

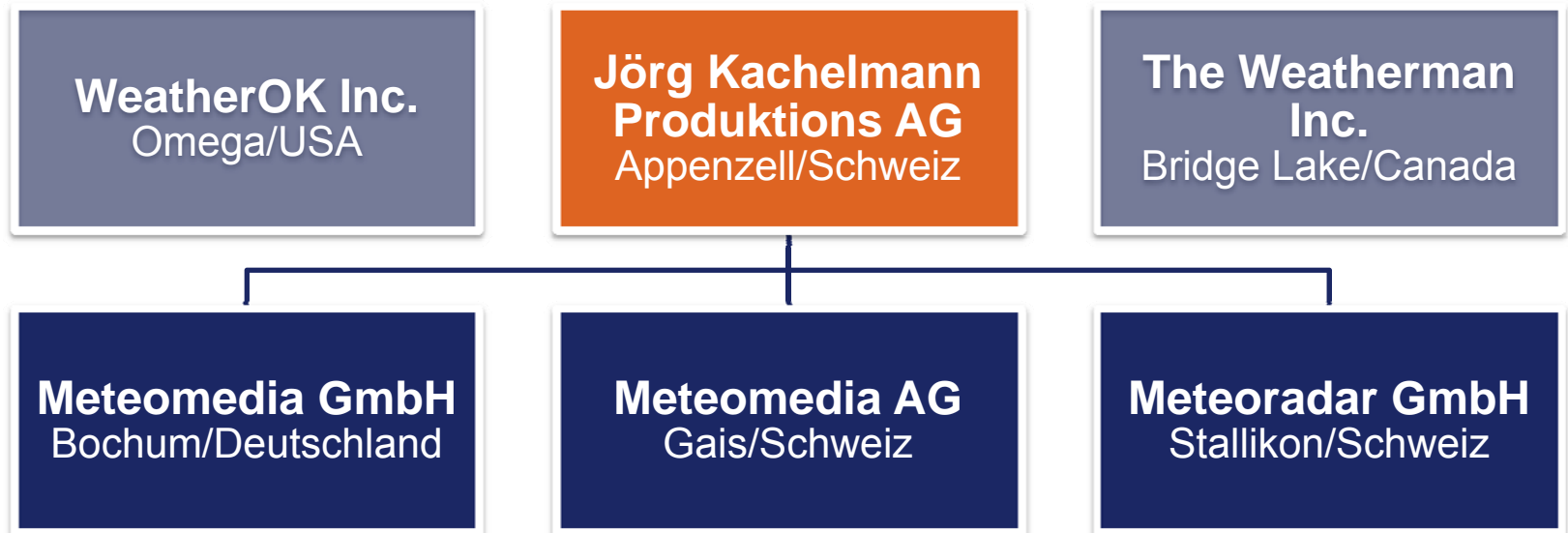


Internationale Wettervorhersagesysteme: Eigenschaften und Unterschiede

Jörg Kachelmann, Martin Fengler

Die Meteomedia-Gruppe

Firmenstruktur



- 1990 von Jörg Kachelmann gegründet
- Einer der ersten und führenden privaten Wetterdienstleister in Europa
- Vertikal voll integrierter Wetterdienst
- Expandierendes Unternehmen

Warum Wettervorhersagen? Wen interessiert Wetter?

The screenshot shows the 'wetter.info' website interface. At the top, it says 'powered by' followed by a logo and the slogan 'Das ist Zuverlässigkeit. -weishaupt-'. The main header for 'München' includes a date 'Fr 02.10.2009', a current temperature of '15°C', and a forecast for 20:00 (13°C) and 23:00 (11°C). Below this is a navigation menu with categories like 'Wetter Aktuell', 'Wetter Deutschland', and 'Europawetter'. A central section titled 'Das Wetter in Deutschland' features a map with temperature markers for various cities: Hamburg (11°C), Hannover (10°C), Berlin (10°C), Köln (12°C), Dresden (9°C), Frankfurt (Main) (15°C), Stuttgart (14°C), and München (15°C). To the right of the map is a 'Wettersuche' search box and a 'Deutschlandwetter' section with a text forecast: 'Im Norden und Osten breitet sich Regen aus. Sonst viele Wolken aber meist trocken. Zehn bis 18 Grad.' Below the map is a 'Wetter Videos' section featuring a man in a suit, likely the presenter Weishaupt, with buttons for 'Abspielen' and 'Vergrößern'. A 'Wetter aktuell' section at the bottom right shows a snippet of a video titled 'Damen'.

Internet Portale



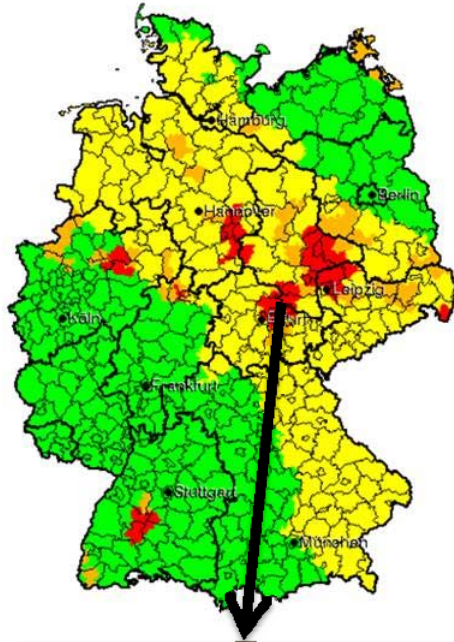
Veranstaltungen



Fernsehen

Warum Wettervorhersagen? Wen interessiert Wetter?

Unwetterwarnungen



Versicherungen
Schadensgutachten



Wasserauen, Jan 2007

Warum Wettervorhersagen? Wen interessiert Wetter?



Straßenwetter
Winterdienst

Bordcomputer

MÜNCHEN, Fr. 02.10.09

Vormittag	Mittag	Nachmittag	Abend
12°C	14°C	14°C	8°C

Am Freitag ist es überwiegend stärker bewölkt, aber meist trocken. Die Frühtemperaturen liegen um 10 Grad. Tagsüber werden maximal 14 Grad erreicht. Die

Wen interessieren Klimadaten?

Energie-Produzenten
CME Energie Derivate

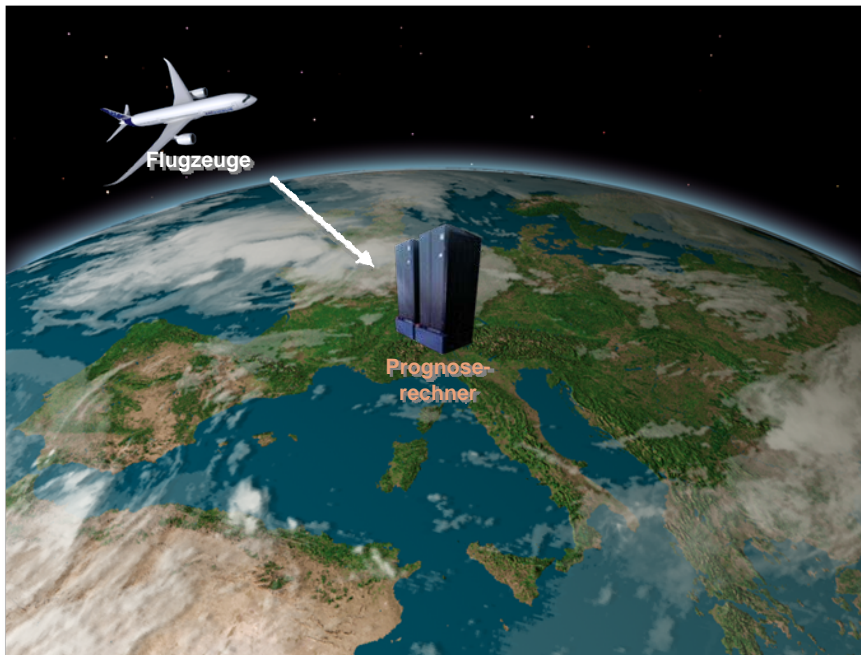


Risk-Management
Direkt- und Rückversicherer
Enterprise Risk



Wie entstehen Wettervorhersagen?

Bevor wir über die Berechnung von Vorhersagen sprechen...
welche Informationen stehen überhaupt zur Verfügung?



