

Vorlesung „Allgemeine Meteorologie“

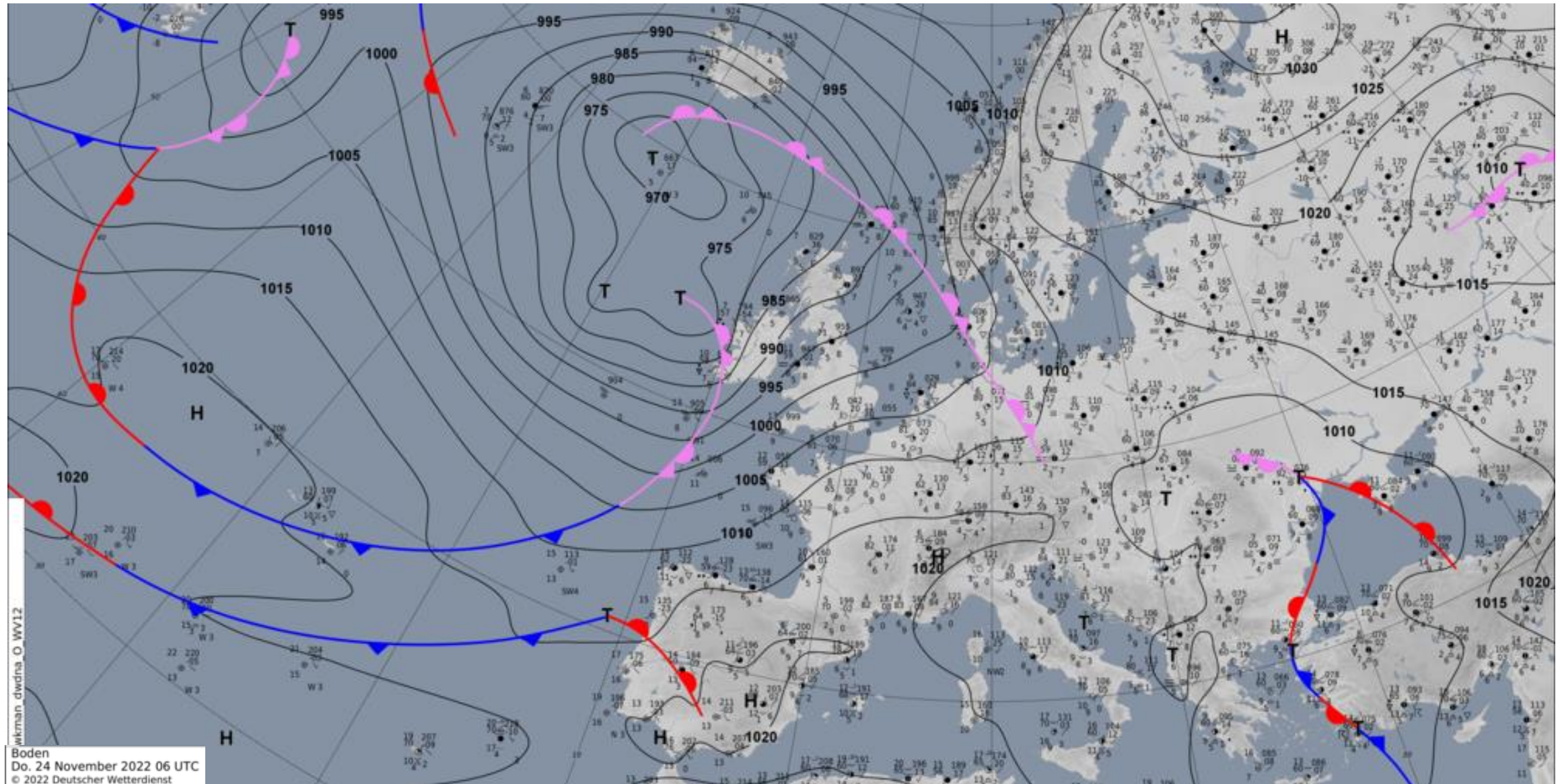
Prof. Michael Kunz



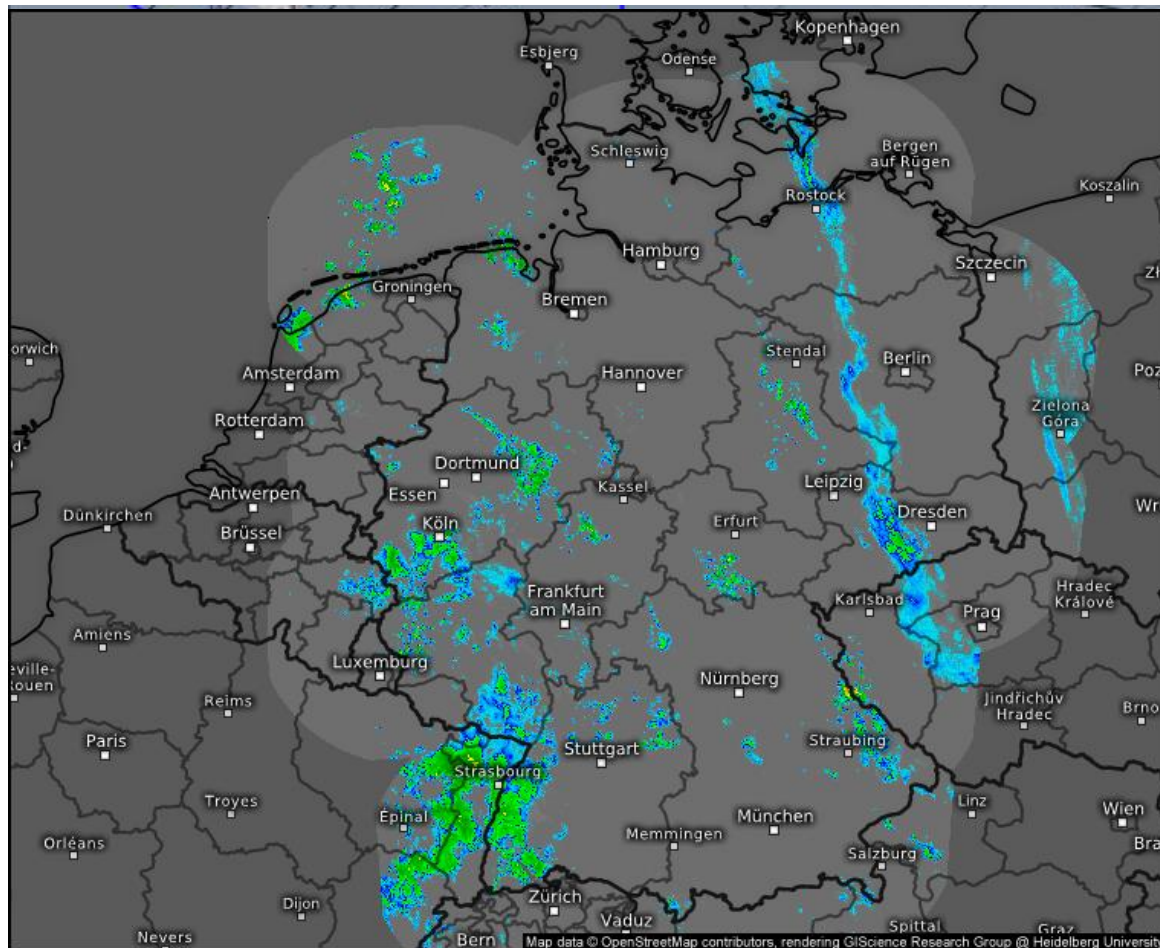
Das Wetter...



Bodenwetterkarte

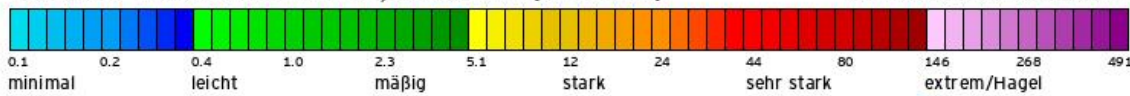


Bodenwetterkarte

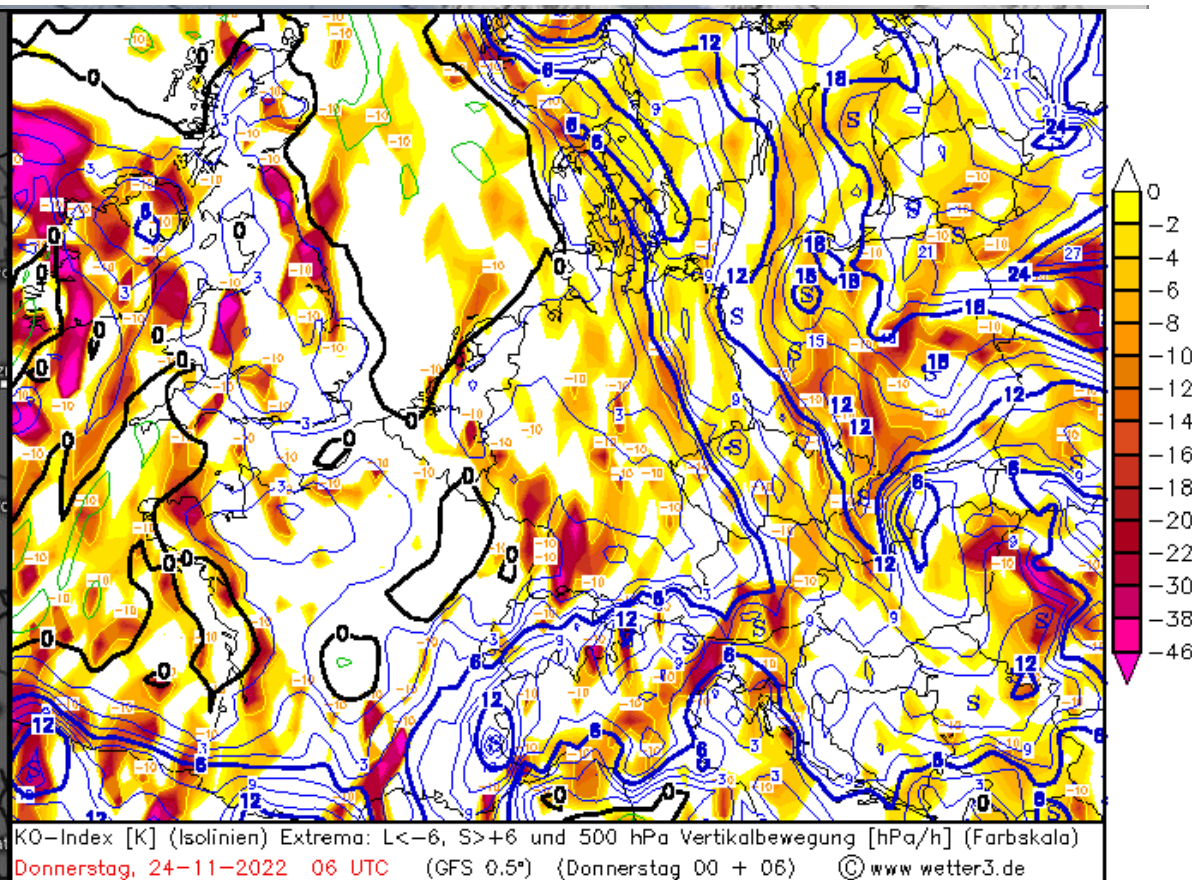


Radar Deutschland, 250m (mm/h)

