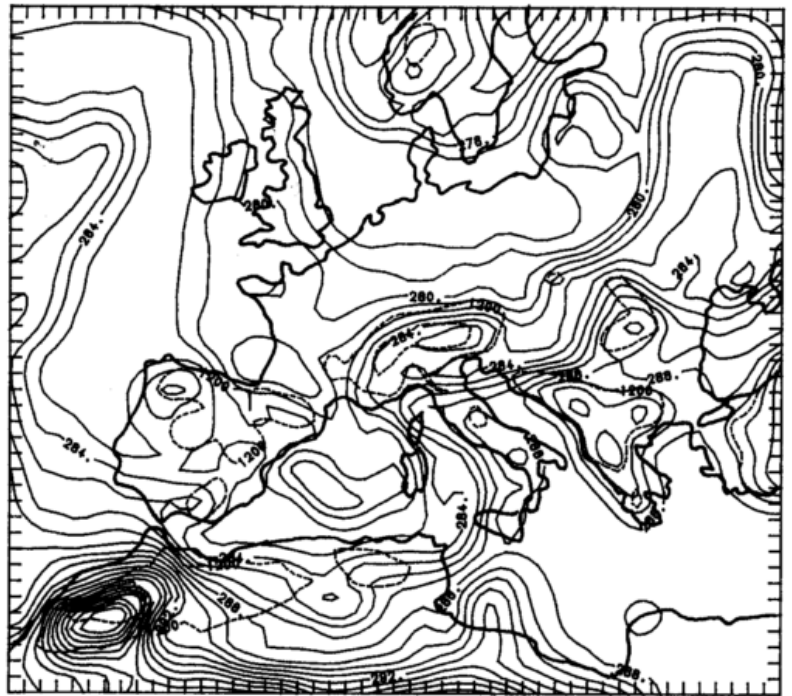


Bild 5b: Bodenkarte vom 5. März 1982 12 UTC. Europäischer Wetterbericht (Deutscher Wetterdienst, Offenbach).

Bild 6: Potentielle Temperatur (K) am Boden nach 24-stündiger Vorhersage für den 5. März 1982 12 UTC. Berechnet als massengewogenes Mittel in den untersten 75 hPa der Modellatmosphäre.



Die prognostischen Gleichungen in jeder isentropen Schicht bestehen aus der horizontalen Impulsgleichung und der Kontinuitätsgleichung:

$$\partial \mathbf{W} / \partial t + \mathbf{W} \cdot \nabla \mathbf{W} = - \nabla M - f \mathbf{K} \times \mathbf{W} + \mathbf{IF} \quad (1)$$

$$\partial / \partial t (\partial p / \partial \theta) + \nabla \cdot (\partial p / \partial \theta \mathbf{W}) = 0 \quad (2)$$

Folgende Größen tauchen in obigen Gleichungen auf:

$\mathbf{W}$  ist der horizontale Geschwindigkeitsvektor,  
 $M$  das Montgomerypotential mit  $M = \phi + \pi \theta$ . Dabei ist  $\phi$  das Geopotential,  $\pi$  die Exnerfunktion mit  $\pi = c_p (p/p_0)^{R/c_p}$ ,  
 $\theta$  die potentielle Temperatur,  $p_0 = 1000$  hPa,  $R$  die individuelle Gaskonstante für Luft und  $C_p$  die spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck.

Ferner ist:

- $p$  der Druck auf einer isentropen Fläche,
- $f$  der Coriolisparameter
- $\mathbf{IF}$  die parameterisierten Reibungsprozesse
- $\nabla$  der horizontale Gradientoperator auf einer isentropen Fläche
- $\mathbf{K}$  der Einheitsvektor in vertikaler Richtung.

Die hydrostatische Gleichung lautet:

$$\partial M / \partial \theta = \pi \quad (3)$$

Die thermodynamische Gleichung, die wegen der Verwendung isentroper Koordinaten zugleich auch das Verschwinden der Vertikalbewegung ausdrückt, schreibt sich:

$$d\theta / dt = 0 \quad (4)$$

Die Bodenreibung ist proportional zur vertikalen Scherung der Schubspannung  $\tau = C_D \cdot \rho |\mathbf{W}| \mathbf{W}$  und wird derart in das Modell eingebracht, daß sie vom Boden an linear über die Dicke der Grenzschicht, die untersten 200 hPa der Modellatmosphäre, zu Null geht.  $\rho$  in obigem Ausdruck ist die Luftdichte. Der Rauigkeitskoeffizient  $C_D$

berücksichtigt die erhöhte Rauigkeit über dem Gebirge:  $C_D = .001 + .006 h / (h + 1)$ , wobei  $h$  die Berghöhe in km ist. Die turbulente Reibung ist durch den Ansatz  $\nabla \cdot (\nu \nabla \mathbf{W})$  parameterisiert. Der horizontale Viskositätskoeffizient  $\nu$  hängt dabei vom Betrag des horizontalen Deformationsvektors  $|\mathbf{D}|$  ab:  $\nu = \frac{1}{10} \cdot \Delta x^2 | \mathbf{D} |$ , wobei  $\Delta x$  die Gitterdistanz ist. Die Komponenten des Vektors  $\mathbf{D}$  sind die Dehnungsdeformation:  $D_i = \partial u / \partial x - \partial v / \partial y$  und die Scherungsdeformation:  $D_j = \partial u / \partial y + \partial v / \partial x$ .

Für weitergehende numerische Aspekte des isentropen Modells sei auf die Arbeiten von BLECK (1982, 1984) und MATTOCKS und BLECK (1986) verwiesen.

### 3 Simulation der Leezyklone vom 5. März 1982

Mit dem in Kapitel 2.3 beschriebenen Modell wurden die ALPEX-Leezyklonen vom 5. März, 20. März and 24. April 1982 simuliert (s. TAFFERNER 1988, 1990). Es sei an dieser Stelle das Simulationsergebnis der Zyklone vom 5. März wiedergegeben. Dieser Fall war das bedeutendste Ereignis während der SOP von ALPEX und ist in mehreren Arbeiten diskutiert und auch numerisch simuliert worden (e.g. DELL'OSSO und TIBALDI 1982; DELL'OSSO 1984).

Die Simulation startet am 4. März 1982 12 UTC. Zu dieser Zeit liegt die Vorderseite des Höhentrog unter südwestlicher Strömung über den Alpen und die Bodenfront weist bereits eine leichte Deformation an der Nordwestecke der Alpen auf (s. dazu die Analyse des Höhenfeldes auf der mitteltroposphärischen isentropen Fläche 300 K, Bild 3a, und die Bodenwetterkarte Bild 3b). Während der folgenden 12 Stunden beobachtete man eine starke Blockierung der gegen die Alpen vordringenden Kaltluft, während sich der Höhentrog weiter vertiefte und ungehindert über die Alpen fortschritt. Dies führte im Lee der Alpen zu Druckfall und der Bildung einer flachen Zyklone (erste Entwicklungsphase). Die Bodenkarten in Bild 4 zeigen eine gute Übereinstimmung der 12 Stunden Vorhersage des Modells mit der Beobachtung vom 5. März 00 UTC. Der Hochkeil am Nord-

rand der Alpen verdeutlicht die blockierte Kaltluft. Nordwestlich der Alpen kommt es zu *flow-splitting*. Dort gabelt sich die bodennahe Strömung und umfließt die Alpen im Osten und Westen. Die starken Winde von 50 Knoten in der Gebirgslücke zwischen Alpen und Pyrenäen deuten auf Mistral hin (Bild 4a). Diese Strömungsverhältnisse finden sich typischerweise während der alpinen Leezyklonogenese.

Nach 12 weiteren Stunden, am 5. März 12 UTC, ist die Leezyklone zur vollen Reifung gelangt. Auch zu diesem Zeitpunkt wird die 24-stündige Bodenvorhersage des Modells (Bild 5a) von der Beobachtung (Bild 5b) bestätigt, wenngleich der beobachtete Tiefdruck innerhalb der Leezyklone von 1005 hPa nicht ganz erreicht wird. Der Hoch-Tief Dipol quer über die Alpen tritt nun stark hervor. Das Feld der potentiellen Temperatur am Boden des Modells läßt die deformierte Kaltfront im Lee der Alpen erkennen (Bild 6).

Eine Kaltluftblase findet sich im westlichen Mittelmeer, die sich durch den Zustrom kalter Luft aus Norden gebildet hat. Die mitteltroposphärische Strömung des Modells auf 300 K zeigt einen Cut-off (Bild 7a), der jedoch die beobachtete Intensität nicht erreicht (Bild 7b). DELL'OSSO und TIBALDI (1982) erzielten in einer Simulation dieser Leezyklone mit der N192-Version des ECMWF-Modells (Auflösung von  $.47^\circ$ ) einen stärkeren Cut-off in der mittleren Troposphäre, was darauf hindeutet – wie bereits oben erwähnt –, daß kleinere Gitterdistanzen als 100 km und/oder die Berücksichtigung auch diabatischer Prozesse notwendig sind, um die zweite Entwicklungsphase der Leezyklone angemessen beschreiben zu können.

Eine Simulation ohne Berge im Modell führte ebenfalls zu einer sekundären Entwicklung, wenngleich hier die „Lee“-zyklone etwas weiter östlich zu liegen kommt (Bild 8a).

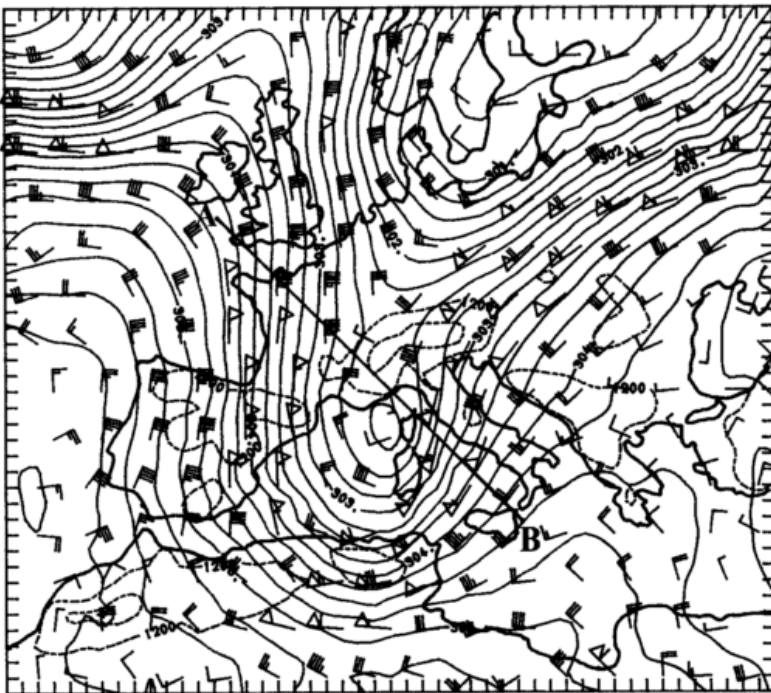


Bild 7a: 24-Stunden-Vorhersage der Höhenströmung zum 5. März 1982 12 UTC. Montgomery Potential ( $1000 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ ) und Wind (Knoten, konventionelle Notation) auf der isentropen Fläche 300 K. Die Strecke AB markiert die Lage des Vertikalschnittes in Bild 10.

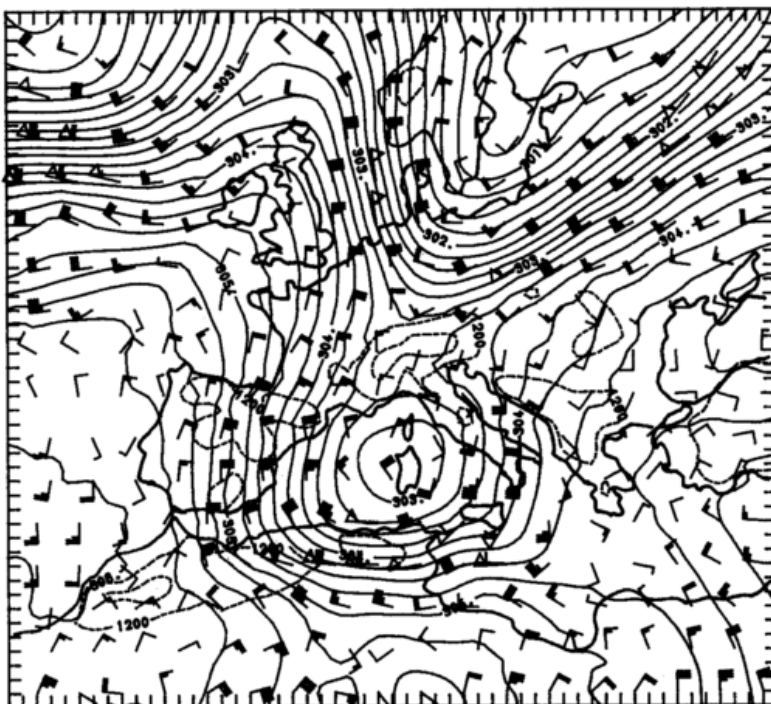


Bild 7b: Analyse der Höhenströmung am 5. März 1982 12 UTC. Montgomery Potential ( $1000 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ ) und Wind (Knoten, konventionelle Notation) auf der isentropen Fläche 300 K.

Dell'Osso und Tibaldi's Vergleichslauf ohne Orographie brachte ebenfalls eine Sekundärzyklone hervor, die sich jedoch erst später und an einen anderen Ort entwickelte. Sie starten ihre Simulation 24 Stunden früher, am 3. März 12 UTC. Bei der hier gewählten Startzeit kann man davon ausgehen, daß der Anfangszustand schon vom Gebirge beeinflusst ist (die Bodenfront zeigt bereits eine leichte Deformation, s. Bild 3b). Die zyklogenetische Entwicklung auch ohne Orographie ist daher - v.a. wenn man die starke vorgefundene Baroklinität in Betracht zieht - nicht überraschend. Die Kaltfront erleidet auch ohne Berge im Modell eine fortschreitende Deformierung (Bild 8b) wodurch sich im Warmsektor vor der Front ein Tief bilden kann. Diese Ergebnisse machen deutlich, daß, um glaubwürdige Ergebnisse aus Vergleichsläufen mit und ohne Orographie zu erzielen, die Startzeit wenigstens 24 Stunden vor der Ent-

wicklung der Leezyklone angesetzt werden muß. Auch ist das Ersetzen der festen Masse der Gebirge durch Luft in den Startfeldern ein Problem, vor allem dann, wenn einen Frontenzug schon Kontakt mit der Barriere hat. Auf jedenfall sollte der „Berg“luft eine solche Temperatur zugeschrieben werden, daß der Bodendruck über Meereshöhe in beiden Fällen gleich ist.

Bei einer weiteren Vergleichssimulation wurden die Alpen durch eine 3000 m hohe, bogenförmige Wand und die Pyrenäen durch eine 2000 m Wand ersetzt. Der sonstige Boden des Modells liegt auf Meereshöhe. Hier finden wir eine noch etwas stärkere Entwicklung der Leezyklone (Bild 9) als in der Simulation mit der „Envelope“-Orographie (Bild 5a, 7a). Das Ersetzen von Gebirgen durch senkrechte Wände im numerischen Modell scheint daher, zumindest in der hier betrachteten Skala, gerechtfertigt. Der Erfolg der

Bild 8a: 24-Stunden Boden-Vorhersage des isentropen Modells für den 5. März 1982 12 UTC. Isobarenabstand 2.5 hPa. Simulation ohne Orographie.

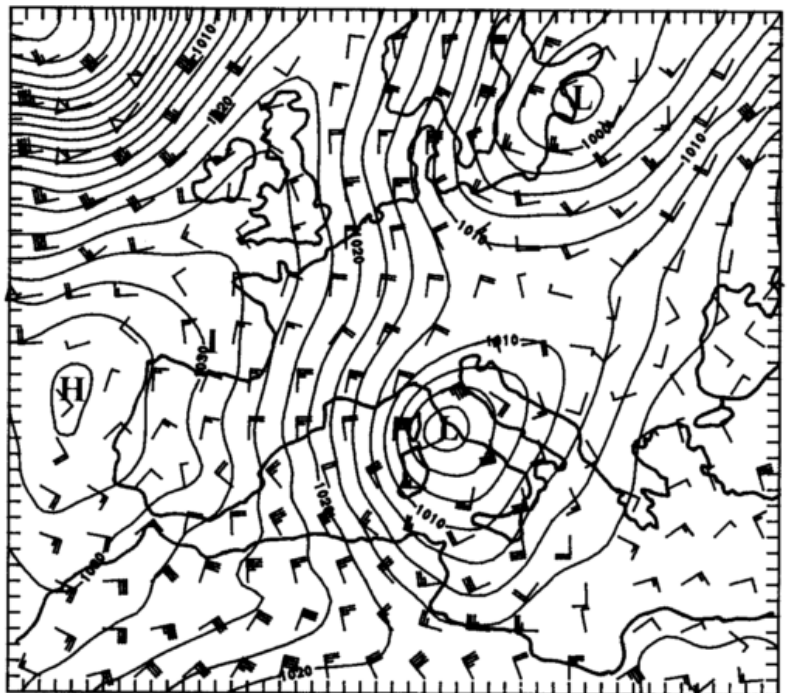
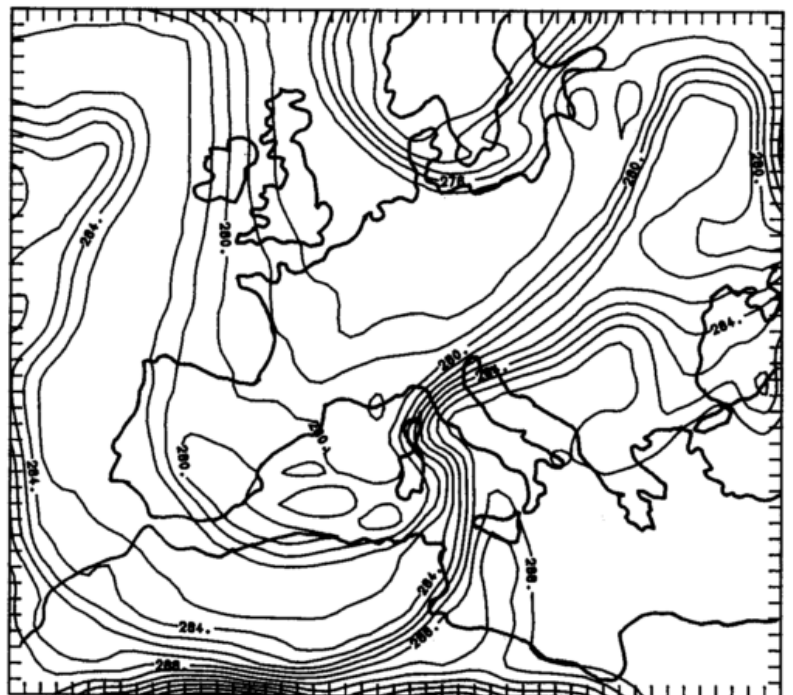


Bild 8b: Potentielle Temperatur (K) am Boden nach 24-stündiger Vorhersage für den 5. März 1982 12 UTC. Berechnet als massengewogenes Mittel in den untersten 75 hPa der Modellatmosphäre. Simulation ohne Orographie.



Eggerschen Simulationsversuche (1972, 1974) steht damit in engem Zusammenhang.

Zum Verständnis der physikalischen Abläufe während der Leezyklonogenese ist es hilfreich, sich des sogenannten 'IPV-Thinking', soll heißen: „Denken in isentroper potentieller Vorticity“, anzunehmen. Diese Denkungsweise wurde in HOSKINS et al. (1985) postuliert, doch sind die Grundbausteine dazu schon bei KLEINSCHMIDT (1950) zu finden. Letzterer hatte bereits bestimmte Körper hoher potentieller Vorticity in der Höhe als die „produzierende Masse“ von Zyklonen bezeichnet. Extratropische Zyklonogenese kann nach den Ausführungen obiger Autoren als Wechselwirkung potentieller Vorticityanomalien der oberen und unteren Troposphäre beschrieben werden. TAFFERNER (1988) stellte einen solchen Vorgang auch bei der alpinen Leezyklonogenese fest. Dies sei für den hier beschriebenen Fall

anhand von Vertikalschnitten durch die potentielle und relative Vorticity demonstriert. Bild 10a, ein Schnitt von Nordwest nach Südost über die Alpen durch das Zentrum der Leezyklone, zeigt Isentropen (ausgezogene Linien) und die potentielle Vorticity (strichliert). An der Vorderseite des potentiellen Vorticitymaximums findet sich starker Aufwind, der durch Massenflußdivergenz in der oberen Troposphäre hervorgerufen wird. Die hochgebogenen Isentropen auf der Nordseite der Alpen verdeutlichen die Blockierung von Kaltluft. Bild 10b zeigt in demselben Schnitt die Koppelung der relativen Vorticitymaxima am Boden und in der Höhe. Das Maximum am Boden ist mit der neu entstandenen Zirkulation im Druckfallgebiet im Lee der Alpen verbunden, während dasjenige in der Höhe durch die Verlagerung des Tiefdrucktroges über die Alpen advehiert wurde.

Für eine umfangreichere Darstellung der Simulationsergebnisse sei auf TAFFERNER (1988, 1990) verwiesen. Weitere Aspekte zur Dynamik der Leezyklonogenese sind in den Arbeiten von MATTOCKS und BLECK (1986), PICHLER et al. (1988), MCGINLEY und ZUPANSKI (1989), und SCHÄR (1989) zu finden.