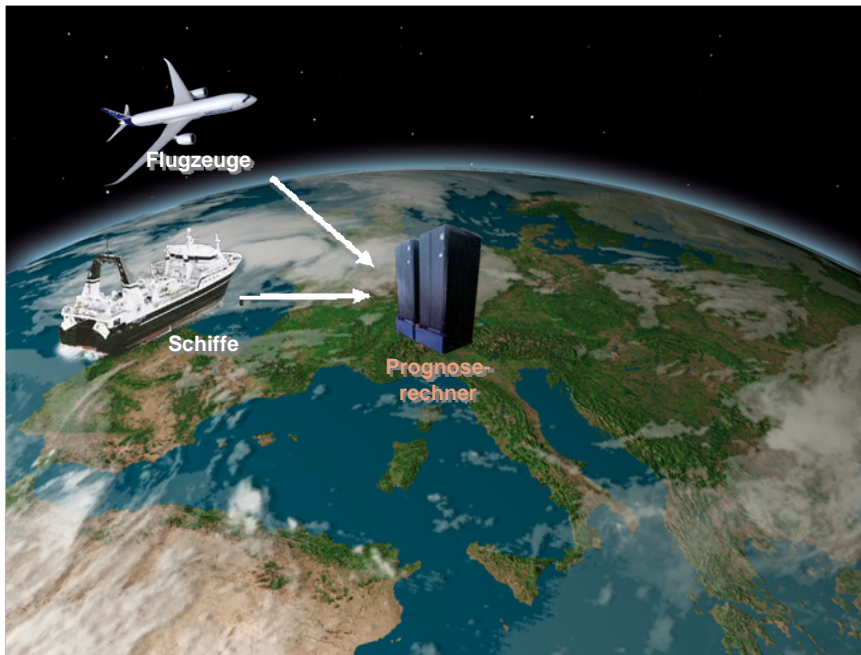
Flugzeuge



Dropsonden

Wie entstehen Wettervorhersagen?

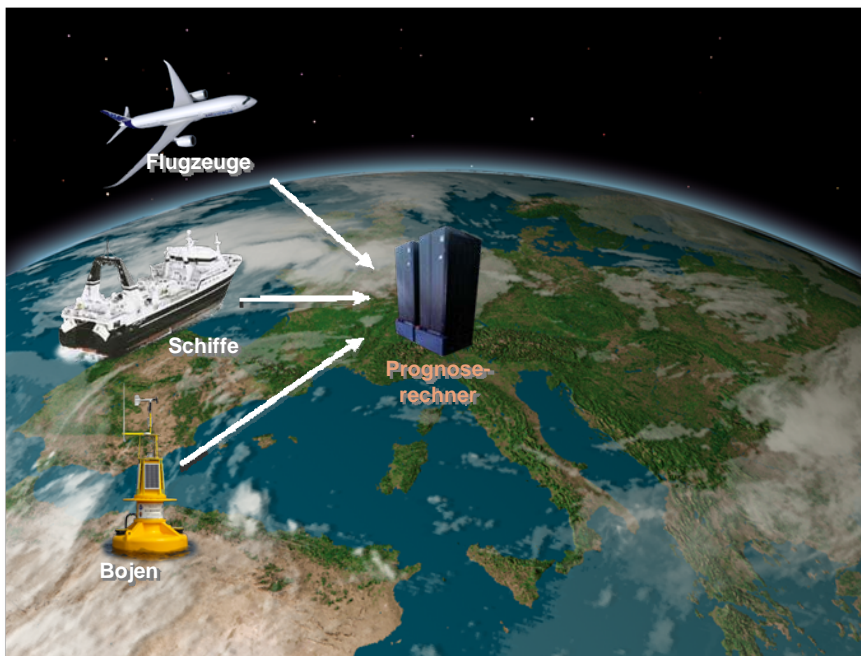
Bevor wir über die Berechnung von Vorhersagen sprechen...
welche Informationen stehen überhaupt zur Verfügung?



Schiffe

Wie entstehen Wettervorhersagen?

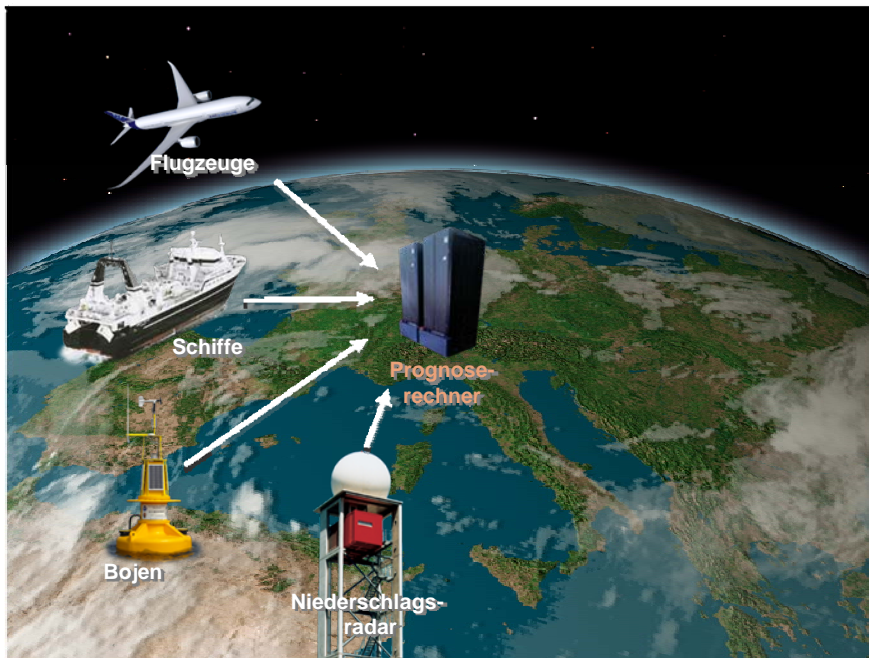
**Bevor wir über die Berechnung von Vorhersagen sprechen...
welche Informationen stehen überhaupt zur Verfügung?**



Bojen

Wie entstehen Wettervorhersagen?

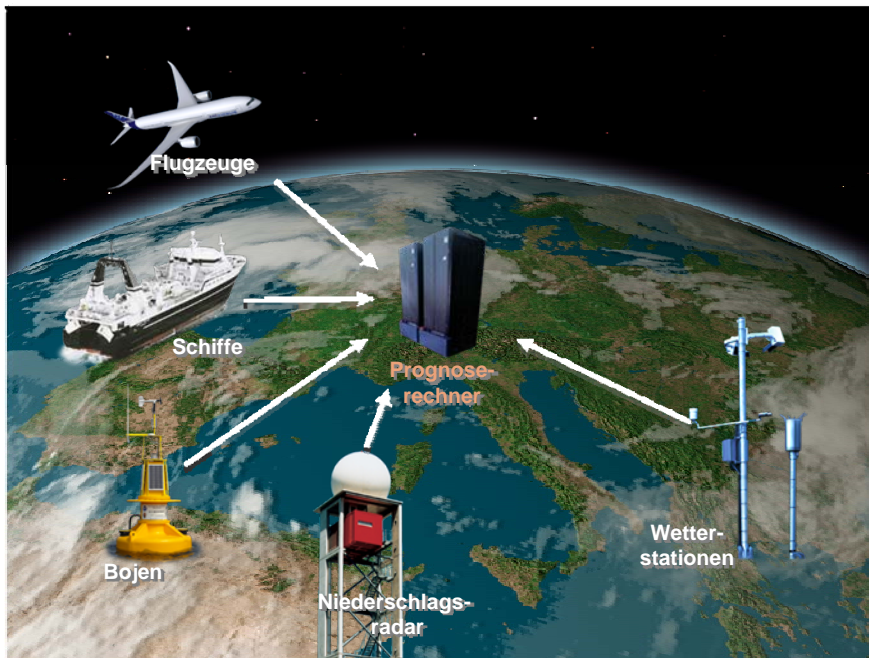
Bevor wir über die Berechnung von Vorhersagen sprechen...
welche Informationen stehen überhaupt zur Verfügung?



Niederschlagsradar

Wie entstehen Wettervorhersagen?

Bevor wir über die Berechnung von Vorhersagen sprechen...
welche Informationen stehen überhaupt zur Verfügung?



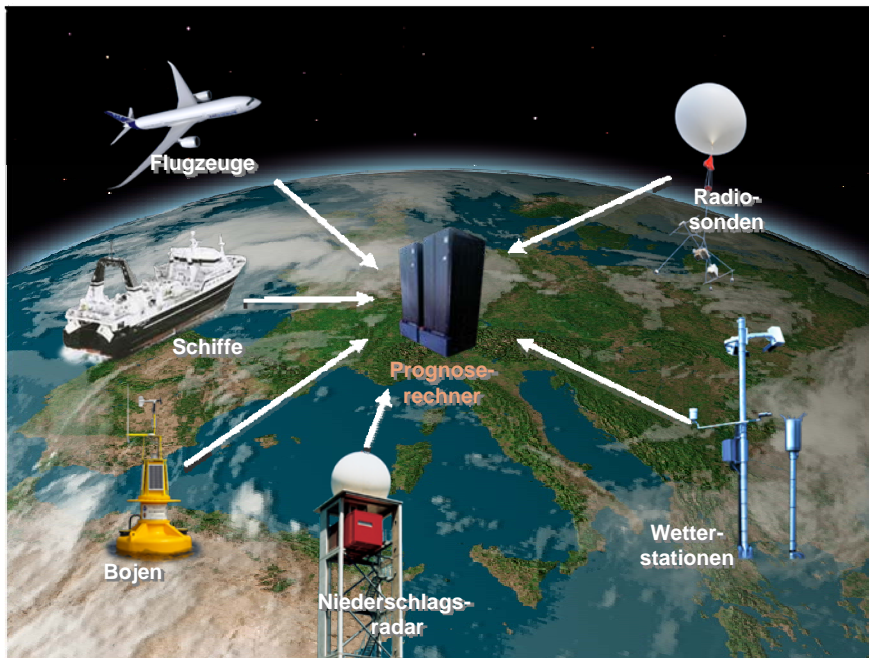
Wetterstationen



Wind Profiler

Wie entstehen Wettervorhersagen?