Do. 24.11.2022, 07:00 Uhr MEZ



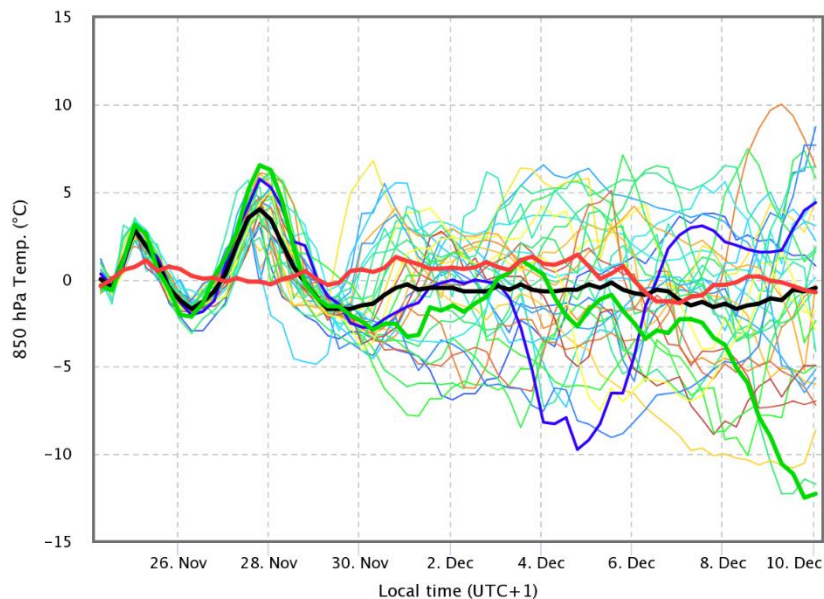
Deutschland



Vorhersage: Ensembles

- Modell GFS (Global Forecast System) des amerik. Wetterdienstes NOAA
- 30 Ensemble Läufe
- Gitterpunkt Karlsruhe

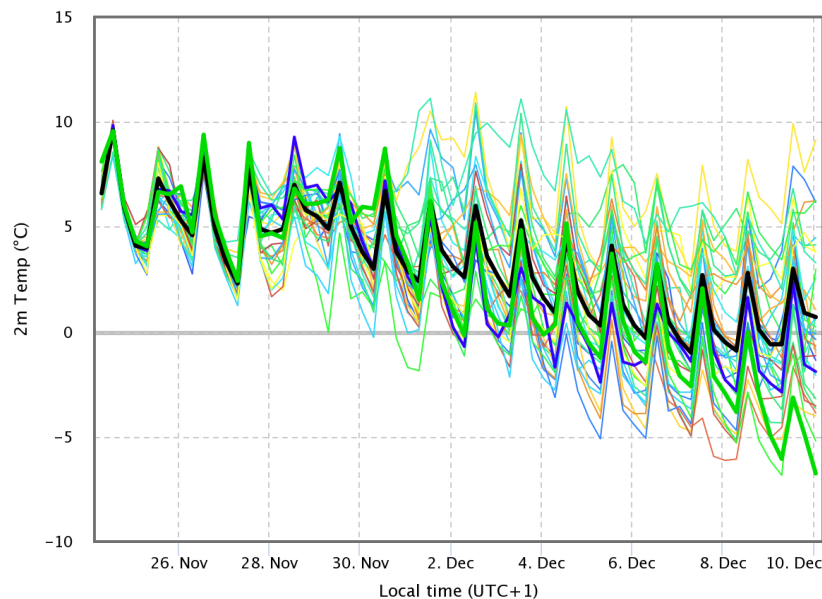
T_{850 hPa}



P01 P02 P03 P04 P05 P06 P07 P08
P09 P10 P11 P12 P13 P14 P15 P16
P17 P18 P19 P20 P21 P22 P23 P24
P25 P26 P27 P28 P29 P30 CONTROL — AVG
OPER LT MEAN 1981-2010

wetterzentrale.de

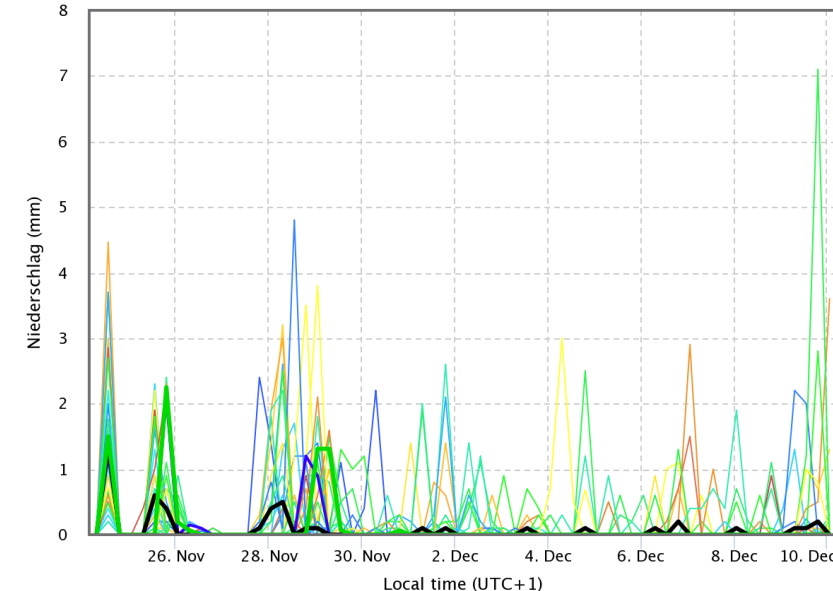
T_{2m}



P01 P02 P03 P04 P05 P06 P07 P08
P09 P10 P11 P12 P13 P14 P15 P16
P17 P18 P19 P20 P21 P22 P23 P24
P25 P26 P27 P28 P29 P30 CONTROL — AVG
OPER

wetterzentrale.de

Niederschlag



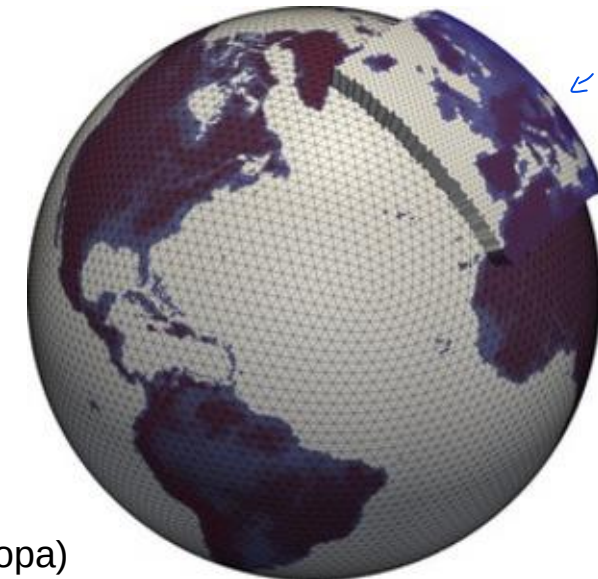
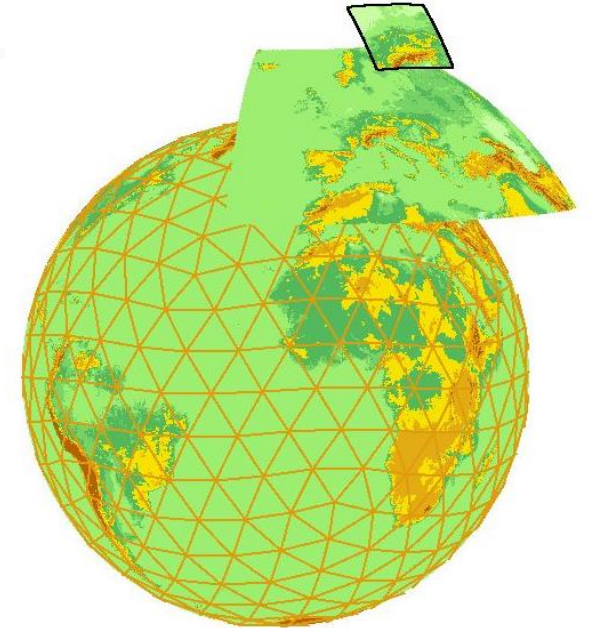
P01 P02 P03 P04 P05 P06 P07 P08
P09 P10 P11 P12 P13 P14 P15 P16
P17 P18 P19 P20 P21 P22 P23 P24
P25 P26 P27 P28 P29 P30 CONTROL — AVG
OPER

wetterzentrale.de

Wettervorhersage

- **Wettervorhersage:** Integration der prognostischen Gleichungen (z.B. Navier Stokes Gleichungen, 1. Hauptsatz der Thermodynamik,...)
- **Nicht-lineare, partielle Differentialgleichungen**
2. Ordnung nicht direkt lösbar; daher Diskretisierung auf (Rechen-)Gitter, Anwendung numerischer Verfahren → numerische Wettervorhersage (NWP)
- **Anfangswertproblem:** an jedem Gitterpunkt werden prognostische Gleichungen gelöst;
→ **notwendig: meteorologische Variablen (u, v, w, p, T, ρ, RF) an jedem Gitterpunkt (Assimilation: Einbringen in NWP Modell)**

Klassisch: Nesten mehrerer Modelle

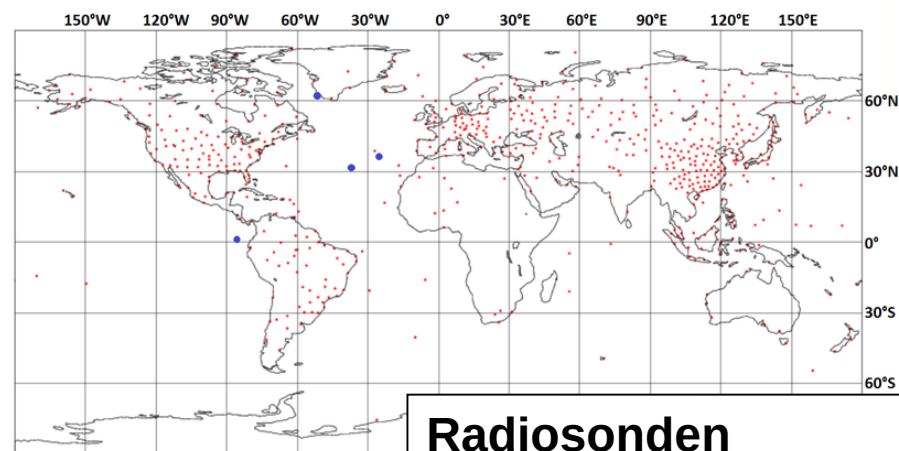
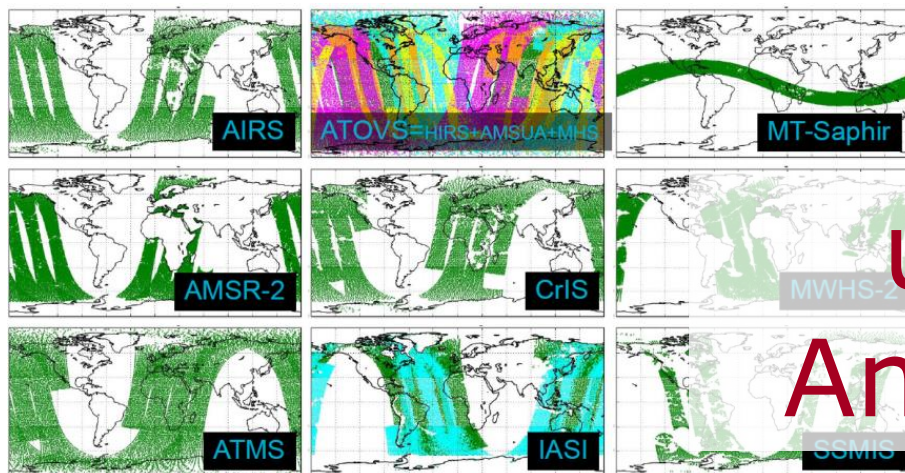


für jeden Gitterpunkt gel. lösen Anfangswertproblem
→ u Wind, Richtung, T Temperatur
überall nötig (Messungen)

