

# 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 Wettervorhersage



# Geschichte

- 1904 **Wilhelm Bjerknes**
  - Der “Vater” der numerischen Wettervorhersage
- 1922 **Lewis Frey Richardson**
  - Erste Versuche zur numerischen Wettervorhersage
- 1950 **Charney, Fjørtoft und von Neumann**
  - Erster erfolgreicher Versuch der numerischen Wettervorhersage
- 1990's **Globale Vorhersagemodelle sind Realität**

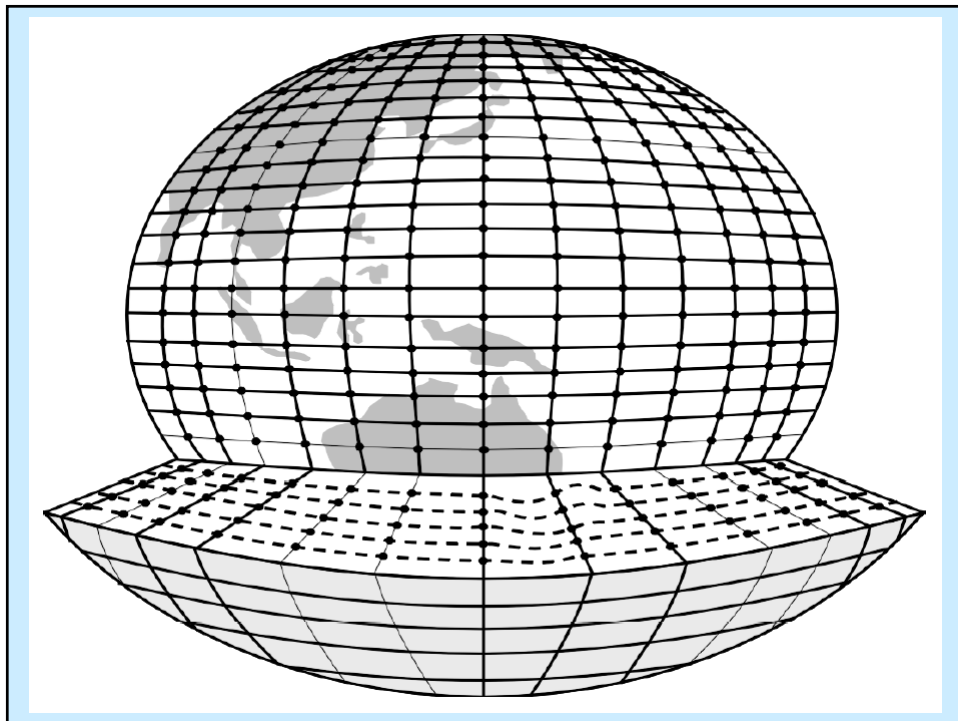
**NWP = Numerical Weather Prediction  
= numerische Wettervorhersage**