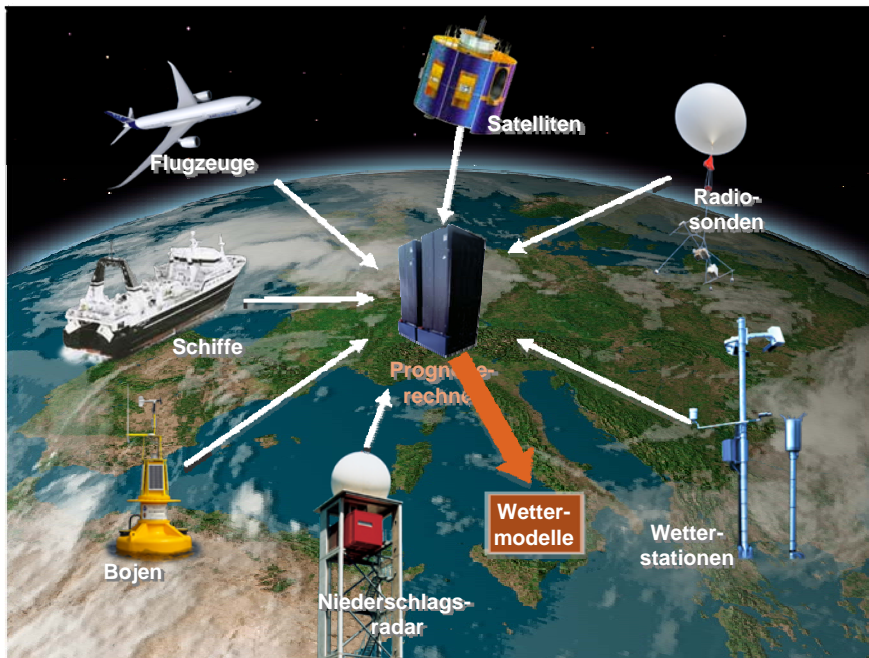
Bevor wir über die Berechnung von Vorhersagen sprechen...
welche Informationen stehen überhaupt zur Verfügung?



Radiosonden

Wie entstehen Wettervorhersagen?

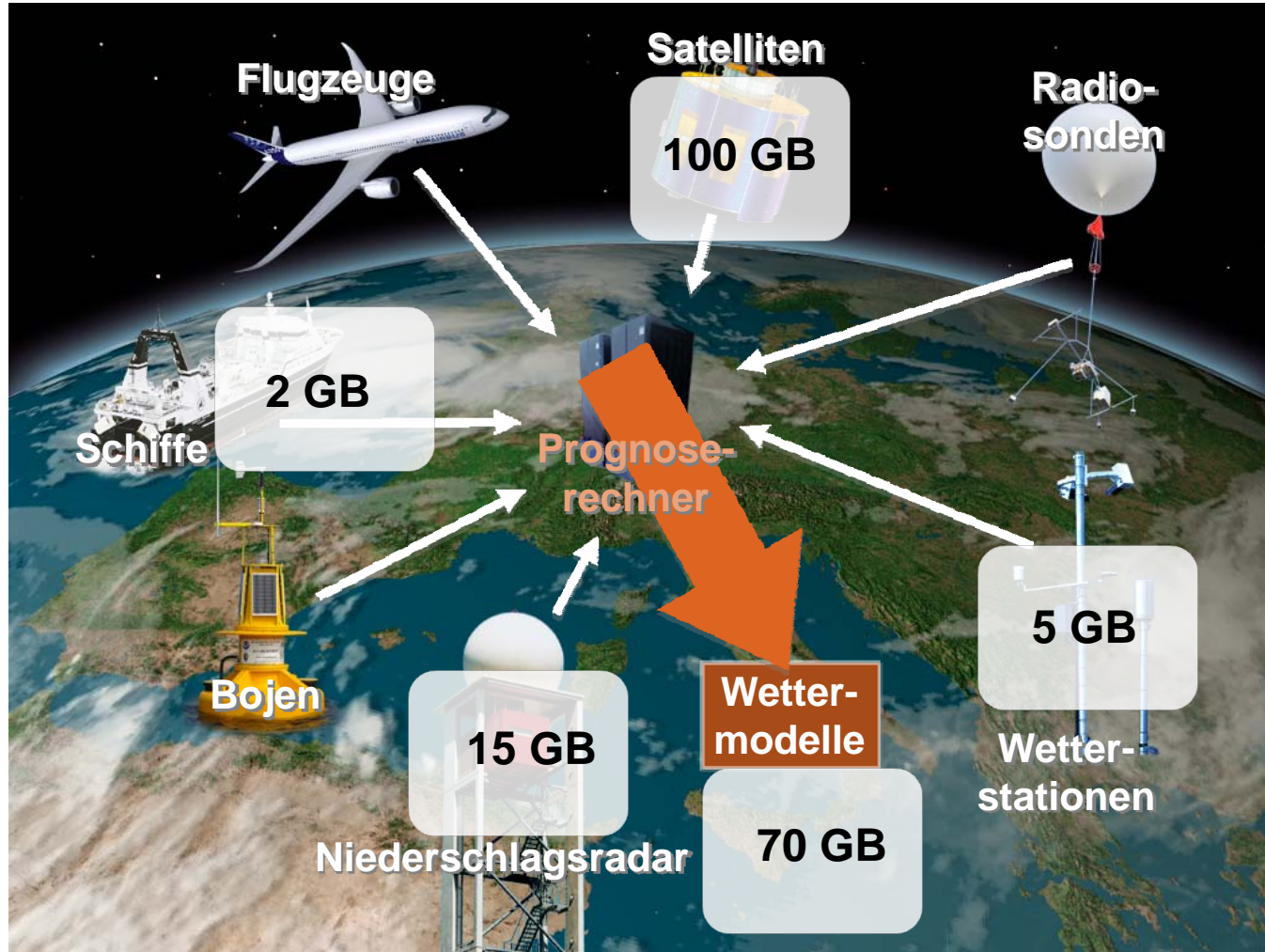
Bevor wir über die Berechnung von Vorhersagen sprechen...
welche Informationen stehen überhaupt zur Verfügung?



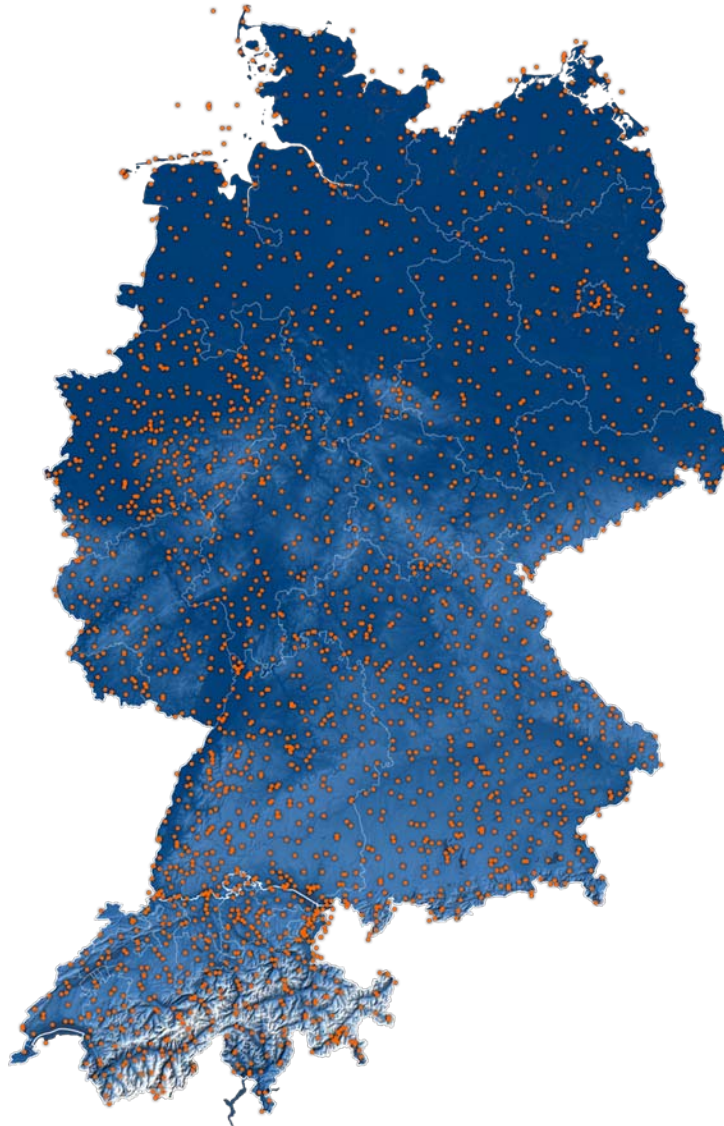
Satellitendaten

Wie entsteht eine Wettervorhersage?