Modell ICON DWD
Mit adaptivem Gitter
(höhere Auflösung Europa)
→ *neuezeit*

Anfangswertproblem

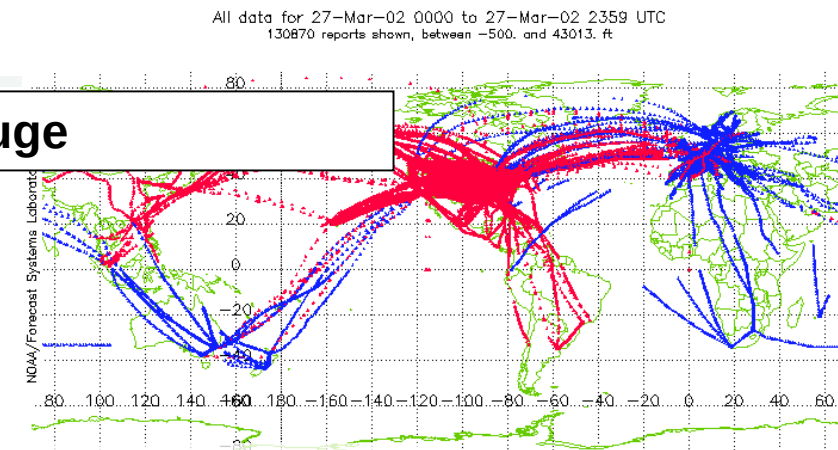
Satelliten: Temperatur, Feuchte, Wind
Retrievals



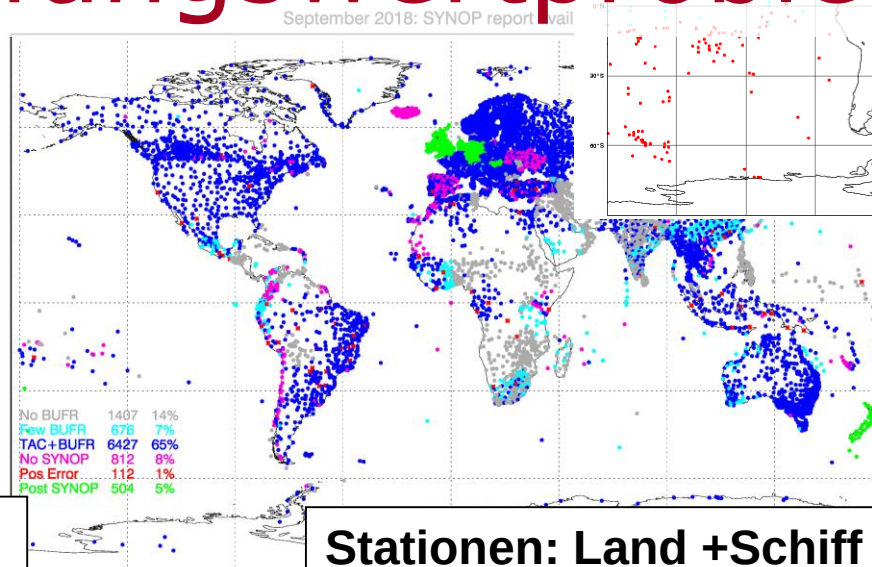
Radiosonden

↳ Daten in d. Höhe
(nicht nur am Boden)

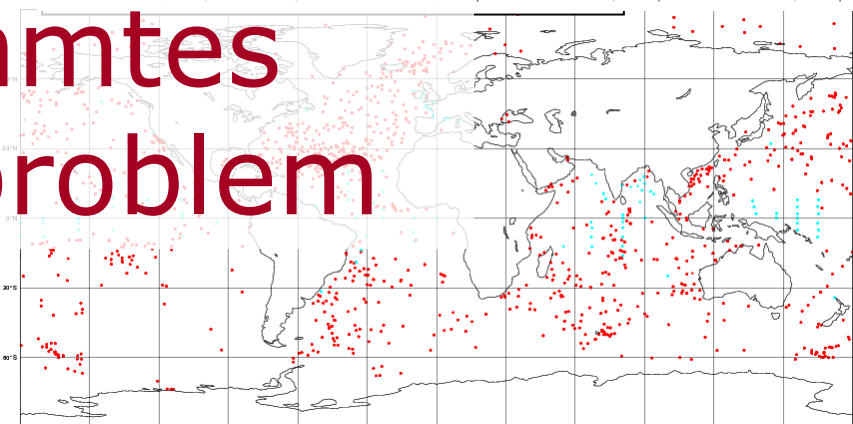
Flugzeuge



unterbestimmtes
Anfangswertproblem



Stationen: Land +Schiff



Regen im Meer

Anfangswertproblem

- Anfangszustand nicht exakt reproduzierbar
 - verschiedenen Realisierungen in der Zeitintegration möglich

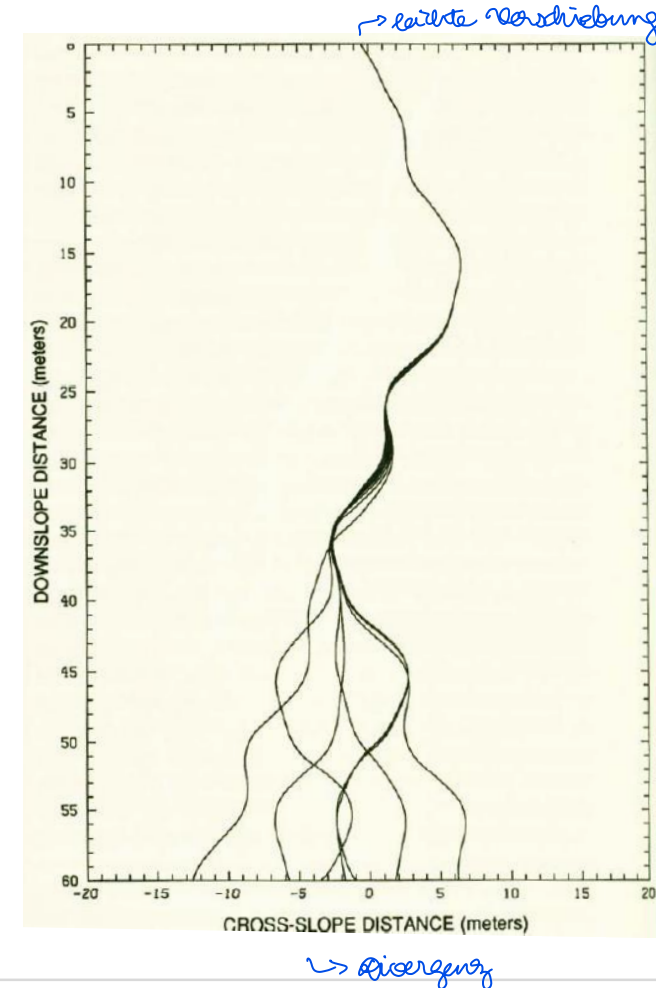
Analogie:

→ eig Bahnkurve exakt

Annahme: **Ball** rollt über Buckelpiste

1. Einfache Bahn
2. Verschiebung Ausgangsposition:
 - verschiedene Realisationen
3. Minimale Unterschiede Ausgangsposition:
 - erst gleicher Weg, danach Divergenz

→ Eigenschaft **Chaos**: benachbarte Zustände (Ausgangspositionen) können divergieren auch bei noch so geringen Unterschieden in der Ausgangsposition



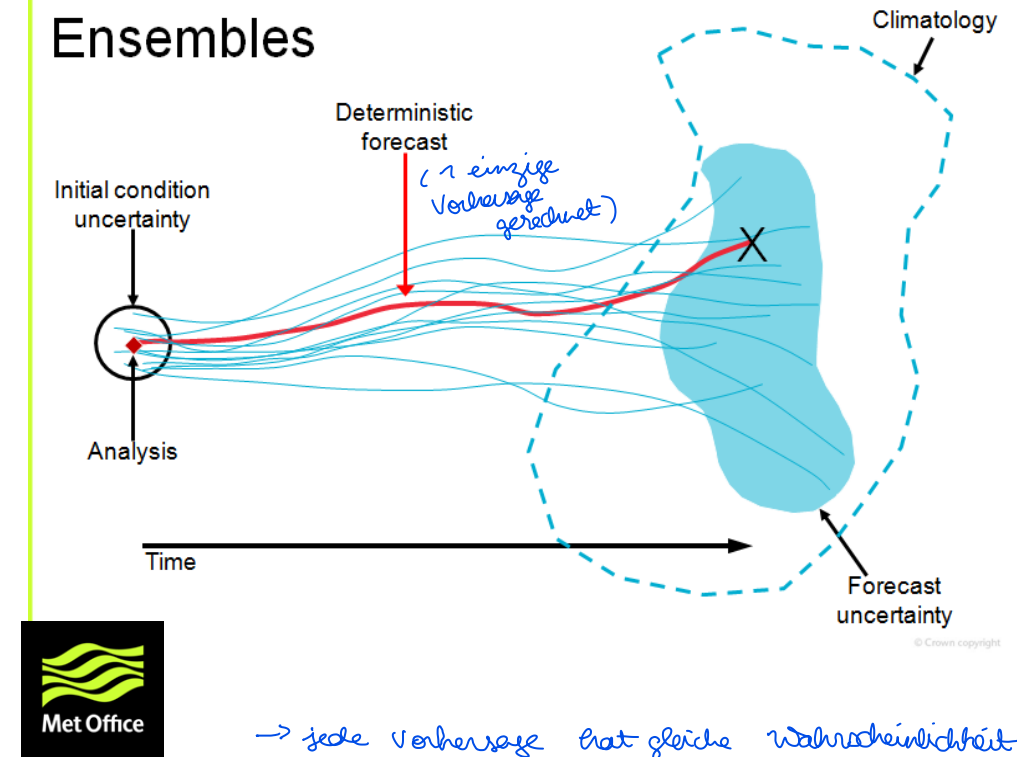
(Lorenz, 1953)

Ensembles

Δ Messdaten
 Δ (in Assimilationszyklus Modell)

- **Ensembles:** Leichte Störungen des Anfangszustands (z.T. + physikalische Parametrisierungen)
- Für jeden geänderten **Anfangszustand** wird **eine eigene** Modellvorhersage gerechnet
 - jede Vorhersage hat die gleiche Wahrscheinlichkeit
- **Wo / wie** die Modellfelder gestört werden, hängt von der jeweiligen synoptischen Situation ab
- Zahl der Members (unabhängige Vorhersagen) hängt von Ensemblemodell ab
 - GFS: 30 Members; ECMWF: 50 Members; ICON: 40 Members
(30 Vorhersagen) $\rightarrow$ letztes DWG
- **Abschätzung**
 - Bandbreite möglicher Wetterzustände
 - Bestimmung der Unsicherheiten
 - Grenze der Vorhersagbarkeit