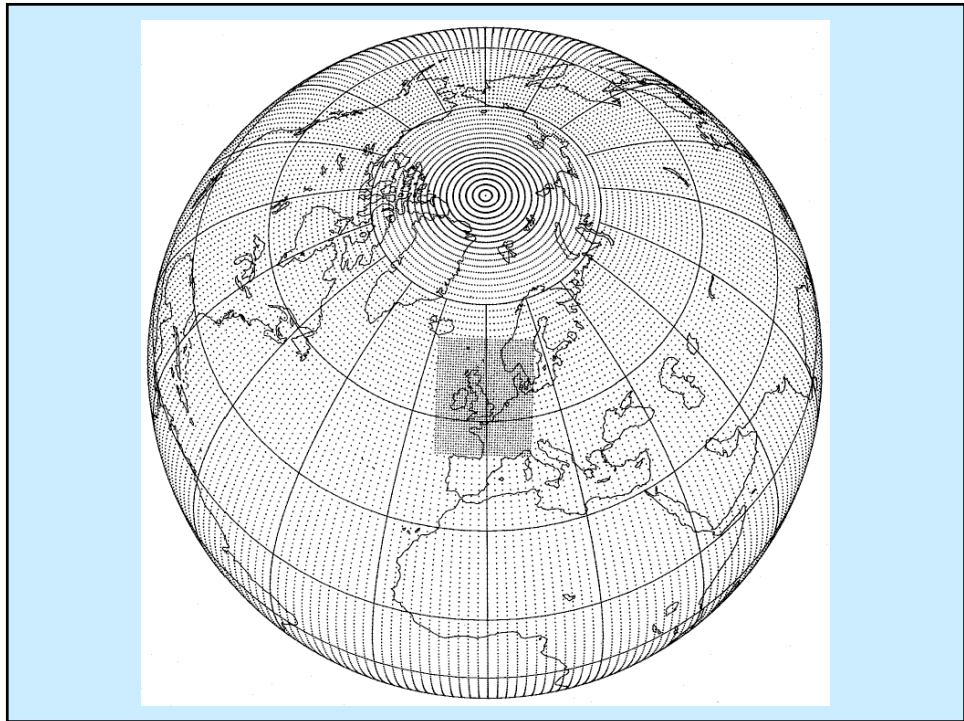
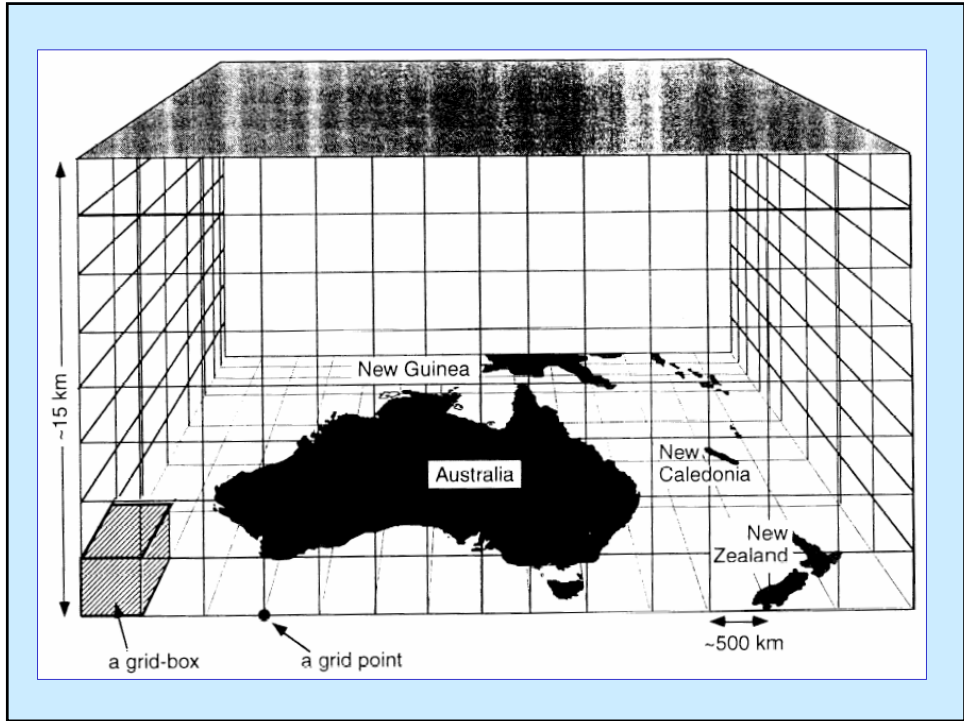
## Numerische Wettervorhersagemodelle

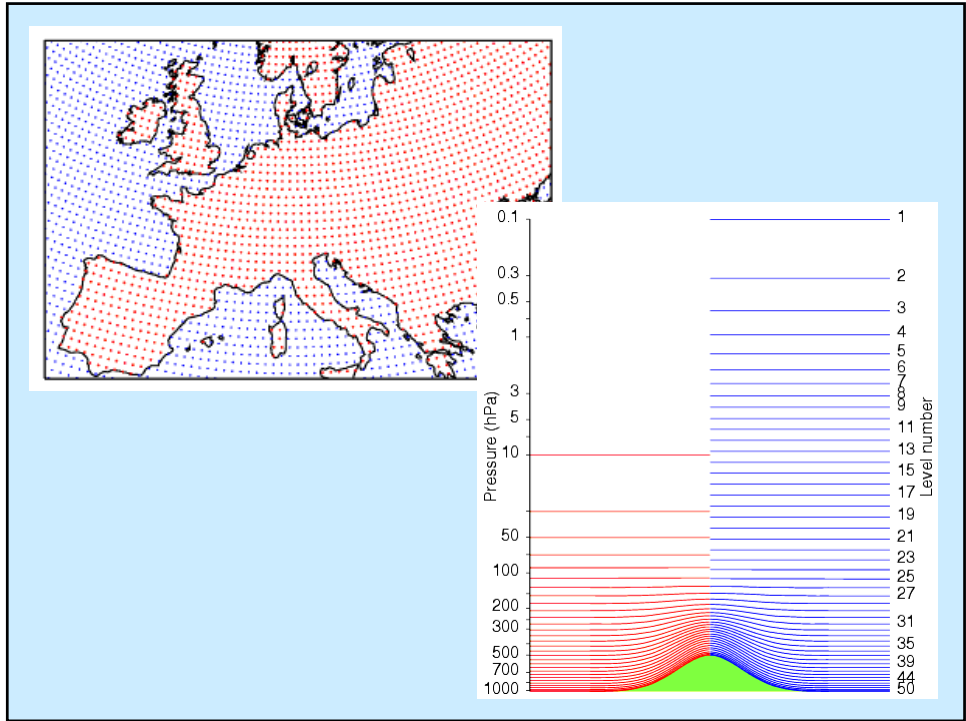
- **Basieren sich auf die partielle-differentielle Strömungs- und thermodynamische Gleichungen, die**
    - die Newton'sche Bewegungsgleichung
    - die erste Hauptsatz von Thermodynamik
    - die Zustandsgleichung
    - die Kontinuitätsgleichung.
- ausdrücken**

