

A photograph of a calm sea under a dramatic, cloudy sky. The clouds are dark and heavy, with a bright light source breaking through in the center, creating a shimmering reflection on the water. A palm tree is visible on the right side of the frame.

Einführung in die Meteorologie Teil II

Roger K. Smith

A photograph of a tropical beach scene. The foreground shows a sandy beach with some dark rocks. The middle ground is a shallow, clear turquoise lagoon. The background is a deep blue ocean under a bright blue sky with scattered white clouds.

Einführung in die Meteorologie II

- **Synoptische Analyse aussertropische Wettersysteme**
- **Wettersvorhersage**
- **Dynamik der Atmosphäre**

Methoden der Wettervorhersage



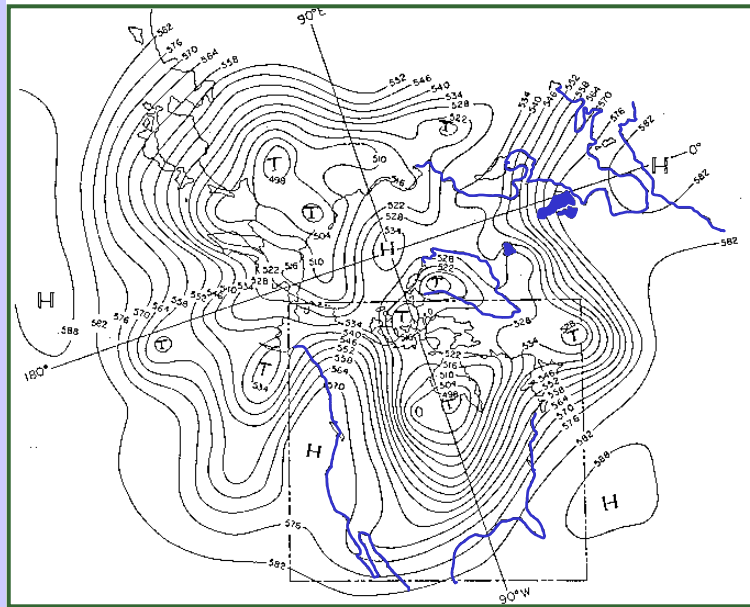
- **Subjektiv**
 - Synoptische Analyse der Bodenkarte und extrapolieren
- **Objektiv**
 - Objektive Analyse der zur Verfügung stehenden Daten und mit Hilfe eines numerischen Wettervorhersagemodells

Eine Fallstudie



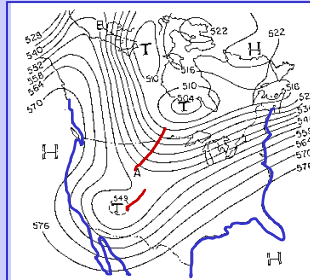
- Winterfall vom November, 1964 über den USA
- Ein Tief über Nordamerika
- Ursprünglich aus dem Buch von Wallace und Hobbs

Isohypsen im 500 hPa-Niveau am 20 Nov. 1964, 00Z

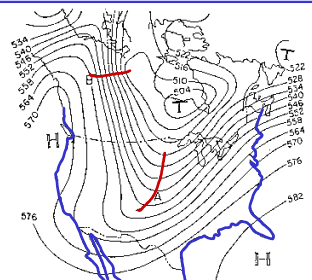


Isohypsen im 500 mb-Niveau - November 1964

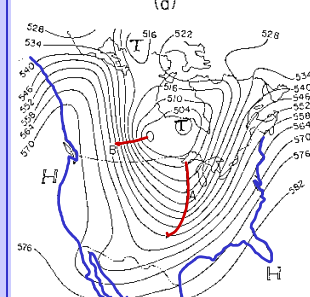
19/ 00 Z



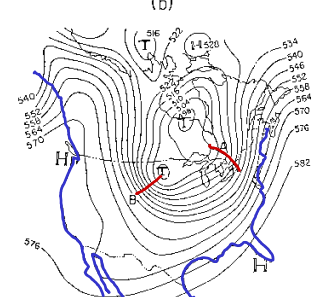
19/ 12 Z



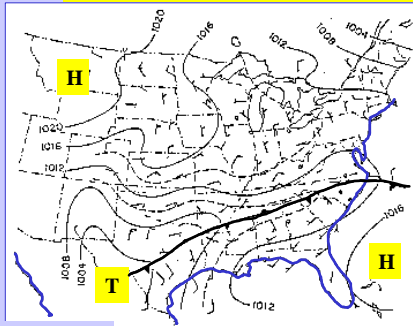
20/ 00 Z



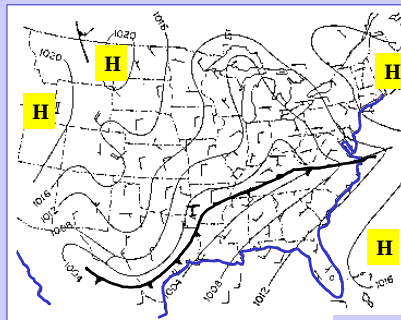
20/ 12 Z



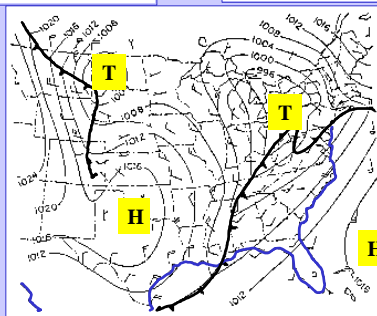
Luftdruck (auf Meereshöhe reduziert) und Bodenwinde