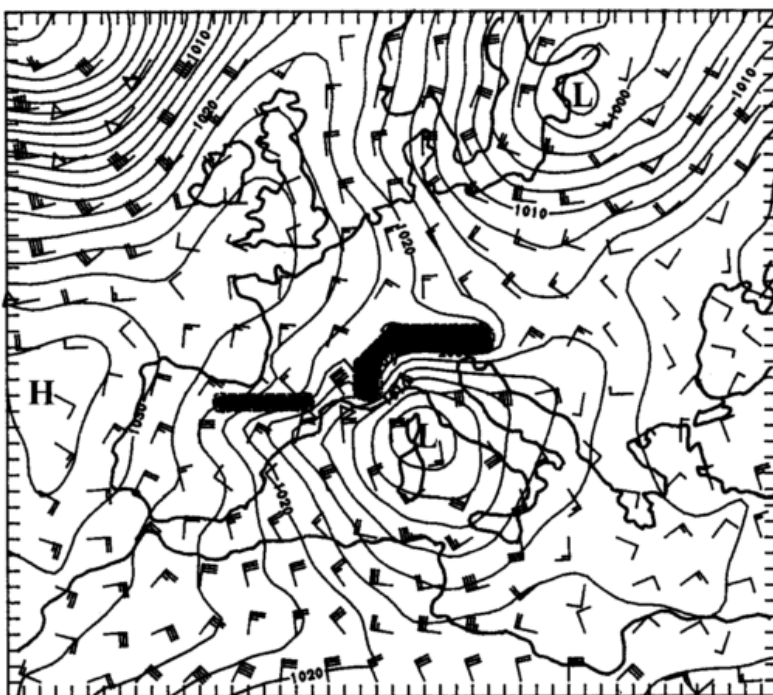


Bild 9a: 24-Stunden-Boden-Vorhersage des isentropen Modells für den 5. März 1982 12 UTC. Isobarenabstand 2.5 hPa. In der Simulation sind die Alpen und Pyrenäen durch senkrechte Wände von 3000 und 2000 m repräsentiert.

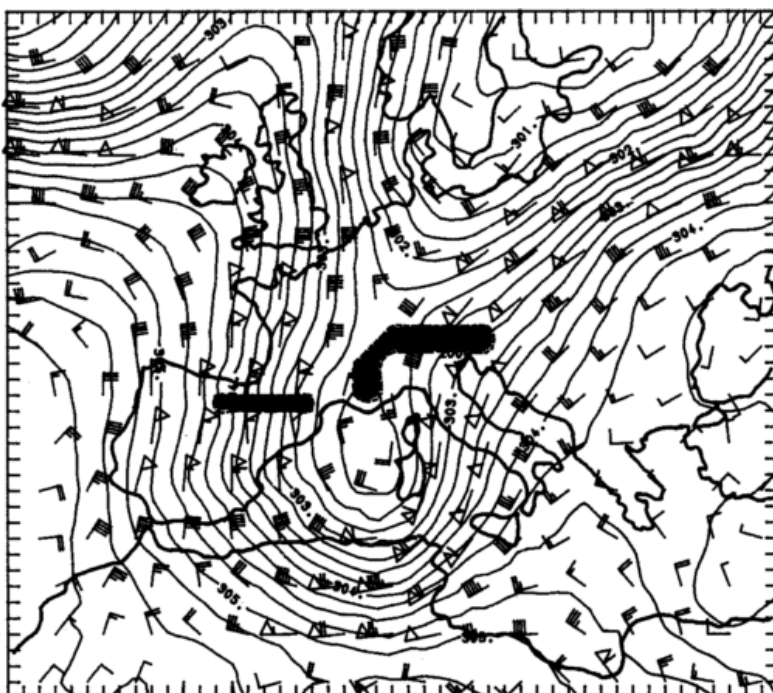


Bild 9b: 24-Stunden-Vorhersage der Höhenströmung zum 5. März 1982 12 UTC. Montgomery Potential ( $1000 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ ) und Wind (Knoten, konventionelle Notation) auf der isentropen Fläche 300 K. Simulation mit senkrechten Wänden (s. Bild 9a).

**Literatur**

ALPEX, 1982: Alpine Experiment, Experiment Design. GARP-ALPEX Publication Series No. 1, MWO, Geneva

BLECK, R., 1973: Numerical forecasting experiments based on the conservation of potential vorticity on isentropic surfaces. J. Appl. Meteor. 12, S. 737-752.

BLECK, R., 1975: An Economical Approach to the Use of Wind Data in the Optimum Interpolation of Geo- and Montgomery Potential Fields. Mon. Weather Rev. 103, S. 807-816.

BLECK, R., 1977: Numerical Simulation of Lee Cyclogenesis in the Gulf of Genoa. Mon. Weather Rev. 105, S. 428-445.

BLECK, R., 1982: A sensitivity experiment concerning the numerical simulation of lee cyclogenesis. ALPEX Preliminary Scientific Results. GARP-ALPEX, No. 7, WMO, Geneva, S. 20-35.

BLECK, R., 1984: An Isentropic Coordinate Model Suitable for Lee Cyclogenesis Simulation. Riv. Meteor. Aeronaut. 44, S. 189-194.

BLECK, R.; C. MATTOCKS, 1984: A preliminary analysis of the

Bild 10a: Vertikalschnitt entlang der Strecke AB in Bild 7a. Isentropen (ausgezogene Linien) und potentielle Vorticity ( $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s K/kg}$ ; strichliert) nach 24 Stunden Modellvorhersage zum 5. März 1982 12 UTC. Pfeile zeigen den ageostrophischen Wind in der Schnittebene. Die Vertikalgeschwindigkeit ist gegenüber der Horizontalgeschwindigkeit mit dem Faktor 100 skaliert. Maximale Vertikalgeschwindigkeit in der Zeichenebene ist 10 cm/s.

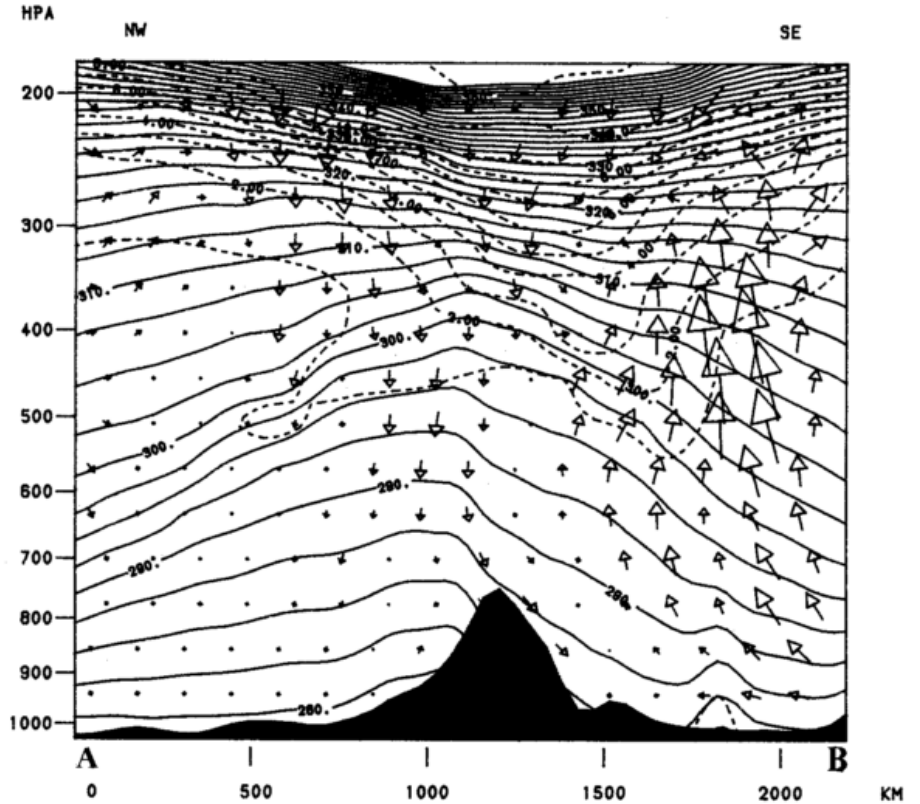
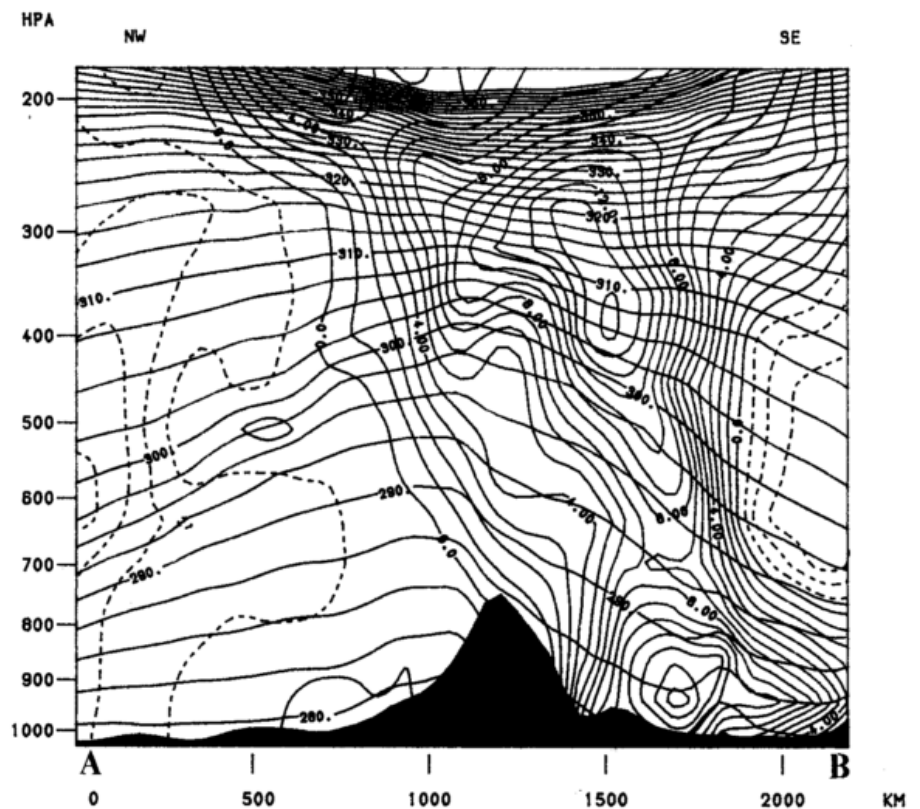


Bild 10b: Gleicher Vertikalschnitt wie Bild 10a, jedoch mit relativer Vorticity ( $10^{-5}/\text{s}$ ) anstelle von potentieller Vorticity.



- role of potential vorticity in Alpine lee cyclogenesis. *Beitr. Phys. Atmos.*, 57, S. 357-368.
- BUZZI, A.; S. TIBALDI, 1978: Cyclogenesis in the lee of the Alps: A case study. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 104, S. 271-287.
- BUZZI, A.; G. GIOVANELLI; T. NANNI; M. TAGLIAZUCCA, 1984a: Study of High Ozone Concentrations in the Troposphere Associated with Lee Cyclogenesis during ALPEX. *Beitr. Phys. Atmos.* 57, S. 380-392.
- BUZZI, A.; A. TREVISAN; E. TOSI, 1984b: Isentropic Analysis of a Case of Alpine Lee cyclogenesis. *Beitr. Phys. Atmosph.*, Vol. 58, 273-284.
- DELL'OSSO, L.; S. TIBALDI, 1982: Some Preliminary Results of an ALPEX Case of Lee Cyclogenesis. ALPEX Preliminary Scientific Results. GARP-ALPEX, No. 7, MWO, Geneva.
- DELL'OSSO, L., 1984: High-Resolution Experiments with the ECMWF Model: A Case Study. *Mon. Weather Rev.* 112, S. 1853-1883.
- DUTTON, J. A., 1976: *The Caseless Wind*. McGraw-Hill, New York.
- EGGER, J., 1972: Numerische Experimente zur Zyklgenese im Golf von Genua. *Beitr. Phys. Atmos.*, 45, S. 320-346.
- EGGER, J., 1974: Numerical Experiments on Lee Cyclogenesis. *Mon. Weather Rev.* 102, S. 847-860.
- EGGER, J., 1981: Thermally forced circulations in a valley. *Geophys. Astrophys. Fluid Dyn.* 17.
- ELIASSEN, A.; E. RAUSTEIN, 1970: A Numerical Integration Experiment with a Six Level Atmospheric Model with Isentropic Information Surface. *Meteor. Annaler* 5.
- FRENZEN, G.; P. SPETH, 1986: Comparative study of several cases of Alpine lee cyclogenesis: kinetic energy and vorticity. Scientific Results of ALPEX, GARP Publications Series No. 27, Vol I, WMO, Geneva.
- GANDIN, L. S., 1963: *Objective Analysis of Meteorological Fields*. English Translation, 1965, Jerusalem, Israel Program for Scientific Translations, 242 S.
- HORTAL, M.; A. JANSÁ; C. GIMENO, 1986: Spanish LAM Behaviour in two Cases of Mediterranean Cyclogenesis. Scientific Results of ALPEX, GARP Publications Series No. 27, Vol I, WMO, Geneva.
- HOSKINS, B. J.; M. E. McINTYRE; A. W. ROBERTSON, 1985: On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.* 111, S. 877-946.
- JANJIC, Z. I., 1977: Pressure Gradient Force and Advection Scheme Used for Forecasting with Steep and Small Scale Topography. *Beitr. Phys. Atmos.* 50, S. 186-199.
- KLEINSCHMIDT, E. 1950: Über Aufbau und Entstehung von Zyklonen. *Meteor. Rundsch.* 3, S.1-6.
- MATSUNO, T., 1965: Numerical integrations of the primitiv equations by a simulated backward difference method. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 44, S. 76-83.
- MATTOCKS, C.; R. BLECK, 1986: Jet streak dynamics and geostrophic adjustment processes during the initial stages of lee cyclogenesis. *Mon. Weather Rev.* 114/II, S. 2033-2056.
- McGINLEY, J. A., 1986: Vorticity Budgets for Alpine Cyclogenesis with and without the Forcing of Terrain. Scientific Results of ALPEX, GARP Publications Series No. 27, Vol I, WMO, Geneva.
- McGINLEY, J. A.; J. S. GOERSS, 1986: Effects of terrain height and blocking initialization on numerical simulation of Alpine lee cyclogenesis. *Mon. Weather Rev.* 114, S. 1578-1590.
- McGINLEY, J. A.; M. ZUPANSKI, 1989: Comparative Roles of Upper and Lower Dynamics in Alpine Lee Cyclogenesis. Preprint Volume, International Conference on Mountain Meteorology and ALPEX. Garmisch-Partenkirchen, 5-9 June 1989.
- MESINGER, F. 1977: Forward-Backward Scheme, and its Use in a Limited Area Model. *Beitr. Phys. Atmos.* 50, S. 200-210.
- MESINGER, F. 1985: The Sigma system problem. Preprint volume, Seventh Conference on Numerical Weather Prediction, Montreal, June 17-20, 1985. *Amer. Meteor. Soc.*, Boston, S. 340-347.
- MESINGER, F.; R. F. STRICKLER, 1982: Effect of Mountains on Genoa Cyclogenesis. *J. Meteor. Soc. Japan*, 60, S. 326-338.
- MESINGER, F.; R. T. PIERREHUMBERT, 1986: Alpine lee cyclogenesis: numerical simulation and theory. Scientific Results of ALPEX, GARP Publication Series No. 27, Vol. I, WMO, Geneva.
- MESINGER, F.; Z. I. JANJIC; S. NICKOVIC; D. GAVRILOV; D. G. DEAVEN, 1988: The Step-Mountain Coordinate: Model Description and Performance for Cases of Alpine Lee Cyclogenesis and for a Case of an Appalachian Redevelopment. *Mon. Weather Rev.* 116, S. 1493-1518.
- PIERREHUMBERT, R. T., 1984: Linear results on the barrier effects of mesoscale mountains. *J. Atmos. Sci.* 41, S. 1356-1367.
- PICHLER, H.; R. STEINACKER, 1987: On the Synoptics and Dynamics of Orographically Induced Cyclones in the Mediterranean. *Met. Atmos. Phys.* 36, S. 108-117.
- PICHLER, H.; R. STEINACKER; A. LANZINGER, 1988: Über den Zusammenhang der blockierenden Wirkung der Alpen und der Zyklgenese im westlichen Alpenraum. Institut für Meteorologie und Geophysik an der Universität Innsbruck. 7 Seiten, 12 Abbildungen.
- REIMER, E., 1986: Fine mesh analysis of Genoa Cyclogenesis by use of isentropic coordinate. Scientific Results of ALPEX, GARP Publications Series No. 27, Vol I, WMO, Geneva.
- SCHÄR, C., 1989: *Dynamische Aspekte der außertropischen Zyklgenese*. Dissertation ETH-Zürich.
- SPERANZA, A. 1975: The formation of baric depressions near the Alps. *Ann. Geofis.* 28, S. 177-217.
- TAFFERNER, A. 1988: *Strahlstromstruktur und Leezyklgenese*. Dissertation, wissensch. Mitt. 59, Universität München.
- TAFFERNER, A. 1990: Lee Cyclogenesis Resulting from the Combined Outbreak of Cold Air and Potential Vorticity against the Alps. *Meteor. Atmos. Phys.* 43, S. 31-47.
- TREVISAN, A., 1976: Numerical Experiments on the Influence of orography on Cyclone Formation with an Isentropic Primitiv Equation Model. *J. Atmos. Sci.* 33, S. 768-780.
- WALLACE, J. M.; TIBALDI, S.; A. J. SIMMONS, 1983: Reduction of systematic forecast errors in the ECMWF model through the introduction of an envelope orography. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 109, S. 683-717.
- ZALESÁK, S., 1979: Fully multidimensional flux-corrected transport algorithms for fluids. *J. Comput. Phys.* 31, S. 335-362.

# Theorien zur Leezyklogeneese

## 1 Einleitung

Historisch gesehen setzte die Theorienbildung zur alpinen Leezyklogeneese recht früh ein, wobei in Anbetracht des damals noch relativ schwach entwickelten theoretischen Rüstzeugs die Erklärungsversuche mehr qualitativen Charakter trugen. Als Beispiel sei hier an Fickers Deutung des Phänomens erinnert, den Datenanalysen zur Vorstellung von Druckwellen je in der unteren und oberen Troposphäre etwa im Sinne eines Zweischichtenmodells angeregt hatten (FICKER 1920). Dabei wird der Kaltluftvorstoß auf der Rückseite eines Tiefs durch die bodennahe, „sekundäre“ Druckwelle beschrieben, während die Entwicklung in der Höhe durch die „primäre“ Druckwelle erfaßt wird. Trifft nun ein solches mit einer Zyklone verbundenes Wellensystem auf die Alpen, so wird die untere Druckwelle, die im ungestörten Fall der oberen vorausseilt, durch die Alpen zurückgehalten, während die obere Druckwelle die Alpen überquert. Dies führt zur Bildung eines Tiefs im Lee. Bild 1 faßt diese Vorstellungen zusammen. Die Troglinie der primären Druckwelle ist mit I markiert, das mit der sekundären Welle verbundene Druckminimum mit II. Letzteres darf in etwa als Bodenfront interpretiert werden. Befindet sich die Störung westlich der Alpen, so stellt ein Beobachter im Punkt A Druckanstieg fest, wiewohl die obere Troglinie A noch nicht passiert hat. Für einen Punkt im Lee der Alpen dagegen fällt der Druck erst dann, wenn die Troglinie I über diesen Punkt hinweg gezogen ist, da die „Bodenfront“ durch die Alpen verzögert wurde. Es ist dann zumindest intuitiv einleuchtend, daß es im Lee unter diesen Umständen zur Bildung eines Tiefs kommen kann, wie in Bild 1 c angedeutet. Eine Theorie wird man die Fickerschen Gedanken nicht nennen wollen: fehlt doch jegliche Einsicht in den Grund für die Bewegung jener Druckwellen, geschweige denn in deren Kopplung. Dennoch bilden die Fickerschen Gedanken eine Keimzelle für Theorien. RADINOVIC (1965) hat hier angesetzt und ein quantitatives Verfahren zur Bestimmung der Verformung des Temperaturfeldes durch die Alpen gegeben.

Auch wenn diese älteren Arbeiten einen wichtigen Beitrag zum Verständnis der Leezyklogeneese gebracht haben – eine Lektüre der einschlägigen Texte empfiehlt sich auch heute noch – so konnte man mit dem erreichten Stand schwerlich zufrieden sein. Eine ausgereifte Theorie muß sich auf einen akzeptierten Gleichungssatz stützen und sollte bei entsprechend spezifizierten Rand- und Anfangsbedingungen eine analytische Lösung des Problems erlauben (MESINGER und PIERREHUMBERT 1986). Die Schwierigkeiten, denen sich eine solche Theorie gegenüber sieht, sind beträchtlich, müssen doch zumindest die Fickerschen Vorstellungen in Gleichungsform abgebildet sein. Solche Theorien sind besonders durch ALPEX angeregt worden. Die prominentesten Vertreter sind im folgenden Abschnitt präsentiert. Auf Mischformen, in denen numerische Experimentation mit theoretischen Vorstellungen kombiniert wird, sei hier nicht eingegangen (s. Beitrag 4 in diesem Heft).

## 2 Theorien der Leezyklogeneese

### 2.1 Theorie „Bologna“

Die hier als Theorie „Bologna“ bezeichnete Sicht der Leezyklogeneese wurde in den Jahren 1984-1989 von einer Gruppe in Bologna (SPERANZA et al. 1985; BUZZI und SPERANZA 1986; TREVISAN et al. 1988) entwickelt. Ausgangspunkt ist wie bei Ficker die Beobachtung, daß Leezyklogeneese nur im Zusammenhang mit dem Durchzug von Störungen im Alpenraum auftritt, wobei die Zugrichtung dieser Störungen grob gesprochen nach Osten gerichtet ist. Die Hypothese der Theorie „Bologna“ lautet, daß Leezyklogeneese aus der Verformung ostwärts wandernder barokliner Wellen durch die Alpen entspringt. Um diesen Gedanken im Rahmen eines Gleichungssystems zu entwickeln, müssen einschneidende Annahmen gemacht werden. Es wird zunächst gefordert, daß sich die in Mitteleuropa durchziehenden Störungen, die die Leezyklogeneese auszulösen haben, als lineare Abweichungen von einem zonalen Grundzustand mit positiver vertikaler Scherung verstehen lassen.