### Die Lösung braucht:

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







## Gleichungen des DWD-Modells

### 1. Bewegungsgleichung

$$\frac{\partial u}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \frac{\partial E_x}{\partial \lambda} - v V_a \right\} - \zeta \frac{\partial u}{\partial \zeta} - \left\{ \frac{\partial p'}{\partial t} = - \left[ \frac{1}{a \cos \varphi} \left( u \frac{\partial p'}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial p'}{\partial \varphi} \right) \right] - \zeta \frac{\partial p'}{\partial \zeta} + \frac{1}{\rho a \cos \varphi} \left( \frac{\partial p'}{\partial \lambda} - \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \frac{\partial p_0}{\partial \lambda} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} \right) + M_u \right\} - g \rho_0 w - \frac{c_{M,u}}{c_{M,d}} \rho D$$

### Druckgleichung

### 2. Bewegungsgleichung

$$\frac{\partial v}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a} \frac{\partial E_y}{\partial \varphi} + u V_a \right\} - \zeta \frac{\partial v}{\partial \zeta} - \left\{ \frac{\partial p'}{\partial t} = - \left[ \frac{1}{a \cos \varphi} \left( u \frac{\partial p'}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial p'}{\partial \varphi} \right) \right] - \zeta \frac{\partial p'}{\partial \zeta} + \frac{1}{\rho a} \left( \frac{\partial p'}{\partial \varphi} - \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \frac{\partial p_0}{\partial \varphi} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} \right) + M_v \right\}$$

### Temperaturgleichung

$$\frac{\partial T}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \left( u \frac{\partial T}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) \right\} - \zeta \frac{\partial T}{\partial \zeta} - \frac{1}{\rho c_{M,d}} \rho D + Q_r$$

### Gleichung für Wasserdampf

$$\frac{\partial q'}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \left( u \frac{\partial q'}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial q'}{\partial \varphi} \right) \right\} - \zeta \frac{\partial q'}{\partial \zeta} - (S' + S'') + M_q$$

### 3. Bewegungsgleichung

$$\frac{\partial w}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \left( u \frac{\partial w}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial w}{\partial \varphi} \right) \right\} - \zeta \frac{\partial w}{\partial \zeta} + \frac{g}{\sqrt{\gamma}} \frac{\rho_0}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} + M_w$$

### Gleichung für flüssige und feste Phase des Wassers

$$\frac{\partial q^{l,f}}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \left( u \frac{\partial q^{l,f}}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial q^{l,f}}{\partial \varphi} \right) \right\} - \zeta \frac{\partial q^{l,f}}{\partial \zeta} - \frac{g}{\sqrt{\gamma}} \frac{\rho_0}{\rho} \frac{\partial P_{l,f}}{\partial \zeta} + S^{l,f} + M_{q^{l,f}}$$

$$+ g \frac{\rho_0}{\rho} \left[ \frac{T - T_0}{T} - \frac{T_0 P'}{T P_0} + \left( \frac{R_v}{R_d} - 1 \right) q' - q' - q^l \right]$$

### Gleichung für die Dichte (Zustandsgleichung)

$$\rho = \rho \{ R_v [1 + (\frac{R_v}{R_d} - 1) q' - q' - q^l] T \}^{-1}$$

## Partielle differentielle Gleichungen

### Prognostische Gleichung für die Temperatur

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -u \frac{\partial T}{\partial x} - v \frac{\partial T}{\partial y} - w \frac{\partial T}{\partial z} + Q$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} \approx \frac{T(x + \Delta x, y, z, t) - T(x, y, z, t)}{\Delta x}$$