19 Nov.
00Z

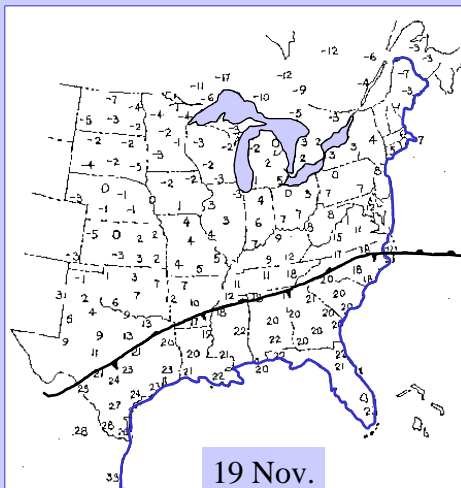


19 Nov.
12Z

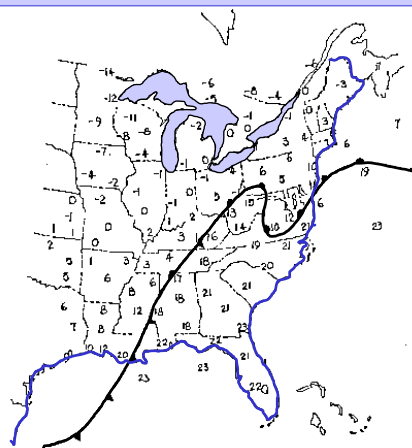


20 Nov.
00Z

Temperaturen in C und Lagen der Bodenfronten

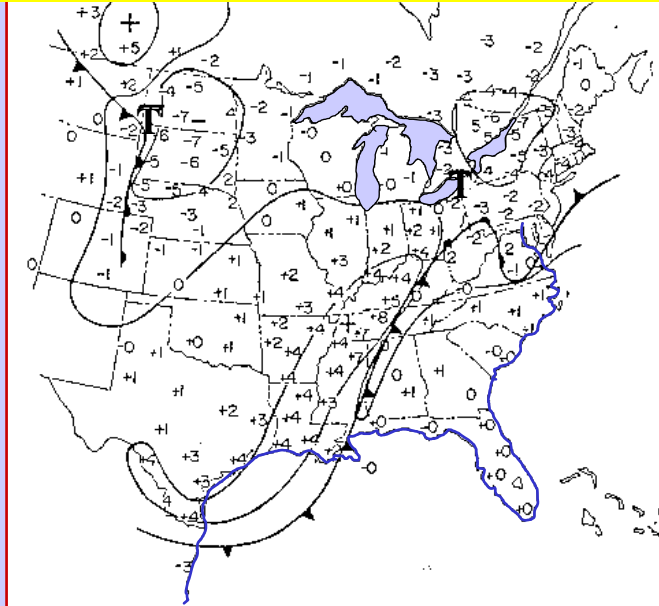


19 Nov.
00Z

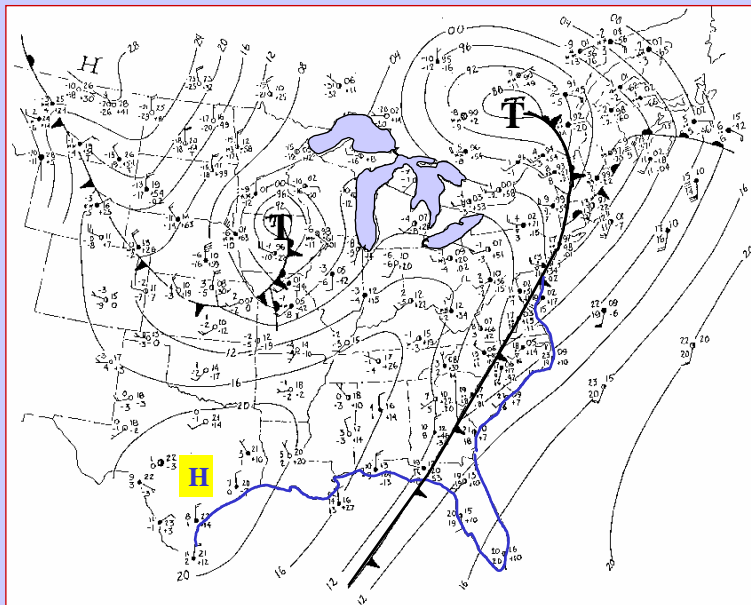


20 Nov.
00Z

3-stündige Druckänderung (mb) Isallobaren Abstand 4 hPa/3 Std



Die Bodenwetterkarte vom 20 November 1964, 12Z



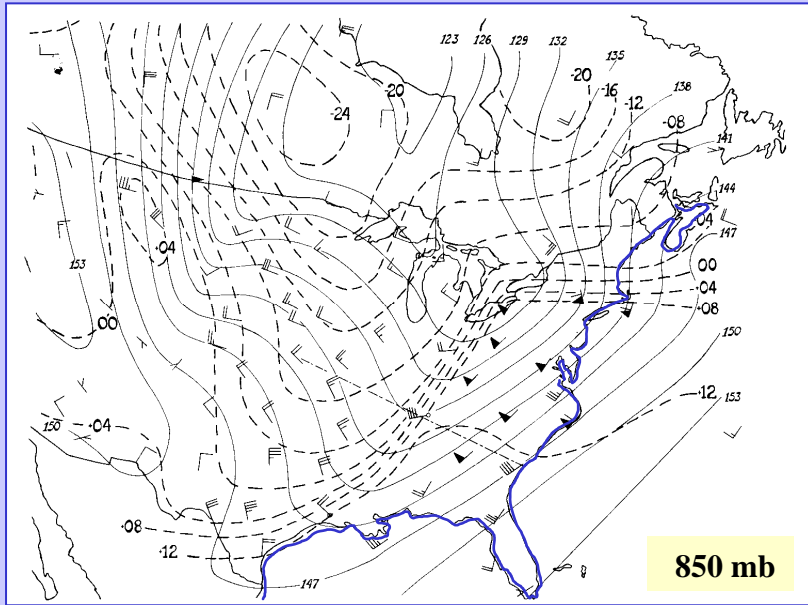
Der Strömungsverlauf in der freien Atmosphäre

- **An der Entstehung der meisten Wettervorgänge sind höhere Schichten der Atmosphäre beteiligt**
- **Man benötigt für die Beschreibung der Wetterlage neben der Bodenwetterkarte auch Höhenwetterkarten**
- **Es wurde beobachtet, dass die Tiefdruckgebiete am Boden vom Wind in der Mitte der Troposphäre (in ca. 500 hPa) gesteuert werden**

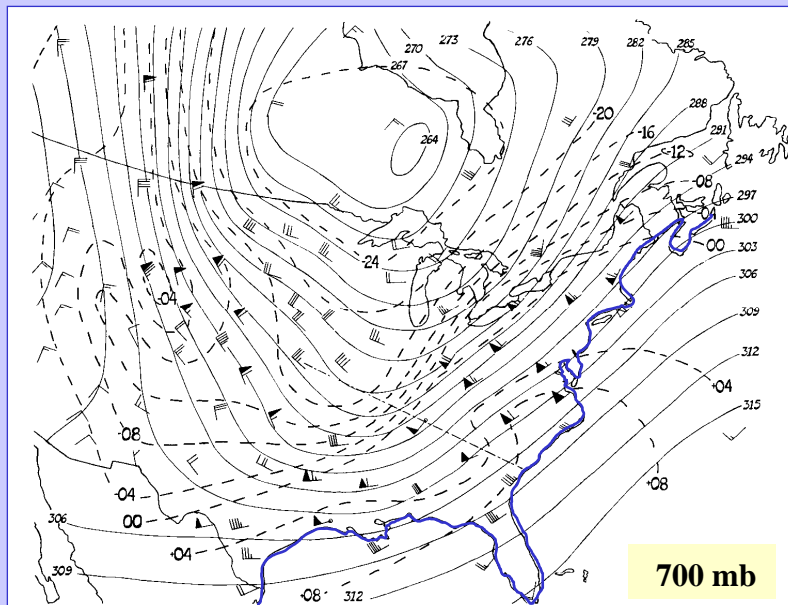
Höhenwetterkarten

- **Radiosonden messen Temperatur und Wind in Abhängigkeit vom Druck**
- **Es ist zweckmäßig, die Höhen bestimmter Druckflächen zu berechnen und die Messwerte in dem jeweiligen Druckniveau anzugeben**
- **In den Höhenwetterkarten sind Isohypsen (Linien gleicher geopotentieller Höhe) eingetragen**

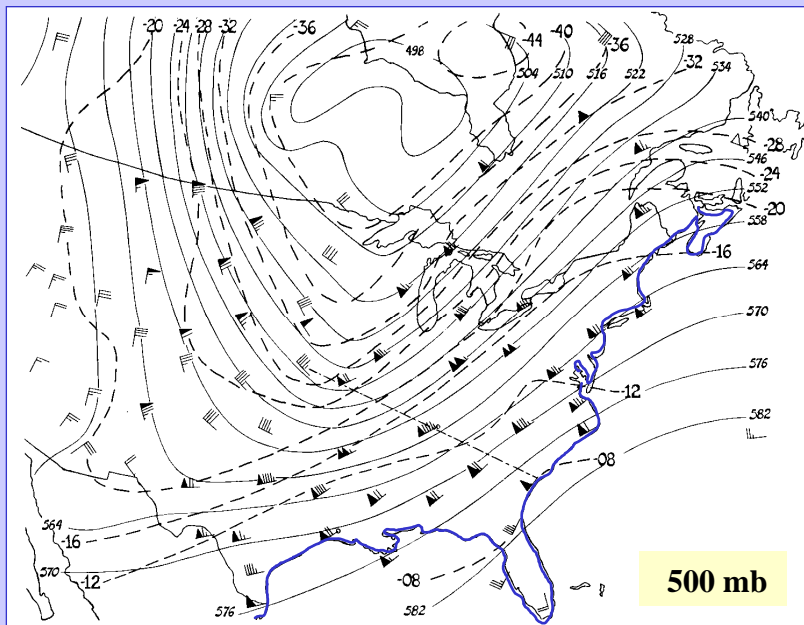
Isobars im 850 mb Niveau am 20 November 1964, 12 Z