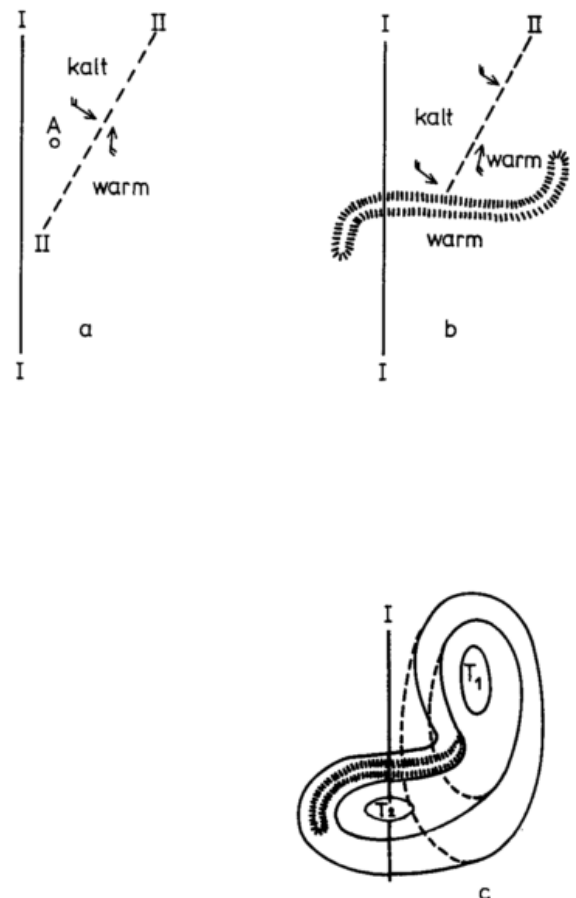


Bild 1: Lage des Druckminimums der primären (I) und sekundären (II) Welle westlich der (a) und (b) über den Alpen und Deformation des Bodendruckfeldes durch die Alpen (c) nach Ficker (1920), wobei die strichlierten Linien in (c) die Situation ohne Alpinen einfluss darstellen sollen.

Die Theorie solcher Wellen ist gut ausgearbeitet. Etwa das wohlbekannte Eady'sche Modell baroklin instabiler Wellen fällt in diese Kategorie. Die in solchen Modellen auftretenden baroklinen Wellen haben mit den in mittleren Breiten beobachteten Wellen einiges gemein, so etwa die Neigung der vertikalen Achse nach Westen, damit verbunden Warmluft auf der Vorderseite und Kaltluft auf der Rückseite eines Tiefs. Doch ziehen solche linearen Wellen immer exakt von West nach Ost, die Ausbildung von Okklusionen ist ausgeschlossen. Mit diesen linearen Wellen ist nun ein Windfeld verknüpft, das auf die Alpen zu reagieren hat. Dabei wird, wie bei linearen Theorien üblich, angenommen, daß die Alpen flach sind. Es wird an den Stellen, an denen der mit der Störung verknüpfte Wind auf steigendes Gelände trafe, angenommen, daß durch den flachen Erdboden hindurch Aufsteigen stattfindet. Ebenso tritt im Lee Luft in den Erdboden ein. Diese zunächst etwas seltsam anmutende Behandlung von Gebirgsüberströmung hat sich vielfach bewährt. Die durch die Alpen induzierte Vertikalbewegung führt nun zu einer Modifizierung der baroklinen Welle und der Bildung eines Tiefs im Lee. Bild 2 demonstriert den Vorgang. Gezeigt ist die Stromfunktion einer baroklinen Welle in der unteren Troposphäre, die über einen Berg hinwegzieht. Die Isolinien der Stromfunktion können auch als Isobaren interpretiert werden. Bei Annäherung des Troges hat man zunächst Südwind im „Alpenbereich“. Dies führt zu antizyklonaler Krümmung der Stromlinien im Luv und zu zyklonaler im Lee. Nach Passage der Trogachse setzt Nordwind ein und damit zyklonale Krümmung der Stromlinien im Lee. Nach einiger Zeit bildet sich im Lee ein abgeschlossenes Tief, das als Leezyklone gedeutet wird. Diese Leezyklone wandert nach Osten ab. Man beachte, daß dieser Vorgang asymmetrisch ist insofern als keine Leezyklonen im Norden der Alpen entstehen. Man beachte aber auch, daß die Symbole H und T in Bild 2 vertauscht werden können: Leeantizyklogeneese muß ebenso erwartet werden wie Leezyklogeneese.

Es ist unmittelbar klar, daß die Theorie „Bologna“ einige Aspekte der Leezyklogeneese gut erfaßt. Man hat großräumige Störungen, die in Mitteleuropa durchziehen und deren Beeinflussung durch die Alpen zur Bildung von Tiefdruckgebieten im Lee führt. Verdächtig ist das Auftreten von Antizyklonen im Lee, die mit den Zyklonen völlig gleichberechtigt sind. Dies stimmt in keiner Weise zu den Beobachtungen. Fronten bilden sich in der linearen Theorie „Bologna“ nicht, doch scheint Leezyklogeneese, wie numerische Modellrechnungen mit grober Auflösung gezeigt haben (z. B. EGGER 1972), nicht von der Existenz wohl ausgeprägter Fronten abzuhängen.

## 2.2 Theorie von Pierrehumbert (1985)

Der Ansatz von PIERREHUMBERT (1985) weicht in einem wichtigen Punkt von dem der italienischen Gruppe ab. Das Gebirge wird als vertikale Mauer angenommen, ist also nicht flach wie bei der Theorie „Bologna“ und kann somit Meridionalströmung blockieren. Allerdings hat die Einführung einer so realistischen Bedingung im Rahmen einer analytischen Theorie ihren Preis. Eine Lösung konnte nur im Rahmen des quasi-geostrophischen Konzepts erzielt werden, das nun gerade nicht für die Behandlung von Strö-

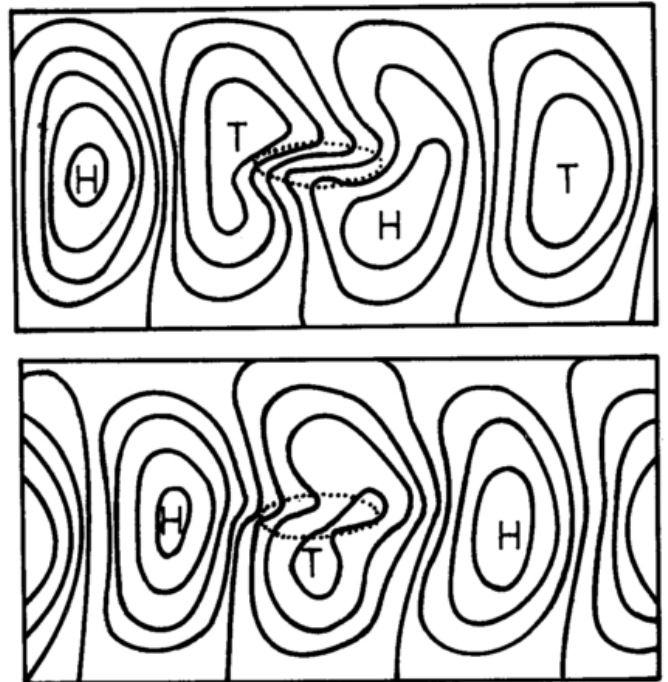


Bild 2: Theorie „Bologna“: Stromfunktion der über das Gebirge hinwegziehenden baroklinen Wellen in der unteren Troposphäre zu verschiedenen Zeiten. Dimensionslose Einheiten. Nach BUZZI und SPERANZA (1986).

mungen an vertikalen Wänden geeignet ist. Die auf die „Alpen“ zulaufenden Wellen werden dann de facto in zwei Teile zerschnitten, so daß sich im Süden sowohl wie im Norden eine Zyklone bildet. In den zu besprechenden Tests wurde die Einschränkung auf quasi-geostrophische Situationen fallen gelassen.

## 2.3 Theorie von Smith

Der Ansatzpunkt von SMITH (1984, 1986) unterscheidet sich deutlich von den bisher besprochenen. Nach Smith stellt sich beim Durchzug der synoptischen Störung im

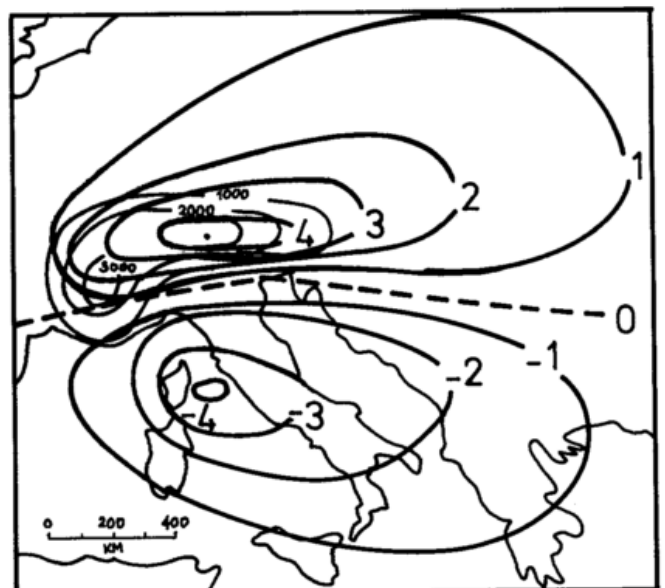
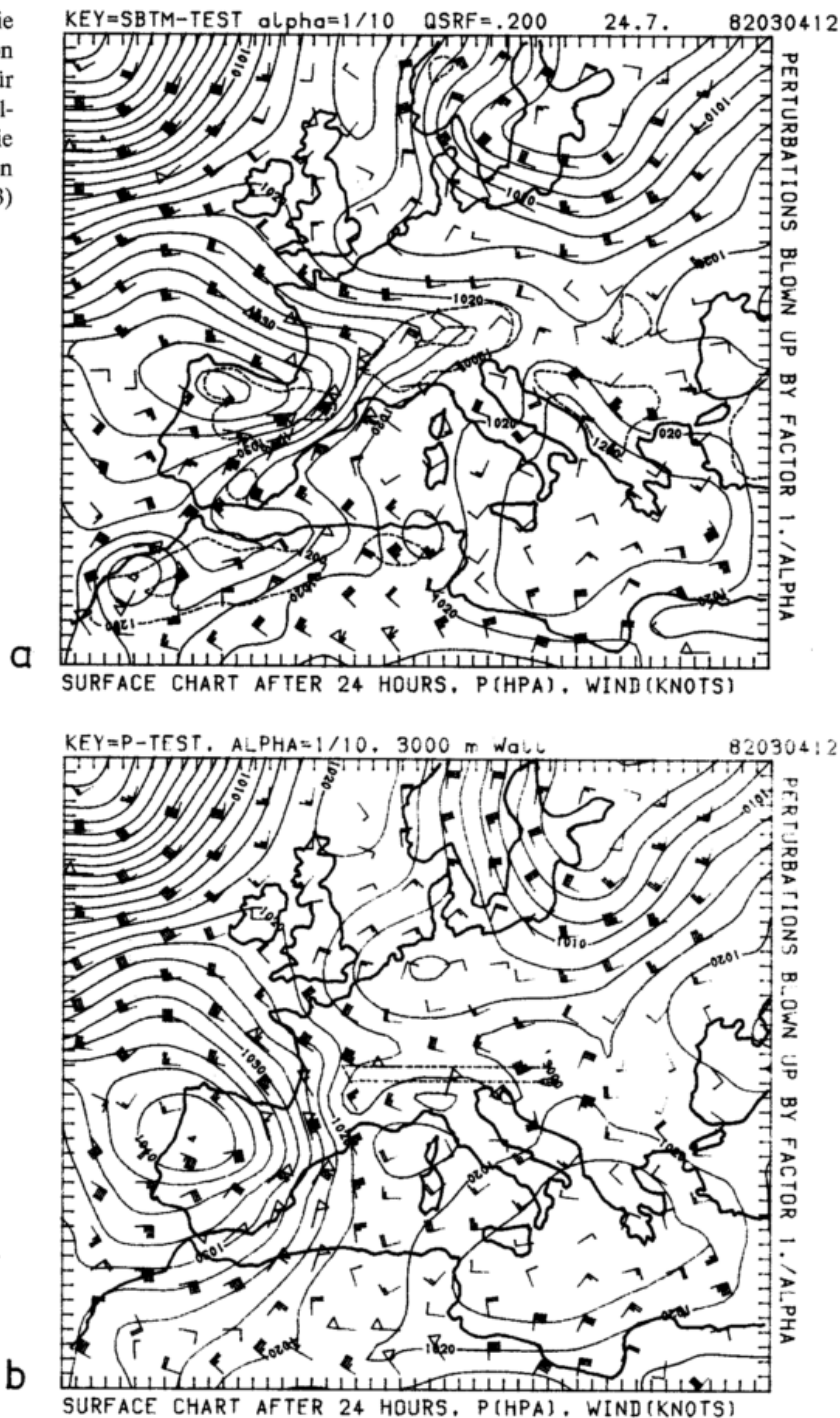


Bild 3: Theorie Smith. Bodendruckfeld (hPa) im Alpenbereich nach 24h wobei anfänglich keine Störung vorgegeben wurde. Nach SMITH (1986).

Bild 4: Test der Theorie „Bologna“ (a) und der Theorie Pierrehumbert (b). Lineare Vorhersage von Bodendruck (hPa) und bodennahem Wind für den 5. März 1982, 12 UTC ausgehend vom selben Anfangszustand am 4. März 12 UTC wie die Simulation, die in Bild 4 im Artikel von Tafferner im selben Heft präsentiert ist. (S. 93)



Alpenraum ein mittleres Windprofil ein, das durch starke Winddrehung mit der Höhe gekennzeichnet ist, wie man es für Situationen mit ausgeprägter Temperaturadvektion erwarten kann. Stößt nun Strömung mit diesem Profil auf die Alpen, die hier wieder als flach angenommen werden, so kommt es zur Ausbildung eines ortsfesten Troges im Lee, der sich rasch vertieft. Als Beispiel für eine solche Instabilität nach Smith ist in Bild 3 die Bodenstörung gezeigt, die sich nach 24 h Stunden im Lee der Alpen entwickelt, wenn ein halbwegs realistischer mittlerer Wind mit kräftiger Drehung zugrunde gelegt wird. Über den Alpen bildet sich ein Keil, im Lee ein Tief. Die Druckamplituden sind eher gering, doch ist zu bedenken, daß man hier nur die durch die Alpen induzierte Störung zu sehen bekommt. Das Gesamterscheinungsbild des Bodendruckfeldes in Bild 3 wird man wohl als realistisch ansehen.

### 3 Test von Theorien

Die vorgestellten Theorien haben ihre Stärken, doch auch klar sichtbare Schwächen. Zu den Stärken zählt die Fähigkeit, Leezyklonen hervorbringen zu können, wobei die Theorie „Bologna“ und die von Pierrehumbert insofern ehrgeiziger sind als die von Smith, als das gesamte Strömungsfeld im weiten Umkreis der Alpen mit umfaßt wird, während bei Smith die mittlere Strömung in Alpennähe vorgegeben wird, der Einfluß des durchziehenden Tiefdruckgebiets also nur implizit erfaßt wird. Bei der Theorie „Bologna“ und der von Pierrehumbert tritt die Linearität als deutliche Schwäche hervor, weil damit im Gegensatz zu den Beobachtungen Leezyklonen nicht häufiger sind als Leeantizyklonen, eine Schwäche, die der Smithschen Theorie nicht anhaftet. Dort gibt es nur Leezyklonen, wie-

wohl die Theorie linear ist. Um Antizyklonen zu erhalten, müßte man die Alpen durch ein entsprechendes Loch im Boden ersetzen. Dafür besteht bei der Theorie von Smith eine Schwierigkeit darin, daß nur der durch die Alpen induzierte Effekt bestimmt wird. Vergleicht man Resultate dieser Theorie mit Beobachtungen, so ist nicht unmittelbar klar, womit da verglichen werden kann. Der durch die Alpen induzierte Effekt läßt sich aus einer Wetterkarte nicht so ohne weiteres ablesen, da man ja die Entwicklung ohne alpinen Einfluß nicht kennt.

Angesichts dieser Situation empfiehlt es sich dringend, alle Theorien einem Test zu unterziehen, wobei als Werkzeug ein numerisches Modell vom Typ eines Wettervorhersagemodells herangezogen werden kann, das zur Simulation von beobachteten Fällen von Leezyklonogenese in der Lage ist. Das Vorgehen bei einem Test ist wie folgt: zunächst sucht man sich ein Ereignis aus, für das der Test durchgeführt werden soll. Dann versucht man dieses Ereignis, etwa eine Leezyklonogenese während ALPEX, mit dem Modell zu simulieren. Gelingt dies zufriedenstellend, so muß die Simulation zum Test einer Theorie wiederholt werden, wobei aber nun die Modellintegration so zu verändern ist, daß die Annahmen der betreffenden Theorie erfüllt sind. Dies bedeutet z. B. für einen Test der Theorie „Bologna“, daß zunächst ein zonaler Grundstrom zu bestimmen ist. Dies kann durch Mittelung des Anfangszustandes für die Leezyklonogenesesimulation in zentraler Richtung geschehen. Die aktuelle Anfangslage ist dann natürlich durch starke Abweichungen von diesem Zonalzustand charakterisiert. Die Theorie „Bologna“ nimmt nun an, daß diese Abweichungen sich wie lineare Störungen verhalten. Folglich müssen die Modellgleichungen bezüglich des ermittelten Zonalzustandes linearisiert werden, und die beobachteten Abweichungen zu Integrationsbeginn müssen als Störungen vorgegeben werden. Man hat also nach wie vor denselben Anfangszustand, doch die Dynamik des Modells ist im Testlauf eine lineare. Schließlich muß man bei Tests der Theorie „Bologna“ die Alpen im Sinne der linearen Theorie flach machen, bei Tests der Theorie von Pierrehumbert aber durch eine vertikale Wand ersetzen. Nun berechnet man mit Hilfe des linear gemachten Modells eine Vorhersage parallel zur ursprünglichen Simulation des Zyklonogeneseereignisses. Ist die lineare Theorie richtig, so sollte die Vorhersage mit dem linearen Modell nicht allzu stark von der nichtlinearen Simulation abweichen. Insbesondere sollte am Ende der Integration eine Leezyklone zu finden sein. Trifft dies nicht zu, so ist die Theorie für den untersuchten Fall falsifiziert.

Solche Tests wurden für die hier vorgestellten Theorien und für zwei während ALPEX aufgetretene Fälle durchgeführt (TAFFERNER und EGGER 1989). Hier seien Resultate für den ALPEX-Fall vom 4.-5. März 1982 diskutiert. Das verwendete Modell verfügt über 16 Schichten in der Vertikalen, wobei die potentielle Temperatur als Vertikalcoordinate dient. Das Integrationsgebiet ist aus Bild 4 zu ersehen. Randwerte werden zeitabhängig gemäß Beobachtungen vorgegeben. Die horizontale Maschenweite beträgt 100 km. Eine eingehende Beschreibung des Modells findet sich in BLECK (1984). Das Resultat einer 24-stündigen Vorhersage zum 5. März ist in Bild 5 des Beitrags 4 in diesem

Heft zusammen mit der eingetretenen Lage gegeben. Der Vergleich mit den Beobachtungen zeigt, daß die Simulation sehr gut geglückt ist. Man sieht in Übereinstimmung mit den Beobachtungen eine Leezyklone mit dem Zentrum bei Korsika. Über den Alpen hat sich ein Rücken hohen Drucks ausgebildet. Die zugehörige Vorhersage der Theorie „Bologna“ kann nicht befriedigen (Bild 4). Sie ergibt zwar Druckanstieg über den Alpen und längs der spanischen Mittelmeerküste mit Druckfall im Lee der entsprechenden Bergzüge, doch ist die Theorie außerstande, die Entstehung der Zyklone über dem Mittelmeer vorherzusagen. Die Theorie von Pierrehumbert liegt insofern besser, als sich hier in der Tat geschlossene Isobaren in Oberitalien bilden. Dennoch ist die Lage nur unzureichend erfaßt, weil die Theorie Pierrehumbert de facto nur niedrigen Druck nicht nur für Italien sondern auch für den Alpenraum und die Gebiete nördlich davon vorhersagt (Bild 4). Die Theorie Smith schließlich ist von vornherein zum Scheitern verurteilt, weil die beobachteten mittleren Winde im Alpenraum nur eine schwache Drehung mit der Höhe aufweisen, so daß die Ausbildung eines Leetrogs nicht zu erwarten war. Die durchgeführten Tests bestätigten diese Erwartung. Allerdings darf die Vorhersage nach Smith nicht mit der aktuellen Lage verglichen werden, sondern mit der Differenz einer Simulation mit Alpen und einer ohne Gebirge. Die Experimente für den Fall vom 21./22. März und für den erwähnten idealisierten Fall verliefen ebenso enttäuschend.