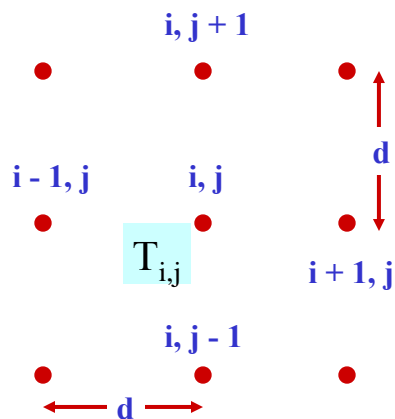
$$\frac{\partial T}{\partial t} \approx \frac{T(x, y, z, t + \Delta t) - T(x, y, z, t)}{\Delta t}$$

$$T(x, y, z, t + \Delta t) \approx T(x, y, z, t) + \frac{\partial T}{\partial t} \Delta t$$

Vorhersage für  $T(x, y, z)$  bei der Zeit  $t + \Delta t$

## Gitter

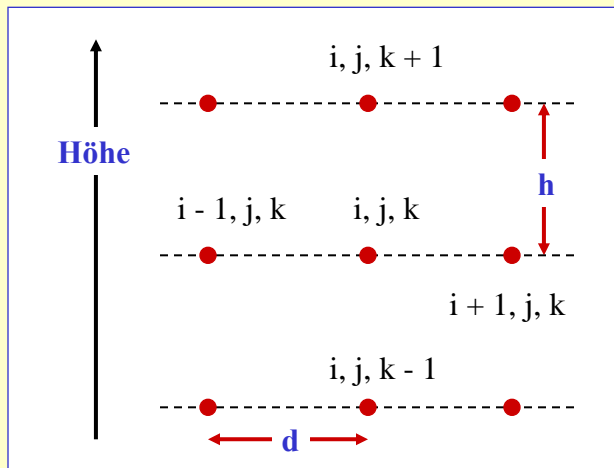
West



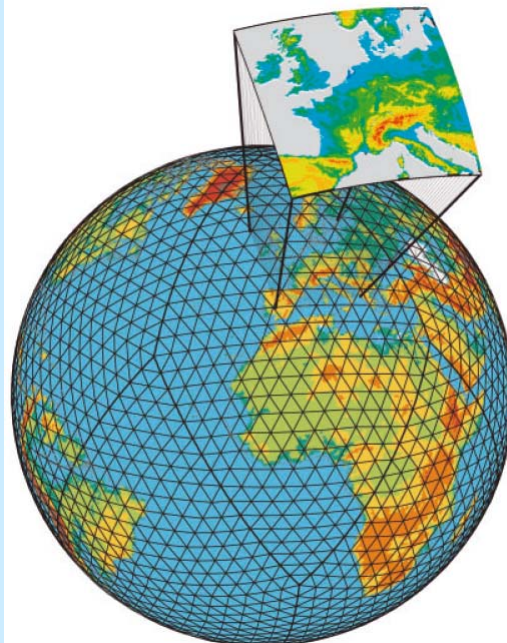
$$\left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)_{i,j} \approx \frac{T_{i-1,j} - T_{i+1,j}}{2d}$$

Ost

Es gibt auch Gitterpunkte im Vertikal  $\Rightarrow T_{i,j,k}(t)$



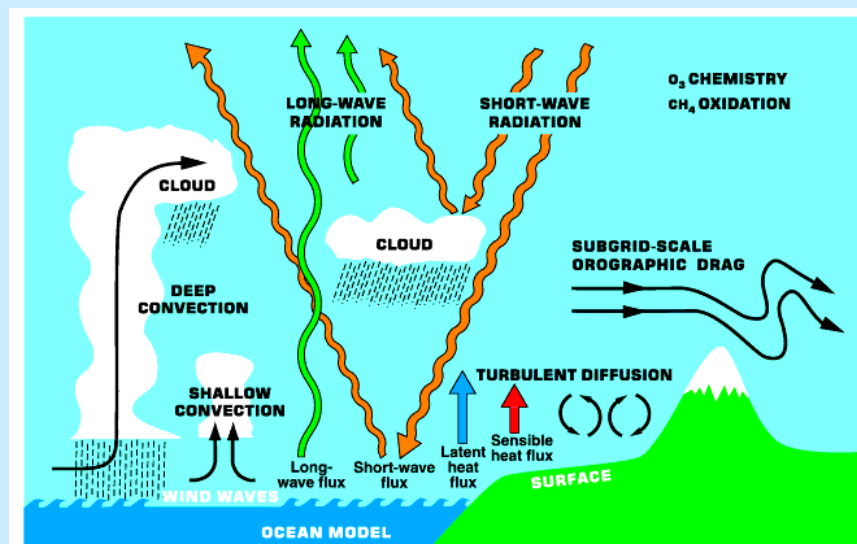
Prognostische Gleichung für die Temperatur (z.B.) bei jedem Gitterpunkt,  $T_{i,j,k}(t)$