Täglicher Dateneingang:



Das Meteomedia-Messnetz



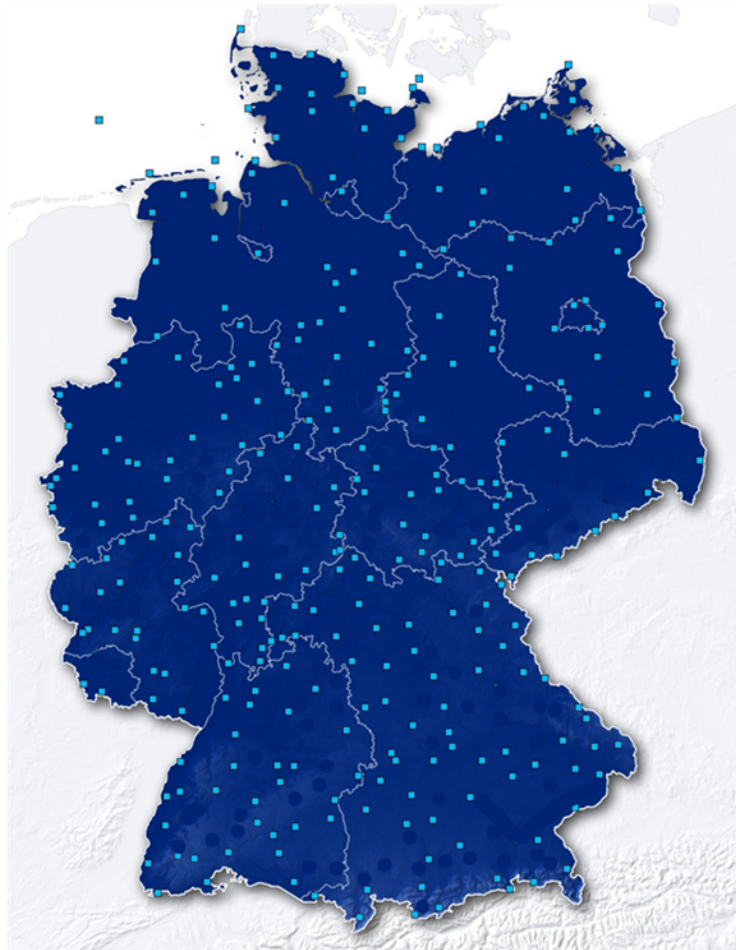
Gemeinsam mit zahlreichen Kooperationspartnern betreibt Meteomedia ein privates Wetterstations-Netz mit ca. 785 Wetterstationen.

Zusätzlich verfügen wir über die Messwerte aller nationalen Wetterdienste. Damit stehen Meteomedia in Deutschland und in der Schweiz ca. 1.500 Wetterstationen zur Verfügung.

Die daraus resultierende Messnetzdicke ist in dieser Form einmalig!

Wetterstationen in Deutschland

Maximal verfügbare Wetterstationen ohne Meteomedia/AMDA*

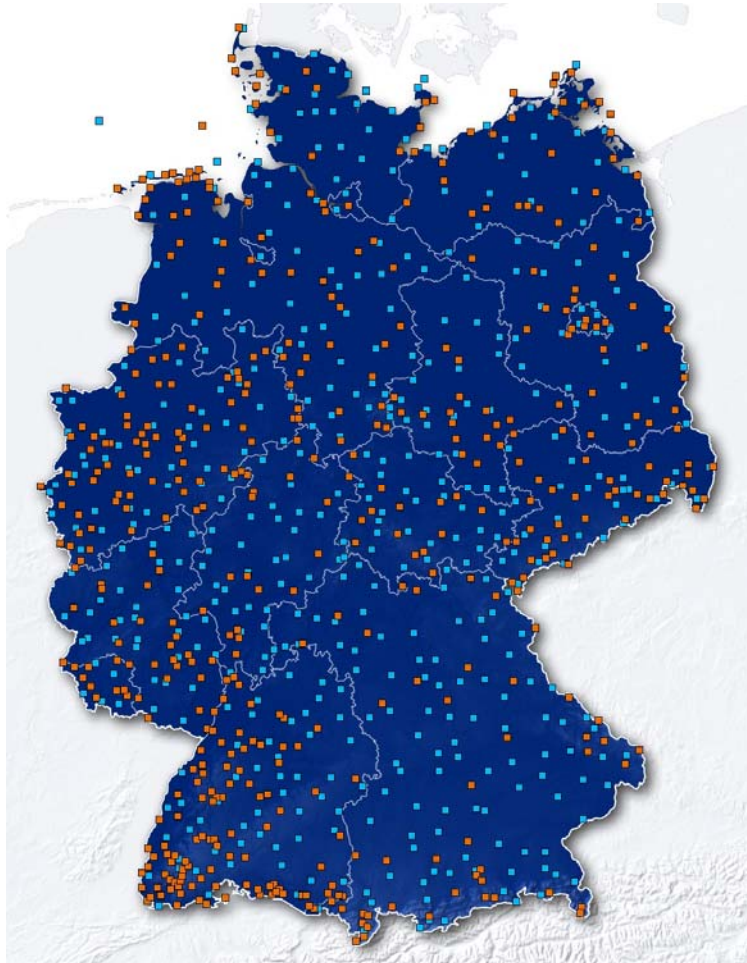


ca. 250 Stationen

*anhand Temperaturmessung
vom 15.01.2010 13 MEZ

Wetterstationen in Deutschland

Maximal verfügbare Wetterstationen mit Meteomedia/AMDA*



ca. 1.060 Stationen

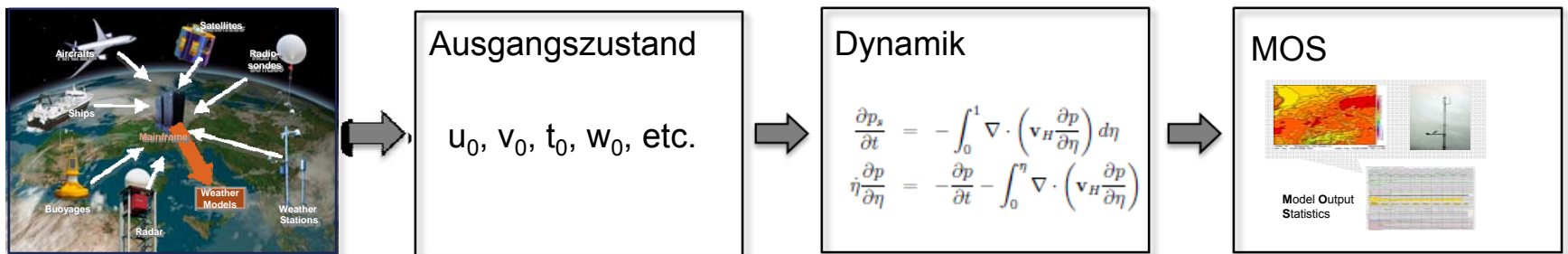
davon ca. 480 eigene
Meteomedia-Stationen

davon ca. 300 AMDA-
Stationen

Wie entstehen Wettervorhersagen?