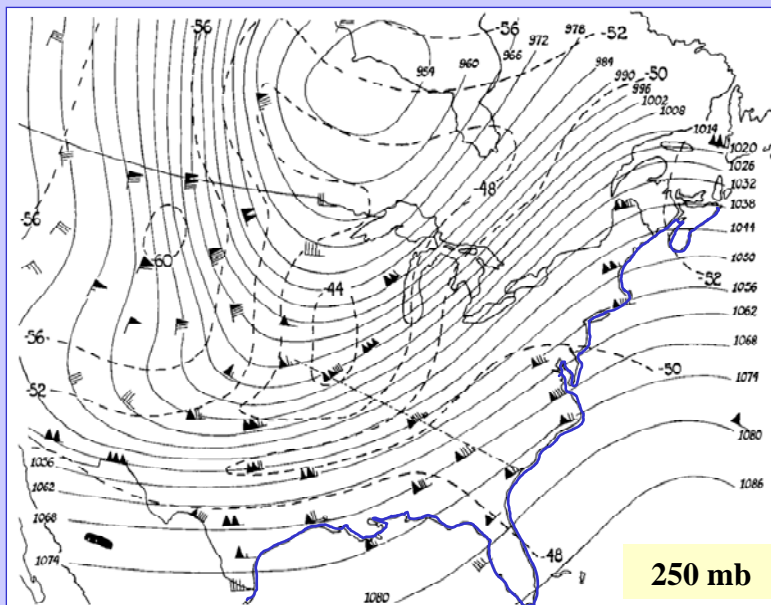
Isobars im 700 mb Niveau am 20 November 1964, 12 Z



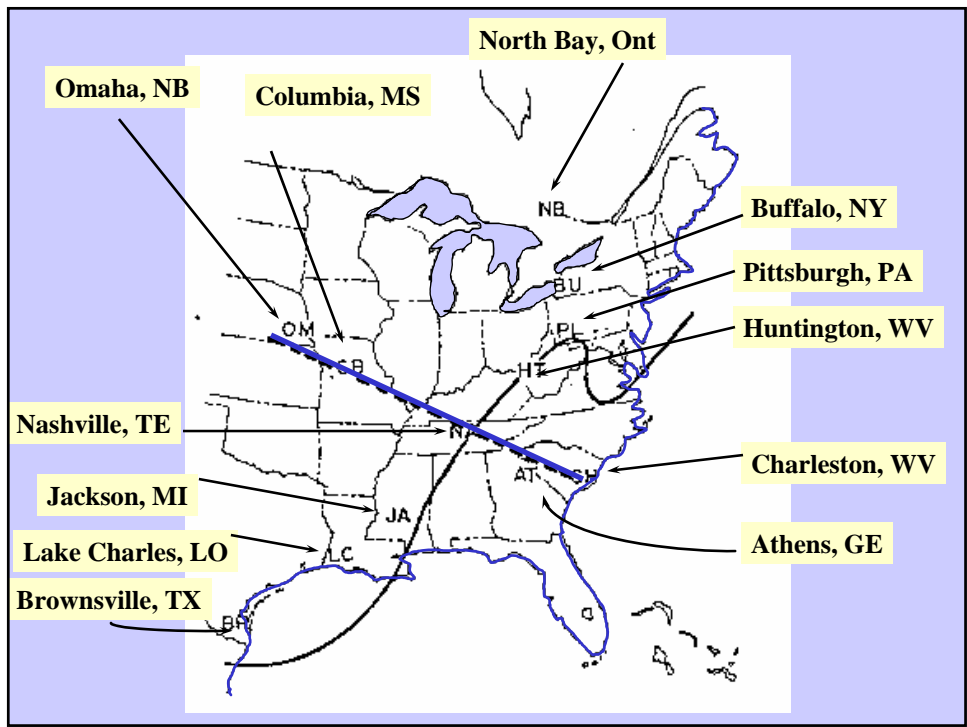
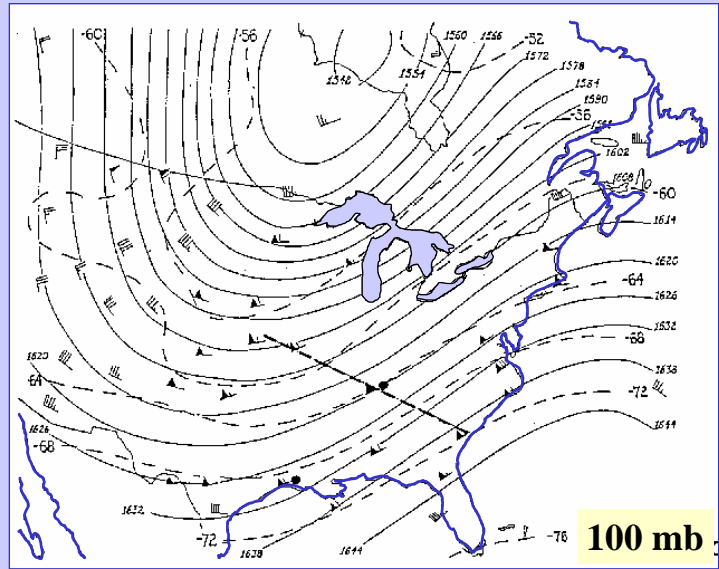
Isohypsen im 500 mb Niveau am 20 November 1964, 12 Z

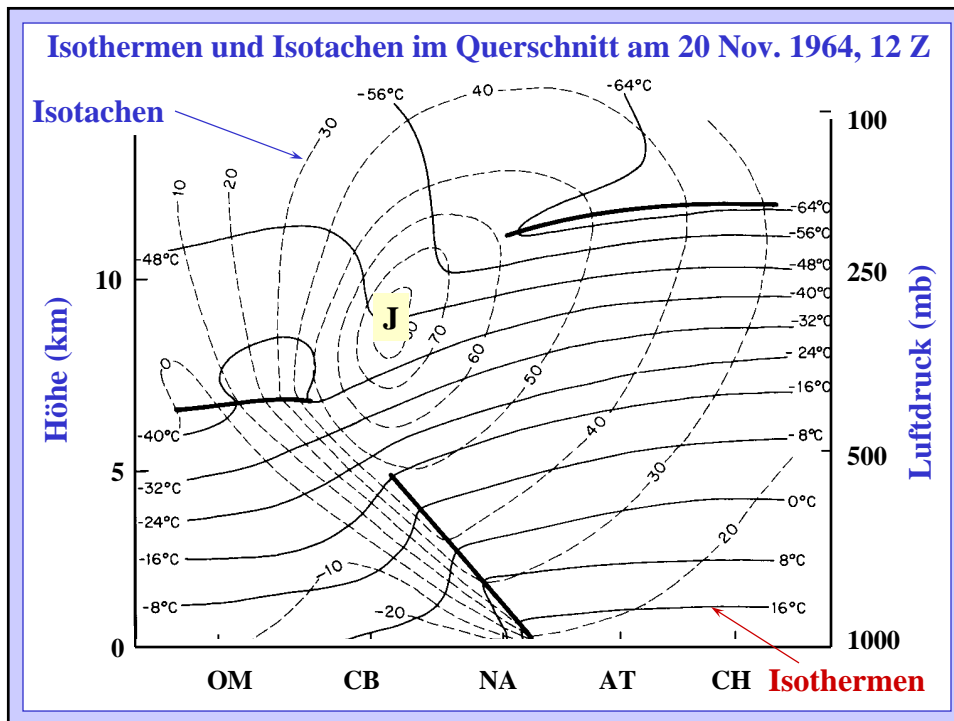
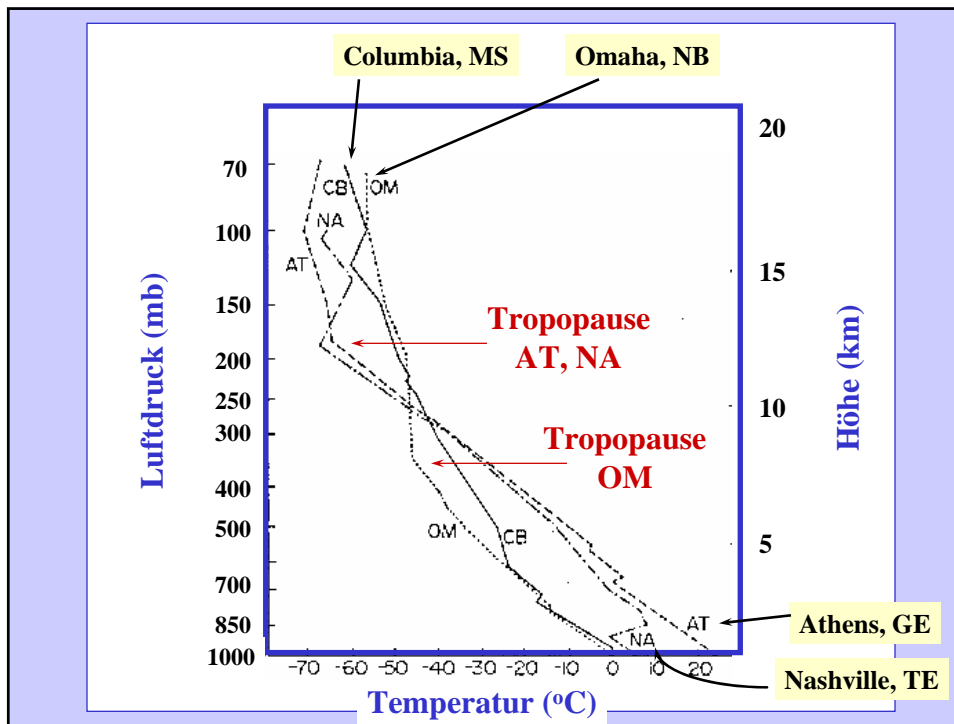