#### 4 Schlußbemerkung

Die geschilderten Tests machen deutlich, daß wir derzeit nicht über eine befriedigende Theorie zur alpinen Leezyklonogenese verfügen. Daraus folgt jedoch nicht zwingend, daß die vorgeschlagenen Theorien wertlos sind. Zunächst muß man fragen, was denn eine Theorie der Leezyklonogenese zu leisten imstande sein kann. Die durchgeführten Tests gehen implizit von der Annahme aus, daß eine Theorie der Leezyklonogenese in der Lage sein sollte, die beobachtete Entwicklung befriedigend wiederzugeben. Diesem hohen Anspruch genügen die Theorien nicht. Der Grund für dieses Versagen liegt unter anderem darin, daß die in den Theorien zugrunde gelegten Grundzustände zu einfach gewählt wurden. Die Wetterentwicklung in Mitteleuropa läßt sich nicht als Störung eines zonalen Grundzustandes verstehen, wie in den Theorien „Bologna“ und von Pierrehumbert angenommen. Auch vereinfacht der Ansatz von Smith die Lage zu sehr. Zusätzliche Rechnungen (EGGER 1988) deuten daraufhin, daß als Grundzustand die dreidimensionale zeitabhängige Lage vor dem Beginn des zyklonogenetischen Prozesses gewählt werden müßte. In diesem Fall läßt sich die beobachtete Entwicklung vermutlich recht gut als Störung im Sinne einer linearen Theorie verstehen. Die Durchführung einer solchen Theorie mit analytischen Hilfsmitteln dürfte wohl nicht möglich sein. Ist dies richtig, so muß man vermutlich von der Vorstellung Abstand nehmen, man könne beobachtete Fälle von Leezyklonogenese im Rahmen einer analytisch formulierten Theorie fassen. Was können solche Theorien dann noch leisten? Hier gibt es zumindest ermutigende Aspekte. BUZZI und TOSI (1989) haben aus Daten eine Art Störungsklimatologie für Mitteleuropa erstellt, aus der sich die typische Verlagerung von

Störungen vom Atlantik bis Osteuropa ersehen läßt. Die so ermittelten Wellenbewegungen zeigen eine auffallende Ähnlichkeit zu den Aussagen der Theorie „Bologna“. Sollte sich dieser Eindruck erhärten, so hätte die Theorie „Bologna“ immerhin einen wertvollen Beitrag zum Verständnis des Einflusses der Alpen auf Störungen in Mitteleuropa geleistet.

SCHÄR (1989) konnte zeigen, daß die Theorie Smith von Nutzen sein kann, wenn es zur Bildung von Leezyklonen in idealisierten Frontalzonen kommt. Dies deutet zumindest die Möglichkeit an, daß die Theorie Smith in modifizierter Form doch zum Verständnis von Leezyklonogenese beitragen kann. Sollten sich all diese Hoffnungen als trügerisch erweisen, so bliebe immer noch der nicht gering zu veranschlagende Trost, daß die intensive Diskussion und Prüfung jener Theorien unser Verständnis der Leezyklonogenese und dessen, was sie nicht ist, ein gutes Stück weiter gebracht haben.

#### Literatur

BLECK, R. 1975: An economical approach to the use of wind data in the optimum interpolation of geo- and Montgomery potential fields. *Mon. Weather Rev.* 103, S. 807-816.

BUZZI, A.; A. SPERANZA, 1986: A theory of deep cyclogenesis in the lee of the Alps. Part. II: effects of finite topographic slope and height. *J. Atmos. Sci.* 43, S. 2826-2837.

BUZZI, A.; E. TOSI, 1989: Statistical behaviour of transient eddies near mountains and implications for theories of lee cyclogenesis. *J. Atmos. Sci.* 46, S. 1233-1249.

EGGER, J., 1988: Alpine lee cyclogenesis: verification of theories. *J. Atmos. Sci.* 45, S. 2187-2203.

FICKER, H. v., 1920: Der Einfluß der Alpen auf Fallgebiete des Luftdruckes und die Entstehung von Depressionen über dem Mittelmeer. *Met. Zeitschrift* 37, S. 350-363.

PIERREHUMBERT R., 1985: A theoretical model of orographically modified cyclogenesis. *J. Atmos. Sci.* 42; S. 1244-1258.

RADINOVIC, D., 1965: On forecasting of cyclogenesis in the West Mediterranean and other areas bounded by mountain ranges by baroclinic model. *Arch. Met. Geophys. u. Bioklimatol.* A14, S. 279-299.

SCHÄR, C., 1989: Dynamische Aspekte der außertropischen Zyklonogenese. PhD-Thesis ETH-Zürich.

SMITH, R. B., 1984: A theory of lee cyclogenesis. *J. Atmos. Sci.* 41, S. 1159-1168.

SMITH, R. B., 1986: Further development of a theory of lee cyclogenesis. *J. Atmos. Sci.* 43, S. 1582-1602.

SPERANZA, A.; A. BUZZI; P. MALGUZZI: A theory of deep cyclogenesis in the lee of the Alps. Part. I: Modification of baroclinic instability by localized topography. *J. Atmos. Sci.* 42, S. 1521-1535.

TAFFERNER, A.; J. EGGER, 1990: Test of theories of lee cyclogenesis: ALPEX cases. *J. Atmos. Sci.* 47, S. 2417-2428.

TREVISAN, A.; L. FERRANTI; P. MALGUZZI, 1988: Further developments of normal mode theory of lee cyclogenesis: isentropic coordinate model. *J. Atmos. Sci.* 45, S. 3880-3888.

## Buchbesprechungen – Neuerscheinungen

WANNER, H. (Hrsg.): *Biel – Klima und Luftverschmutzung einer Schweizer Stadt*. Bern . . . : Haupt 1991, 455 S. ISBN 3-258-04301-9, 89,- DM.

Es handelt sich um den gelungenen Versuch, die Zusammenhänge zwischen den lufthygienischen Verhältnissen einer Stadt und den klimatologischen Gegebenheiten in Wechselwirkung mit ihrer topographischen Umgebung in diagnostischer und prognostischer Form darzustellen. Neben einer klimatologischen Mittelwertstatistik (Stärkewindrosen) wurden für die Untersuchung der Ausbreitung von Schadstoffen topographische Simulationsmodelle in den Maßstäben 1:25000 und 1:10000 verwendet. Im Maßstab 1:2000 wurden die Simulationsergebnisse mit denen eines Gaußmodells verglichen, wobei besonders der Einfluß der Reynoldszahl untersucht wurde. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse können bei bestimmten Einschränkungen für raumplanerische Fragestellungen auch in prognostischer Form Anwendung finden.

Weiterhin wurde der Einfluß meteorologischer und lufthygienischer Faktoren auf akute Atemwegserkrankungen bei Kindern untersucht. Eine Wirkungsanalyse an Pflanzen ergab sich aus der Anwendung der kalibrierten Flechtenindikationsmethode, die sich regressiv ebenso zum quantitativen Nachweis der lufthygienischen Gesamtbelastung einsetzen ließ.

Alle in diesem Buch vorgestellten praktischen Beispiele, Untersuchungsmethoden und Modellierungen sind für den Stadt- und Raumplaner wie auch für den mit Stadtklimagutachten befaßten Meteorologen gute Anregungen – obwohl nicht ohne weiteres übertragbar – ein Hilfsmittel für eigene Arbeiten. Jedes in sich abgeschlossenes Kapitel ist mit einer hinreichenden Anzahl neuerer Literatur versehen, so daß der Benutzer dieses Buches für planerische oder ausbreitungsklimatologische Probleme rasch Lösungsansätze finden kann.

H.-J. Swantes

VINCENT, J. H.: *Aerosol sampling. Science and practice*. Chichester . . . : Wiley 1989, 390 S. ISBN 0-471-92175-0.

JUTZI, W. (Hrsg.): *Luftschadstoffe und ihre Erfassung*. Zürich: Verlag d. Fachvereine 1991, 71 S. ISBN 3-7281-1778-1. *Lufthaushalt, Luftverschmutzung u. Waldschäden i. d. Schweiz Bd. 1.*

SCHÜPBACH, E. (Hrsg.): *Meteorologie und Luftchemie in Waldbeständen*. Zürich: Verlag d. Fachvereine 1991, 291 S. ISBN 3-7281-1781-1. *Lufthaushalt, Luftverschmutzung u. Waldschäden i. d. Schweiz Bd. 4.*

LAMB, H.: *Historic Storms of the North Sea, British Isles and Northwest Europe*. Cambridge Univ. Press 1991, 204 S. ISBN 0-521-37522-3.

CARLETON, A. M.: *Satellite remote sensing in climatology*. London: Belhaven 1991, 291 S. ISBN 1-85293-039-X. *Studies in Climatological Ser.*

# Institute stellen sich vor

## Die meteorologischen Institute in Ostdeutschland

### 1 Einleitung

Die meteorologische Lehre und Forschung entwickelte sich an den Universitäten und Hochschulen Ostdeutschlands nach 1945 im Rahmen der damals gegebenen bescheidenen Bedingungen relativ gut und den Bedürfnissen entsprechend. Am Geophysikalischen Institut der Universität Leipzig und am Institut für Meteorologie und Geophysik der Humboldt-Universität zu Berlin, hier auf Initiative Ertels, wurde die Ausbildung von Diplom-Meteorologen sowie die Nebenfachausbildung wieder aufgenommen. Letztere erfolgte bald auch an den Universitäten Halle, Jena und Rostock sowie an der Technischen Hochschule (später Technische Universität) Dresden.

Eine erste einschneidende Zäsur erfolgte im Jahr 1961, als der damals noch verhältnismäßig rege wissenschaftliche Austausch zwischen dem östlichen und westlichen Teil Deutschlands sowie dem westlichen Ausland weitgehend unterbrochen wurde. Entsprechende Beziehungen zu den einschlägigen Instituten der Länder Osteuropas entwickelten sich damals leider langsamer als unter den gegebenen Umständen wünschenswert gewesen wäre.

Besonders hart wurde die Hochschul-Meteorologie in der damaligen DDR durch die sogenannte 3. Hochschulreform Ende der sechziger Jahre getroffen. Anstatt die beiden Ausbildungsinstitute, zwischen denen sich eine Arbeitsteilung zum gegenseitigen Vorteil entwickelt hatte, beizubehalten, durfte ab 1971 die Meteorologenausbildung nur noch in Berlin weitergeführt werden. Wenngleich die Meteorologie damit das Schicksal weiterer kleinerer Fachrichtungen, insbesondere auch der anderen Geowissenschaften, teilen mußte, so kann man aus damaliger und heutiger Sicht seinerzeit führende Persönlichkeiten der DDR-Meteorologie nicht aus ihrer Mitverantwortung für die getroffene Entscheidung entlassen. Auch an den anderen Universitäten bzw. deren Fakultäten schrumpfte die Meteorologie. Es ist für die eingetretene Entwicklung symptomatisch, daß Ende 1990 an den meteorologischen Hochschuleinrichtungen – abgesehen vom Meteorologischen Institut der Humboldt-Universität – nur noch zwei „gelernte“ Diplom-Meteorologen tätig gewesen sind.

### 2 Das Meteorologie-Studium

Der Ablauf des Meteorologie-Studiums erfolgte auf der Grundlage von Studienplä-

nen, die in bestimmten Zeitabständen überprüft und der Entwicklung angepaßt wurden. Sie ließen insgesamt genügend Spielraum für die Lehrenden.

An beiden Ausbildungsinstituten wurde der physikalischen und mathematischen Grundlagenausbildung höchste Priorität eingeräumt. So blieb die Ausbildung über die Jahre hinweg im Kern stets kompatibel zu der in der Bundesrepublik Deutschland. Das in der Regel fünfjährige Studium (davon ein Jahr für die Diplomarbeit) zielte auf die Ausbildung eines Diplom-Meteorologen, der auf der Grundlage einer soliden Mathematik- und Physikausbildung über anwendungsbereite und fachspezifische Kenntnisse und Fertigkeiten verfügt sowie mit den hauptsächlichen Arbeitsmethoden der Meteorologie vertraut ist und diese selbständig anzuwenden weiß (vgl. BERNHARDT und KORTÜM 1979). Weil es im Meteorologischen Dienst keine dem Referendariat vergleichbare Ausbildungsphase gab, wurde der Synoptikausbildung relativ viel Platz im Studium eingeräumt.

Für beide Ausbildungsinstitute war (und ist) typisch, daß insbesondere für Spezialfächer Lehrbeauftragte aus dem Wetterdienst oder Forschungseinrichtungen herangezogen wurden. So waren in Leipzig neben anderen E. Bruns, H. Dahler, G. Dietze, H. Hinzpeter, E. v. Kilinski, H. Philipps, J. Rink, W. Warmbt und E. Wiechert zum Teil vieljährig als Vorlesende tätig, während für Berlin B. Barg, W. Böer, W. Böhme, L. Foitzik, Th. Foken, W. Häuser, M. Hendl, G. Hentschel, H.-J. Herzog, P. Hupfer, J. Kluge, W. König, P. Mauersberger, D. Möller, H. Philipps, M. v. Schönemark, D. Sonntag, J. Taubenheim und H. Wehner u.a. für die Jahre seit 1948 zu nennen sind.

Von der Wiedereröffnung bis 1968 wurden ca. 190 Diplom-Meteorologen (in Leipzig ca. 120, in Berlin ca. 70) ausgebildet. Von 1969 bis 1991 wurden in Berlin 236 Diplome verliehen, so daß insgesamt an den genannten Universitäten etwa 450 Meteorologen das Studium absolvierten.

Die Promotionen („Promotion A“ seit 1969) und Habilitationen („Promotion B“ seit 1969) verteilten sich wie folgt:

	Promotionen		Habilitationen	
	1946 - 1969	1970 - 1990	1946 - 1969	1970 - 1990
Leipzig	57	ca. 15	7	1
Berlin	25	66	8	16
Zusammen:	82	ca. 81	15	17

Insgesamt wurden demnach ca. 160 Promotions- und 32 Habilitationsverfahren durchgeführt. Zu dieser Zahl müßten entsprechende Graduierungsverfahren auf dem Gebiet der Meteorologie, die gelegentlich auch an den anderen Instituten erfolgten, noch hinzugerechnet werden.

In Berlin wurden für Meteorologen und Wissenschaftler anderer Richtungen regelmäßig Weiterbildungswochen veranstaltet, die u.a. die Gebiete Theorie der Zufallsfunktionen, Planetarische Grenzschicht, moderne statistische Methoden und Fortschritte in der Klimatologie betrafen. Weiterbildungsveranstaltungen wurden auch in Leipzig und an anderen Instituten durchgeführt.

### 3 Die Institute

#### 3.1 Humboldt-Universität zu Berlin

##### 3.1.1 Meteorologisches Institut

Der erste Lehrstuhl für Meteorologie in Deutschland wurde im Jahr 1885 an der Berliner Universität eingerichtet und mit W. v. Bezold besetzt. Allerdings wurden die Lehraufgaben und das Ordinariat bis 1934 in Personalunion durch das Preußische Meteorologische Institut wahrgenommen. Während das 1934 gegründete Meteorologische Institut der Universität vor dem 2. Weltkrieg durch die hervorragende Persönlichkeit H. v. Fickers geprägt worden war, war es in den Jahren nach 1945 bis 1962 vor allem H. Ertel, der das Institut wiedererrichtete und zu einem hohen Stand in Lehre und Forschung – diese besonders auf dem Gebiet der theoretischen Meteorologie und der geophysikalischen Hydrodynamik – führte (BÖHME und KÖRBER 1982). Die Ertelsche Linie setzte sein Nachfolger O. Lucke prinzipiell fort. Seit 1971 war das Institut (ab 1968 als Bereich Meteorologie und Geophysik an der Sektion Physik, Bereichsleiter 1969 – 1990 K. Bernhardt) allein für die Ausbildung von Diplom-Meteorologen in der damaligen DDR zuständig. In der Ausstattung des Instituts schlug sich dies jedoch kaum nieder.

Auf dem Gebiet der Forschung entwickelten sich über längere Zeit hinweg zwei Schwerpunkte, die die Gebiete *Dynamik*



Bild 1: Das Meteorologische Institut der Humboldt-Universität ist in zwei am Müggelsee gelegenen Villen in Berlin-Friedrichshagen untergebracht. Hier forschte und lehrte Hans Ertel.

der Atmosphäre, insbesondere Grenzschichtmodellierung sowie Klima- und Klimafolgenforschung betreffen.

Die Arbeiten zum zuerst genannten Schwerpunkt haben überwiegend theoretischen Charakter und sind vorrangig auf operationelle Anwendbarkeit der Ergebnisse gerichtet. Die Hauptrichtungen betreffen theoretische Untersuchungen und Modellierung stationärer und instationärer atmosphärischer Grenzschichten, empirisch-statistische und klimatologische Bearbeitungen von Grenzschichtparametern aus Routine-Radiosondendaten, Auswertung und Interpretation spezieller Grenzschichtmessungen sowie Untersuchung und Modellierung spezieller mesometeorologischer Erscheinungen sowie theoretische Grundlagen der Thermohydrodynamik und der atmosphärischen Turbulenz (zur Zeit H.-F. Albert, K. Bernhardt, B. Klose, W. Mix, H. Pethe sowie Diplomanden und Doktoranden).

Die Untersuchungen zur Klimatologie, die am Institut J. Hoffmeister bis 1959 und später F. Kortüm (Wärmehaushaltsuntersuchungen, speziell Lysimetermessungen) bis 1978 vertraten, konzentrieren sich vor allem auf die Diagnostik klimatologischer Prozesse auf der Grundlage spezieller Methoden der mathematischen Statistik und entsprechender Auswertungen langer Datenreihen. In den letzten zehn Jahren betrafen die bearbeiteten Fragestellungen methodische Grundlagen der Zeitreihenanalyse und deren Anwendung (M. Olberg), großräumige Variationen im Klimasystem, insbesondere ENSO-Auslösung und Klimaeffekte von Vulkanausbrüchen (H.-F. Graf, bis 1990), regionale Klimadynamik (P. Hupfer), Folgen rezenter Klimaschwankungen (P. Hupfer, F.-M.

Chmielewski) sowie die Untersuchung des urbanen Mesoklimas am Beispiel von Berlin (A. Helbig). Die Mehrzahl dieser Themen wird seit 1990 durch das BMFT gefördert.

### 3.1.2 Agrarmeteorologie

Die Bemühungen der Landwirtschaftlichen Fakultät, die Agrarmeteorologie in ihr Lehr- und Forschungsprofil aufzunehmen, waren nur zeitweise erfolgreich (M. Linke), da die personelle Besetzung nicht kontinuierlich möglich war.

### 3.1.3 Forstmeteorologie

Diese Disziplin wurde an der Forsthochschule Eberswalde, der späteren Forstwissenschaftlichen Fakultät der Humboldt-Universität gepflegt, wo J. Bartels 1934 ord. Professor für Meteorologie und Physik wurde. Bis 1960 hat F. Kortüm zusammen mit R. Lütke dort Untersuchungen zum forstlichen Wärme- und Wasserhaushalt sowie zu anderen Problemen angestellt. Diese Fakultät wurde schon in der ersten Hälfte der sechziger Jahre geschlossen, die Institute wurden der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften angegliedert. Gegenwärtig werden an der nunmehrigen Forschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft forstmeteorologische Untersuchungen einschließlich der traditionellen Lysimetermessungen zur Lösung waldökologischer Probleme weiterbetrieben.

## 3.2 Universität Leipzig

### 3.2.1 Geophysikalisches Institut und Folgeeinrichtungen

An der Leipziger Universität hat die Meteorologie eine sehr lange, in Physik und

Astronomie wurzelnde Tradition. Im Jahr 1913 wurde das Geophysikalische Institut gegründet und V. Bjerknes als erster Direktor berufen. Seine Blütezeit durchlief das Institut ab 1923 unter L. Weickmann, der 1932 mit der Errichtung des Geophysikalischen Observatoriums Collm dem Institut den unverwechselbaren Charakter gab. Das 1943 zerstörte Institut wurde nach dem Krieg durch W. Hesse wieder arbeitsfähig gemacht und kommissarisch geleitet. M. Robitzsch, der seit 1950 den Lehrstuhl innehatte, verstarb schon zwei Jahre später. Eine erneute Phase der Ausweitung durchlief das Institut zwischen 1955 und 1959, als K. Schneider-Carius das Direktorat innehatte. In der erklärten Absicht, die Geophysik in ihren drei Hauptzweigen an einem Institut vertreten zu haben, gründete er 1957 das Maritime Observatorium Zingst an der Ostseeküste, unterstützt durch den Ozeanographen E. Bruns. Dadurch wurde das Institut in die Lage versetzt, die in der DDR als Studiengang nicht vertretene Ozeanographie als Nebenfach zu pflegen (P. Hupfer), während in Berlin Ertel und Kobe die theoretische Ozeanographie vertraten. In dieser Zeit waren die Physik der freien Atmosphäre, insbesondere die physikalischen Prozesse in der Grundschicht die Hauptarbeitsgebiete am Institut, an dem auch das Synoptik- und Gerätepraktikum erweitert wurden (KORTÜM 1963). Ab 1961 leitete F. Kortüm das Institut mit den angeschlossenen Observatorien. Der von ihm angeregte Forschungsschwerpunkt betraf Untersuchungen zum Wärmehaushalt in verschiedenen Aspekten. Fortgeführt wurden die Forschungen zur planetaren Grenzschicht (K. Bernhardt) und zu synoptischen Problemen (Chr. Hänsel). Die zielstrebige Entwicklung einer Industriemeteorologie (H. Koch, S. Schienbein) war darauf gerichtet, meteorologische Fachkenntnisse in bestimmten Industriezweigen anzuwenden, und Meteorologen damit auch eine Perspektive in der Industrie zu bahnen (s. KOCH 1968). Diese Richtung brachte das Institut in Konflikte mit dem Meteorologischen Dienst, der sein Statut verletzt sah.

Wie oben bereits erwähnt, wurde das Geophysikalische Institut im Zuge der 3. Hochschulreform 1971 aufgelöst.