Nestung des LM-Gitters in das GME-Gitter

	GME	LM
Vorhersagfrist	174 h	48 h
24-h-Vorhersage dauert	etwa 5 min Realzeit	etwa 30 min Realzeit
Art des Modells	Gitterpunktmodell Isokader-Gitter Arakawa-A-Gitter	Gitterpunktmodell rotiertes geographisches Gitter Arakawa-C-Gitter
Modellgebiet	Global	Regional (z.B. Mitteleuropa): 2000 · 2000 km <sup>2</sup>
Modellgleichungen	Hydrostatisch	Nicht-hydrostatisch
Integrationsverfahren	semi-implizit	split-explizit
Zeitschritt	200 s	40 s
Bestimmung der Vertikalbewegung	Indirekt über Massenkontinuitätsgleichung	Prognostische Gleichung für w
Horizontale Auflösung	etwa 60 km	etwa 7 km
Ein Gitterpunkt repräsentiert eine Fläche von	etwa 3100 km <sup>2</sup>	etwa 50 km <sup>2</sup>
Maximale Höhe der Alpen	etwa 2.300 m	3.426 m
Vertikales Koordinatensystem	Hybride geländefolgende Druck-Koordinate unten: $\sigma_p$ -System oben: p-System	Hybride geländefolgende Höhen-Koordinate unten: $\sigma_z$ -System oben: z-System
Vertikale Auflösung	31 Schichten	35 Schichten
Unterste Modellebene liegt in	etwa 34 m über Grund	34 m über Grund
Unterhalb von 1.000 m	5 Modell-Flächen	8 Modell-Flächen
1.000 m bis 2.000 m	2 Modell-Flächen	4 Modell-Flächen
2.000 m bis 250 hPa	13 Modell-Flächen	15 Modell-Flächen

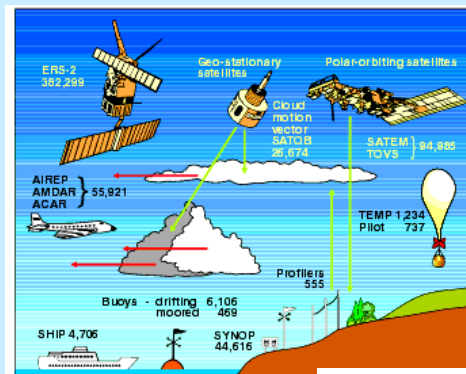
## Parameterisierungen





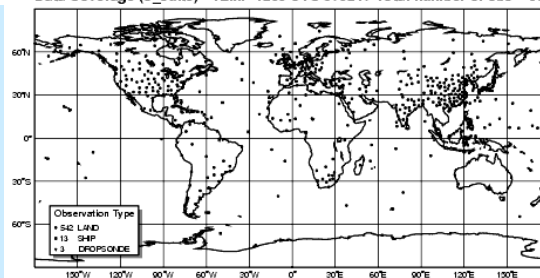
## Verfügbare Daten

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



## Die Daten

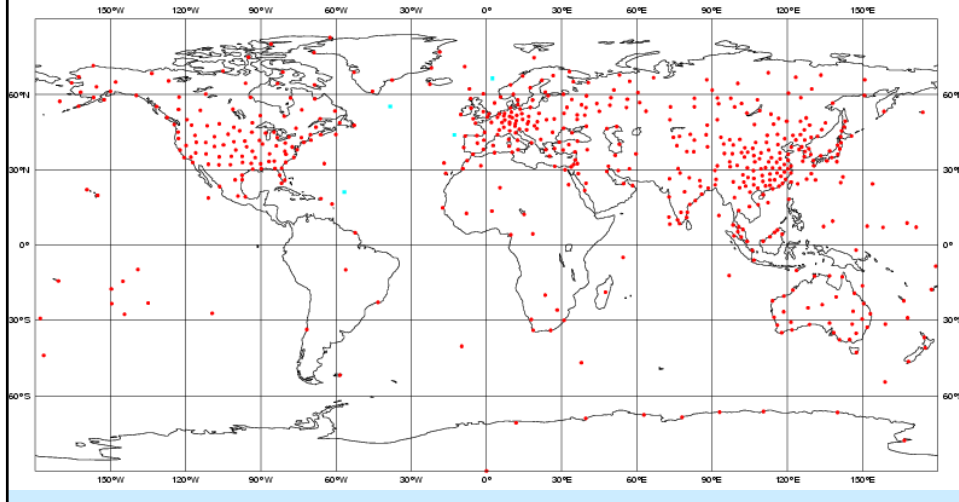
Data Coverage (o\_suite) - TEMP 1200 UTC 970217 Total number of obs = 558