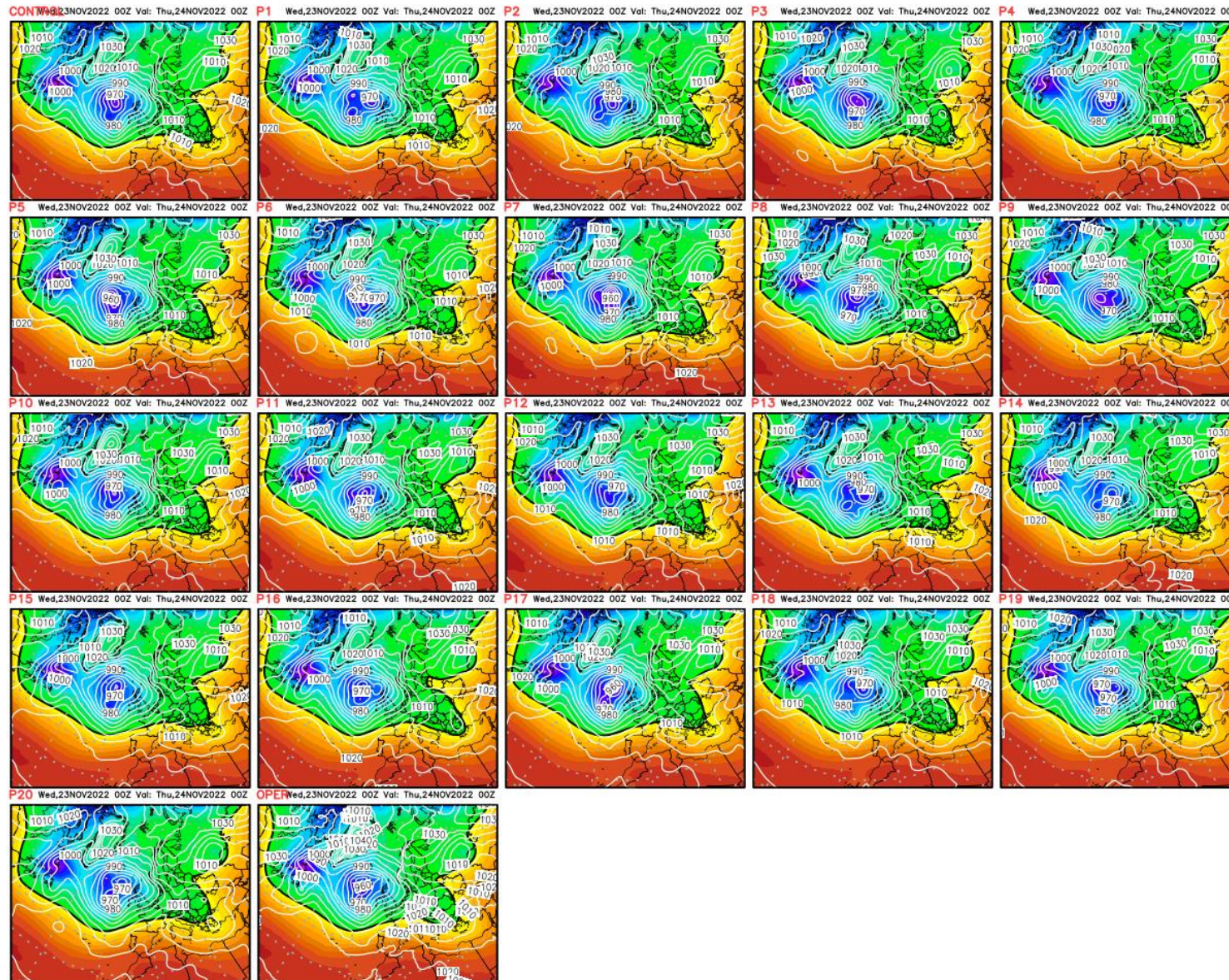
Ensembles



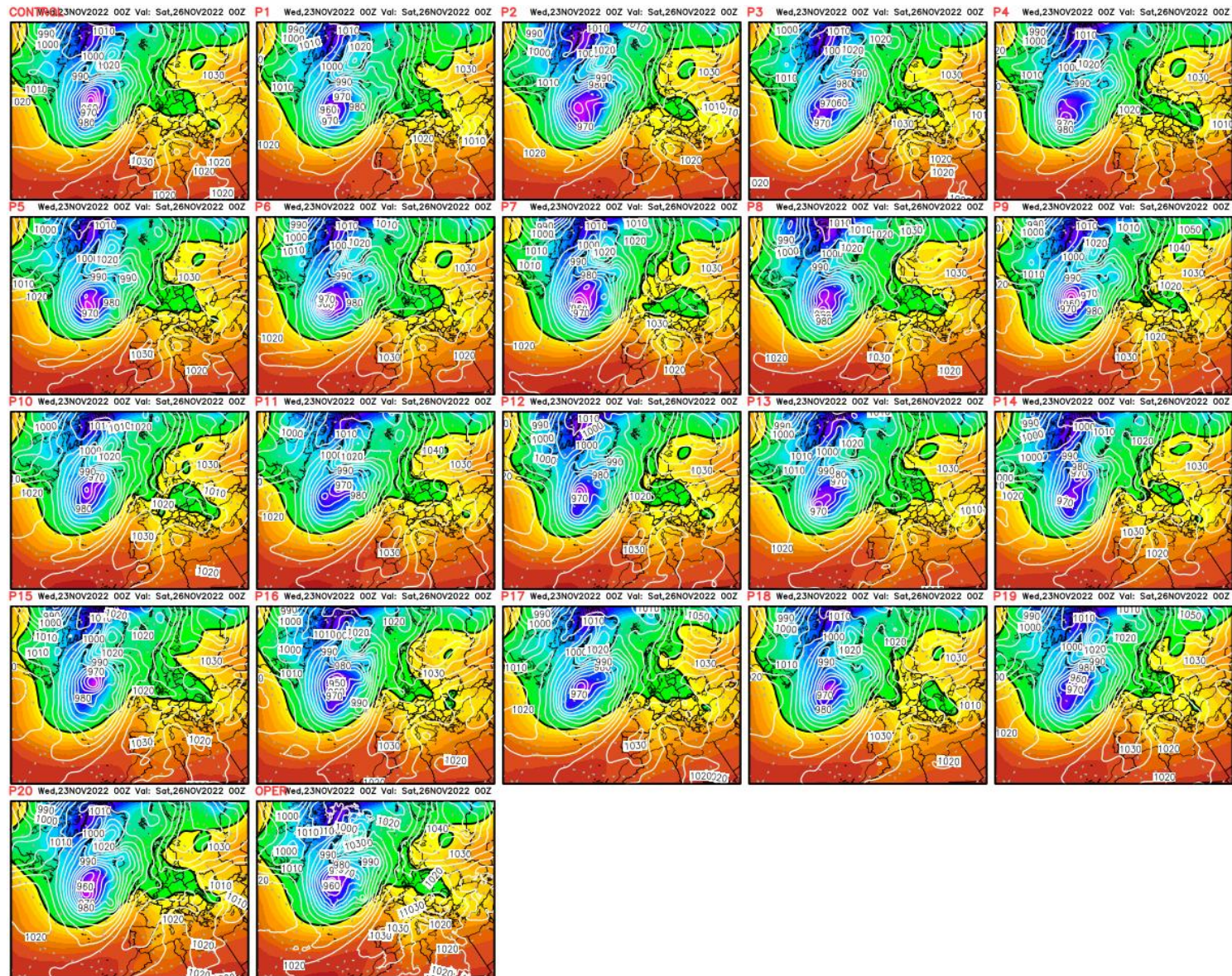
$\rightarrow$ jede Vorhersage hat gleiche Wahrscheinlichkeit