Es gelang aber, die Observatorien sowie Teile des Instituts (darunter die mechanische und elektronische Werkstatt) an der Universität zu halten, die in den Fachbereich Geophysik der Sektion Physik eingegliedert wurden. Während die Lehre von da ab durch Nebenfach- und Weiterbildung gekennzeichnet war, wurden in der Forschung Untersuchungen zum Strahlungs- und Wärmehaushalt der Stadtatmosphäre unter Nutzung eines „Stadtobservatoriums“ im Universitätshochhaus (Chr. Hänsel), zur Bestimmung spektraler



Bild 2: Das Geophysikalische Observatorium Collm der Universität Leipzig, das L. Weickmann 1932 gründete.

Charakteristiken der Atmosphäre und ihrer Modellierung im Hinblick auf die Aerosolverteilung (W. v. Hoyningen-Huene) sowie zu meeresklimatischen Schwankungen und zur Wechselwirkung Meer/Atmosphäre im ufernahen Bereich (P. Hupfer) aufgenommen bzw. weitergeführt.

Gegenwärtig ist die Meteorologie im Institut für Geophysik und Meteorologie an der Sektion Physik vertreten. Der Studiengang Meteorologie wurde zum Wintersemester 1990 wieder aufgenommen, wengleich wichtige Bedingungen dafür erst wieder geschaffen werden müssen. Eine C4-Professur wurde ausgeschrieben und soll möglichst bald besetzt werden.

### 3.2.2 Geophysikalisches Observatorium Collm

Das vor rund 60 Jahren eingeweihte Observatorium am Collmberg in der Nähe von Oschatz (KOCH und SCHMINDER 1963) dient seit mehr als 30 Jahren vorrangig der Hochatmosphärenforschung (R. Schminde) sowie der Seismologie (B. Tittel). Mit einer beachtenswerten Kontinuität ist der zuerst genannte Schwerpunkt der Dynamik der Hochatmosphäre gewidmet, speziell der systematischen Untersuchung der Windsysteme in der oberen Mesopausenregion über Mitteleuropa einschließlich der vertikalen Windgradienten sowie der verschiedenen Störungen und Anomalien. Die Messungen werden auf der Grundlage von Reflexionshöhen- und Similar-fading-Messungen an Raumwellen verschiedener Frequenz kommerzieller Langwellensender, die an benachbarten Punkten am

Boden empfangen werden, durchgeführt. Die dazu erforderlichen Wind- und Höhenmeßanlagen werden am Observatorium selbst entwickelt (D. Kürschner). Am Observatorium finden Studentenkurse mit Vorlesungen und Übungen statt.

### 3.2.3 Maritimes Observatorium Zingst

An diesem kleinen Observatorium sind die Forschungsschwerpunkte „Darß-Zingster Boddenkette“ sowie „Wechselwirkung Meer/Atmosphäre sowie dynamische Prozesse im ufernahen Meer“ aufgrund der Lage vorgegeben (HUPFER und PETERSON 1963). Von meteorologischem Interesse sind die seit den sechziger Jahren vorgenommenen experimentellen Untersuchungen zum Wassertemperaturfeld und seinen Variationen, zu den Übergängen der bodennahen meteorologischen Felder im

Bereich der Uferlinie, insbesondere Erforschung der internen Grenzschicht des Windfeldes, der Variabilität des Schubspannungskoeffizienten, der Turbulenz im ufernahen Meer und der darüberliegenden wassernahen Luftschicht, der direkten Messung der molekularen Temperaturgrenzschicht, der langen Wellen im Uferbereich u. a. m. (u. a. H.-J. Brosin, Th. Foken, P. Hupfer, A. Raabe, H.-J. Schönfeldt). Hervorzuheben ist die Unterhaltung meteorologischer Standardmessungen zu beiden Seiten der Uferlinie seit Ende der siebziger Jahre, wodurch jetzt ein unikaler Datensatz verfügbar ist. Ein besonderes Merkmal des Observatoriums sind seine mehrwöchigen Kurse zur Meereskunde und maritimen Meteorologie für Studenten verschiedener Richtungen und Universitäten, die nach Bedarf durchgeführt werden.



Bild 3: Das nur ca. 200 m von der Ostsee gelegene Maritime Observatorium der Universität Leipzig im Ostseebad Zingst.

### 3.2.4 Agrarmeteorologie

Auf Initiative von W. Hesse wurde 1953 ein Institut für Agrarmeteorologie an der Landwirtschaftlichen Fakultät gegründet, das auch über ein gut ausgestattetes Meßfeld in Holzhausen b. Leipzig verfügte. Dieses Institut wurde mit der Aufgabe des Lehr- und Forschungsgebietes *Pflanzenproduktion* an der Leipziger Universität infolge der 3. Hochschulreform um 1970 wieder aufgelöst.

### 3.3 Technische Universität Dresden

In Dresden bestehen zwei Traditionslinien der Meteorologie. Die eine geht bis in die Gründungszeit der Technischen Hochschule zurück, die andere ist mit der Forstlichen Hochschule Tharandt, die später Teil der TH bzw. dann der TU Dresden wurde, verbunden.

Nach 1945 wurde nach der vorausgegangenen Vergabe von Lehraufträgen im Jahr 1951 eine Dozentur für Meteorologie gebildet, die zunächst nebenamtlich von J. Goldtschmidt, danach ab 1953 von H. Pleiss bekleidet wurde. Dieser begründete Ende 1954 das Institut für Forstliche Meteorologie und Klimakunde (nunmehr mit Professur). Das relativ kleine Institut befaßte sich vorrangig mit Mikro- und Geländeklimatologie und spezieller forstlicher Meteorologie. In der Lehre wurde die Meteorologie entsprechend der Bedürfnisse verschiedener Disziplinen an dieser großen Technischen Universität vertreten.

In Zusammenhang mit der 3. Hochschulreform wurde das Institut an die neu gegründete Sektion Wasserwesen überführt. Es bestand innerhalb des Bereiches Hydrologie und Meteorologie als *Lehrgebiet Meteorologie* weiter. Im Tharandter Wald wurde das Versuchsfeld *Wildacker* aufgebaut (1990 durch einen 40 m hohen Stahlturm weiter ergänzt) und weitere Voraussetzungen für experimentelle Untersuchungen geschaffen. Forschungsobjekte waren das Waldrandklima, meteorologische Aspekte der Waldschadensforschung, rechnerische Kartierungen von Schwefeldioxid-Relativwerten für das Gesamtgebiet der DDR (G. Flemming, H. Junghans) sowie Geländemeteorologie und Klimatologie, bevorzugt unter dem Blickwinkel der hydrometeorologischen und hydrologischen Funktion des Waldes (PLEISS und FLEMMING 1979). In den letzten Jahren enthielt das breite Aufgabenspektrum Niederschlags-, Bodenfeuchte-, Schnee-, Grundwasser-, Abfluß- und Verdunstungsmessungen in

speziellen Versuchsgebieten (Hydrometeorologie), Untersuchungen der atmosphärischen Deposition, der Transformation des meteorologischen Inputs durch den Waldbestand, des Bodenwasser und Wärmehaushaltes u.w. (Forstmeteorologie) sowie die Einrichtung einer agrarmeteorologischen Station mit Untersuchungen zur Phänologie sowie des Bodenwärme- und Wasserhaushaltes an verschiedenen Beständen und Brachen (G. Flemming, G. Peschke).

In der Lehre wird die Meteorologie für Forstwirte, für Hydrologen und Studenten weiterer Disziplinen vertreten, unter anderem wird eine Vorlesung zur Meteorologie der Tropen und Subtropen gehalten.

### 3.4 Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Diese Universität hat mit die längste Tradition auf dem Gebiet der Agrarmeteorologie in Deutschland. Von den Nachkriegsjahren an bis zu seiner Emeritierung im Jahr 1975 bestimmte A. Mäde als Leiter des Lehrstuhls und Begründer des Agrarmeteorolo-

gischen Instituts mit seinen Arbeiten zur Ertragsbildung, Agrarklimatologie und anderen Problemen die Entwicklung auf diesem Teilgebiet der Meteorologie in Halle (HOFFMANN 1990). In der Folgezeit fand diese Disziplin innerhalb der vormaligen Sektion Pflanzenproduktion eine Heimstatt (G. Müller). Es werden Vorlesungen für Landwirte und Hörer aller Fakultäten gehalten sowie experimentelle Untersuchungen durchgeführt, die u.a. den bestandsspezifischen Wärme- und Wasserhaushalt der Böden sowie den Kohlendioxidgehalt der Bodenluft in Verbindung mit der Bodenatmung betreffen. Ferner gilt das Interesse der Wechselwirkung zwischen agrarmeteorologischen und weiteren standortkundlichen Größen sowie der Nutzung von Routinedaten für agrarmeteorologische Zwecke u.a.m.

### 3.5 Friedrich-Schiller-Universität Jena

Das kleine Meteorologische Institut an historischer Stelle im Jenenser Schillergäßchen hat von Anfang der fünfziger bis zum Ende der sechziger Jahre unter der Leitung



Bild 4: Der neue Meßturm der Waldklimastation auf dem Ökologischen Meßfeld im Tharandter Wald, das zum Institut für Hydrologie und Meteorologie der Technischen Universität Dresden gehört.

von H.-G.-Koch (u. a. bekannt durch seine *Wetterheimatkunde von Thüringen* 1953) Vorlesungen und Übungen auf den Gebieten Meteorologie und Agrarmeteorologie im Nebenfach sowie Weiterbildungsveranstaltungen durchgeführt. In der Forschung standen Fragen der Regional- und Topoklimatologie, aber auch des Aerosols und Klimas als Produktions- und Gesundheitsfaktors (H. Kauf), der Aerosole in Zusammenhang mit Talinversionen sowie der Zusammenhänge zwischen Witterung und Honigertrag im Mittelpunkt des Interesses (MÄDE 1983). Nach der Hochschulreform wurde zwar die lange Klimareihe Jenas durch die Universität fortgeführt, die Disziplin Meteorologie aber bis auf ein Minimum gekürzt.

Seit kurzem besteht eine Arbeitsstelle Meteorologie (G. Kluge) im Astrophysikalischen Institut der Physikalisch-Astronomischen Fakultät, innerhalb der die Lehre, die Erfüllung regionaler Erfordernisse sowie eine physikorientierte meteorologische Forschung im kleinen Rahmen wieder aufgenommen werden sollen.

### 3.6 Universität Rostock

In Rostock spielte die Meteorologie seit 1945 nur eine relativ geringe Rolle, zumal die früher von G. Falckenberg begründete und geleitete *Universitätsluftwarte* im Krieg zerstört und nicht wieder aufgenommen wurde (BAUER 1983). Im Rahmen der Physik hat E. A. Lauter ab 1953 für einige Jahre die Tradition Falckenbergs fortgeführt, indem er nebenamtlich Vorlesungen zur Physik der Hochatmosphäre hielt und zahlreiche Promotionen und Habilitationen auf diesem, im nahegelegenen Kühlungsborner Observatorium betriebenen Gebiet förderte.

Meteorologische Lehre und Forschung, besonders auf dem Gebiet der Agrarmeteorologie werden in Rostock auch im Rahmen der Standortkunde und -melioration der bisherigen Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion (A.-F. Bauer) durchgeführt.

### 4 Ausblick

Bereits in naher Zukunft wird sich die Anzahl der meteorologischen Institute an den ostdeutschen Universitäten erhöhen. So werden voraussichtlich an der Universität Rostock Studiengänge für Meteorologie und Ozeanographie im Zusammenhang mit der durch den Wissenschaftsrat empfohlenen Bildung der *Blaue Liste*-Institute *Institut für Atmosphärenphysik* und *Institut für Ostseeforschung* ins Leben gerufen. Im Raum Berlin-Brandenburg wird neben den meteorologischen Instituten an der Freien Universität Berlin und an der Humboldt-Universität ein *Institut für Klimafolgenforschung* an der Universität Potsdam neu entstehen. Das Leipziger Universitätsinstitut mit der gerade wiederaufgenommenen Ausbildung in Meteorologie wird durch das vorgesehene *Institut für Troposphärenforschung* in Leipzig sowie das im Raum Halle/Leipzig zu bildende Umweltforschungszentrum unterstützt und gestärkt.

Es ist auch zu hoffen, daß sich die Institute, die die Meteorologie in der Nebenfachausbildung vertreten, in Zukunft ebenfalls angemessen entwickeln können.

### Literatur

BAUER, A.-F.: Erinnerung an die ehemalige Universitätsluftwarte Rostock anläß-

lich ihres 70. Gründungstages. *Z. Meteorol.* 33 (1983) Nr. 4, S. 273-274.

BERNHARDT, K.; KORTÜM, F.: Zur Entwicklung der Meteorologie an den Hochschuleinrichtungen der Deutschen Demokratischen Republik. *Z. Meteorol.* 29 (1979) Nr. 5, S. 269-278.

BÖHME, W.; KÖRBER, H.-G.: Hans Ertel zum 10jährigen Todestag am 2. Juli 1981. *Z. Meteorol.* 32 (1982) Nr. 5, S. 269-271.

HOFFMANN, K.: Alfred Mädes Leistungen für die Agrarmeteorologie. *Z. Meteorol.* 40 (1990) Nr. 3, S. 146-150.

HUPFER, P.; v. PETERSSON, H.: Das Maritime Observatorium Zingst des Geophysikalischen Instituts der Karl-Marx-Universität Leipzig. Veröff. Geophys. Inst. Leipzig, 2. Ser., 18 (1963) Nr. 1, S. 35-56.

KOCH, H. (Hrsg.): *Industriemeteorologie*. Leipzig: Deutsch. Verlag für Grundstoffindustrie 1969.

KOCH, H.; SCHMINDER, R.: Zum 30. Jahrestag der Gründung des Geophysikalischen Observatoriums Collm. Veröff. Geophys. Inst. Leipzig, 2. Ser., 18 (1963) Nr. 1, S. 17-34.

KORTÜM, F.: Das Geophysikalische Institut der Karl-Marx-Universität Leipzig in der Zeit von 1949-1962. Veröff. Geophys. Inst. Leipzig, 2. Ser., 18 (1963) Nr. 1, S. 7-16.

MÄDE, A.: Horst-Günther Koch 17. 3. 1911 - 4. 5. 1981. *Z. Meteorol.* 33 (1983) Nr. 1, S. 1.

PLEISS, H.; FLEMMING, G.: Die Meteorologie an der Technischen Universität Dresden. *Z. Meteorol.* 29 (1979) Nr. 1, S. 3-7.

P. HUPFER, Berlin

## Zentrum für Meeres- und Klimaforschung der Universität Hamburg (ZMK)

### Zusammenfassung

In Hamburg soll innerhalb der neunziger Jahre ein Zentrum für Marine und Atmosphärische Wissenschaften (ZMAW) entstehen. In seiner ersten Phase, die 1989 begonnen hat, wurden fünf Institute der Universität (Meereskunde, Meteorologie, Geophysik, Biogeochemie und Meereschemie, Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft) zum Zentrum für Meeres- und Klimaforschung (ZMK) der Universität Hamburg zusammengefaßt. Gleichzeitig wurde der Bau eines neuen Gebäudes in Hamburg-Bahrenfeld (neben der Biologischen Anstalt Helgoland und DESY) in

Angriff genommen. Etwa 1995 wird das ZMK dort gemeinsam mit dem Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPIM) und dem Deutschen Klima-Rechenzentrum (DKRZ) einziehen. In einer zweiten Phase wird die Integration mit der Biologischen Anstalt Helgoland (BAH) zum ZMAW angestrebt.

### 1 Hintergrund

Moderne Meeresforschung ist größtenteils kostenintensive, logistisch aufwendige, interdisziplinäre Forschung, die die wissenschaftliche Kompetenz und die materiellen

Möglichkeiten eines traditionellen Instituts übersteigt. Als adäquate, effiziente und ökonomische Organisationsform bietet sich ein Zentrum mit verschiedenen Fachabteilungen und gemeinsam genutzten zentralen Einrichtungen an, das über eigenständige personelle und materielle Ressourcen verfügt. Derartige Einrichtungen sind in Kiel (Institut für Meereskunde an der Universität Kiel) und Bremerhaven (Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung) vorhanden, nicht aber in Hamburg. Hier ist die Meeresforschung über eine Vielzahl von universitären und außeruniversitären Institutionen verteilt.

Trotz im allgemeinen unterkritischer Ausstattung ist es den Hamburger Universitätsinstituten dennoch in den zurückliegenden Jahren erfolgreich gelungen, eine Reihe größerer Projekte der Meeres-, Klima- und Umweltforschung durchzuführen. Dies war und ist möglich durch eine großzügige Drittmittelförderung in Sonderforschungsbereichen (SFB 94, 318, 327) und in verschiedenen BMFT- und EG-Projekten. Bei der Gründung des Zentrums geht es auch und zunächst darum, diese Forschungskapazität auf Dauer zu erhalten.

Darüber hinaus gibt es eine Reihe gewichtiger genereller Argumente, die für die geplante Konzentration der Meeresforschung sprechen. Zu diesen gehören:

- Bedarf für eine Intensivierung der Grundlagenforschung besteht vor allem auf den Grenzgebieten benachbarter meeresbezogener Wissensgebiete. Eine multidisziplinäre Institution begünstigt hier eine allseitige Sachkompetenz.
- Die großen wissenschaftlichen Herausforderungen, die sich bei der Nutzung (und dem Mißbrauch) des Meeres durch den Menschen ergeben, führen zu interdisziplinären Fragestellungen. Genannt seien Klimaforschung und marine Ökosysteme. Ein Zentrum ist für das Aufgreifen solcher Themen prädestiniert.
- Die Erfahrung und die Beobachtung der marinen Umwelt erfordern im Bedarfsfall ein schnelles und flexibles Handeln, das am ehesten von einer multidisziplinär ausgerichteten Institution mit der entsprechenden Infrastruktur sichergestellt werden kann.
- Dies gilt auch für die auf allen Gebieten der Meeres- und Klimaforschung immer enger werdende weltweite Zusammenarbeit, die von einem traditionellen kleinen Institut weder in der erforderlichen Breite, noch mit einer hinreichenden logistischen Unterstützung geleistet werden kann.

Vor diesem Hintergrund hat eine Ad-hoc-Kommission des Bundesministers für Forschung und Technologie und der Behörde für Wissenschaft und Forschung der Freien Hansestadt Hamburg ein Konzept zur Errichtung eines *Zentrums für Marine und Atmosphärische Wissenschaften* (ZMAW) erarbeitet, das im März 1987 vorgelegt wurde. Die Gründung des ZMK ist der erste wichtige Schritt zur Realisierung dieses Konzeptes.

## 2 Aufgaben

Das Forschungsprogramm setzt naturgemäß bei den gegenwärtig bearbeiteten mittelfristigen Themen sowie den vorhandenen Ideen und Plänen für neue interdisziplinäre Projekte an und entwickelt

diese unter den günstigen Rahmenbedingungen des Zentrums weiter. Dies bedeutet, daß die in der Ausführung oder in der Bearbeitung befindlichen fächerübergreifenden Forschungsvorhaben wie Sonderforschungsbereiche, BMFT-Projekte oder andere große Forschungsaktivitäten planmäßig fortgeführt werden. Das Zentrum eröffnet hier die Möglichkeit, diese Projekte durch Einbeziehung weiterer Disziplinen um wichtige und interessante Komponenten zu erweitern.

Generell sollen künftige Forschungsschwerpunkte weltweit aktuellen Notwendigkeiten entsprechen, ausgewiesene Stärken der Hamburger Meeres-, Klima- und Umweltforschung aufgreifen und fördern sowie einen günstigen Rahmen für neue künftige Kooperationen eröffnen.

Derartige Themen sind für das ZMK

- Wechselwirkung zwischen Ozean und Atmosphäre
- Aquatische Ökosysteme
- Struktur des Meeresuntergrundes.

Die Untersuchung der *Wechselwirkung Ozean/Atmosphäre* trifft einen weltweiten Forschungsschwerpunkt der marinen Wissenschaften und eignet sich aufgrund der in Hamburg geleisteten Vorarbeiten und des hier gewachsenen Potentials besonders gut als ein übergeordnetes und langfristiges Forschungsthema. Gegenwärtig besteht auf diesem Sektor der Sonderforschungsbereich 318 *Klimarelevante Prozesse im System Ozean-Atmosphäre-Kryosphäre*, der vom Institut für Meereskunde, dem Meteorologischen Institut und dem Max-Planck-Institut für Meteorologie getragen wird. Die Arbeiten stützen sich wesentlich auf Modelle, die zur Simulation der Wechselwirkungen zwischen den Systemkomponenten dienen, weiterhin auf Feldexperimente mit den Forschungsschiffen *Valdivia*, *Meteor* und *Polarstern*. Schließlich wird in diesem Rahmen die Fernerkundung weiterentwickelt und ausgebaut, auch im Hinblick auf den gerade erfolgten Start des europäischen Satelliten

ERS-1. Ein weiteres internationales Programm in diesem Bereich, in dem das Zentrum aktiv mitarbeitet, ist das *World Ocean Circulation Experiment* (WOCE). Schließlich sind noch Arbeiten zum Paläoklima und zur Paläo-Ozeanographie zu nennen, an denen auch Sedimentologen und Geochemiker mitwirken.

Im Themenkreis *Aquatische Ökosysteme* geht es um die Analyse des gesamten marinen und limnischen Systems mit seinen verschiedenen Teilkomponenten. Hierzu gehören die quantitative Erforschung von Stoffkreisläufen und Energiebilanzen sowie die Reaktion des Ökosystems auf natürliche und künstliche Änderungen der Umweltbedingungen. Dieser Aufgabenbereich umfaßt das aktuelle Arbeitsgebiet des Instituts für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft. Er betrifft aber auch das Institut für Biogeochemie und Meereschemie, das Institut für Meereskunde und das Meteorologische Institut. Interdisziplinäre Vorhaben, die in diesem Bereich bestehen, sind der Sonderforschungsbereich 327 *Wechselwirkung zwischen abiotischen und biotischen Prozessen in der Tide-Elbe* sowie das BMFT-Projekt *Prozesse im Schadstoffkreislauf Meer-Atmosphäre* (PRISMA). International beteiligt sich das Zentrum an der Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS).