**ECMWF DATA COVERAGE - TEMP**

**09 Apr 2002 00Z**

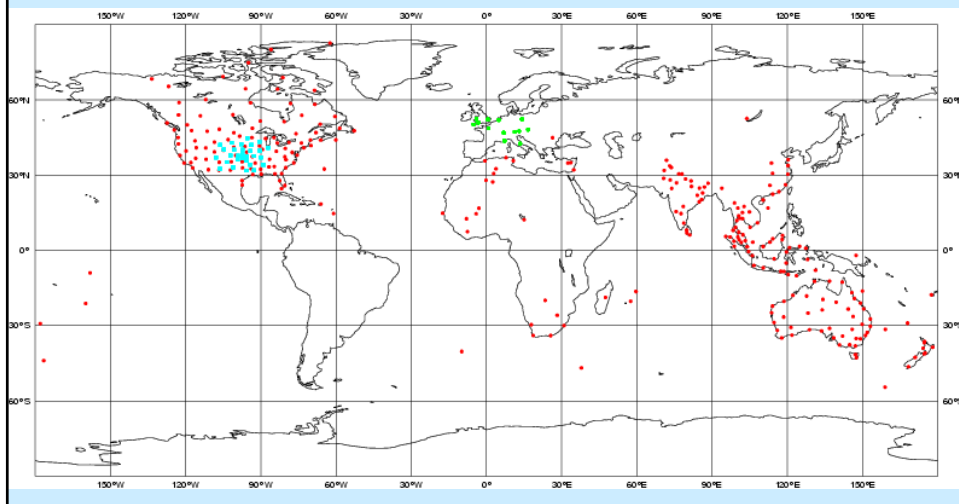
**Total number of obs = 566**



**ECMWF DATA COVERAGE - PILOT/PROFILER**

**09 Apr 2002 00Z**

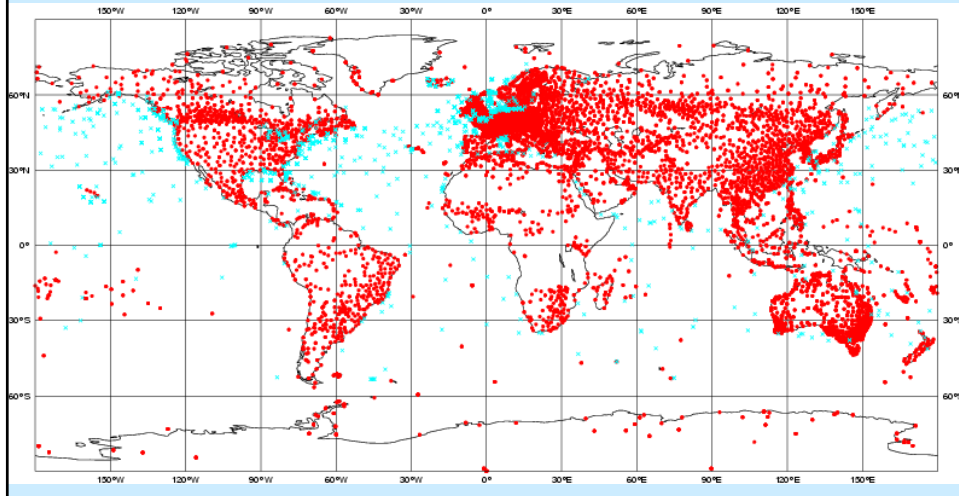
**Total number of obs = 623**



**ECMWF DATA COVERAGE - SYNOP/SHIP**

**09 Apr 2002 00Z**

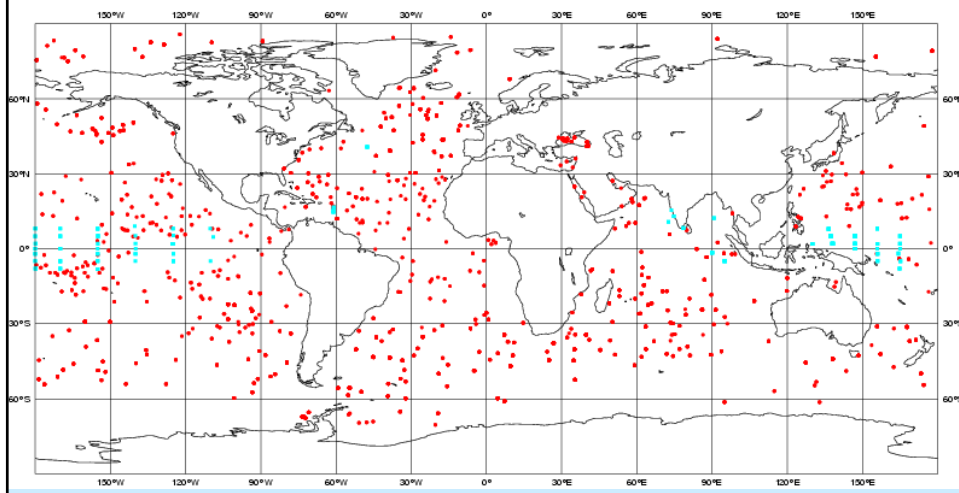