Ensembles GFS: 500 hPa Geopotential 1 Tag

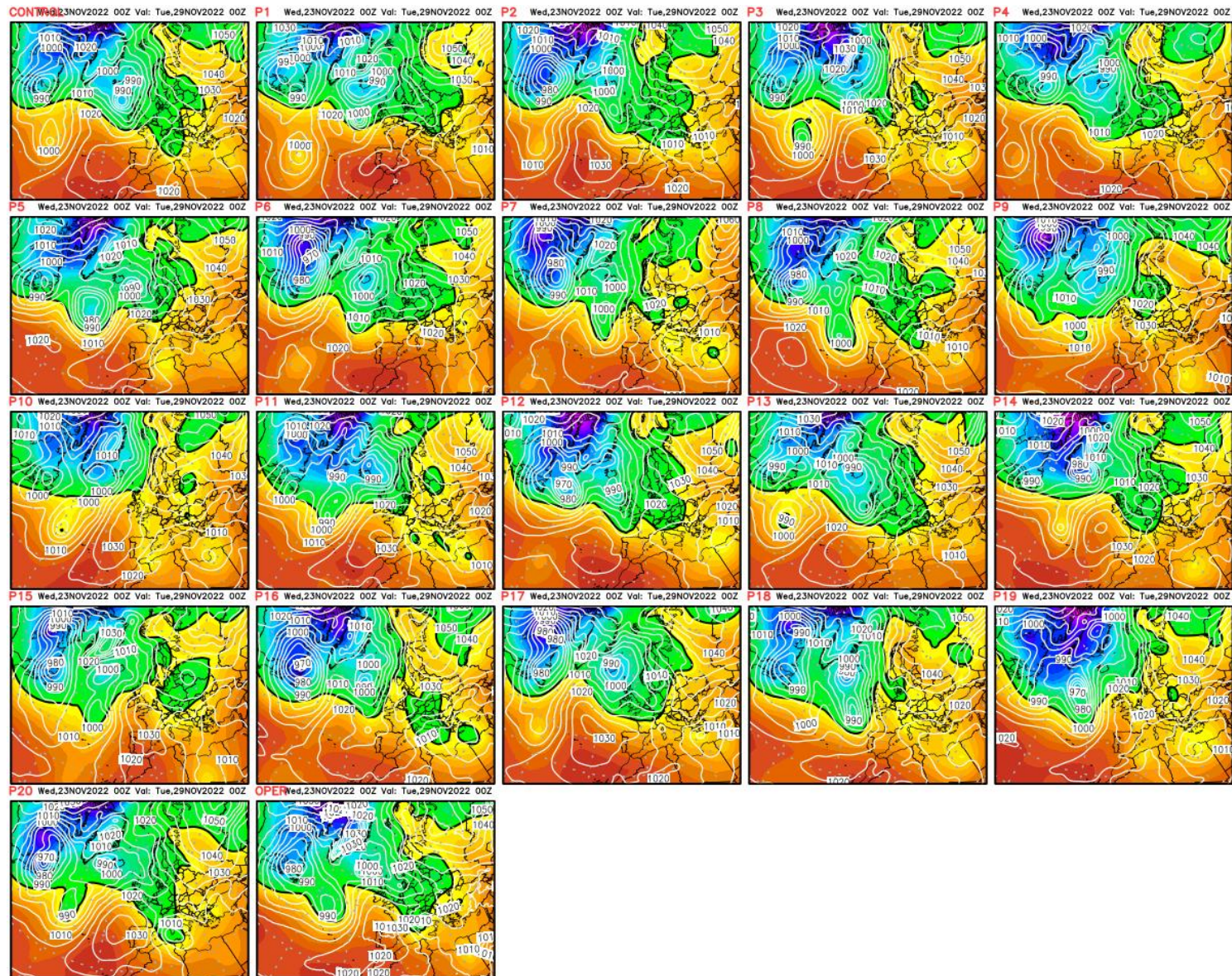
Anwahl
↓



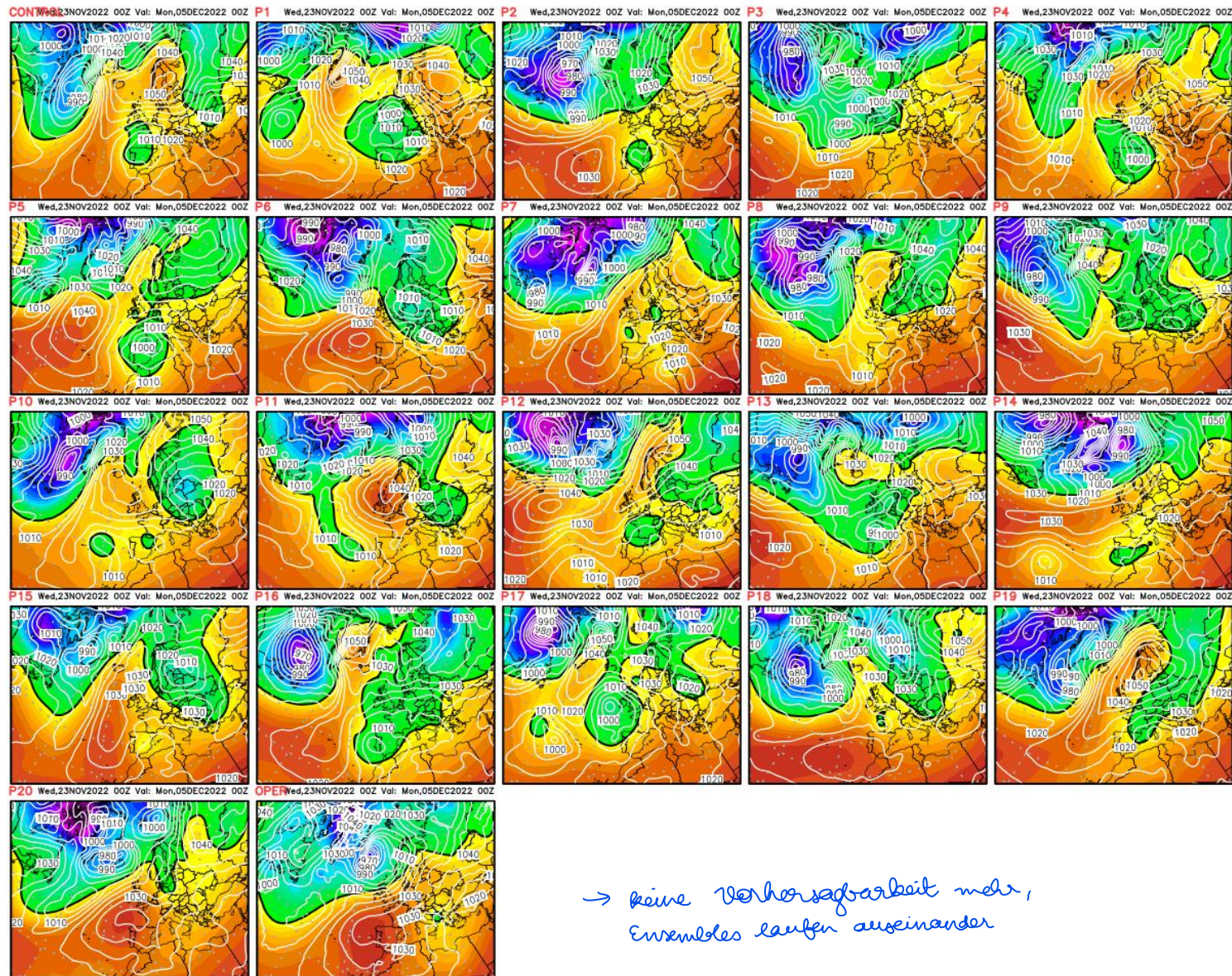
Ensembles GFS: 500 hPa Geopotential 3 Tage



Ensembles GFS: 500 hPa Geopotential 6 Tage



Ensembles GFS: 500 hPa Geopotential 12 Tage



Ensembles GFS: 500 hPa Geopotential

Init: Wed,23NOV2022 00Z

Valid: Mon,05DEC2022 00Z

Trog: negativ



1 Tag
3 Tage
6 Tage
12 Tage

abh. von Ort & Zeit bis Vorhersage

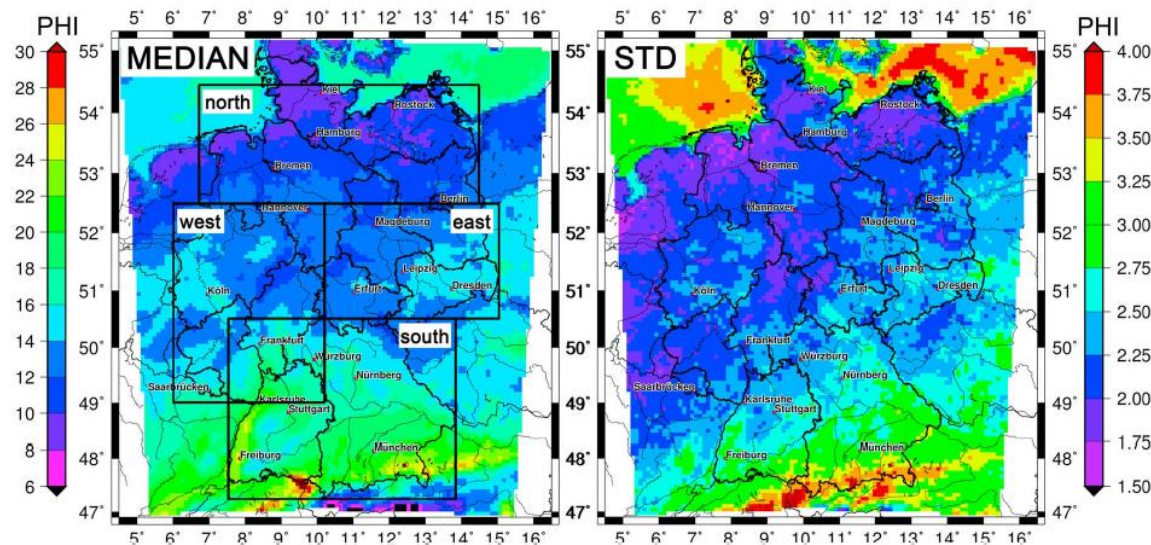
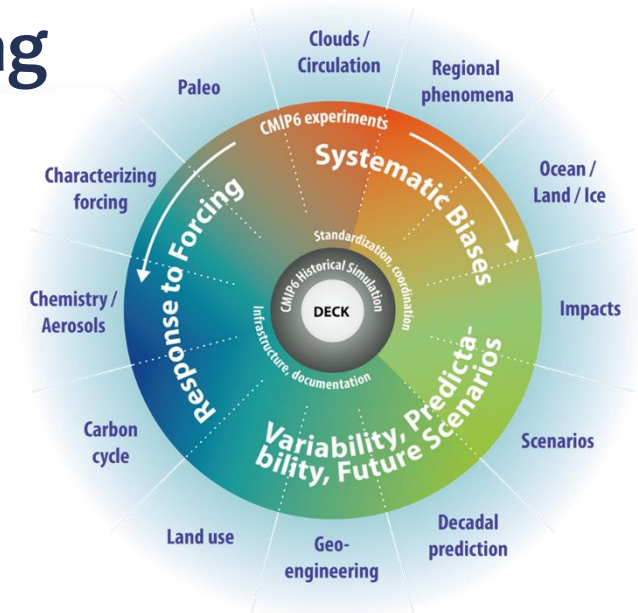
*manche Regionen
Ensembles nähern
aneinander*

*hier
z.B.*

Data: GFS ENS
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Ensembles in der Wettervorhersage / Klimamodellierung

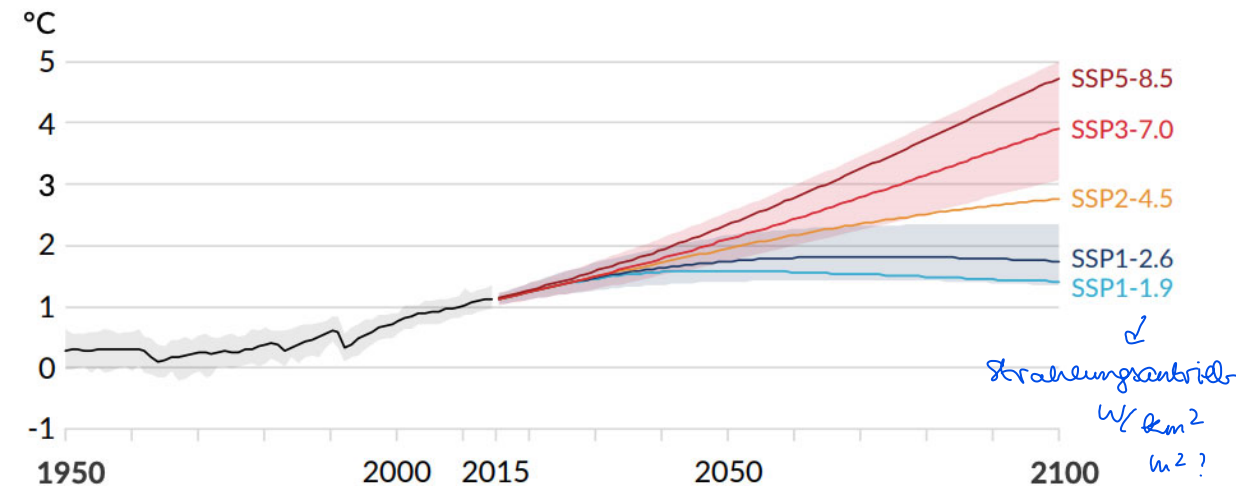
- Einsatz bei **Klimaprojektionen** → **Ensemble aus verschiedenen Klimamodell-Läufen**, z.B. Coupled Model Intercomparison Project CMIP des World Climate Research Programme (WCRP)



Potential Hail Index 2020-2050

(Mohr, Kunz and Keuler, 2015)

a) Global surface temperature change relative to 1850-1900



→ Ensemble aus versch. Modellen

(IPCC, 2021)

Vorlesung „Allgemeine Meteorologie“

Prof. Michael Kunz

Kapitel 5: Der Wasserdampf in der Atmosphäre



Letzte Vorlesung...

■ Modellatmosphären; Herleitung aus hydrostatischer Approximation + Zustandsgleichung

- (a) Homogene Atmosphäre ($\rho = \text{const.}$)

→ **lineare** Druckabnahme

$$p(z) = p_0 - \rho g z$$

- (b) Isotherme Atmosphäre ($T = \text{const.}$)

→ **exponentielle** Druckabnahme

→ Schichtdicke abhängig von Temperatur (Barometerreduktion)

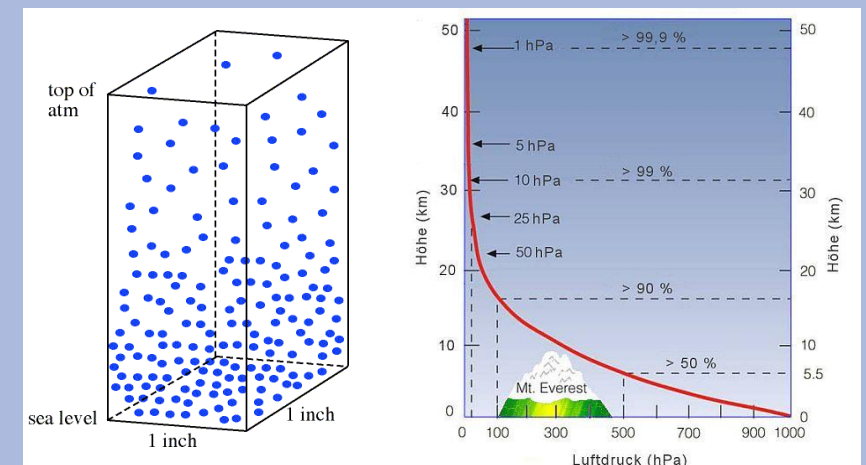
$$p(z) = p_0 \exp\left(-\frac{gz}{\bar{T} R_L}\right)$$

- (c) Polytrope Atmosphäre ($\frac{\partial T}{\partial z} = -\gamma = \text{const.}$)

→ Druckabnahme bestimmt von T_0 und γ

$$p(z) = p_0 \left(\frac{T_0 - \gamma z}{T_0}\right)^{\frac{g}{R_L \gamma}}$$

■ Reale Atmosphäre: Dichte- und Druckverlauf



Der Wasserdampf in der Atmosphäre

5.1 Wasserdampf und Feuchtemaße

5.2 Vertikale Verteilung des Wasserdampfs

5.3 Koexistenz von Flüssigkeit und Dampf

5.4 Koexistenz von Festkörper und Flüssigkeit

5.5 Koexistenz dreier Phasen

5.6 Reale Gase

5.7 Thermodynamische Phänomene, Kondensationsprozesse

5.7.1 Dunst

5.7.2 Nebel: Strahlungsnebel, Advektionsnebel

5.7.3 Wolkenklassifikation

Fragen über Fragen...