Der Bereich *Struktur des Meeresuntergrundes* ist an der Universität Hamburg bereits eingerichtet; er wird vornehmlich durch das Institut für Geophysik, aber auch durch das Institut für Biogeochemie und Meereschemie getragen. Schwerpunkte sind Grundlagen- und angewandte Forschung bis hin zur Prospektionsgeophysik. Künftige interdisziplinäre Projekte, an denen sich auch die Ozeanographen und Biologen beteiligen, betreffen die Themen *Abbau mariner Ressourcen und Umweltschutz* und *Tiefseedeponie von radioaktiven Stoffen*.

Die den beteiligten Universitätsinstituten obliegenden Lehraufgaben werden auch



Logo des ZMK. Es erhielt den ersten Preis in einem ZMK-internen Wettbewerb. Gestalter ist der Meteorologe H. Hoerber.

weiterhin wahrgenommen. Die leitenden Wissenschaftler sind gleichzeitig Professoren der Universität mit allen Rechten und Pflichten. Sie werden nach den Berufsordnungen der entsprechenden Fachbereiche ausgewählt und sind deren Mitglieder. Die Einrichtungen des Zentrums werden für die Ausbildung der Studenten zur Verfügung gestellt.

Das Zentrum dient der freien Forschung, d. h. die Wissenschaftler bestimmen die Inhalte ihrer Forschung selbst. Als Sonderaufgabe betreibt es die *Leitstelle Meteor/Valdivia*.

### 3 Struktur

Das Zentrum gliedert sich in Institute. Die Institute arbeiten innerhalb ihres Aufgabenbereiches selbständig; sie stellen eigene Forschungsprogramme und Haushaltspläne auf. Ihre Direktoren sind Professoren der Universität. Gegenwärtig umfaßt das Zentrum die folgenden fünf Institute:

- Institut für Meteorologie
- Institut für Meereskunde
- Institut für Geophysik
- Institut für Biogeochemie und Meereschemie
- Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft.

In dieser Konstellation hat das Zentrum unter Beibehaltung der gegenwärtigen etatmäßigen und Drittmittelförderung etwa 300 Mitarbeiter und einen Etat von rund 25 Millionen DM. Es hat damit die notwendige kritische Masse, um Meeresforschung als fächerübergreifende, logistisch aufwendige Forschung zu betreiben.

Aufgaben, Rechtsform und innere Ordnung des Zentrums werden durch eine Satzung geregelt, die die folgenden Leitlinien enthält:

- Das ZMK ist eine Forschungseinrichtung der Universität Hamburg.
- Das Zentrum umfaßt wissenschaftliche Institute und zentrale Einrichtungen.
- Organe des Zentrums sind der Direktor und der Vorstand.
- Der Vorstand setzt sich zusammen aus dem Direktor des Zentrums, den Geschäftsführenden Direktoren der Institute und dem Leiter der Abteilung Meereschemie. Ihm gehören ferner ein Vertreter des wissenschaftlichen Mittelbaus, ein Vertreter des technischen und Verwaltungspersonals und zwei Vertreter der Studenten an. Der Leiter der Verwaltung des Zentrums und die Sprecher der Fachbereiche Geowissenschaften, Biologie und Chemie können beratend an den Sitzungen des Vorstandes teilnehmen.

- Der Vorstand entscheidet in allen grundsätzlichen, das gesamte Zentrum betreffenden Angelegenheiten. Dazu gehören insbesondere das Forschungsprogramm, der Haushaltsplan und die Besetzung wichtiger Personalstellen.
- Der Direktor wird aus dem Kreis aller Professoren vom Vorstand für eine Amtszeit von drei Jahren gewählt.
- Der Direktor vertritt das Zentrum und führt dessen Geschäfte in eigener Verantwortung. Er entscheidet über die Verteilung der dem ZMK zugewiesenen Haushaltsmittel.

Das Zentrum kann seine Aufgaben nur dann effizient erfüllen, wenn alle beteiligten Institutionen und gemeinsamen Einrichtungen in einem einheitlichen Gebäudekomplex untergebracht werden. Dies wird durch einen Neubau in Hamburg-Bahrenfeld in räumlicher Anbindung an die BAH und das Deutsche Elektronen-Synchrotron (DESY) geschehen. Wegen der traditionell starken Bindungen zwischen Zentrum und Max-Planck-Institut für Meteorologie wird auch das MPIM gemeinsam mit dem DKRZ auf das neue Gelände ziehen.

### 4 Gegenwärtiger Stand

Eine Reihe wichtiger Schritte zur Errichtung des Zentrums sind inzwischen getan worden. Der Wissenschaftsrat hat das vorgelegte Konzept eingehend geprüft und gutgeheißen (Broschüre 'Stellungnahmen zur Meeresforschung', Köln 1989). Er hat insbesondere der Aufnahme der notwendigen Baumaßnahmen in das Hochschulbauförderungsprogramm zugestimmt.

Das Gesamtflächenvolumen von rund 29.500 m<sup>2</sup> soll in zwei Bauabschnitten realisiert werden:

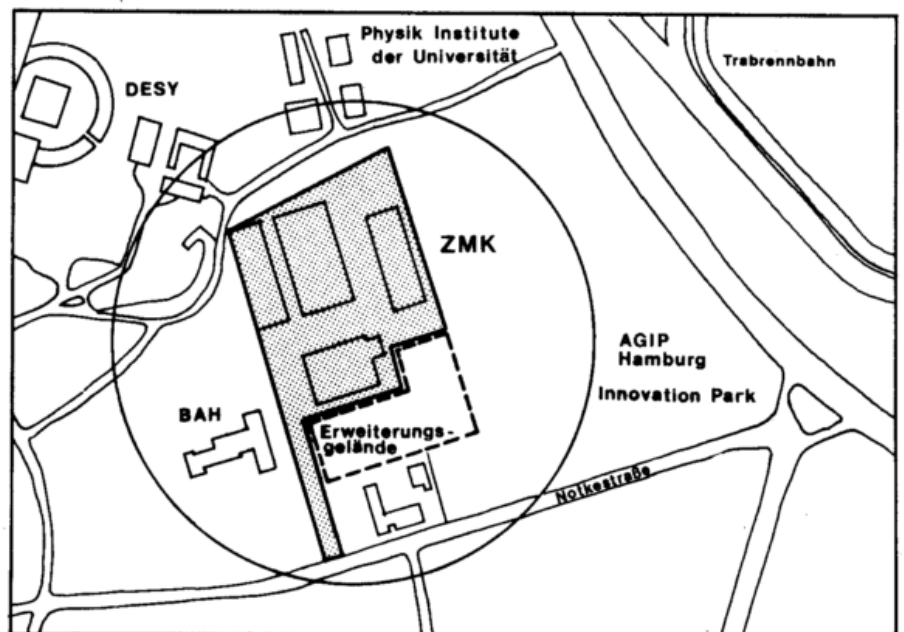
I bis 1995	24.500 m <sup>2</sup> , davon
– Universität	18.800 m <sup>2</sup> für
	Meteorologisches Institut, Institut für Meereskunde, Institut für Geophysik, Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft, Institut für Biogeochemie und Meereschemie.
– Max-Planck-Institut	3.200 m <sup>2</sup>
– Deutsches Klimarechenzentrum	2.500 m <sup>2</sup>
II nach 1995	5.000 m <sup>2</sup>
	Zusatzbedarf der Institute

Der Wissenschaftsrat hat Wert darauf gelegt, daß das Zentrum innerhalb der Universität realisiert wird. Er hat empfohlen, die Integration der BAH zunächst um fünf bis sieben Jahre zurückzustellen und die bestehenden Kooperationen auszubauen.

Die Freie und Hansestadt Hamburg hat für rund 8 Millionen DM das vorgesehene Gelände in Hamburg-Bahrenfeld gekauft. Sie hat weitere 67 Millionen DM für den ersten Bauabschnitt in die mittelfristige Finanzplanung eingestellt.

Die Raumplanung durch die Hochschulinformations-System GmbH Hannover (HIS) ist soweit abgeschlossen, daß jetzt ein städteplanerischer Wettbewerb für die Gestaltung des Forschungszentrums ausgeschrieben werden kann.

Die Universität hat teils aus Beständen der marinen Geologie und organischen Che-



Künftiges Gelände des ZMK in Hamburg-Bahrenfeld. Unmittelbar benachbart sind die BAH, DESY und der neu entstehende (kommerzielle) 'Innovation Park'.

mie, teils durch Schaffung neuer Stellen (C4 Biogeochemie, C3 Meereschemie) das Institut für Biogeochemie und Meereschemie neu eingerichtet. Sie hat entsprechend den Empfehlungen des Wissenschaftsrates eine Satzung für das ZMK verabschiedet.

Mit Verfügung des Präses der Behörde für Wissenschaft und Forschung der Freien und Hansestadt Hamburg vom November

1989 ist das ZMK gegründet worden. Die satzungsgemäßen Organe wurden alsbald eingerichtet. Zum ersten Direktor wurde Professor Jürgen Sündermann (Ozeanographie), zu seinem Stellvertreter Professor Walter Nellen (Fischereiwissenschaft) gewählt.

Gegenwärtig wird an integrierten Forschungsprogrammen für die neunziger Jahre gearbeitet, die die einzelnen Diszi-

plinen des Zentrums stärker zusammenführen, insbesondere im Rahmen der internationalen Global-change-Programme. Naturgemäß ist ein großer Teil der Arbeit in der jetzigen Phase aber auch der Bauplanung und solchen „Kleinigkeiten“ wie einem Jahresbericht, einem eigenen Vorlesungsverzeichnis, der Einrichtung einer Geschäftsstelle und der Wahl eines geeigneten Symbols gewidmet.

J. SÜNDERMANN, Hamburg

---

## Aus dem Deutschen Wetterdienst

---

### METLIS - Das meteorologische Literaturinformationssystem des DWD

Seit 1989 besteht beim Zentralamt des Deutschen Wetterdienstes die bibliographische Datenbank METLIS. Sie stellt das Kernstück eines künftig zu schaffenden Fachinformationssystems Meteorologie dar. Mit Hilfe von METLIS werden Literaturrecherchen zu meteorologischen Fachthemen für Mitarbeiter des Wetterdienstes sowie für Interessenten von außerhalb durchgeführt. Das Meteorologische Literaturinformationssystem wurde in der Bibliothek des DWD entwickelt, und dort wird es auch unterhalten und gepflegt.

#### *Was ist in METLIS enthalten?*

METLIS enthält zur Zeit über 105000 DE (Dokumentationseinheiten). Das sind Titelaufnahmen (ergänzt um DK-Zahlen) des gesamten meteorologischen Schrifttums, das bei der Bibliothek des DWD seit 1970 formal erfaßt und inhaltlich erschlossen (d.h. mittels Dezimalklassifikation klassifiziert) wurde. Die ausgewertete Literatur umfaßt neben Monographien und Zeitschriftenaufsätzen Diplom- und Doktorarbeiten, Projekt- und Konferenzberichte, Reports u.s.w., also auch die sogenannte Graue Literatur. Die gesamte in METLIS zitierte Literatur ist in der Bibliothek des DWD vorhanden und ausleihbar, für DWD-Fremde allerdings nur über die Fernleihe anderer Bibliotheken.

#### *Informationstechnisch hat METLIS folgende Eigenschaften:*

METLIS ist eine IM/DM - Datenbank. IM/DM, ein von der Battelle-Tochter IDI Inc. entwickeltes Datenbanksystem für Main-frame-Rechner, nutzt als Host die CYBER 860 (MFA) des Meteorologischen Rechenzentrums des DWD. IM/DM kann von vielen Benutzern gleichzeitig genutzt werden.

Wenngleich die Benutzeroberfläche von METLIS aufgrund von Unzulänglichkeiten

von IM/DM noch nicht optimal ist, so ist IM/DM, was die Performance betrifft, sehr leistungsfähig: Die Zugriffszeiten sind aufgrund der Anwendung modernster Datenbanktechnik (b-tree-Verfahren, hash-Algorithmen) sehr kurz und quasi unabhängig von der (großen) Zahl der Records in der Datenbasis. Und gerade das ist sehr wichtig, denn METLIS wird künftig noch erheblich an Umfang zunehmen (um ca. 5000 DE im Jahr).

#### *Was leistet METLIS?*

Man kann sich aus METLIS alle zu einem bestimmten meteorologischen Thema enthaltenen Literaturzitate ausgeben lassen. Jeder, der über ein Terminal Zugang zur MFA des MRZ hat, kann das selbst tun. Hierzu ist die Beherrschung des Umgangs mit der CY 860 Voraussetzung. Die notwendigen Kenntnisse für den Umgang mit METLIS vermittelt eine schriftliche Anleitung, die sogenannten METLIS-Tips. Gewisse Kenntnisse der DK (Dezimalklassifikation) sind von Vorteil. Daher bietet METLIS denjenigen, die sich über die DK informieren wollen, die Möglichkeit, sich die DK in alphabetischer oder auch in systematischer Form auszudrucken.

Die Literaturrecherche kann aber auch bei der Bibliothek des DWD in Auftrag gegeben werden. Dabei ist das Problem möglichst genau zu erläutern. Außerdem werden mit Hilfe von METLIS die monatlich erscheinenden *Zugänge der Bibliothek des Deutschen Wetterdienstes* sowie der Referatedienst *Dokmet - DWD* erstellt.

#### *Wie und warum entstand METLIS?*

Die Kenntnis der Vorgeschichte von METLIS ist zweckmäßig, um ihre Zielsetzung, Aufbau, Inhalt und Arbeitsweise zu verstehen:

Bereits in den 50er Jahren wurde man sich des Dilemmas der ständig steigenden Literaturflut bewußt: Ein Wissenschaftler war kaum mehr in der Lage, die Fachliteratur zu seinem eigenen Fachgebiet weitgehend vollständig zu verfolgen, weil die angebotene Menge zu groß wurde und keine Übersicht über das Angebotene und damit auch keine Auswahl mehr möglich war. Außerdem waren ihm auch gar nicht mehr alle Quellen bekannt, und wie er an die Literatur herankam. Bibliothekskataloge herkömmlicher Art reichten hierfür nicht aus, andere Werkzeuge für die Lösung des Problems gab es noch nicht. Erst Mitte der 60er Jahre standen geeignete Computer zur Verfügung.

Die Situation änderte sich erst durch den „Sputnik - Schock“. Das ist das kollektive Erschrecken der Naturwissenschaftler der westlichen Welt über den Start des ersten Erdsatelliten durch die UdSSR 1957. Man hatte mangels Information (aus der UdSSR), aber ganz besonders aufgrund des (unübersichtlichen) Überangebots an Information im Westen nicht erkannt, daß es inzwischen - auch einem Staat wie der UdSSR - technisch möglich war, einen Erdsatelliten in die Umlaufbahn zu bringen. Nun begannen die Regierungen, die Entwicklung neuer Verfahren zur Vermittlung von Fachinformation zu fördern. Es wurden sogenannte IuD - Programme (Information und Dokumentation) aufgelegt. Weil die Dokumentation die Voraussetzung für die Informationsvermittlung ist, begann nun die Entwicklung geeigneter Software für die EDV - gestützte Dokumentation.

Auf diesen Zug ist der DWD rechtzeitig aufgesprungen. Unter der Anleitung eines Instituts, dessen Aufgabe die Entwicklung, Förderung und Implementation maschi-

neller Dokumentationssysteme war, sowie in Zusammenarbeit mit dem Rechenzentrum des DWD, wurde 1966 ein ganz neues Verfahren der Titelaufnahme und Dokumentation entwickelt:

Das Schreiben der Katalogkarten, also die Titelaufnahme (Formelerfassung von Literatur) wurde mit der Dokumentation (Inhaltliche Erschließung, in unserem Falle mittels DK, die auch schon vordem im DWD verwendet wurde) und der elektronischen Speicherung in einem Arbeitsgang vereinigt. Auf einer Lochstreifenschreibmaschine wurde die Titelaufnahme, ergänzt um die Dokumentationselemente (DK, Schlagwörter, Referate) erfaßt, wobei gleichzeitig weiterhin die Katalogkartenvorlage entstand. Der Lochstreifen wurde im Rechenzentrum konvertiert und auf Magnetband übertragen. Das Rechenzentrum schrieb die nötigen Programme.

Dieses Verfahren wurde seit 1967 routinemäßig angewandt. Darüber hinaus entwickelte das Rechenzentrum nach Vorgabe der Bibliothek Retrievalprogramme, mit denen man bereits in den Titelaufnahmen nach bestimmten Suchbegriffen, z.B. DK-Zahlen, suchen konnte. Natürlich war das noch sehr langsam (alles eine reine Suche nach einer Zeichenkette, sequentiell) und ging nur im Batch (Stapelverarbeitung), nicht im Dialogbetrieb. Aber das war schon ein Anfang. Und das zu einer Zeit, in der die Dokumentation noch in den Kinderschuhen steckte.

Die erste bedeutende Änderung trat 1985 auf der Inputseite ein: Bei der Erfassung wurde die Lochstreifenschreibmaschine durch einen Bildschirmarbeitsplatz eines Nixdorf-Datensammelsystems abgelöst. Damit konnten die Daten direkt auf Magnetband ausgegeben werden.

Dieses System wurde bereits 1987 durch das (nicht für Bibliothekszwecke konzipierte) Datenbanksystem IM/Personal auf einem bibliothekseigenen PC (IBM AT) abgelöst. Gleichzeitig wurde mit den Vorarbeiten für den Aufbau einer bibliographischen Datenbank mit dem sehr leistungsfähigen, aber ebenfalls nicht für Bibliothekszwecke konzipierten, Datenbanksystem IM/DM begonnen.

*Seit Februar 1990 ist METLIS im DWD verfügbar*

Vorangegangen waren umfangreiche Entwicklungsarbeiten, die auch Eingriffe in den bisherigen Arbeitsablauf bei der Titelaufnahme und der Dokumentation erforderten, sowie eine einjährige Testphase mit einem Prototyp seit Anfang 1989.

Zunächst waren nur die Titelaufnahmen von 1987 bis 1989 enthalten. Seitdem werden laufend die neuen Titelaufnahmen, die den Geschäftsgang der Bibliothek durchlaufen haben, in METLIS übernommen

(Update). Dieser Update stellt eine umfangreiche Prozedur dar, die die Datenübertragung vom PC, die formale und fachliche Prüfung und Korrektur sowie die Umformatierung der Daten umfaßt. Die Titelaufnahme wird weiterhin offline am PC durchgeführt, um vom Rechenzentrum unabhängig zu sein.

Seit Mitte 1990 wurden Jahrgang für Jahrgang die alten, auf Magnetbändern gespeicherten Daten für die Übernahme in METLIS aufbereitet. Inzwischen enthält METLIS die Titelaufnahmen ab 1970, das sind die o.g. 105000 DE.

*Wie geht es weiter?*

Zunächst werden noch die drei ältesten Jahrgänge von den Magnetbändern in METLIS übernommen. Damit werden dem METLIS-Nutzer dann die Jahrgänge

1967 bis 1991 mit ca. 120000 DE zur Verfügung stehen.

Danach werden die DK-Zahlen vereinheitlicht, weil im Laufe der Jahre das Dezimalklassifikationssystem mehrmals verfeinert wurde. Damit kann der Benutzer von METLIS dann in der gesamten Datenbasis einheitlich recherchieren.

*Weiter ist geplant, künftig Profildienste anzubieten.*

Wissenschaftler, denen die „Zugänge“ zu allgemein sind, aber doch ständig über das „Neueste“ unterrichtet sein wollen, können eine Literaturrecherche speziell nach ihrem Interessengebiet „abonnieren“, wenn sie wie bei einer Einzelrecherche ihr „scope“ genau definieren. Sie bekommen dann in regelmäßigen Abständen Zitate zu ihrem Thema ausgegeben.

```

RECHERCHE
-----
      aus der
Literaturdatenbank

      M E T L I S
des Deutschen Wetterdienstes

M E T L I S  enthaelt  alle  Titelaufnahmen  seit 1970
              (ueber 105 000 DE)

*****
THEMA DER RECHERCHE :
Monographien ueber SPERICs

AUFTRAGGEBER :          ausgefuehrt am:      durch:
H. Scholz / FH8          11.9.91              Go.

Die Veroeffentlichungen koennen bei uns ueber eine dem Fern-
leihverkehr angeschlossene Bibliothek (z. B. Unibibliothek)
ausgeliehen werden ( unser Bibliothekssigel ist B23 ).

*****

NR: 882291                      I T 3
DK: 551.593.6:551.594.6:016(02)(03)
KV:
AU: Corliss, William [Hrsg.]:
TI: Rare halos, mirages, anomalous rainbows and related electro-
magnetic phenomena : A catalog of geophysical anomalies /
Compil. by: William R. Corliss. -
QU: Glen Arm, MD : Sourcebook Project, 1984. - VI, 238 S. : Ill.
u. graph. Darst.
ISBN 0-915554-12-7

NR: 871493                      I R 29
DK: 551.594.6:551.586(02)
KV:
AU: BAUMER, HANS:
TI: SPERICs : DIE ENTDECKUNG DER WETTERSTRAHLUNG. -
QU: REINBEK BEI HAMBURG : ROWOHLT, 1987. - 329 S. : ILL. U.
GRAPH. DARST.
ISBN 3-498-00487-5

```

Beispiel für den Anfang einer ausgedruckten METLIS-Recherche

Die Datensätze in METLIS (DE, Records) sind in Felder unterteilt. Die Struktur der Felder und der Aufbau der Recherchemaske lehnt sich an das sogenannte Kategorienschema der Titelaufnahme an. Einige der Felder sind *Suchfelder*, d. h. man kann in ihnen suchen, andere sind nur sogenannte *Anzeigefelder*, sie können nur angezeigt werden.