**Total number of obs = 14028**



**ECMWF DATA COVERAGE - BUOY**

**09 Apr 2002 00Z**

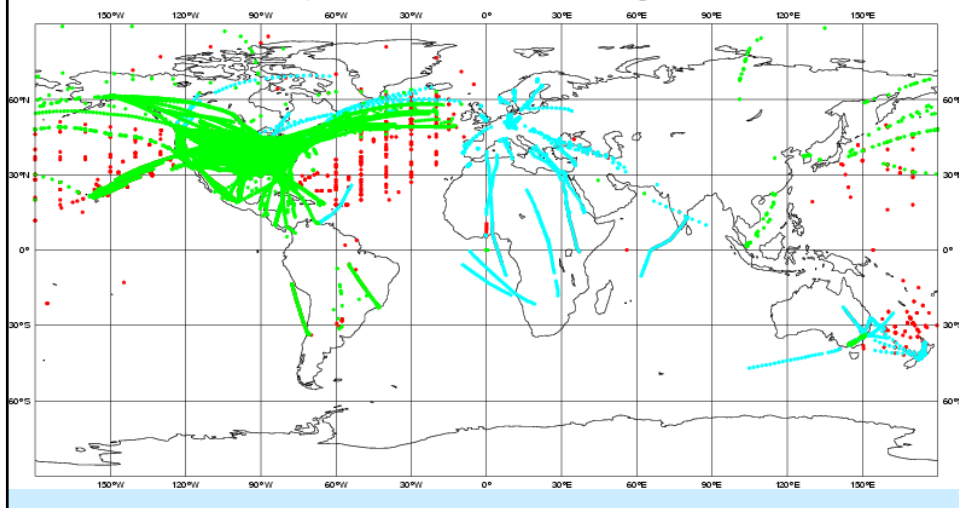
**Total number of obs = 2800**



**ECMWF DATA COVERAGE - AIRCRAFT**

**09 Apr 2002 00Z**

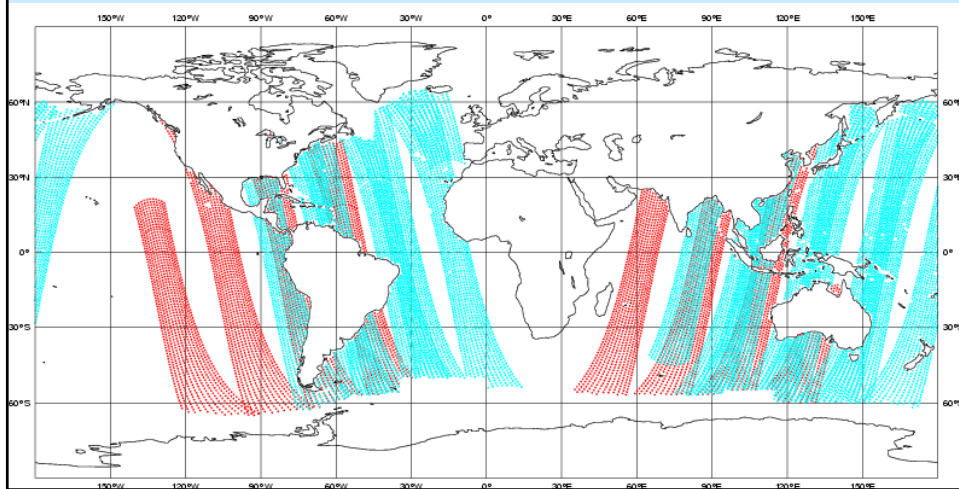
**Total number of obs = 39863**



**ECMWF DATA COVERAGE - SMM/I**

**09 Apr 2002 00Z**

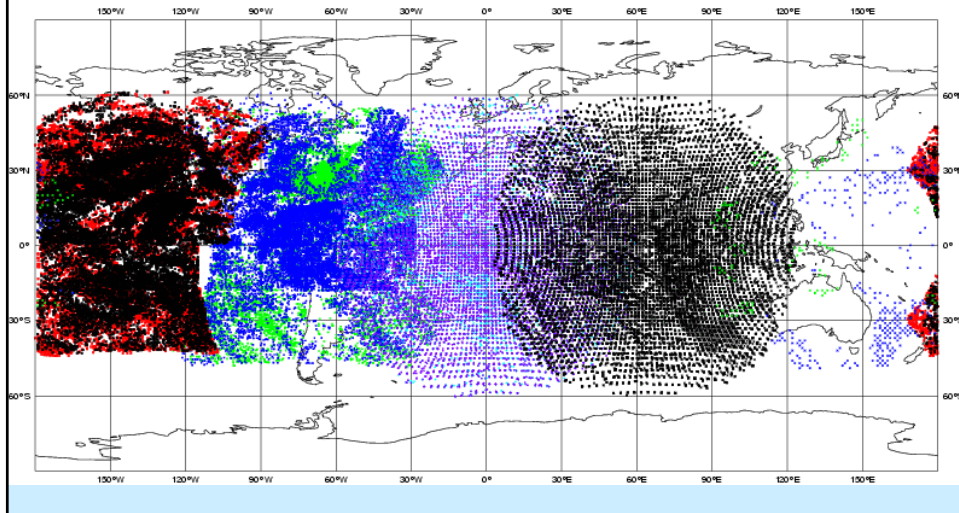