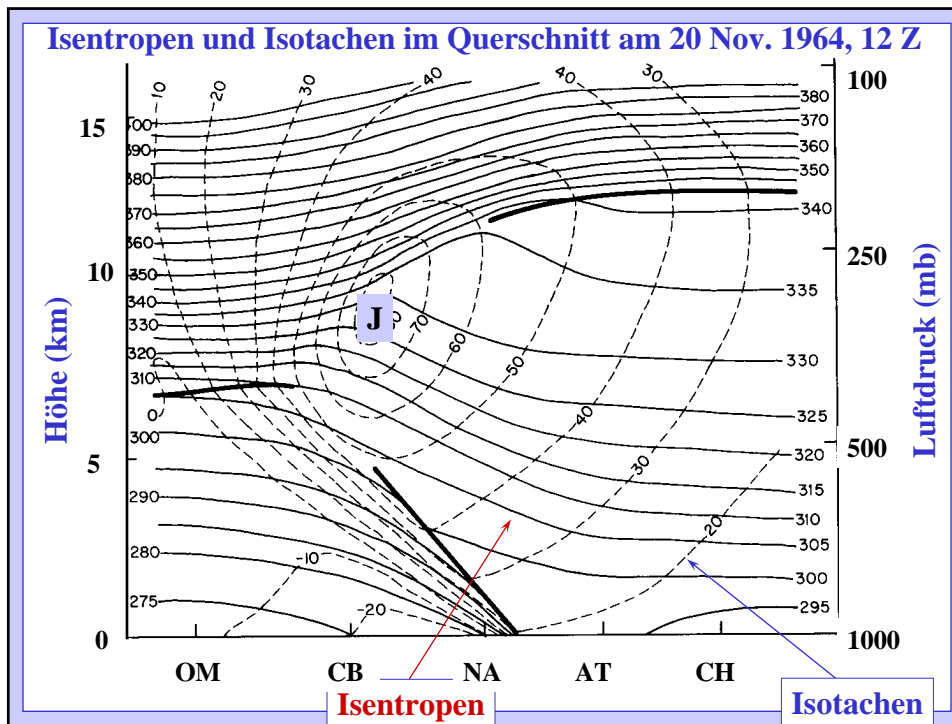
Isohypsen im 250 mb Niveau am 20 November 1964, 12 Z



Isohypsen im 100 mb Niveau am 20 November 1964, 12 Z







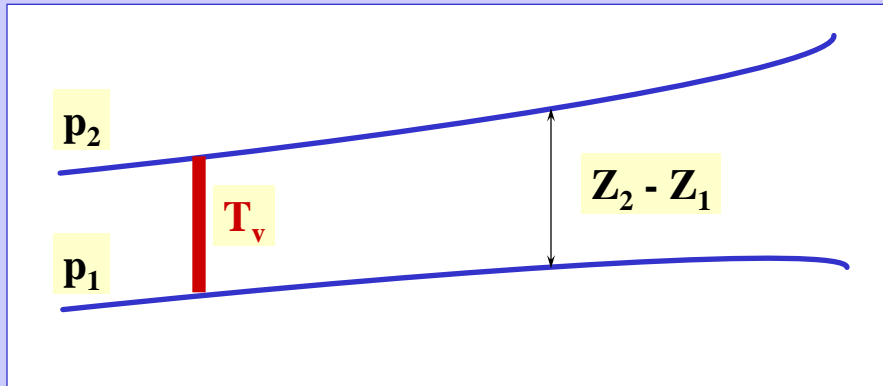
Schichtdicke

- Die Schichtdicke ist der geopotentielle Höhenunterschied $Z_2 - Z_1$ zwischen zwei beliebigen Niveaus in der Atmosphäre:

$$Z_2 - Z_1 = \frac{R_d}{g} \int_{p_2}^{p_1} T_v \frac{dp}{p}$$

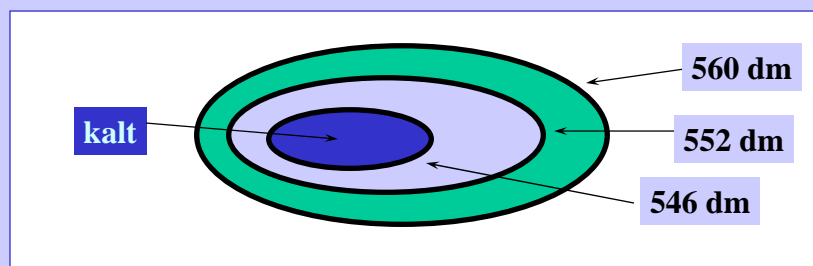
T_v ist die mittlere virtuelle Temperatur der eingeschlossenen Luft

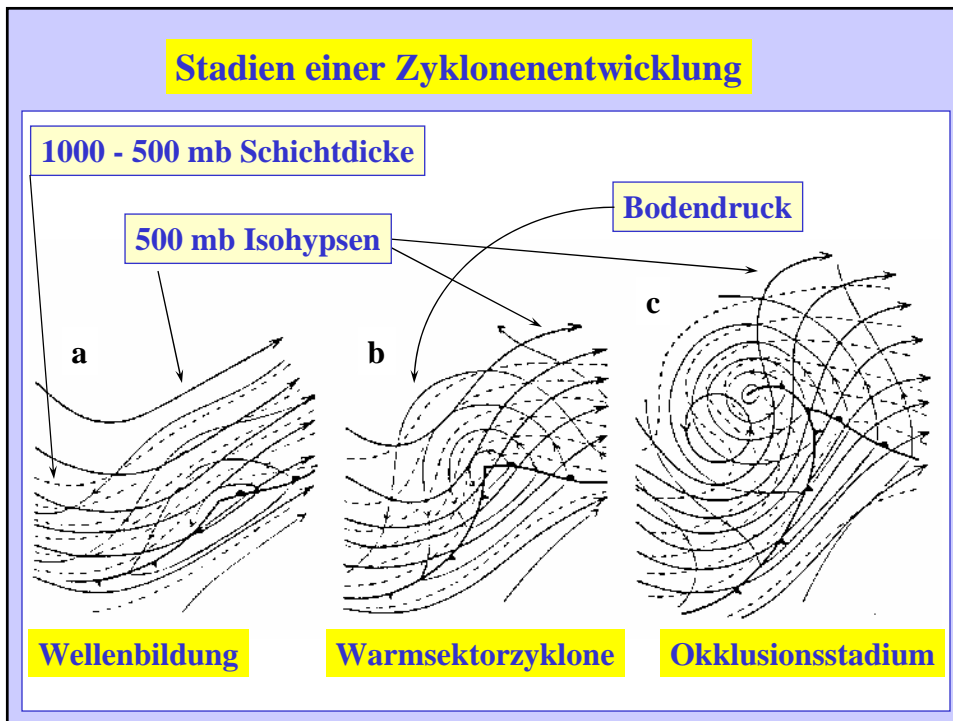
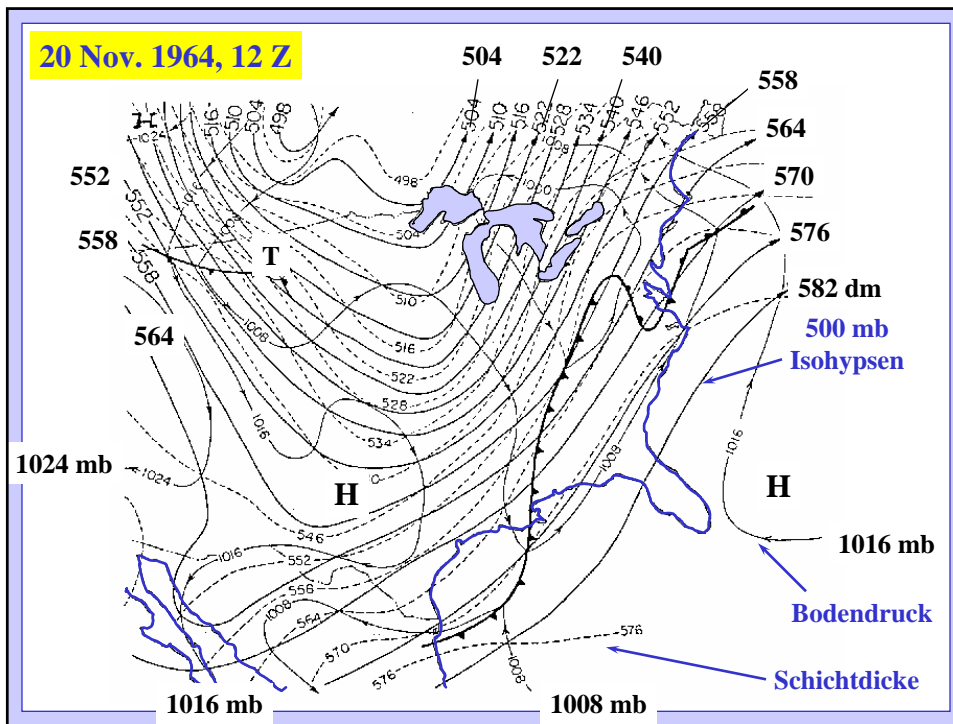
Schichtdicke