#### *Suchfelder*

Das sind Felder, deren Inhalt invertiert ist, d. h. die einzelnen Elemente des Inhalts sind direkt adressiert. Daher sollte nur nach Wörtern aus diesen Feldern gesucht werden.

NR: Laufende Nummer der DE (Titelaufnahme)

DK: DK-Zahl

Bei der Dokumentation in der Bibliothek wird das gesamte Schrifttum mit Hilfe der Dezimalklassifikation inhaltlich erschlossen. Dabei werden im allgemeinen pro DE mehrere DK-Zahlen vergeben (bis zu 10), wie bei anderen Dokumentationsstellen die Schlagwörter. Die DK-Zahl stellt das Hauptinstrument der Literaturrecherche nach fachlichen Themen dar.

DKTEXT: Textzusatz

DKTEXT enthält die Textzusätze aus der DK-Zeile der Titelaufnahme, bei denen es sich um Namen von Konferenzarten sowie von sogenannten behandelten Personen (z. B. Nachrufe, Biographien) handelt. Andere Textzusätze zu DK wie z. B. GARP oder ALPEX sind im Feld DK enthalten!

AUTOR: Der persönliche Verfasser der Veröffentlichung (maximal 3!). Die Ansetzungsform ist HIER: Nachname, Vorname(n), also z. B.: Schmidt, Bernhard W. oder Schmidt, B. W. oder Schmidt, B.

TITEL: Sachtitel der Veröffentlichung

Es ist ein Textfeld, bei dem alle Wörter ausschließlich der sog. Stopwörter (Artikel, Bindewörter u. s. w., Zahlen invertiert

sind. Das heißt, auch hier kann schnell gesucht werden.

Die Felder NR, DK sowie Titel sind immer vorhanden, es handelt sich um sogenannte Pflichtfelder. DKTEXT und AUTOR hingegen können fehlen.

*Anzeigefelder:*

SIGN: Signatur = Standort des Buches; erst ab 1981, davor nur sporadisch.

KORP VERF: Körperschaftlicher Verfasser (alternativ zu AUTOR)

QUELLE: Erscheinungsvermerk (Pflichtfeld)

Das ist bei Zeitschriftenaufsätzen der Name der Zeitschrift, Band-Nr., Jahr, Heftnummer, Seitenzahlen; bei Monographien Erscheinungsjahr, Verlag, Verlagsort u. s. w.

Die Recherchemaske enthält diese Felder, wobei die Suchfelder hervorgehoben sind.

#### *Befehle bei der Recherche*

Für die Recherche stehen verschiedene „Werkzeuge“ zur Verfügung: Eine Maske, in der man mit der MATCH-Funktion suchen kann sowie der FIND- und der LOOK-Befehl mit ihren Argumenten.

Beim MATCH in der Recherchemaske schreibt man einfach den Suchbegriff, z. B. eine DK-Zahl, einen Verfassernamen oder ein Wort aus dem Sachtitel, in das betreffende Feld und startet so die Recherche. Dabei können auch gleich mehrere Suchbegriffe mit dem logischen UND bzw. ODER verknüpft werden. Die Suchbegriffe können auch in verschiedenen Feldern (Kategorien) stehen.

Das Ergebnis wird wie folgt angezeigt: Nummer des RESULT SETs (Ergebnissatz), Anzahl der „Treffer“, die das Set enthält, sowie die laufende Nummer der gerade angezeigten DE im Set. Auf dieses RESULT SET kann man während der ganzen Sitzung immer wieder zurückgreifen. Die erste DE des Sets wird angezeigt und man kann im Set blättern, um sich das Rechercheergebnis anzusehen.

Mit dem FIND-Befehl kann man RESULT SETs miteinander verknüpfen (auch mit dem logischen NICHT), RESULT SETs einschränken (durch Zusatzbedingungen), RESULT SETs erweitern sowie die DE eines RESULT SETs ordnen, nach beliebig wählbarer Reihenfolge. METLIS bietet auch eine Anzeigefunktion für schnelles Durchsehen der Ergebnisse an.

Es gibt auch die Möglichkeit des „Blickes in das Wörterbuch“: der LOOK-Befehl zeigt in alphabetischer Folge alle Wörter bzw. Zeichenfolgen, die in der gesamten Datenbank in einem bestimmten Feld vorkommen. Das ist sehr wichtig für Fälle, in denen unterschiedliche Schreibweisen möglich sind. Von dem LOOK-Ergebnis aus kann direkt eine Recherche gestartet werden.

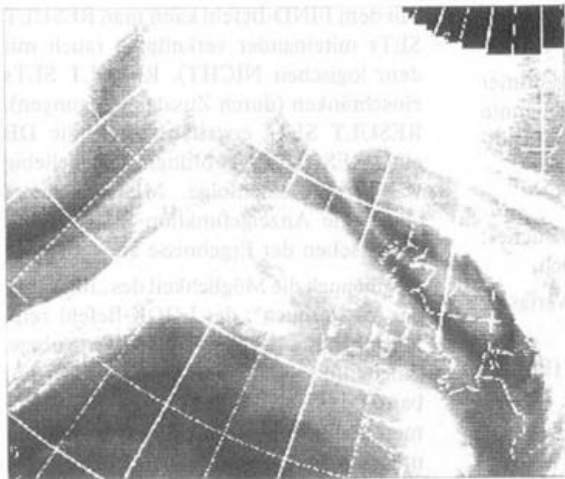
Ist man mit dem Ergebnis der Recherche zufrieden und will es sich ausgeben, benutzt man die REPORT-Funktion. Dadurch wird das Rechercheergebnis formatiert und übersichtlich in einer Datei abgespeichert, die man sich nachher ausdrucken lassen kann.

Man kann diese Datei aber auch noch vorher mit der EDIT-Funktion editieren, d. h. an dem Text Änderungen oder Ergänzungen anbringen oder Teile des Textes, z. B. unerwünschte Titelaufnahmen, löschen. Der REPORT enthält einen Kopfteil, in dem man Thema, Auftraggeber u. s. w. eintragen kann.

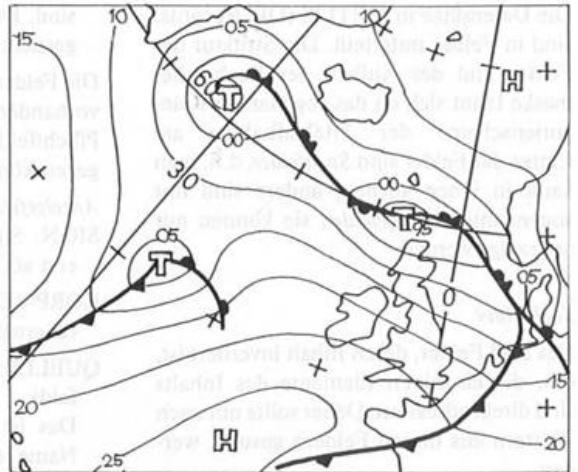
Mit einem demnächst zu erwartenden neuen Release zum Betriebssystem der CY 860 wird es voraussichtlich auch eine völlig neue Version der Datenbanksoftware geben. IM/DM soll dann durch ein neues Produkt von IDI Inc., IM/BASISplus, abgelöst werden.

Möglicherweise wird damit eine Verbesserung der Benutzeroberfläche zu bewerkstelligen sein. Aber auch so ist METLIS bereits in der jetzigen Form ein „mächtiges Werkzeug“ für die Aufgabe der Vermittlung von Fachinformation im DWD und durch den DWD.

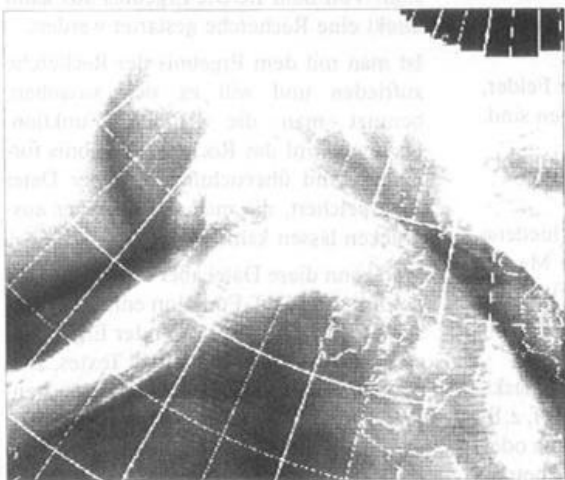
M. GOESCH, Offenbach a. M.



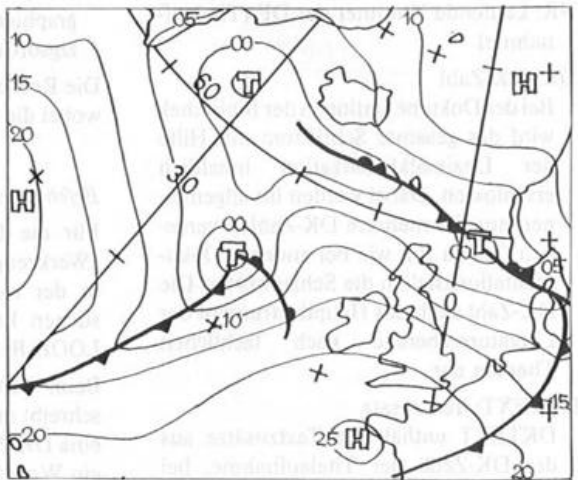
16. 9., 23 UTC



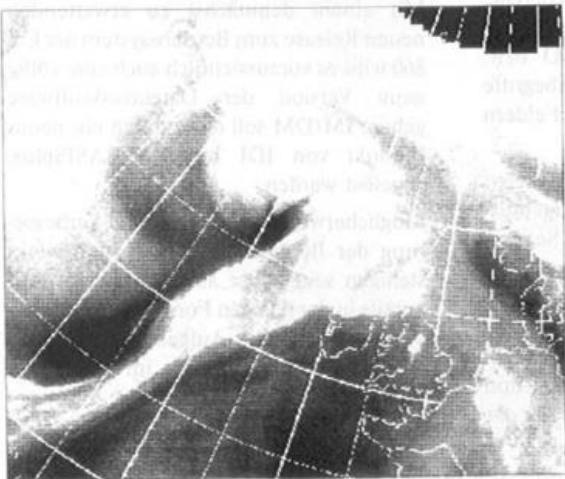
17. 9., 00 UTC



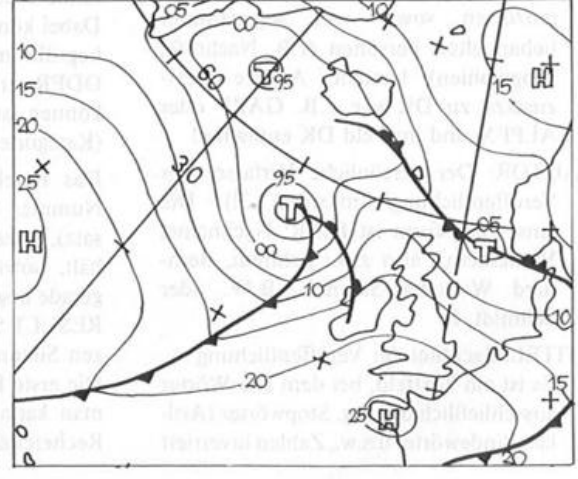
17. 9., 06 UTC



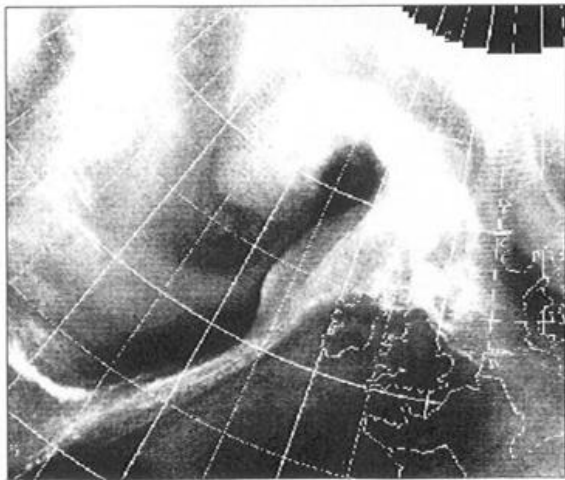
17. 9., 06 UTC



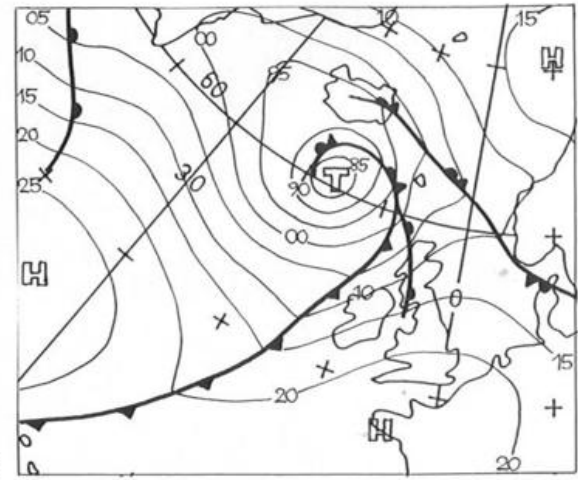
17. 9., 12 UTC



17. 9., 12 UTC



17. 9., 18 UTC



17. 9., 18 UTC

# Das interessante Satellitenbild

## Eine Zyklonogenese über dem Nordatlantik - gesehen mit den Wasserdampf-Bildern von METEOSAT

Die im Bild 1 wiedergegebenen Satellitenbilder sind Bilder aus dem Wasserdampfkanal von METEOSAT. Die Strahlendichte in diesem bei 5.7-7.1  $\mu\text{m}$  liegenden Kanal ist von Temperatur und Konzentration des Wasserdampfs in der oberen Troposphäre ( $\sim 400$  hPa) abhängig. Helle Bereiche zeigen eine hohe, dunkle Bereiche eine geringe Wasserdampfkonzentration in diesem Niveau an. Intensiv helle Bildpunkte weisen auf Bewölkung hin.

Die Bilder spiegeln die Veränderungen während einer kräftigen Zyklonogenese wider. Wie man aus den Bodenanalysen in Bild 2 entnehmen kann, entwickelte sich während des durch die vier Bilder eingeschlossenen Zeitraums ein kleines Tief über dem mittleren Nordatlantik rasch zu einer Sturmzyklone, die nordostwärts ziehend in das Gebiet eines quasistationären alten Tiefdruckgebiets hineinwanderte.

Der Vergleich zwischen Bild und Analyse zeigt, daß sich das Tief anfangs unter einem breiten zweistufigen Band mit hohem Wasserdampfgehalt und zum großen Teil auch Bewölkung in der oberen Troposphäre befand. Westlich etwa  $35^\circ\text{W}$  wird in einer geschwungenen Zone geringer Wasserdampf angezeigt. Aus dieser Zone entwickelt sich eine Zunge trockener Luft, die in Richtung auf das Bodentief vorstößt und schließlich den Bereich über der Ostflanke des Bodenkerns ausfüllt. Gleichzeitig wölbt sich der Bereich mit Bewölkung bzw. wasserdampfreicher Luft nördlich der Zyklone immer stärker auf und vollführt eine Drehbewegung nach links. Zum Schluß greifen die Zungen trockener und wolkenerfüllter Luft über dem Tief zyklonal ineinander.

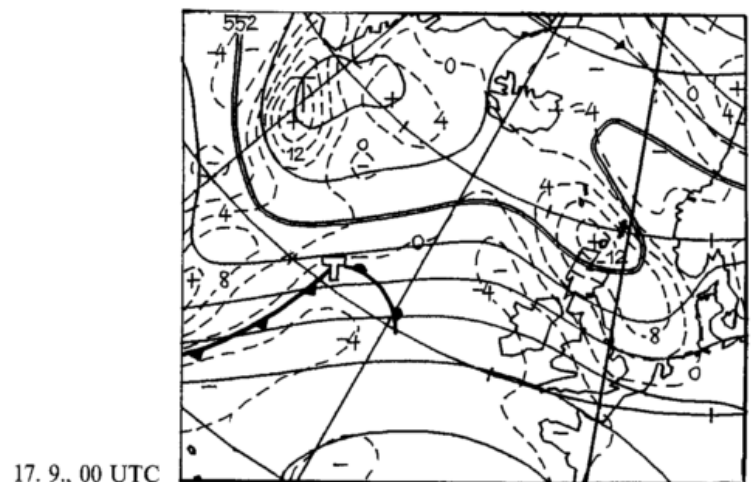
Die beschriebene Veränderung des Wasserdampfbildes ist charakteristisch für die meisten starken Zyklonogenesen. Die Ausbildung der dunkel wiedergegebenen Zunge geringer Wasserdampfwerte zeigt das Vordringen trockener, z.T. aus der unteren Stratosphäre stammender Luft an. Sie wird in der oberen Relativströmung absinkend in Richtung auf das Bodentief verfrachtet. Diese Luft weist hohe Werte zyklonaler Vorticity auf, so daß ihre Advektion zu Divergenz und Hebung über der Zyklone Anlaß gibt und dadurch deren Intensivierung verursacht

Dieser Sachverhalt wird durch die aus den Analysen des Global-Modells des Deutschen Wetterdienstes abgeleitete Vorticityverteilung in 500 hPa (Bild 3) bestätigt. Die Vorticitymaxima sind zu beiden Terminen gut mit den Bereichen geringen Wasserdampfgehalts korreliert, und aus dem nördlichen Maximum, das von 00 bis 12 UTC ost-südostwärts wandert, schiebt sich eine Zunge hoher Vorticitywerte nordostwärts vor, die in Ihrer Position weitgehend der dunklen Zunge des WV-Bildes entspricht. Ähnliche Aussagen gestatten die Analysen der isentropen potentiellen Vorticity, die

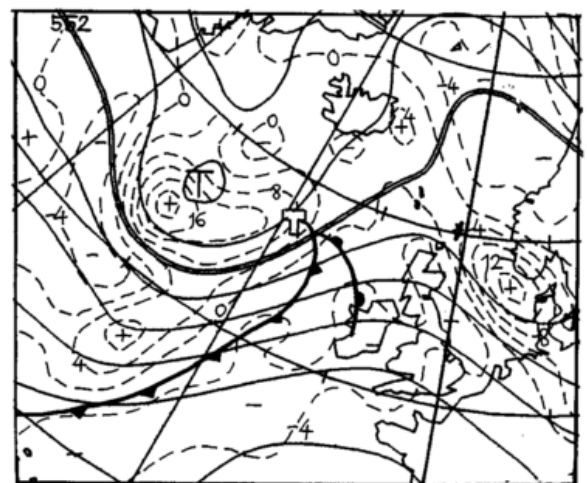
aus Platzgründen hier nicht abgedruckt werden können.

Interessant ist noch die Aufwölbung, die sich an dem Wasserdampfband über der Kaltfront entwickelt und die an eine Wellenbildung an der Front denken lassen könnte. Tatsächlich hat sich keine echte Frontalwelle gebildet. Allerdings war die Front in diesem Bereich einer starken Frontogenese-Tendenz im Windfeld unterworfen, so daß man die Aufwölbung als Ergebnis der durch die Frontogenese ausgelösten Quercirkulation begreifen kann.

M. KURZ, Offenbach a. M.



17. 9., 00 UTC



17. 9., 12 UTC

Bild 3: Analysen 500 hPa vom 17. 9. 1991 mit Isohypsen ( $552 \pm 8$  gdam) und Isoplethen der relativen geostrophischen Vorticity (in  $10^{-5}\text{s}^{-1}$ )

Bild 1: Bilder aus dem Wasserdampf(WV)-Kanal von METEOSAT 4 vom 16./17. 9. 1991 (S. 116 li.)

Bild 2: Bodenanalysen vom 17. 9. 1991 mit Isobaren und Bodenfronten (S. 116 re.)

# Habilitationen, Promotionen und Diplom-Hauptprüfungen im Jahr 1990

## Freie Universität Berlin

### Diplom-Hauptprüfungen

NAUMANN, Steffen: Untersuchung des Temperaturverlaufs der relativen Topographie 300/1000 hPa im Gebiet zwischen 30° und 90° N (1951 - 1988).

NÖTHLICH, Andreas: Ultraviolette Strahlung in der Atmosphäre.

SCHMELING, Birgit: Über den Einfluß des 11-jährigen Sonnenfleckenzyklus auf die Temperatur der mittleren Atmosphäre.

## Humboldt-Universität Berlin

### Habilitation

FOKEN, Thomas: Turbulenter Energieaustausch zwischen Atmosphäre und Unterlage - Methoden, meßtechnische Realisierung sowie ihre Grenzen und Anwendungsmöglichkeiten.

### Promotionen

ALBRECHT, Hans-Jürgen; STILLER, Bernd: Ein Beitrag zur Objektivierung der Prognose der horizontalen Sichtweite in Bodennähe und zur Verifikation flugmeteorologischer Vorhersagen.

DÖRNBRACK, Andreas: Approximative Berechnung turbulenter Flüsse und des Tensors der turbulenten Diffusion auf der Grundlage einer Schließung 2. Ordnung.

KOPATZ, Oswald: Die Anfänge der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft, Vorgeschichte, Gründung, Konsolidierung.

### Diplom-Hauptprüfungen

DOBBERSTEIN, Carsten: Zur Parametrisierung der Trockenkonvektion.

KRETSCHMER, Dörthe: Ausgewählte Untersuchungen zur stabilen atmosphärischen Grenzschicht unter besonderer Berücksichtigung der Bodenschicht.

LEHMANN, Volker: Über die Möglichkeit einer Verbesserung der Analyse meteorologischer Felder mit dem Informationstheoretischen Prinzip minimaler Relativentropie.