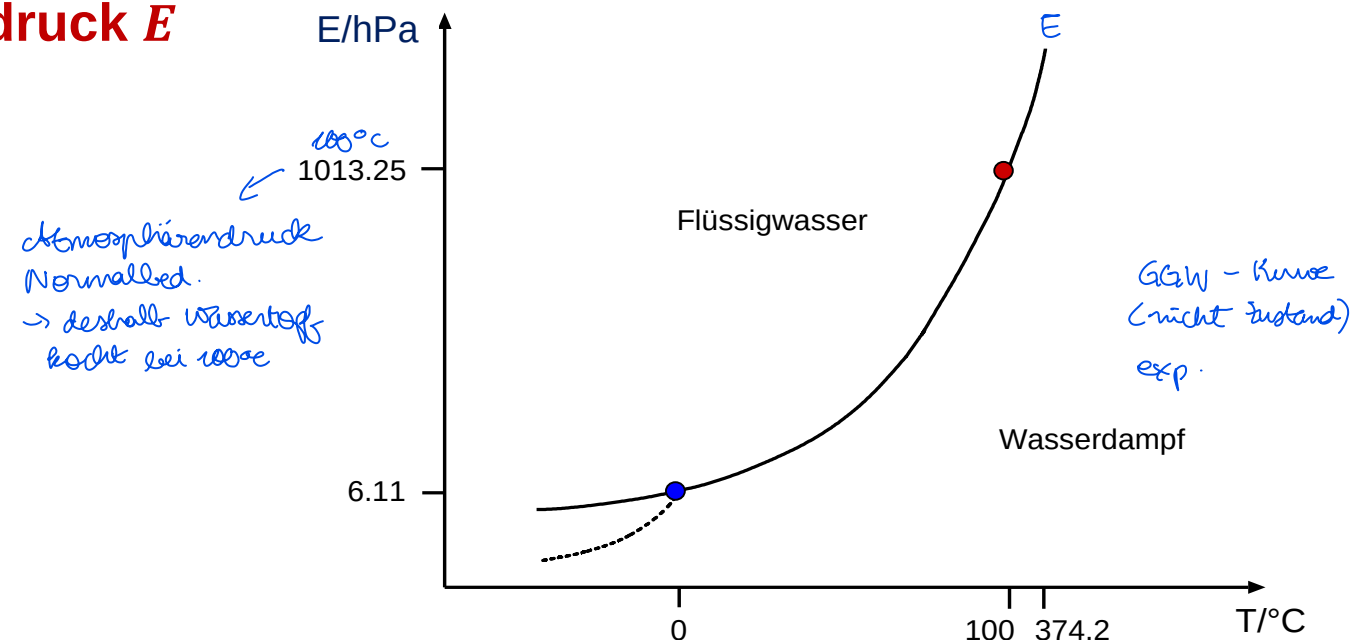
- Wovon hängt die **relative Feuchte** ab? T , Wasserdampfanteil
- Was ist die **Taupunktstemperatur**? Kondensation ohne Zufuhr Wasserdampf
100% rel. Luftfeuchtigkeit
- Das **Mischungsverhältnis** ist definiert als Masse Dampf zu Masse trockener Luft. Ändert sich das Mischungsverhältnis eines Luftpakets, das gehoben wird (ohne Kondensation)?
nein: $\frac{m_{\text{Dampf}}}{m_{\text{t. Luft}}}$ bleibt erhalten (außen Kond., Niederschlag)
- Ändert sich die **relative Feuchte** bei Hebung? ja (wegen ΔT)
- Gilt die **Zustandsgleichung** (siehe Herleitung in VL 4) auch für feuchte Luft? Nein (aber spezielle Form " schon)

5.1 Wasserdampf und Feuchtemaße

a.) Dampfdruck e , Sättigungsdampfdruck E

- Jedes Gas i übt einen bestimmten Druck aus, den Partialdruck p_i
- **Daltonsches Gesetz:** Gesamt(luft)druck p ist die Summe der Partialdrucke
- Partialdruck von Wasserdampf: **Dampfdruck e** ; Einheit hPa
- e hat eine obere Grenze, die **nur** von der Temperatur abhängt: **Sättigungsdampfdruck E** (→ siehe nächste VL)

$$p = \sum_i p_i$$



5.1 Wasserdampf und Feuchtemaße

bin also: T-Wert nötig

b.) Relative Feuchte f

- Verhältnis von gemessenem Dampfdruck zu Sättigungsdampfdruck.

$$f = \frac{e}{E(\vartheta)} \cdot 100 \quad \text{in \%} \quad \left(= \frac{r}{r_s} \cdot 100 = \frac{q}{q_s} \cdot 100 \right)$$



- Grad der Feuchteanreicherung (oder Sättigung) der Luft
- abhängig von der Temperatur; keine Aussage über tatsächlichen Anteil an Wasserdampf in der Luft
- Untersättigung bei $f < 100\%$, Wolken-/Nebelbildung bei $f = 100\%$ ($f > 100\%$ selten in Atmosphäre)

100,1% vlt → wegen Aerosole (nötig für Kondensation)



5.1 Wasserdampf und Feuchtemaße

c.) Absolute Feuchte a

- Masse Wasserdampf pro Volumeneinheit (= Wasserdampfdichte)

$$a = \rho_d \quad \text{in} \quad \text{kg m}^{-3}$$

- gibt direkt den Wasserdampfanteil der Luft wieder
- Einheit wird oft angegeben in g m^{-3} (keine SI-Einheit!)

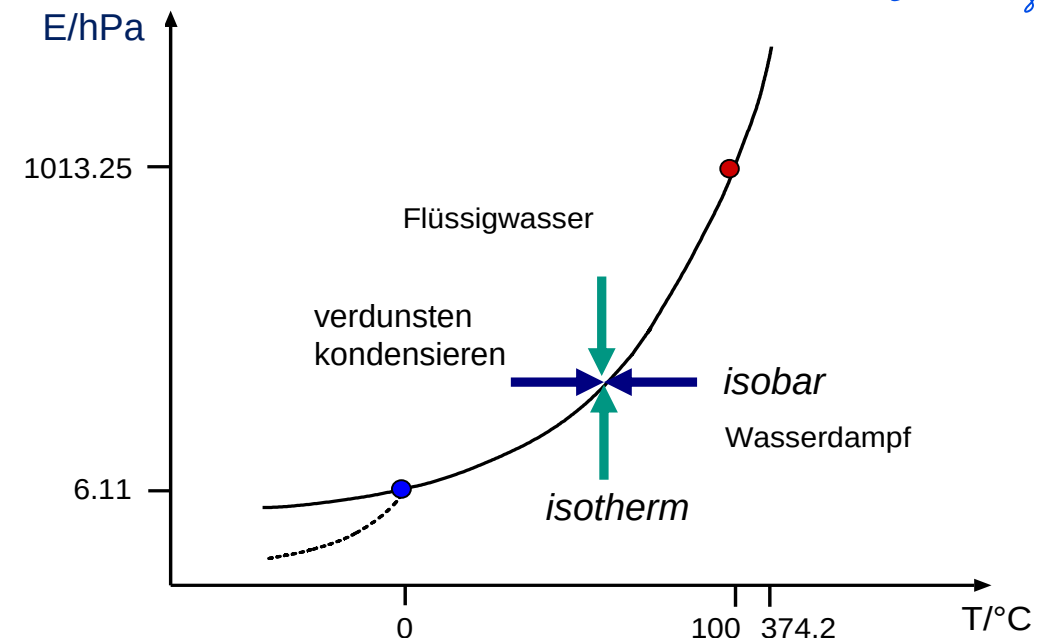
5.1 Wasserdampf und Feuchte Maße

d.) Taupunkt bzw. Taupunktstemperatur T_d oder τ

- Definiert als Temperatur, ab der es bei isobarer Abkühlung der Luft zu Sättigung (Wolken, Nebelbildung) kommt; keine Advektion von Wasserdampf
- Die Taupunktstemperatur ist ein eindeutiges Maß für den Wasserdampfpartialdruck e ($\rightarrow$ siehe Übung und nächste VL)

$$e(T) = E(T_d)$$

Sättigungsdampfdruck
T. kann nicht mehr absinken
Taupunkttemp (100% rel. Luftfeucht.)
 $\rightarrow T_{min}$ nachts abschätzbar



5.1 Wasserdampf und Feuchtemaße

e.) Mischungsverhältnis r und spezifische Feuchte q

- Gibt die **Masse Wasserdampf** bezogen auf die Masse **trockener** (Mischungsverhältnis r) bzw. **feuchter** (spezifische Feuchte q) **Luft** an (Massenverhältnis):

$$q = \frac{\rho_d}{\rho} = \frac{m_d}{m} \quad \text{mit } \rho = \rho_d + \rho_l$$

Handwritten notes: $m \rightarrow m \text{ feuchte Luft}$

$$r = \frac{\rho_d}{\rho_l} = \frac{m_d}{m_l}$$

Handwritten notes: $m_d \text{ Dampf}$, $m_l \text{ tr. Luft}$

bodennah ca. $\frac{10 \text{ g}}{\text{kg}}$

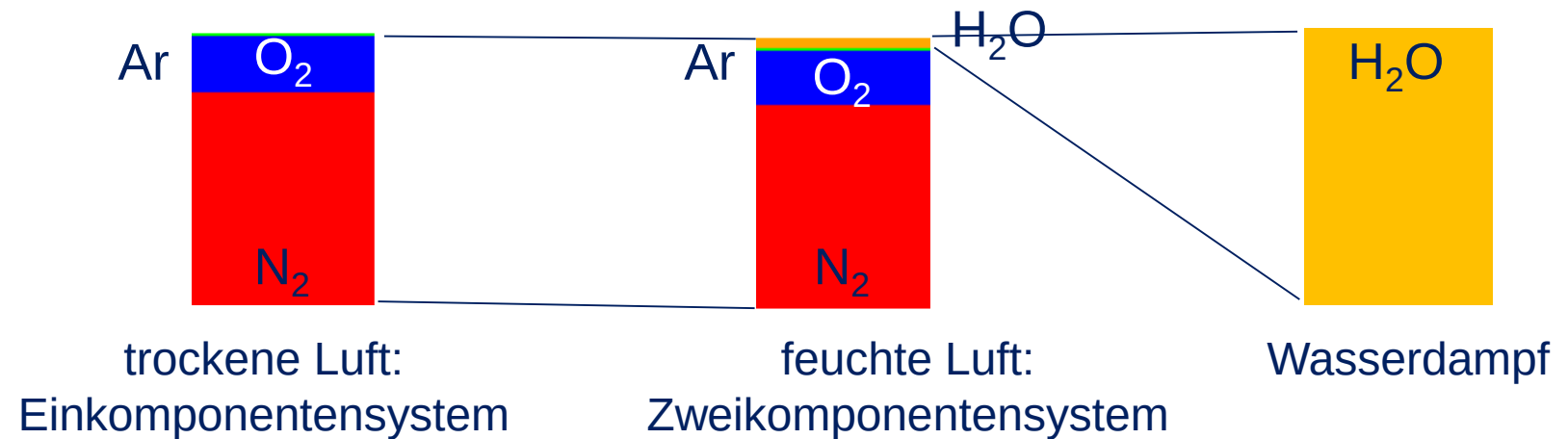
- dimensionslos; Einheit: kg kg^{-1} (SI-Einheit) oder g kg^{-1} (wird häufig verwendet)
- konservative Größe: **ändert sich nicht, wenn sich Druck und Temperatur ändern**, z.B. bei **Vertikalbewegungen** ohne Kondensation/Verdunstung