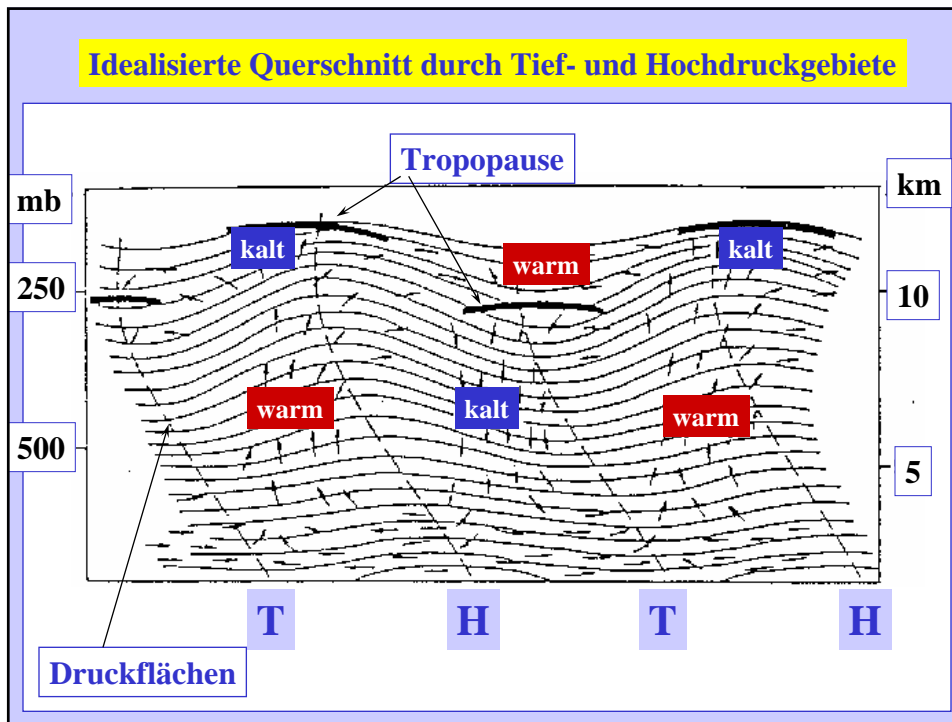


Relative Topographie

- Die relative Topographie stellt Isolinien konstanter Schichtdicke dar - z. B.
- Gebiete niedriger Schichtdicke sind Gebiete niedriger mittlerer Temperatur







Methoden der Wettervorhersage

- **Subjektiv**
 - Synoptische Analyse der Bodenkarte und extrapolieren
- **Objektiv**
 - Objektive Analyse der zur Verfügung stehenden Daten und mit Hilfe eines numerischen Wettervorhersagemodells

Numerische Wettervorhersagemodelle

- Basieren sich auf die partielle-differentielle Strömungs- und thermodynamische Gleichungen, die
 - die Newton'sche Bewegungsgleichung
 - die erste Hauptsatz von Thermodynamik
 - die Zustandsgleichung
 - die Kontinuitätsgleichung.ausdrücken

Die Lösung braucht:

- Anfangsfelder der vorhergesagten Grössen
- Randbedingungen an den Rändern des Modellgebiets, ausser für Globalemodelle
- Eine Darstellung der nicht aufgelösten physikalischen Prozesse (z.B. Gewitter, Kumuluswolken, kleinskalige Turbulenz)

Geschichte

- 1904 Wilhelm Bjerknes
 - Der “Vater” der numerischen Wettervorhersage
- 1922 Lewis Frey Richardson
 - Erste Versuche zur numerischen Wettervorhersage
- 1950 Charney, Fjortoft und von Neumann
 - Erster erfolgreicher Versuch der numerischen Wettervorhersage
- 1999 Globale Vorhersagemodelle sind Realität

NWP = Numerical Weather Prediction
= numerischen Wettervorhersage

- Eine numerische Wettervorhersage ist die Simulatione atmosphärischer Prozesse auf einem Rechner mit dem Ziel, die zukünftige Entwicklung abzuleiten.
- Grundlage ist, dass das atmosphärische Geschehen -und damit die Entwicklung des Wetters - sich durch physikalische Gesetzmäßigkeiten beschreiben läßt.
- Die mathematische Formulierung dieser Gesetzmäßigkeiten führt zu einem Gleichungssystem, das die zeitliche Änderung der atmosphärischen Zustandsvariablen (z.B. Luftdruck, Wind, Temperatur) beschreibt.

- Leider ist die mathematische Form dieser Gleichungen so komplex, dass eine exakte (analytische) Lösung zur Bestimmung des zukünftigen Zustandes der Atmosphäre nicht möglich ist.
- Näherungsweise können sie jedoch mit numerischen Verfahren gelöst werden. Zu diesem Zweck werden alle benötigten Variablen in einem aufspannenden Gitter dargestellt.
- Ausgehend vom Anfangszustand kann dann mit einem numerischen Lösungsverfahren für das Gleichungssystem die zeitliche Entwicklung der Verteilung der Variablen an den Gitterpunkten näherungsweise berechnet werden.
- Voraussetzung für die Stabilität der Lösungsverfahren ist eine schrittweise Berechnung der zeitlichen Entwicklung über kleine Zeitintervalle ('Zeitschritte').

- Der erste Schritt ist die Definition des Modellgitters.
- Schwierig, da die räumliche und zeitliche Struktur der wetterrelevanten Prozesse in der Atmosphäre sehr variabel ist.
- Es gibt großräumige (z. B. Hoch- und Tiefdruckgebiete mit charakteristischen Abmessungen von einigen 1000 km) und kleinräumige Phänomene (z.B. Wärmegewitter mit charakteristischen Abmessungen von einigen km)
- Demzufolge ist eine möglichst feine Auflösung des Modellgitters erstrebenswert. Im Idealfall sollte das hochauflösende Gitter die ganze Erde umspannen.