MANNEL, Heiko: Zur Prognose der strandnahen Lufttemperaturanomalie an der Ostseeküste bei Zingst.

OESTREICHER, Ralph: Zur Methodik der Bestimmung von Grenzschichtparametern aus Meßdaten akustischer Sondierungen mit dem Doppler-SODAR des Heinrich-Hertz-Institutes.

OESTREICHER, Vera: Troposphärische Vorticity-Anomalien der Außertropen der Nordhemisphäre.

ROLLE, Thomas: Bestimmung der Oberflächentemperatur sowie Ableitung von Albedo und Rauigkeit aus Parametern der Flächennutzung und der Bodenart.

RÖSCH, Andreas: Bearbeitung der Windregistrierung von Potsdam ab 1893 - Qualitätssicherung der Daten, statistische Auswertung und klimatologische Interpretation.

ROSCHKE, Thomas: Wirkung von Doppler-Sodaraten zur Verifikation von Windmodellen.

SCHRADER, Antje: Zur zeitlichen Entwicklung des thermischen Kontinentalitätsgrades im europäisch-atlantischen Raum.

WEISSE, Ralf: Zur Temperaturentwicklung im europäisch-atlantischen Raum in den letzten Jahrzehnten und ihr Einfluß auf mitteleuropäische Zirkulationsverhältnisse - mögliche Folge des verstärkten Treibhauseffektes der Atmosphäre?

WOHLFAHRT, Thomas: Untersuchungen zur regionalen Klimateilung mit Hilfe multivariater statistischer Methoden.

## Universität Bonn

### Habilitation

HENSE, Andreas: Simulationen und Beobachtungen von Klimaanomalien: Statistische Analyse und physikalische Interpretation.

### Promotionen

KERKMANN, Jochen: Simulation orographisch beeinflusster Fronten mit einem Front-Skala Modell. Teil 2: Tests des Modells und Ergebnisse der Frontsimulationen.

WOLLENWEBER, Gabriele C.: Modellierung der Struktur der internen Grenzschicht.

### Diplom-Hauptprüfungen

BORN, Kai: FOOT, ein Dreischichtenmodell auf der Basis von REWIMET zur Simulation der dynamischen Grenzschicht.

BECKER, Andreas: Initialisierung der Querkirkulation für das Bonner Front-Skala-Modell.

BEUTGEN, Andreas: Flächenniederschläge in Afrika aus IR-Meteosat-Daten.

KLASSEN, Joachim: Entwicklung eines berandeten Flachwassermodells zur Instabilitätsanalyse barotroper Wirbel.

## Technische Universität Braunschweig

### Habilitation

LÜHR, Hermann: Künstliche magnetische Hohlräume in der Magnetosphäre, ihre Erzeugung, Beobachtung und physikalische Interpretation.

## Technische Hochschule Darmstadt

### Diplom-Hauptprüfungen

BLINDA, Sigrid: Untersuchung der atmosphärischen Grenzschicht mit einem Fesselsondensystem.

BONHARD, Bettina: Die feuchte Deposition von Luftverunreinigungen - Eine numerische Simulation.

HOPF, Anette: Entwicklung und Erprobung eines mobilen Meß-Systems zur Strömungs- und Turbulenzmessung.

KORNBLUEH, Luis: Numerische Simulation lokalklimatischer Aspekte am Beispiel von Zürich.

## Universität Frankfurt am Main

### Promotionen

GROSCH, Stefan: Der atmosphärische Gesamteintrag auf natürlichen Oberflächen unter besonderer Berücksichtigung der trockenen Deposition in Waldgebieten.

NODOP, Katrin: Weiträumige Verteilung und zeitliche Entwicklung säurebildender Spurenstoffe in Europa 1978 - 1985.

SEIDL, Winfried: Einfluß der größenabhängigen chemischen Zusammensetzung atmosphärischer Teilchen auf den Aktivierungsprozeß und die chemische Zusammensetzung der Wolkentropfen.

### Diplom-Hauptprüfungen

BAYER, Dieter: Einfache mathematische Modelle zur Beschreibung globaler Klimaänderungen.

FÄHNRIK, Brigitte: Entwicklung und Einsatz eines Meßverfahrens zur experimentellen Bestimmung der gasförmigen SO<sub>2</sub>-Deposition.

GOERTZ, Stefan: Ähnlichkeitsbedingungen und Mischungswegprofile in der atmosphärischen planetaren Grenzschicht.

GRIESER, Jürgen: Mehrfachstreuung und Absorption in der geschichteten Atmosphäre.

KARPOUCHTSIS, Nikolaos: Trends und Schwankungen des Niederschlags in der Bundesrepublik Deutschland 1891 - 1984.

KÜHN, Wiltrut: Der Austausch von Wärme und Feuchte zwischen Boden und Atmosphäre.

SCHELL, Dieter: Entwicklung und Einsatz eines Sammelverfahrens zur größtenfraktionierten Nebelprobennahme.

---

#### Universität Freiburg

---

##### *Diplom-Hauptprüfungen*

MACK, Frank: Das El Niño - Southern Oscillation Phänomen und die Auswirkungen dadurch bedingter Klimaschwankungen auf die Dipterocarpaceenwälder von Ost-Kalimantan, Borneo.

WUNDERLE, Stefan: Verdunstungsrechnungen über einem Packeisfeld in der Framstraße bei 80°N und deren Übertragbarkeit auf montanes Gebiet.

---

#### Universität Göttingen Inst. f. Bioklimatologie

---

##### *Diplom-Hauptprüfungen*

BOCKELMANN, Dirk: Baumphänologie und Klimaausprägungen im Bereich des niedersächsischen Harzes.

BONN, Stefan: Klimaeinfluß und abrupte Zuwachsschwankungen von Fichten (*Picea abies* Karst) und Kiefern (*Pinus sylvestris* L.) verschiedener Höhenstufen Niedersachsens.

BREIDING, Harald: Freilandmessungen zur Absorption und Freisetzung von gasförmigen und partikelgebundenen Stickstoffkomponenten durch verschiedene Nadelhölzer.

FEHLOW, Cordula: Die Wiedereinwanderung der Fichte (*Picea abies* (L) Karst) nach der letzten Eiszeit und die Fichtenverbreitung unter dem Einfluß von Klima und Mensch, insbesondere im Harz.

HASTEDT, Jan: Zur Ökologie und Verbreitung der Rorbuche im Harz - unter besonderer Berücksichtigung klimatischer und anthropogener Einflüsse.

HENNIES, Heike: Konzentrationsverlauf von Wasserstoffperoxid in atmosphärischen Proben an einem Fichtenbestand im Solling.

---

#### Universität Hamburg

---

##### *Habilitation*

LATIF, Mojib: Modellierung des gekoppelten Systems Ozean-Atmosphäre in den Tropen.

##### *Promotionen*

HEINZE, Christoph: Zur Erniedrigung des atmosphärischen Kohlendioxidgehalts durch den Weltozean während der letzten Eiszeit.

LUKSCH, Ute: Untersuchung zur niederfrequenten Variabilität der Meeresoberflächentemperatur im Nordpazifik.

STÖSSEL, Achim: Meereismodellierung im Südlichen Ozean.

SÜNDERMANN, Annette: Die Anwendung von adaptiven Gittern in zwei einfachen Modellen für eine atmosphärische Rollenzirkulation.

THEOPOLD, Felix A.: Bestimmung des Temperaturprofils der Troposphäre mit einem Zwei-Frequenz-Lidar.

THIERMANN, Volker: Optische Messung turbulenter Flüsse und Vorhersage der optischen Turbulenz aus einfachen Grenzschichtparametern.

WEESE, Udo: Principal interaction/oscillation patterns: Theorie und Analysen zum El Niño/Southern Oscillation-Phänomen.

WOLFF, Jörg-Olaf: Zur Dynamik des antarktischen Zirkumpolarstromes.

XU, Jing-Song: Analysis and prediction of the El Niño Southern Oscillation phenomenon using principal oscillation pattern analysis.

##### *Diplom-Hauptprüfungen*

ALLNER, Anke: Barotrope Dynamik und Gebirgseffekte in einem einfachen Zirkulationsmodell.

BORGERT, Heiko: Praktische Erprobung der kanonischen Korrelationsanalyse mit Monte-Carlo-Experimenten und Meßdaten.

KÖHLER, Andreas: Parameterisierung der Wolkenmikrophysik und der Strahlung in einem mesoskaligen Transport- und Strömungsmodell.

LESCHINSKI, Iris: Dispersion atmosphärischer Tracer bei Windstille.

MICHAELSEN, Kirsten: Untersuchung von Klimaexperimenten mit spektralen Methoden.

MÜLLER, Gerd: Die Bedingungen in der atmosphärischen Grenzschicht in Situationen mit aufgebrochenem und geschlossenem Stratocumulus.

PAHL, Silke: Parameterisierung der trockenen Deposition in einem mesoskaligen Transport- und Strömungsmodell.

RICHTER, Carolin: Niederschlagsmessungen mit Hilfe eines FM-CW-Doppler-Radars: Herleitung der Tropfenspektren und Regenraten.

SCHABERL, Thorsten: Aufbau und Erprobung der Sende- und Empfangsoptik für ein Ozon-LIDAR unter Benutzung der stimulierten Raman-Streuung.

TAURAT, Daniel: Klassifizierung von Meereis mit SSM/I-Messungen.

THIEMANN, Stefan: Vertikalstruktur und -zirkulation an Kaltfronten in den unteren 250 m der atmosphärischen Grenzschicht.

WINDELBAND, Martin: Simulation des interhemisphärischen Transports von Freon 11 mit einem atmosphärischen Zirkulationsmodell.

---

#### Universität Hannover

---

##### *Diplom-Hauptprüfungen*

HOFFMAN, Jens: Untersuchung an einer abgehobenen Inversion oberhalb einer konvektiven Grenzschicht mit Hilfe von Flugzeugmessungen.

HOLLWURTEL, Enno: Ein Verfahren zur Bestimmung turbulenter Energieflüsse unter Berücksichtigung der Advektion.

KAUFHOLD, Sabine: Einflüsse meteorologischer Elemente auf die Energiebilanz von Pflanzenblättern - Die Reaktion junger Gerstenbestände auf unterschiedliche meteorologische Elemente.

KRATSCH, Thomas: Analyse flugzeuggestützter meteorologischer Messungen im Zeit- und Frequenzbereich am Beispiel der Messungen während HELRON '88.

KRUSE-KRINGEL, Sabine: Geostrophischer Wind und Meereisbewegung im Gebiet des Weddel-Meeress (Antarktis).

Fortsetzung im Heft 1/1992.

## Buchbesprechungen – Neuerscheinungen

CLIMATE and Development. Proc. of the World Congress on Climate and Development. Hamburg, 7.-10. Nov. 1988. Herausgeber: H.-J. Karpe u. a. 450 S., 95 Abb. Berlin: Springer 1990. ISBN 3-540-51269-1, DM 98,-.

Im November 1988 fand in Hamburg ein Weltkongreß mit dem Leitthema *Climate and Development* statt, und das vorliegende Buch gibt die Reden, Vorträge und Deklarationen wider, die während des *Hamburg-Kongresses* gehalten bzw. abgegeben wurden.

Nach dem Willen der Veranstalter sollte dieser Kongreß alle diejenigen prominenten Politiker, Wissenschaftler, Industriellen und Repräsentanten internationaler Organisationen zusammenführen, die sich mit den drohenden weltweiten Klimaänderungen und deren sozio-ökonomischen Folgen beschäftigen. Es nimmt deshalb nicht wunder, daß in der am Anfang des Buches eingefügten Rednerliste Namen wie W. Brandt, H. Riesenhuber, H. Voscherau, M. T. Budyko und K. Hasselmann auftauchen.

Nach einem kurzen Überblick über die Ergebnisse des Kongresses folgen das *Hamburg-Manifest* und der *Hamburg-Plan*. Das Hamburg-Manifest beschreibt die drohende Klimaveränderung, deren Ursachen und sozio-ökonomische Auswirkungen und die zahlreichen internationalen Initiativen. Der Hamburg-Plan faßt in neun Punkten die weltweit notwendigen Aktivitäten zusammen, um die „sehr gefährlichen Konsequenzen der Klimaänderung abzuwenden“.

Das zweite Kapitel beinhaltet die Botschaft des Generalsekretärs der UN sowie die Reden und Statements von Politikern und

Mitgliedern nationaler und internationaler Organisationen.

Der dritte und längste Teil des Buches faßt die Erkenntnisse der Wissenschaft in 11 Vorträgen zusammen. Die Vorträge überschneiden sich teilweise inhaltlich, was aber nicht stört; im Gegenteil: die derzeit vorliegenden Zahlen und Klimatrends werden aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet und beurteilt. Hervorzuheben ist der Vortrag von HASSELMANN, der sich mit der Zuverlässigkeit und Genauigkeit von Klimamodellen befaßt, denn die sogenannten Entscheidungsträger benötigen möglichst exakte Klimaprognosen.

BURTON geht in seiner Arbeit *To Limit and to Adjust: Some Human Dimensions of Global Climate Change* auf die ökonomischen Aspekte der drohenden Klimaveränderung ein, und zwar vom lokalen bis zum globalen Scale. Weitere Autoren befassen sich mit dem globalen CO<sub>2</sub>-Anstieg (KOHLMAYER), den säkulären Trends der Lufttemperatur in urbaren Regionen (KOO) und mit Langzeitkonzepten zur Reduktion der Dürrekatastrophen (LANG). Das vierte Kapitel wird mit einer Stellungnahme des Bundesverbandes der Deutschen Industrie zu den erwarteten Klimaänderungen eingeleitet. Es folgt ein Vortrag über die Rolle des Energieverbrauchs bei den Klimaänderungen (ZIMMERMAYER).

In weiteren Kapiteln werden die Vorträge von Vertretern nichtstaatlicher Organisationen wiedergegeben und ein Statement der Teilnehmer aus den Entwicklungsländern.

Das 7. Kapitel *International Initiatives* macht deutlich, wieviele Organisationen

sich mit dem komplexen System Klima beschäftigen, und es fehlt nicht der wohlmeinende Hinweis, daß diese zahlreichen Aktivitäten in eine konzertierte Aktion münden müßte.

Das Abschlußkapitel ist betitelt mit *Where do we go from here?*, und ANANDAKRISHNAN vom UNCTD faßt noch einmal zusammen, was weltweit zu tun ist, um die sozio-ökonomischen Folgen der Klimaänderungen zu reduzieren. Er schlägt vor, im Jahre 1991 einen *Hamburg II-Kongreß* zu veranstalten.

Insgesamt gesehen gibt dieses Buch nicht nur einen guten Überblick über die Vorträge des Kongresses, sondern auch über den Stand von Wissenschaft und Forschung zum Thema *Climate and Development*.

Der Kongreß fand im November 1988 statt, und mittlerweile sind fast 3 Jahre vergangen. Ich überlasse es dem geneigten Leser zu entscheiden, ob inzwischen die Einsicht gewachsen ist, daß die globalen Klimaänderungen das Wirtschafts- und Sozialgefüge aller Staaten mehr oder weniger gravierend verändern werden.

W. Thommes

LINDZEN, R. S.: *Dynamics in atmospheric physics*. Cambridge Univ. Press 1990, 310 S. ISBN 0-521-36101-X.

KUHN, M.: *Klimaänderungen: Treibhauseffekt und Ozon*. Thaur: Kulturverlag 1990, 155 S. ISBN 3-85395-148-1.

TENNEKES, H.; KÖNNEN, G. P.: *Aanhoudend warm. Klimaatvoorspellingen vanuit De Bilt*. Baarn: Thieme 1990, 124 S. ISBN 90-5210-081-0.

### Vorausschau Tagungen

Umweltschutz in Städten. Dresden, 20.-22. Mai 1992. Informationen: VDI, Kommission Reinhaltung der Luft, PF 10 11 39, 4000 Düsseldorf 1.

International Symposium on Environmental Sensing. Berlin, 22.-26. Juni 1992. Informationen: EUROPTO, Direct Communications, Xantener Str. 22, 1000 Berlin 15.

BAHC-Workshop 'Results of large field experiments'. Tallin, 10.-12. August 1992. Informationen: Prof. H.-J. Bolle, Inst. f. Meteorol., Dietrich-Schäfer-Weg 6-10, 1000 Berlin 41.

Remote Sensing and Climate Change. 8th Dundee Summer School in Remote Sensing. 19th July - 8th August 1992, University of Dundee, Scotland. Informationen: Mr. R. Vaughan, Dept. of Appl. Physics, Univ. of Dundee, Dundee DD1 4HN, Scotland, UK.

Conference of Visibility and Fine Particles. 15.-18. 9. 1992 Wien. Informationen: H. Horvath, Inst. f. Experiment. Physik d. Univ. Wien, Holzmannngasse 5, 1090 Wien.

2nd International Symposium on Hydrological Applications of Weather Radar. Hannover, 7.-10. Sept. 1992. Informationen: Dr. H.-R. Verworn, Inst. F. Wasserwirtschaft, Universität Hannover, Appelstr. 9a, 3000 Hannover 1.

2nd World Renewable Energy Congress. Reading, 13.-18. Sept. 1992. Informationen: Prof. A.A.M. Sayigh, Dept. of Engineering, Univ. of Reading, Whiteknights, P.O. Box 225, Reading RG6 2AY, UK.

4th IMA Conference on Stably Stratified Flows. Flow and Dispersion over Topography. 21.-23. Sept. 1992, University of Surrey, Guildford. Inf.: Miss P. Irving, IMA, 16 Nelson Street, Southend-on-Sea, Essex, SS1 1EF, GB.

6th Internat. Conf. on Indoor Air Quality and Climate. 4.-8. Juli 1993, Helsinki. Informationen: Prof. O. Seppänen, Helsinki University of Technology, Otakaari 4, SF-02150 Espoo, Finnland.

## Anschriften der Autoren

(Thema des Heftes)

Prof. Dr. Joseph EGGER  
Dr. Arnold TAFFERNER  
Institut f. Meteorologie  
Theresienstr. 37  
8000 München 2

Dr. Eberhard REIMER  
Institut f. Meteorologie  
Dietrich-Schäfer-Weg 6-10  
1000 Berlin 41

Dr. Joachim P. KUETTNER  
National Center for Atmospheric Research  
P.O. Box 3000  
Boulder CO 80307, USA

Dr. Reinhold STEINACKER  
Institut f. Meteorologie u. Geophysik  
Innrain 52  
A-6020 Innsbruck

Dipl.-Met. Manfred KURZ  
Deutscher Wetterdienst, Zentralamt  
Frankfurter Str. 135  
6050 Offenbach a. M.

---

### Hinweis

VDI 3786 Blatt 9, Umweltmeteorologie; Visuelle Wetterbeobachtungen. Oktober 1991. Ersetzt den Entwurf vom Dezember 1989. Die Ausgabe erscheint in deutsch/englischer Fassung. Vertrieb: Beuth Verlag, Postfach 1145, D-1000 Berlin 30

---

## Redaktionelle Hinweise für Autoren

### 1 Allgemeines

Promet dient der Fortbildung von Meteorologen und Wetterberatern. Die Beiträge zum Thema des Heftes sollen den neuesten Stand des zu behandelnden Spezialgebietes auf wissenschaftlicher Basis in einer verständlichen und anschaulichen Weise darstellen.

### 2 Äußere Form des Manuskriptes

#### 2.1 Text

Einseitig auf durchnummerierten DIN-A4-Blättern (links 4 cm, oben 2 cm als freier Rand), Maschinenschrift, 1 1/2zeilig, ca. 60 Anschläge/Zeile und 30 Zeilen/Seite.

#### 2.2 Gliederung

Numerierung der Haupt- und Unterabschnitte nach dem Dezimalsystem (1, 1.1, 1.2 ... , 2, 2.1, 2.2. usw.).

#### 2.3 Abbildungen, graphische Darstellungen

Kontrastscharfe und reproduktionsfähige

Vorlagen (Fotos mit Hochglanz, Strichzeichnungen mit schwarzer Tusche und klarer Beschriftung). Legenden zu den Abbildungen auf besonderem Blatt beifügen.

#### 2.4 Formeln, Gleichungen

Auf das Notwendige beschränken, deutlich lesbar mit fortlaufender Numerierung in runden Klammern am rechten Textrand.

#### 2.5 Tabellen

Nur im notwendigen Umfang, klar und übersichtlich, ggf. auch als Abbildungen.

#### 2.6 Literaturzitate

Literaturhinweise im Text: ... MÜLLER (1980) ... oder ... (MÜLLER 1980) ...

#### Literaturverzeichnis:

– Autoren in alphabetischer Reihenfolge. Herausgeber werden durch den Zusatz: „Hrsg.“ gekennzeichnet.

#### – Zeitschriftenaufsatz:

KURZ, M.: Zum Einfluß diabatischer Prozesse auf die Frontogenese in Bodennähe. Meteorol. Rdsch. 35 (1982) Nr. 1, S. 21-30.

#### – Buch:

SCHÖNWIESE, C.-D.: Klimaschwankungen. Berlin: Springer-Verlag 1980.

### 3 Korrekturen

Autoren, die das Thema des Heftes behandeln, erhalten Fahnenabzüge ihres Beitrages zur Korrektur. Die Umbruchkorrekturen werden von der Hauptschriftleitung durchgeführt.

### 4 Belegexemplare, Fortdrucke

Autoren des Hauptthemas erhalten je 5 Belegexemplare des betreffenden Heftes, Autoren von Kurzmitteilungen (3spaltige Texte) je 1 Heft. Zusätzliche Exemplare können gegen Erstattung der Fortdruckkosten bei der Rücksendung der Korrekturen bestellt werden.

---

Manuskriptsendungen werden erbeten an:

Deutscher Wetterdienst  
Hauptschriftleitung Promet  
Frankfurter Str. 135  
6050 Offenbach a. M.

Tel.: 069/8062272/Telekop. 069/8062484