**Total number of obs = 18511**



**ECMWF DATA COVERAGE - SATOB**

**09 Apr 2002 00Z**

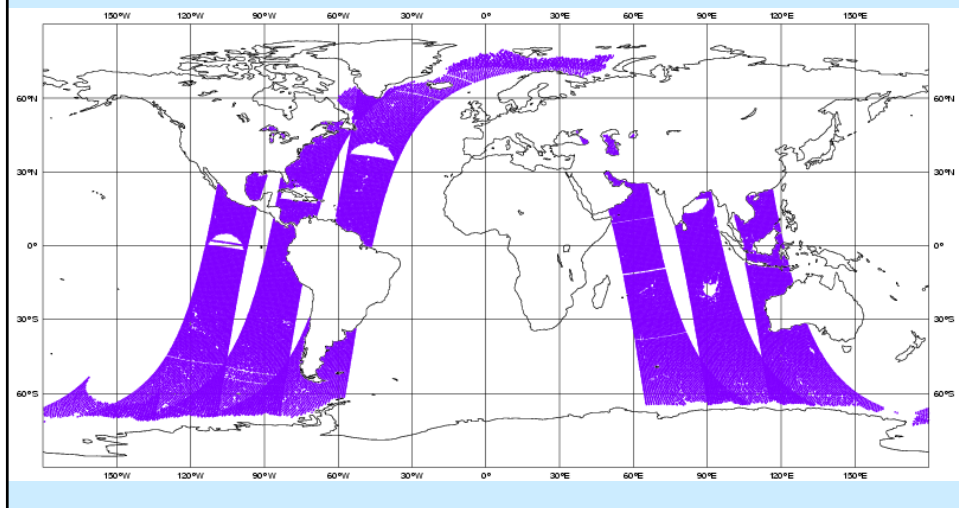
**Total number of obs = 110456**



**ECMWF DATA COVERAGE - QSCAT**

**09 Apr 2002 00Z**

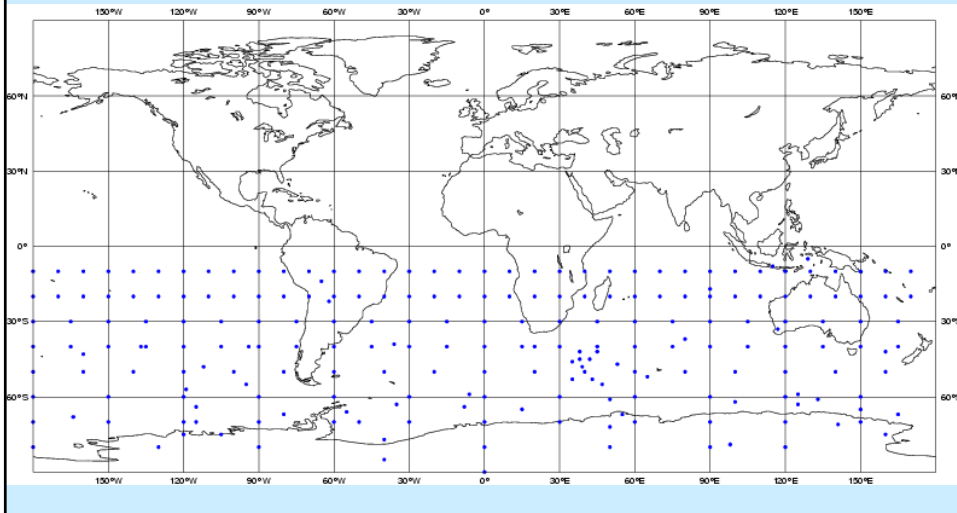
**Total number of obs = 44281**



**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**