- Ein globales Modellgebiet und eine feine Auflösung des Gitters ist ein beschränkender Faktor für die endliche Leistungsfähigkeit der zur Verfügung stehende Rechner.
- Je mehr die Gitterpunktzahl desto größer der Rechenaufwand. Dazu kommt es, dass eine Vorhersage über einen Zeitraum von einigen Tagen in wenigen Stunden Rechenzeit fertig gestellt werden muss.
- Zum Beispiel im Routinebetrieb des DWD eingesetzten Modelle lösen dieses Problem so, dass in ein **Global Modell** (mit Namen GME) mit einer Maschenweite von 60 km ein hochauflösendes **Lokal-Modell** (LM) für das Gebiet Mitteleuropa mit einer Maschenweite von 7 km eingebettet ist.

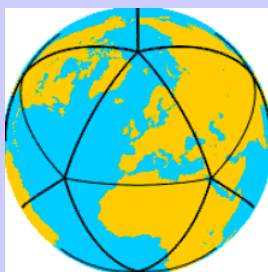
Den Anfangszustand für die numerische Wettervorhersage gewinnt man durch Messung aller relevanten Größen in einem weltumspannenden Beobachtungsnetz.

Verfügbare Daten

- Radiosonden: TEMP
- Rawinsoundings, Pilotballons, Wind Profiler
- Bodendaten: SYNOP/SHIP
- Drifting Buoys
- Aircraft: ASDARS
- Satellitendaten: SATOBS/TOVS, SMM/I, QSAT
- Synthetischdaten: PAOBs

- Eine direkte Simulation aller wichtigen atmosphärischen Prozesse in allen Fällen möglich.
- Prozesse, die auf räumlich-zeitlichen Skalen stattfinden, die nicht von der Gitterstruktur erfasst werden (z.B. Turbulenz, Bildung und Anwachsen von Wolken- und Niederschlagspartikeln), müssen durch sogenannte **Parametrisierungen** beschrieben werden.
- Ein schwieriges Problem ist die optimale Bestimmung von freien Parametern, die in den Parametrisierungen auftreten. Da die Parametrisierungen nur eine - manchmal sehr grobe - Annäherung an den jeweiligen Prozess darstellen, sind solche Parameter in der Regel nicht aus physikalischen Überlegungen abzuleiten.

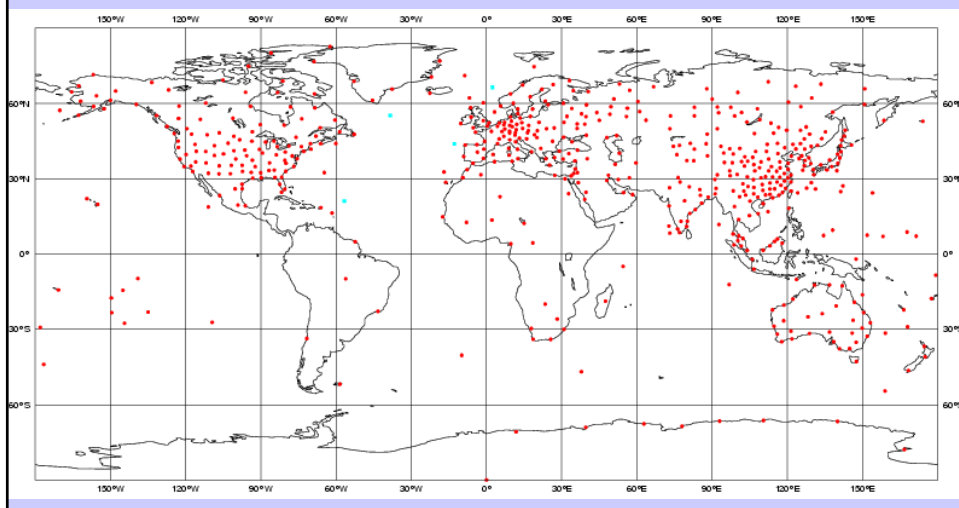
- Die Vorhersage mit dem Global-Modell GME basiert auf eine Dreiecksgitter Methode (entwickelt in den Jahren 1995 bis 1998)
- Im Erdkugel ist ein Ikosaeder platziert. Durch Verbindung der Ecken des Ikosaeders mit Großkreisabschnitten auf der Kugel entstehen 20 gleichseitige sphärische Dreiecke mit einer Seitenlänge von etwa 7054 km.
- Durch Unterteilung (z. B. Halbierung) der sphärischen Dreiecke wird ein Gitter der erwünschten Modellauflösung erzeugt. Als Maschenweite wird dabei die mittlere Seitenlänge der kleinsten sphärischen Dreiecke bezeichnet; sie beträgt beim GME zur Zeit 60 km.