5.1 Wasserdampf und Feuchtemaße

e.) Mischungsverhältnis r und spezifische Feuchte q

*Hydrosphäre
aus Lfl. id. Lgas*

- Unterscheidung trockene Luft, feuchte Luft, Wasserdampf



Druck: Daltonsches Gesetz $p_l = \sum p_i$ $p = p_l + p_d$ $p_d \equiv e$

Zustandsgleichung $p_l = \rho_l R_l T$ $? \rightarrow \text{später}$ $p_d = \rho_d R_d T$

5.1 Wasserdampf und Feuchte Maße

Mischungsverhältnis

$$r = \frac{\rho_d}{\rho_l} = \frac{m_d}{m_l} \quad (1)$$

ρ_l, ρ_d : Dichte trockene Luft / Wasserdampf
 p_l, e : Druck trockene Luft / Wasserdampf
 R_l, R_d : Gaskonstante trockene Luft / Dampf

Zustandsgleichung (a) trockene Luft

$$\begin{aligned}
 p_l = p - e &= \rho_l R_l T \\
 &= \frac{m_l}{V} R_l T \\
 \Rightarrow m_l &= \frac{(p - e)V}{R_l T}
 \end{aligned}$$

(b) Wasserdampf

$$\begin{aligned}
 p_d \equiv e &= \rho_d R_d T \\
 &= \frac{m_d}{V} R_d T \\
 \Rightarrow m_d &= \frac{eV}{R_d T}
 \end{aligned}$$

eingesetzt in (1):

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{\cancel{eV} \cancel{R_l T}}{\cancel{R_d T} \cancel{(p - e)V}} \\
 &= \frac{R_l}{R_d} \frac{e}{(p - e)}
 \end{aligned}$$

$$r = 0.622 \frac{e}{(p - e)}$$

$$\begin{aligned}
 R_l &= 287.1 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \\
 R_d &= 461.4 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}
 \end{aligned}$$

5.1 Wasserdampf und Feuchtegröße

Spezifische Feuchte

$$q = \frac{\rho_d}{\rho} = \frac{m_d}{m} = \frac{m_d}{m_l + m_d} \quad (1)$$

Zustandsgleichung (a) trockene Luft

$$m_l = \frac{(p - e)V}{R_l T}$$

(b) Wasserdampf

$$m_d = \frac{eV}{R_d T}$$

eingesetzt in (1): $q = \frac{\frac{eV}{R_d T}}{\frac{(p-e)V}{R_l T} + \frac{eV}{R_d T}} = \frac{1}{R_d} \frac{e}{\frac{p-e}{R_l} + \frac{e}{R_d}}$ R_l vor Bruch ziehen

$$= \frac{R_l}{R_d} \frac{e}{p - e + \frac{R_l}{R_d} e}$$

$\underbrace{\quad}_{= 0.622} \quad \quad \quad \underbrace{\quad}_{= 0.622}$

$$q = 0.622 \frac{e}{p - 0.378e} \approx 0.622 \frac{e}{p} \approx r \quad (\text{Mischungsverhältnis})$$

5.1 Wasserdampf und Feuchtemaße

f.)* Virtuelle Temperatur

(* keine eigentliches Feuchtemaß)

im Zustandsgl. verwenden zu können für gasgl.

■ Zustandsgleichungen für ein ideales Gas

– trockene Luft

$$p_l = \frac{\rho_l}{M_l} R^* T$$

– Wasserdampf

$$p_d = \frac{\rho_d}{M_d} R^* T$$

Luft : $p = R^* \cdot T \cdot \left(\frac{\rho_l}{M_l} + \frac{\rho_d}{M_d} \right)$
sehr variabel &

■ Wasserdampf hat eine geringere molare Masse M als trockene Luft

$$M_l = 28.96 \text{ g mol}^{-1}$$

→ Dichte feuchter Luft ist geringer als Dichte trockener Luft

$$M_d = 18.02 \text{ g mol}^{-1}$$

■ Einführung der „virtuellen“ Temperatur; dann kann weiterhin Zustandsgleichung mit Gaskonstante für trockene Luft verwendet werden (und Dichte für feuchte Luft)

Recomb. 287 J/kgK

$$p = \rho R_l T_v$$

5.1 Wasserdampf und Feuchte maße

f.)* Virtuelle Temperatur

(* keine eigentliches Feuchtemaß)

■ Ausgang: $p = p_l + p_d = R^* T \left(\frac{\rho_l}{M_l} + \frac{\rho_d}{M_d} \right)$ Ziel: Gleichung der Form $p = \rho R_l T_v$

② ① ③

① herausziehen $1/M_l$ vor Klammer: $p = \frac{R^*}{M_l} T \left(\rho_l + \frac{M_l}{M_d} \rho_d \right) = \underline{R_l} T \left(\rho_l + \frac{M_l}{M_d} \rho_d \right)$

$R^* = R_l \cdot M_l$
 $= R_d \cdot M_d$

② Dichte: $\rho = \rho_l + \rho_d \Leftrightarrow \rho_l = \rho - \rho_d$

herausziehen ρ vor Klammer

③ Definition spezifische Feuchte $q = \frac{\rho_d}{\rho}$

$\frac{M_l}{M_d} = \frac{R^*/R_l}{R^*/R_d} = \frac{R_d}{R_l} = \frac{461.4}{287.1} = 1.608$

$= R_l T \left(\rho - \rho_d + \frac{M_l}{M_d} \rho_d \right)$
 $= \underline{\rho} R_l T \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho} + \frac{M_l}{M_d} \frac{\rho_d}{\rho} \right)$
 $= \rho R_l T \left(1 + q \left(\frac{M_l}{M_d} - 1 \right) \right)$
 $= \rho R_l T (1 + 0.608q) = \rho R_l T_v$

– **Virtuelle Temperatur:** „Zuschlag zur Temperatur“
 Dichte der feuchten Luft, Gaskonstante für trockene Luft

$\longrightarrow T_v = T (1 + 0.608q)$

5.1 Wasserdampf und Feuchtemaße

Zusammenfassung Feuchtemaße

- Relative Feuchte: relatives Maß, i.d.R. in %
 - Angabe Temperatur notwendig
- Taupunktstemperatur τ (in °C)
 - Definition implizit:
- Mischungsverhältnis r (in kg / kg) *konstant (Dichte sp. ≠ 0, aber Massenverh. konstant)*
 - Masse Dampf (M_d) zu Masse **trockener** Luft (M_l)
- spezifische Feuchte q (in kg / kg)
 - Masse Dampf (M_d) zu Masse **feuchter** Luft (M_l)
- *Virtuelle Temperatur*
 - Temperatur, die trockene Luft besitzen muss, damit sie bei gleichem Druck p dieselbe Dichte ρ besitzt wie feuchte Luft
 - Damit: Berücksichtigung Feuchte in Zustandsgleichung

$$f = \frac{e}{E} \cdot 100\%$$

$$e(T) = E(\tau)$$

$$r = 0,622 \frac{e}{p - e}$$

$$q = 0,622 \frac{e}{p - 0,378e}$$

$$T_v = T(1 + 0,608q)$$

$$p = \rho R_l T_v$$

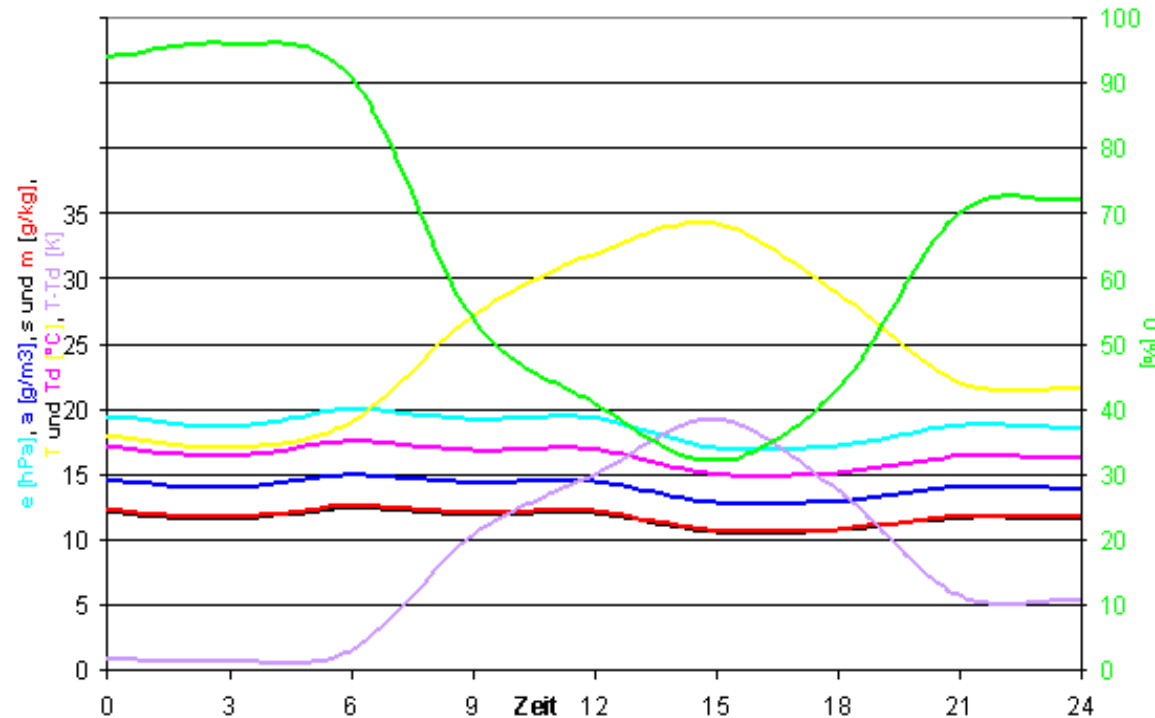
hochvariabel

spz. Feuchte

5.1 Wasserdampf und Feuchtemaße

■ Ungestörter Tagesgang verschiedener Feuchtemaße Station Berlin-Botanischer Garten Sommer: 15.08.2001

- geringer Tagesgang Mischungsverhältnis, spezifische/absolute Feuchte, Dampfdruck, Taupunkt
- gegenläufiges Verhalten Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit
- paralleler Verlauf Temperatur - Taupunktsdifferenz



Tagesgang

- T aktuelle Temperatur
- f relative Feuchte
- T_d Taupunktstemp.
- $T - T_d$ Taupunktsdiffer.
- e Dampfdruck
- a absolute Feuchte
- q (s) spez. Feuchte
- m Mischungsverh.