Man unterscheidet zwischen dynamischen und statistischen Systemen:

- Dynamische Systeme ermitteln basierend auf Messdaten einen geschätzten Ausgangszustand für die Atmosphäre und lösen ein System gekoppelter partieller Differentialgleichungen für die Temperatur, die (relative) Feuchte, die Windgeschwindigkeit, etc.
- Statistische Systeme werden zur Nachbearbeitung und Verfeinerung genutzt und auf den numerischen Output des dynamischen Systems angewendet

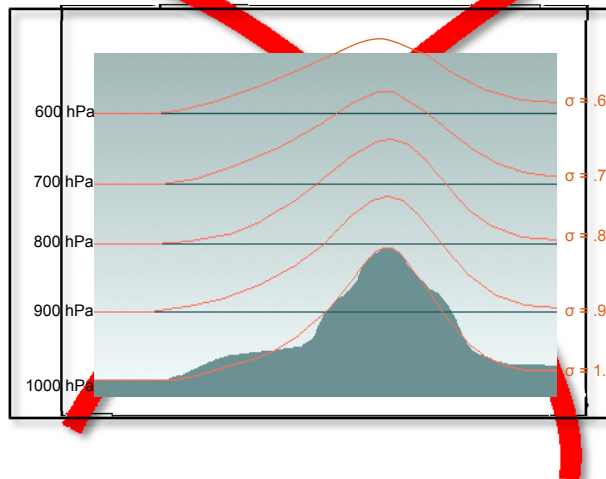


Vertikale Diskretisierung

Vertikale Koordinatensysteme:

Sigma-Koordinate

→ Druck wird als vertikale Koordinate verwendet



Topographie-
folgende
Koordinaten

Definition der Eta-Koordinate:

$$\eta = \frac{(p - p_T) (p_{ref}(z_S) - p_T)}{(p_S - p_T) (p_{ref}(0) - p_T)}$$

- p = Druck
- T = Oberes Grenzniveau (top)
- S = Grundniveau (surface)
- z = geometrische Höhe
- ref = Referenzniveau

Dynamische Gleichungen (ECMWF)

Ein System gekoppelter partieller Differentialgleichungen:

Gleichungen für den
Impulstransport

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{1}{a \cos^2 \theta} \left(U \frac{\partial U}{\partial \lambda} + V \cos \theta \frac{\partial U}{\partial \theta} \right) + \dot{\eta} \frac{\partial U}{\partial \eta} \\ - fV + \frac{1}{a} \left(\frac{\partial \phi}{\partial \lambda} + R_{dry} T_v \frac{\partial}{\partial \lambda} \ln p \right) = P_U + K_U \\ \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{a \cos^2 \theta} \left(U \frac{\partial V}{\partial \lambda} + V \cos \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} + \sin \theta (U^2 + V^2) \right) + \dot{\eta} \frac{\partial V}{\partial \eta} \\ + fU + \frac{\cos \theta}{a} \left(\frac{\partial \phi}{\partial \theta} + R_{dry} T_v \frac{\partial}{\partial \theta} \ln p \right) = P_V + K_V, \end{aligned}$$

Thermodynamik

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{1}{a \cos^2 \theta} \left(U \frac{\partial T}{\partial \lambda} + V \cos \theta \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \dot{\eta} \frac{\partial T}{\partial \eta} - \frac{\kappa T_v \omega}{(1 + (\delta - 1)q)p} = P_T + K_T$$

Dynamische Gleichungen (ECMWF)

Ein System gekoppelter partieller Differentialgleichungen (Forsetzung):

Spez. Feuchte

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{1}{a \cos^2 \theta} \left(U \frac{\partial q}{\partial \lambda} + V \cos \theta \frac{\partial q}{\partial \theta} \right) + \dot{\eta} \frac{\partial q}{\partial \eta} = P_q + K_q$$

Kontinuitäts-
gleichung

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} \right) + \nabla \cdot \left(\mathbf{v}_H \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\dot{\eta} \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) = 0$$

Oberflächen-
druck

$$\dot{\eta} \frac{\partial p}{\partial \eta} = -\frac{\partial p}{\partial t} - \int_0^\eta \nabla \cdot \left(\mathbf{v}_H \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) d\eta$$

↓
Annahme einer hydrostatischen Atmosphäre

Hydrostatische Modelle: ECMWF, GFS, ETA

Nicht-hydrostatische Modelle: Met Office UM, UK NAE, WRF, NAM,
ALADIN, HIRLAM

Unterschiedliche Horizontale Diskretisierungen

→ GFS, ECMWF

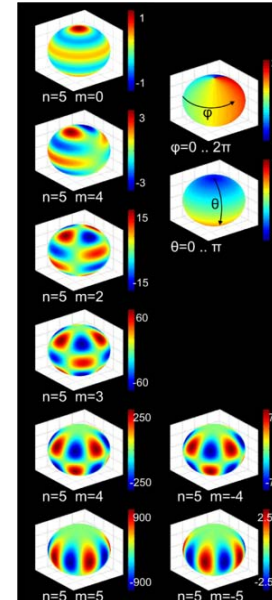
Kugelfunktionen

Spektraldarstellung

ECMWF: T799/L75

GFS: T382/L64

→ hohe Konvergenzrate



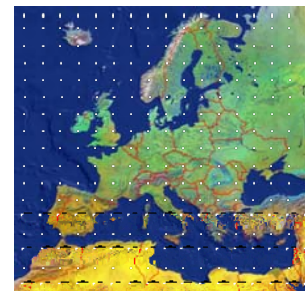
$$T = \sum_{n=0}^N \sum_{k=-n}^n T_{n,k} Y_{n,k}$$

z.B. N=799 bei ECMWF
 $\sim 0.25^\circ \times 0.25^\circ$

→ z.B. Met Office Unified Model, NAE

Finite Differenzen

Gitterpunkt-Darstellung

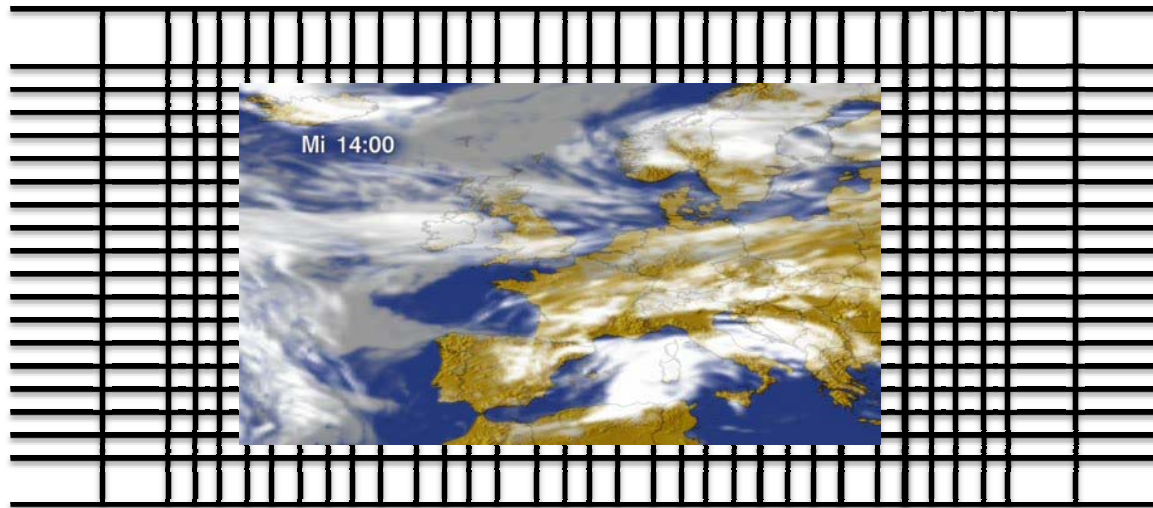


T_{ij}

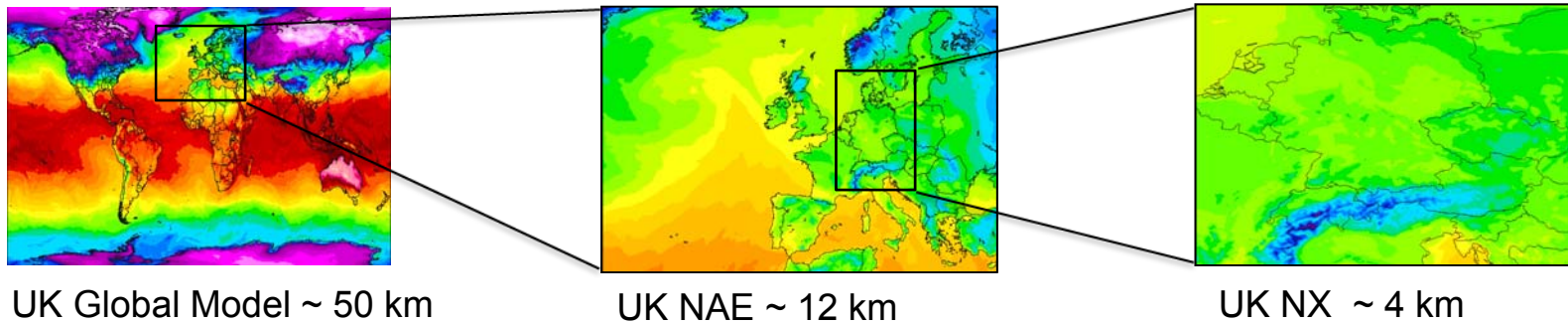
z.B. $0.1^\circ \times 0.1^\circ$,
 Gittergröße: 640x681