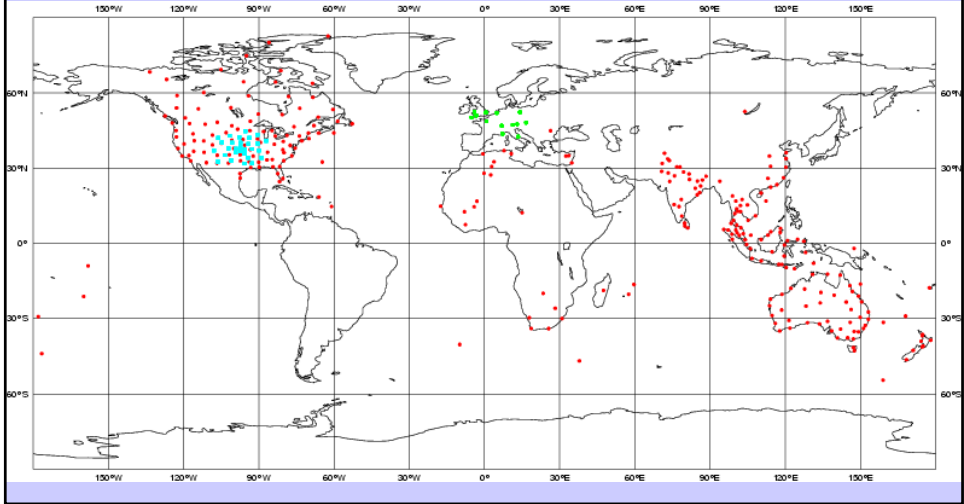
ECMWF DATA COVERAGE - TEMP

09 Apr 2002 00Z

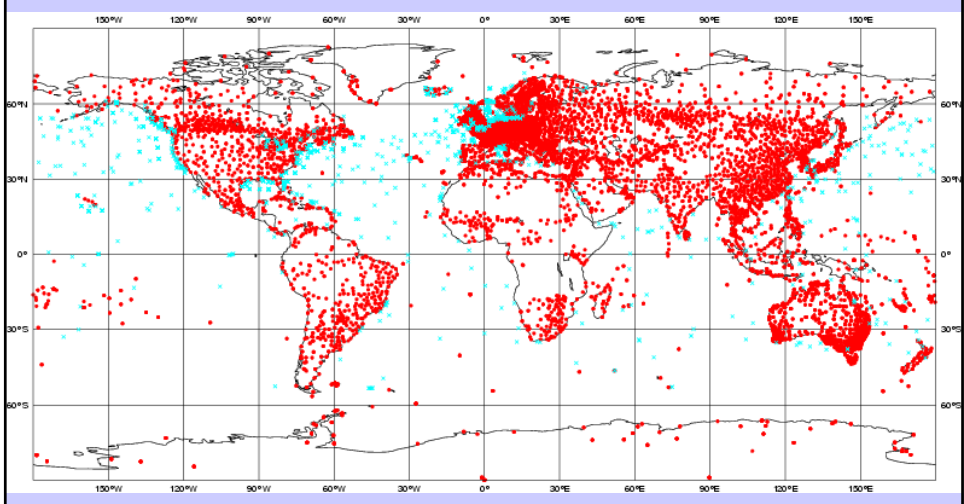
Total number of obs = 566



ECMWF DATA COVERAGE - PILOT/PROFILER
09 Apr 2002 00Z
Total number of obs = 623



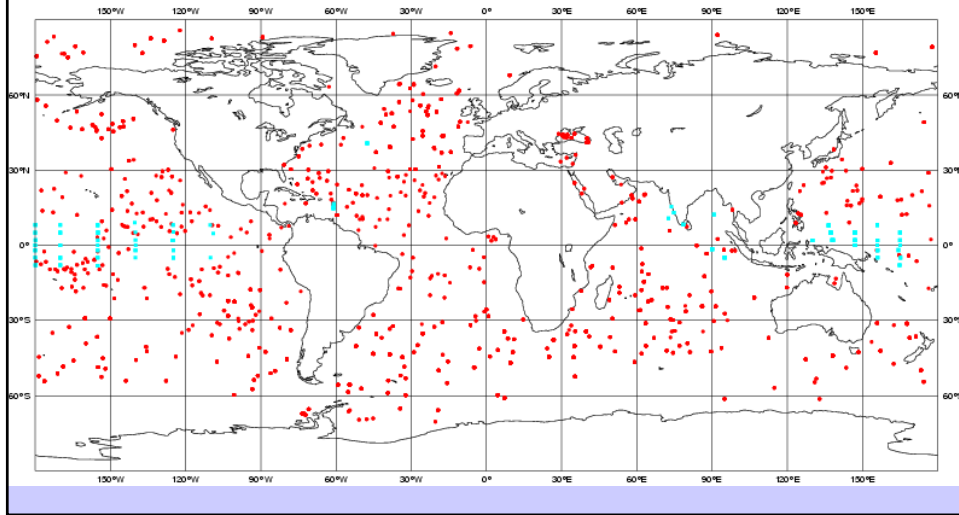
ECMWF DATA COVERAGE - SYNOP/SHIP
09 Apr 2002 00Z
Total number of obs = 14028



ECMWF DATA COVERAGE - BUOY

09 Apr 2002 00Z

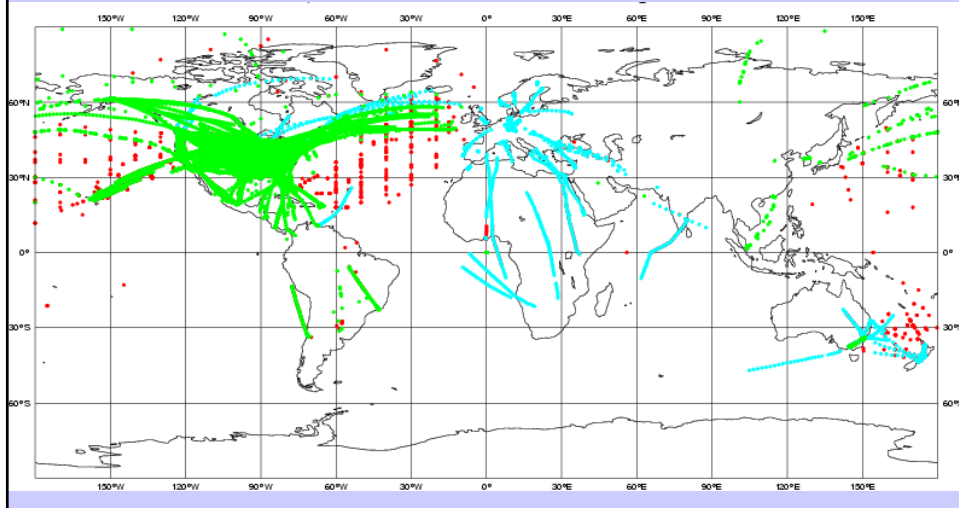
Total number of obs = 2800



ECMWF DATA COVERAGE - AIRCRAFT

09 Apr 2002 00Z

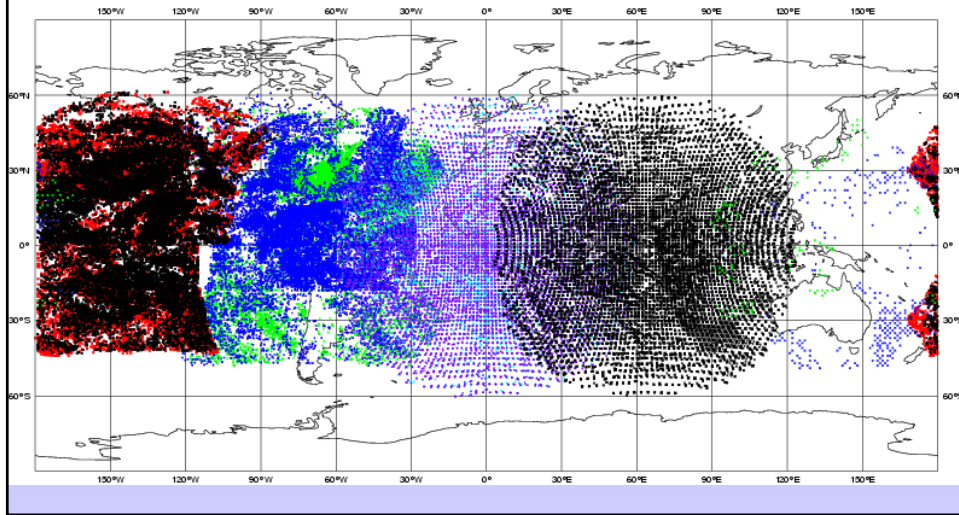
Total number of obs = 39863



ECMWF DATA COVERAGE - SATOB

09 Apr 2002 00Z

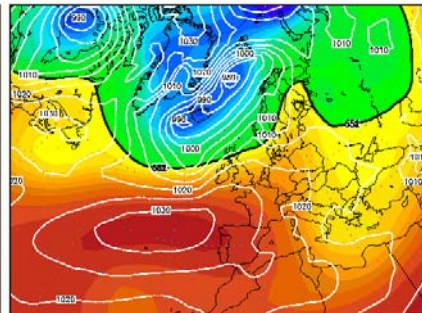
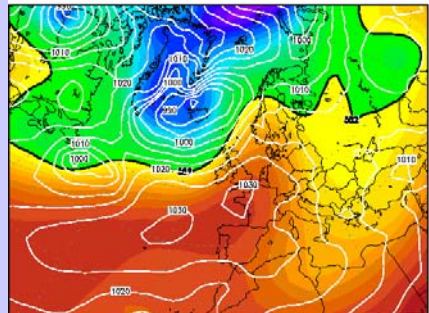
Total number of obs = 110456



ECMWF 3 - 6 Tage Vorhersage 24 - 27 Apr 2002 12Z

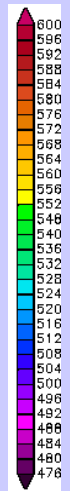
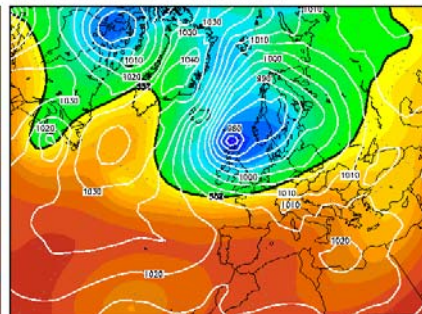
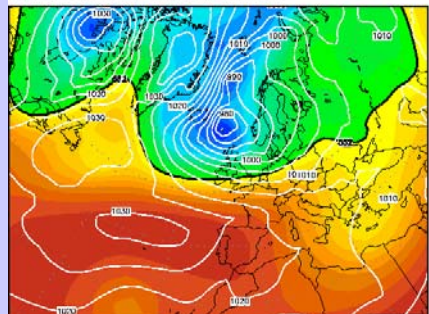
Int: Sun,21APR2002 12Z Val: Wed,24APR2002 12Z