Regionale Modelle und Einbettung

Ein regionales Modell erfordert die Einbettung in ein globales Modell:



Met Office Unified Model:



Vergleich: Skill-Score verschiedener Zentren

VERIFICATION TO W.M.O. STANDARDS

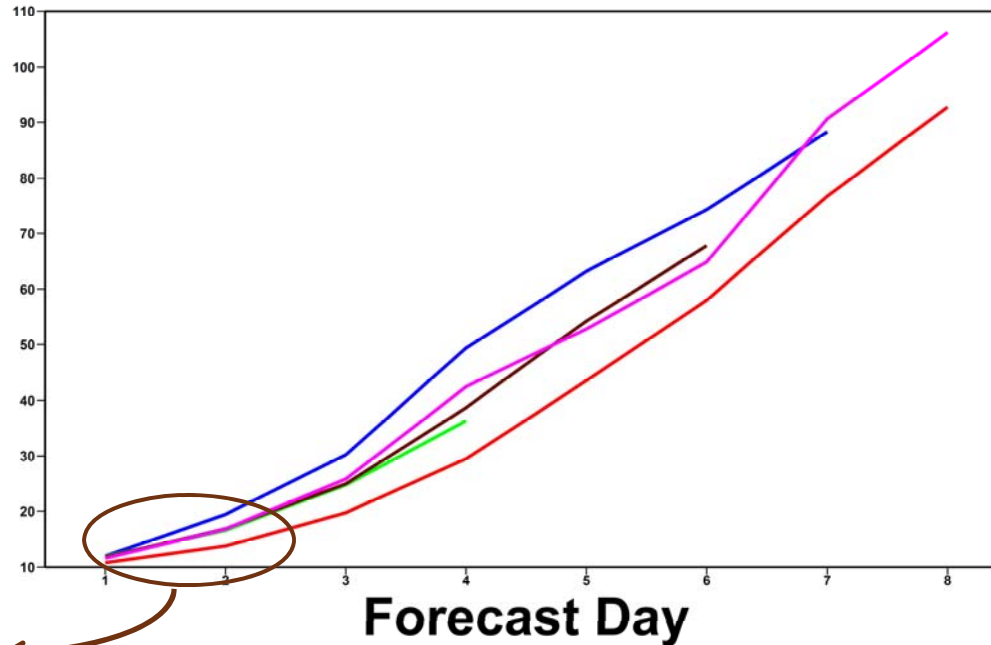
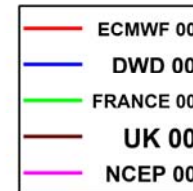
EUROPE

VERIFICATION AGAINST RADIOSONDES

500 hPa GEOPOTENTIAL HEIGHT

RMSE (m)

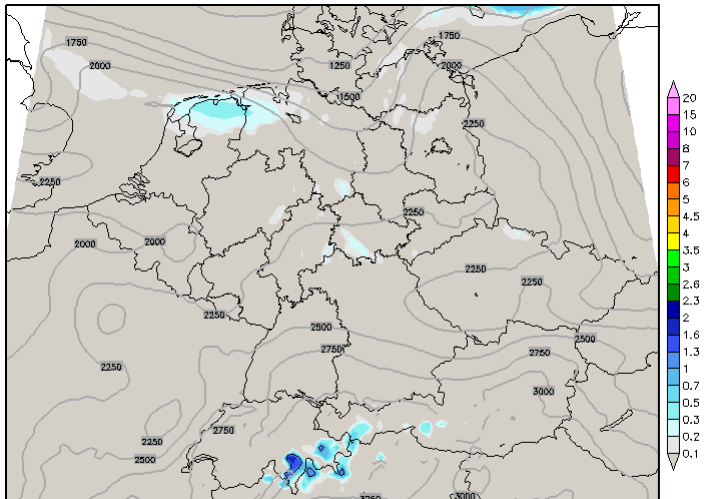
Mean values 200910 to 200910



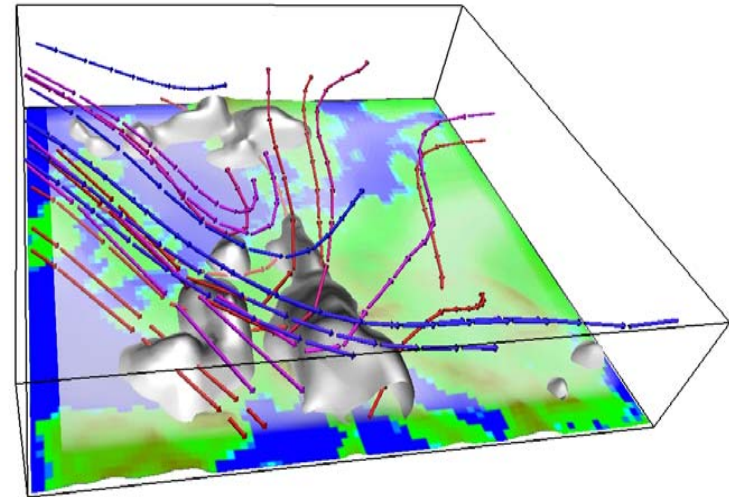
Nowcasting ←

Kurzfristvorhersage / Nowcasting (RUC – Europa)

WRF



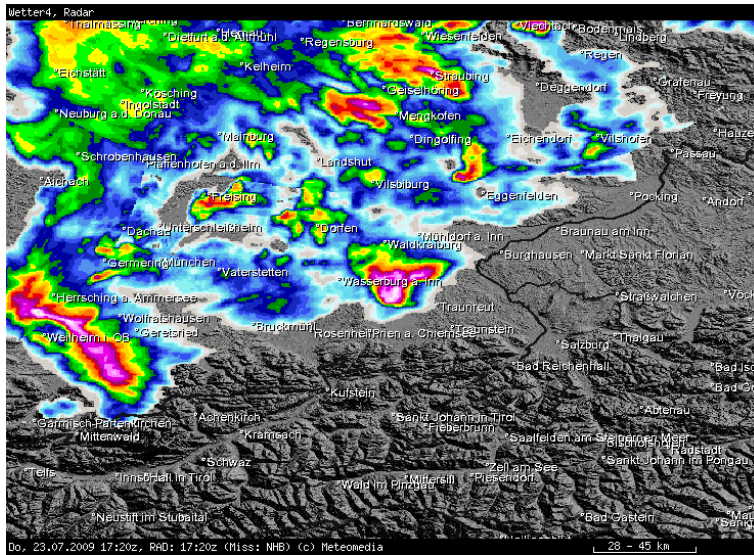
WRF – Niederschlag 1h [mm], SFG
Init: Thu, 01.10.2009 00Z
Valid: Thu, 01.10.2009 01Z (+001) Meteomedia



- Stündliche Initialisierung mit Stationsdaten, Soundings, PZ-Radar, MetOp Vertikalprofile, Wind Profiler, etc. in 4km Auflösung
- Echtzeit aktualisierte Windkraft-Vorhersage

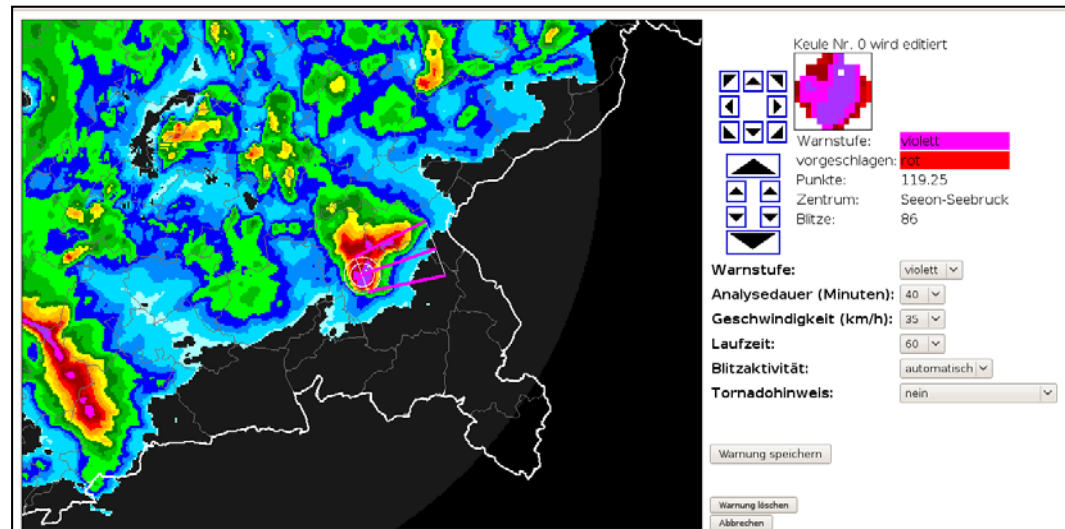


Niederschlagsradar und Radar-Celltracking



DX Radar:
Hochauflösendes
5-minütiges
Niederschlagsradar

Stormlab:
Automatisierte
Erkennung
von Gewitterzellen



Ensemble Vorhersagen

Motivation:

Energieproduzenten / CME Wetterderivate

„Wird es in den kommenden 2 Wochen mehr als 3 Tage geben, an denen die Tagemitteltemperatur unter -5°C liegt?“

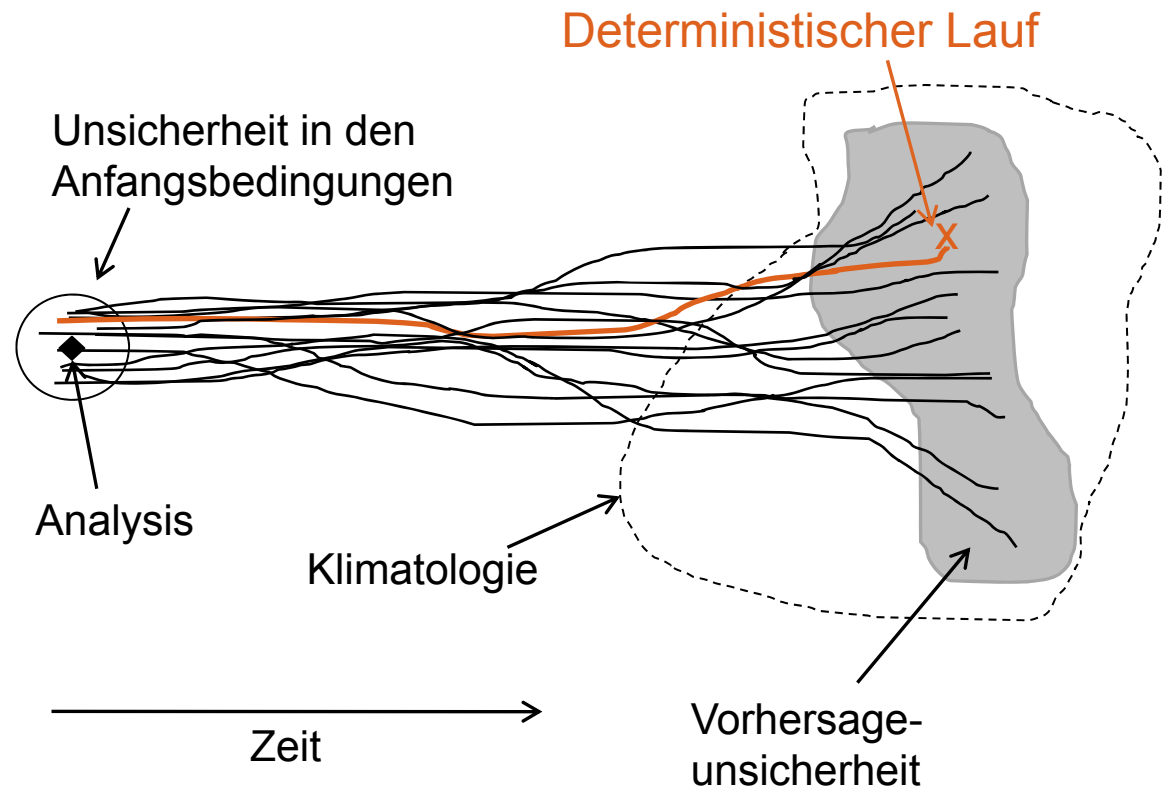
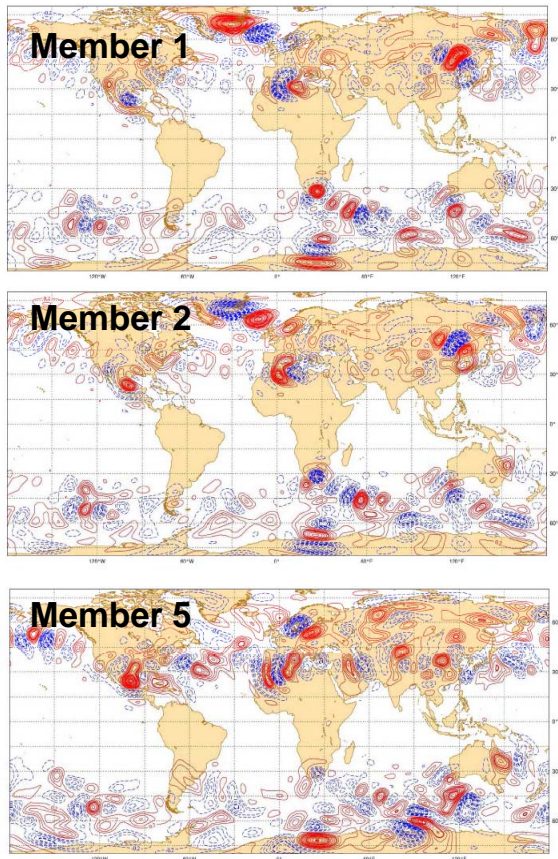


Risikomanagement
„Muss gestreut werden?“



Ensemble Vorhersagen

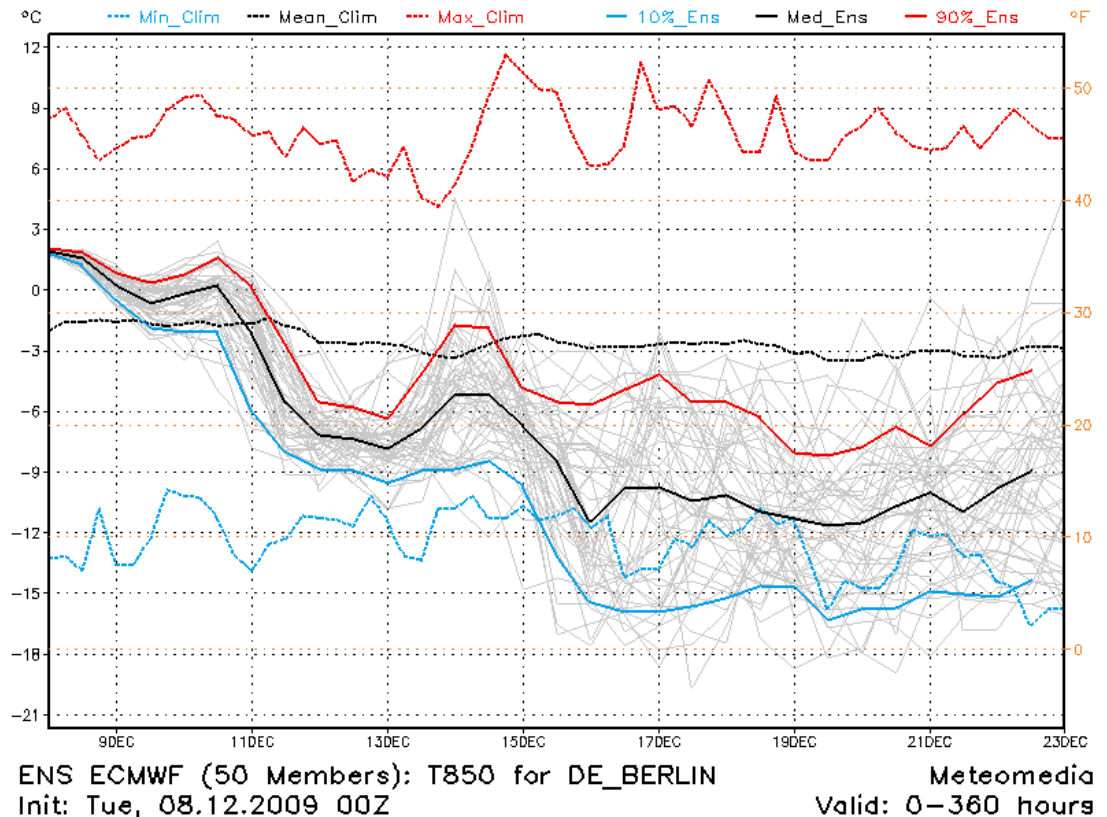
Ein deterministisches Modell wird viele Male mit kleinen Unterschieden bezüglich des Anfangszustandes neu berechnet:



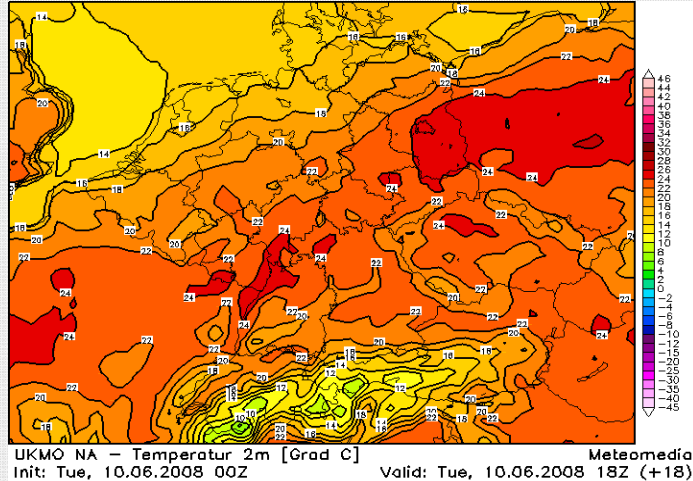
Berücksichtigung von Wetterrisiken

Wenn wir die Ensemble-Vorhersagen an einer spezifischen Position auswerten, können wir:

- Unsicherheit berücksichtigen
- Zuverlässigkeit beurteilen
- Wahrscheinlichkeiten einschätzen



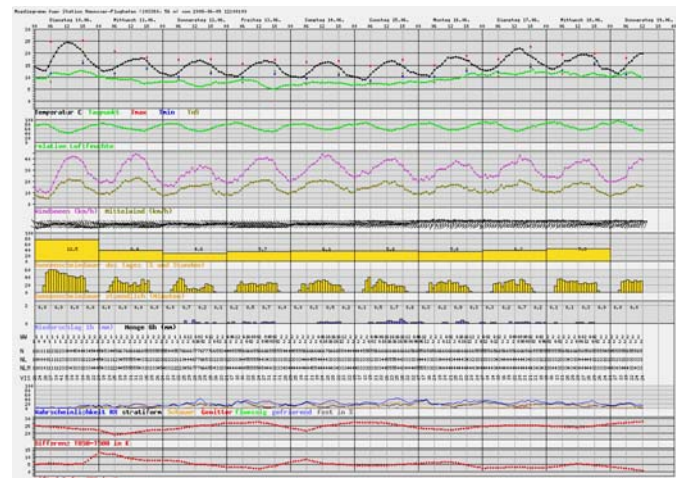
MOS (Model Output Statistics)



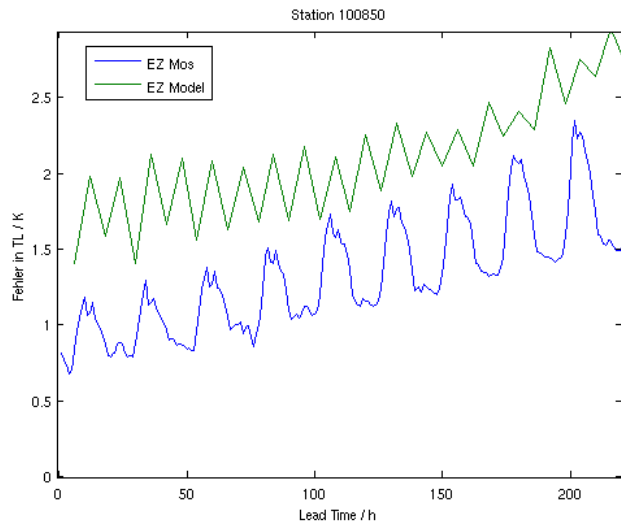
Das MOS ist die Verknüpfung zwischen direktem Modelloutput und Stationsdaten.

Vorteile:

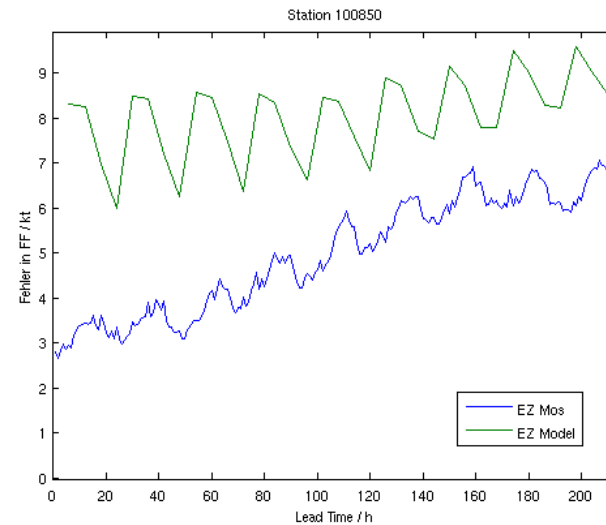
- Modellierung des lokalen Klimas
- Drastische Verringerung von Fehlern in der Vorhersage



MOS Analyse



Temperatur

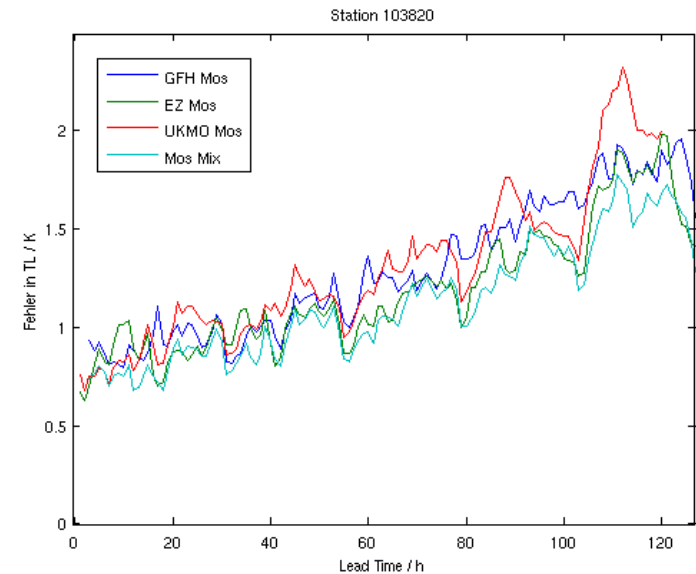
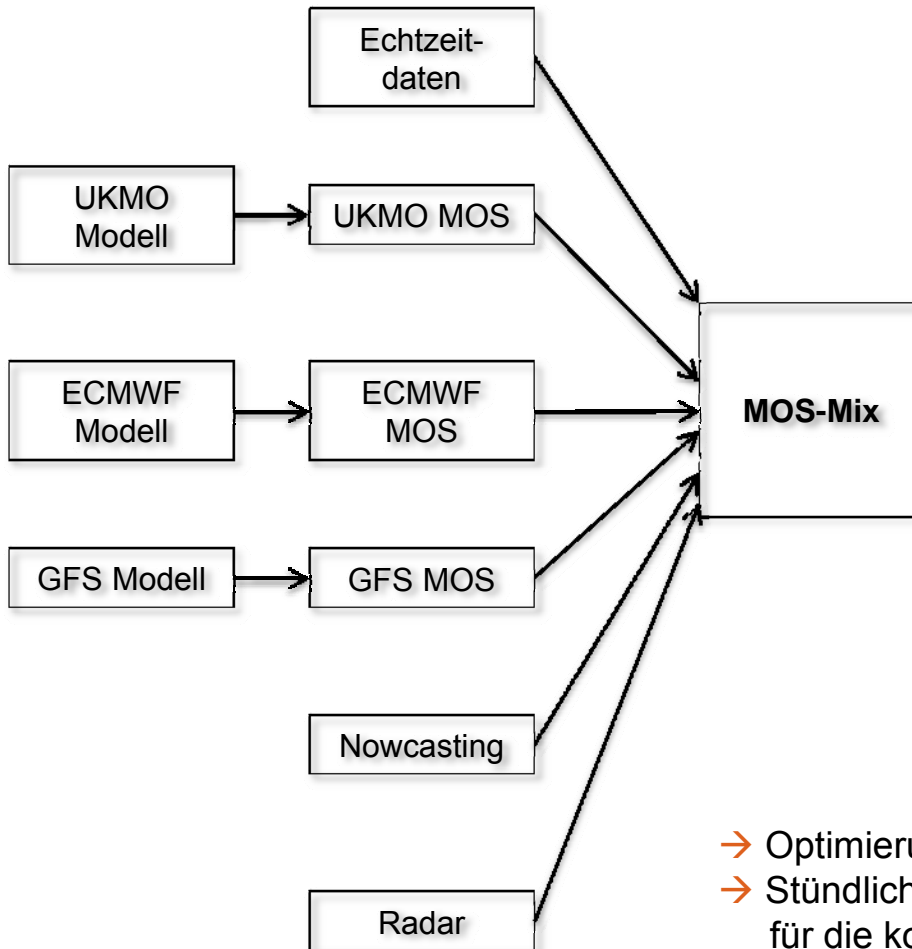


Wind

- Energiesektor (Zusammenarbeit mit über 350 Kunden)
- Neueste Entwicklung: Vorhersagen für Offshore Windparks



Optimierung der MOS Vorhersage



- Optimierung der Prognosegenauigkeit
- Stündliche Neuberechnung der Prognosen für die kommenden 10 Tage



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

28.01.2010

Meteomedia. Daten. Prognosen. Lösungen.