Int: Sun,21APR2002 12Z Val: Thu,25APR2002 12Z

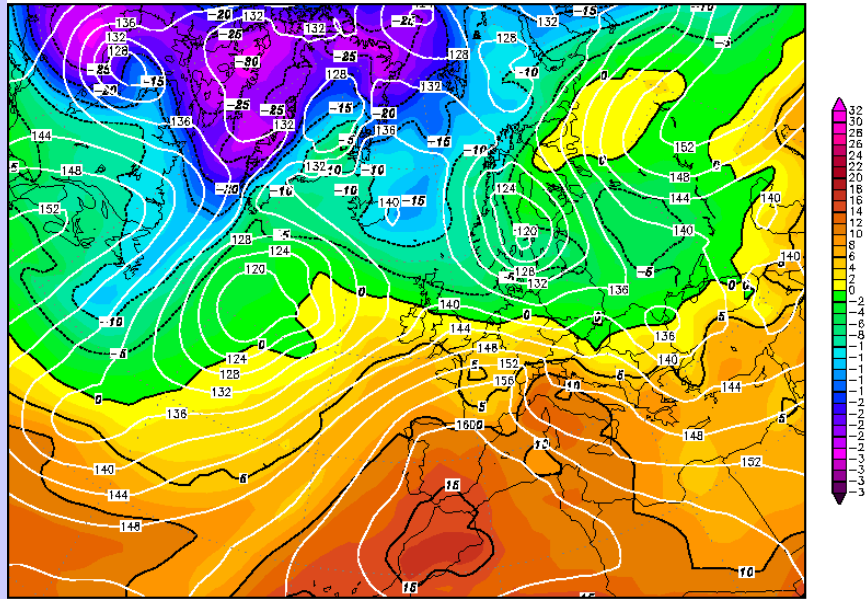


Int: Sun,21APR2002 12Z Val: Fri,26APR2002 12Z

Int: Sun,21APR2002 12Z Val: Sat,27APR2002 12Z



Init : Wed,20MAR2002 12Z Valid: Wed,20MAR2002 12Z
850 hPa Geopot. (gpm) und Temperatur (Grad C)

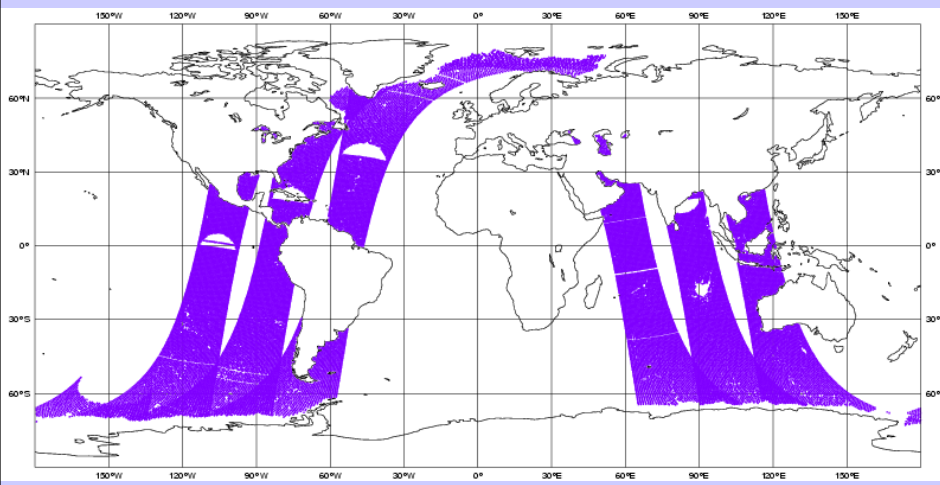


Daten: 00/12z-Lauf des UKMO-Modells (britischer Wetterdienst)
Wetterzentrale Karlsruhe
Top Karten : <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/>

ECMWF DATA COVERAGE - QSCAT

09 Apr 2002 00Z

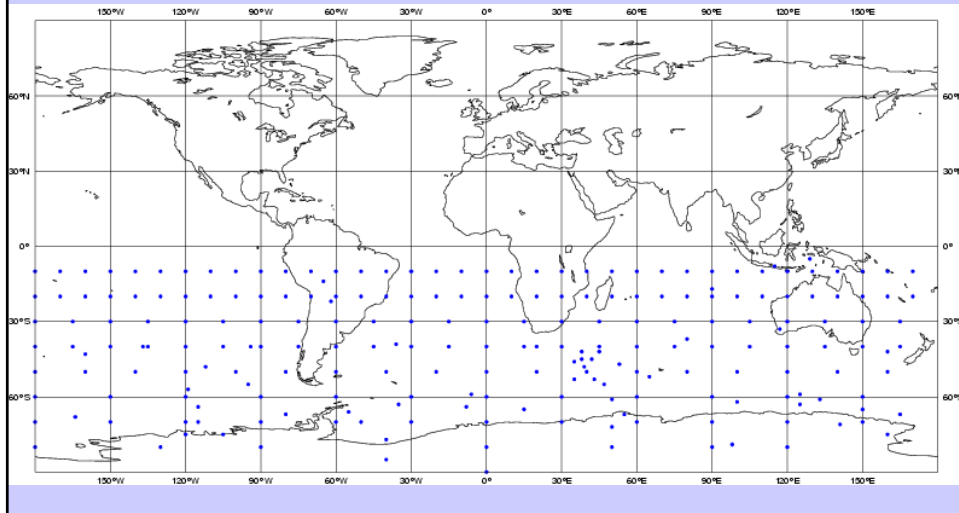
Total number of obs = 44281



ECMWF DATA COVERAGE - PAOB

09 Apr 2002 00Z

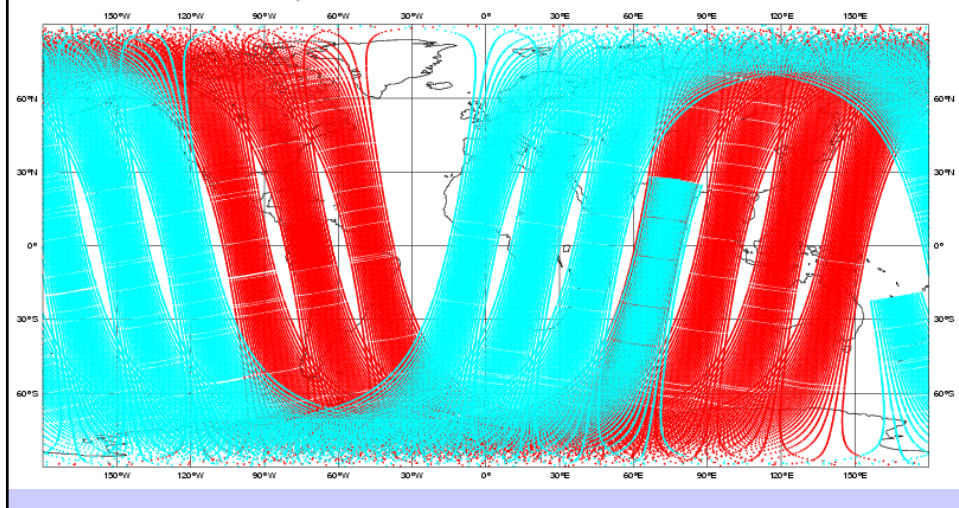
Total number of obs = 223



ECMWF DATA COVERAGE - ATOVS

09 Apr 2002 00Z

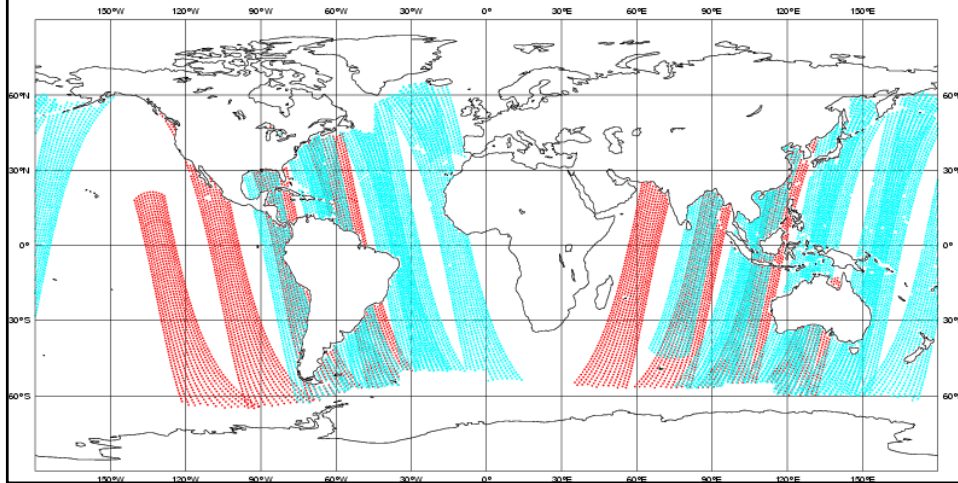
Total number of obs = 158436



ECMWF DATA COVERAGE - SMM/I

09 Apr 2002 00Z

Total number of obs = 18511



Ende