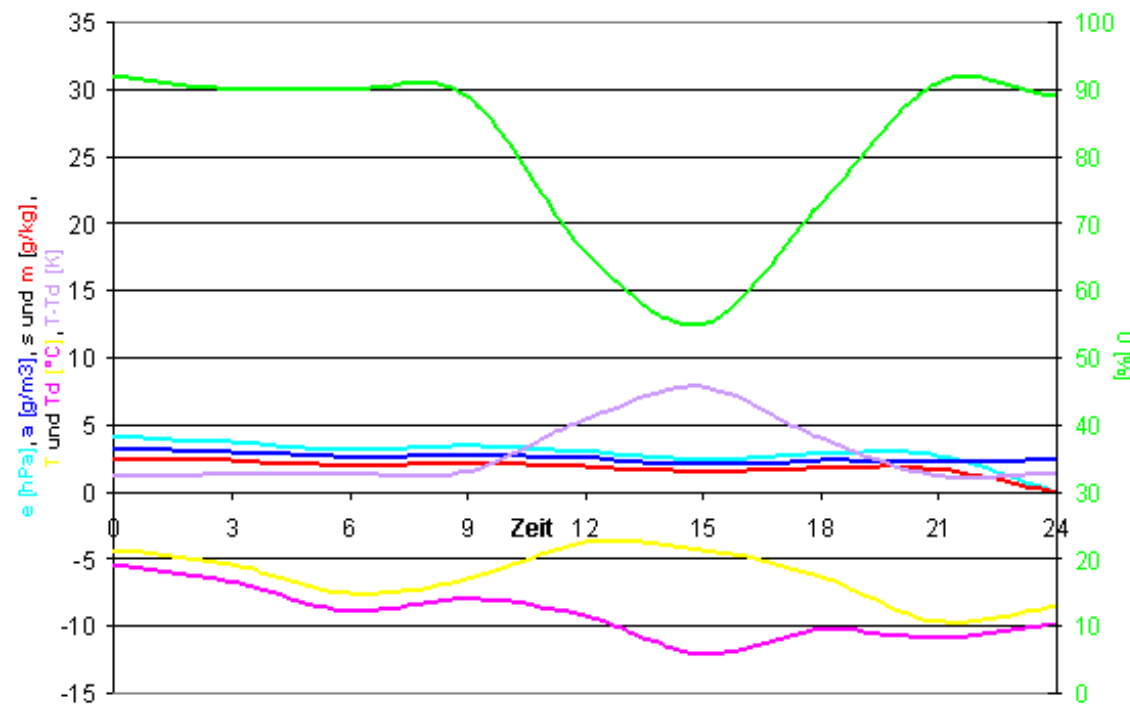
m
12 $\frac{g}{kg}$
T-Abh.

(www.met.fu-berlin.de/de/daten/luftfeuchtigkeit/)

5.1 Wasserdampf und Feuchtemaße

■ Ungestörter Tagesgang verschiedener Feuchtemaße Station Berlin-Botanischer Garten Winter: 24.02.2001

- geringer Tagesgang Mischungsverhältnis, spezifische/absolute Feuchte, Dampfdruck, Taupunkt
- gegenläufiges Verhalten Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit
- paralleler Verlauf Temperatur - Taupunktsdifferenz



T aktuelle Temperatur

f relative Feuchte

T_d Taupunktstemp.

$T - T_d$ Taupunktsdiffer.

e Dampfdruck

a absolute Feuchte

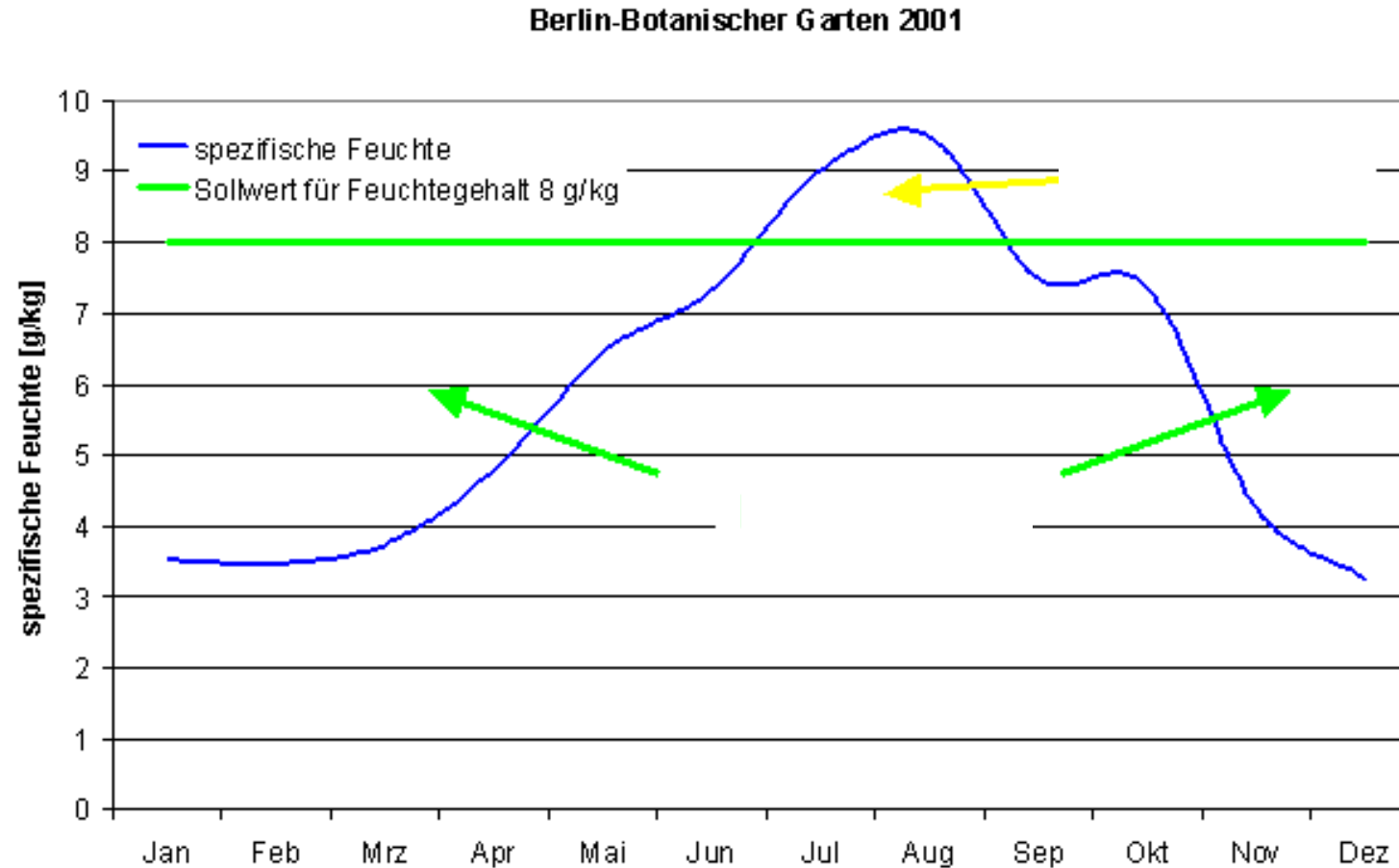
q (s) spez. Feuchte

m Mischungsverh.

(www.met.fu-berlin.de/de/daten/luftfeuchtigkeit/)

5.1 Wasserdampf und Feuchtemaße

- **Jahresgang** der spezifischen Feuchte q ($\approx$ Mischungsverhältnis r):
Station Berlin-Botanischer Garten im Jahr 2001



(www.met.fu-berlin.de/de/daten/luftfeuchtigkeit/)

Fragen über Fragen...

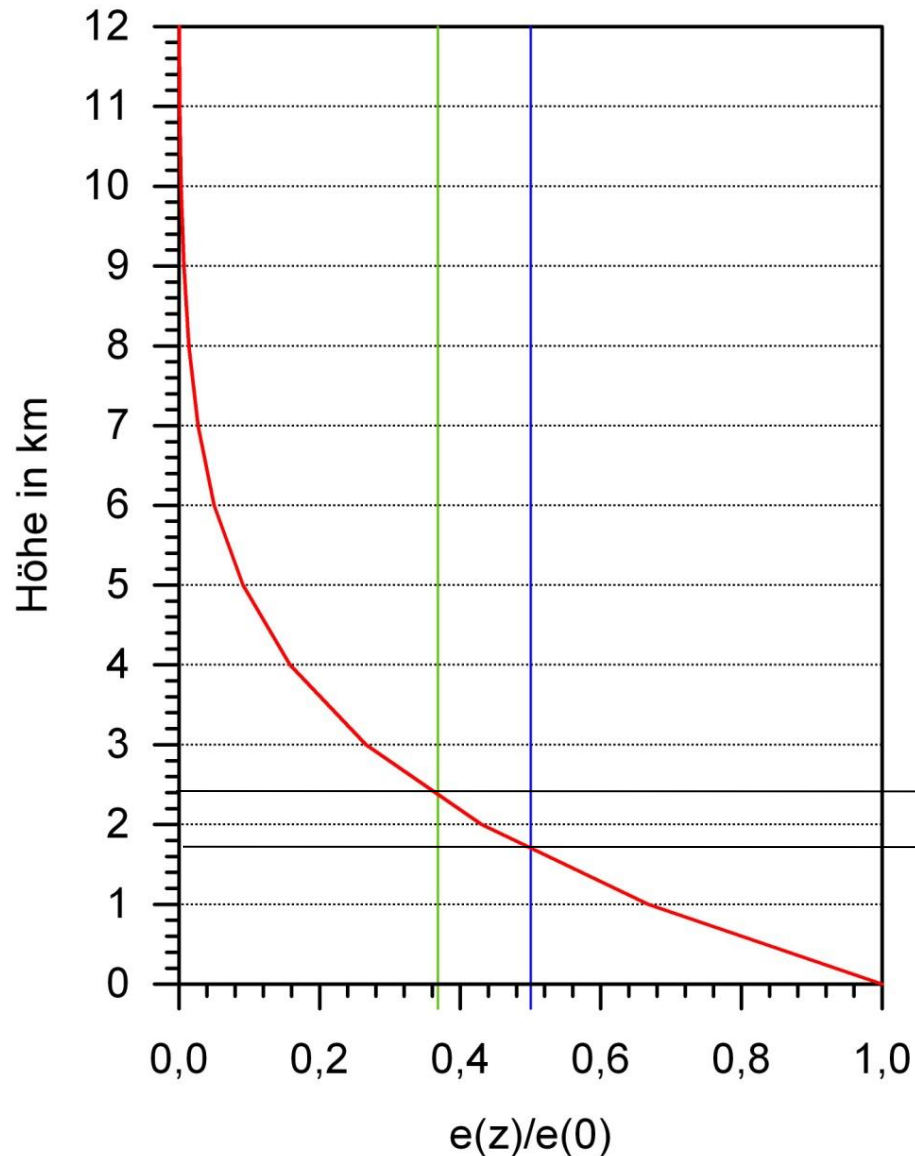
- Wie ändern sich
 - Dampfdruck e
 - Mischungsverhältnis r
 - Relative Feuchte fin der Atmosphäre (nicht aufsteigendes Luftpaket) mit der **Höhe**?
- Was ist sind **Halbwertshöhe** und **Skalierungshöhe**?
- Wie hoch ist die **Halbwertshöhe** des Wasserdampfs (typischerweise in unseren Breiten)?

5.2 Vertikale Verteilung des Wasserdampfs

- Aus $E \sim \exp(T)$ (Clausius-Clapeyron Gleichung, nächste VL) folgt im Mittel in der Troposphäre annähernd **exponentielle Abnahme** des **Dampfdrucks** mit der Höhe (bei linearer Temperaturabnahme)
- Aber Unterschiede in den verschiedenen Variablen:
 - Dampfdruck e , absolute Feuchte a : $\sim$ exponentielle Abnahme
 - Mischungsverhältnis r , spez. Feuchte q : konstant in Grenzschicht:
 - relative Feuchte f : keine Aussage möglich wegen $f = \text{funkt}(T)$
- Skalierungshöhe Wasserdampfdichte (Abfall auf $1/e$): 1 km bis 3 km
- Empirische Formel nach Süring für Abnahme Dampfdruck

$$e(z) = e(z = 0) \times 10^{-\frac{z}{6} - \frac{z^2}{120}}$$

5.2 Vertikale Verteilung des Wasserdampfs



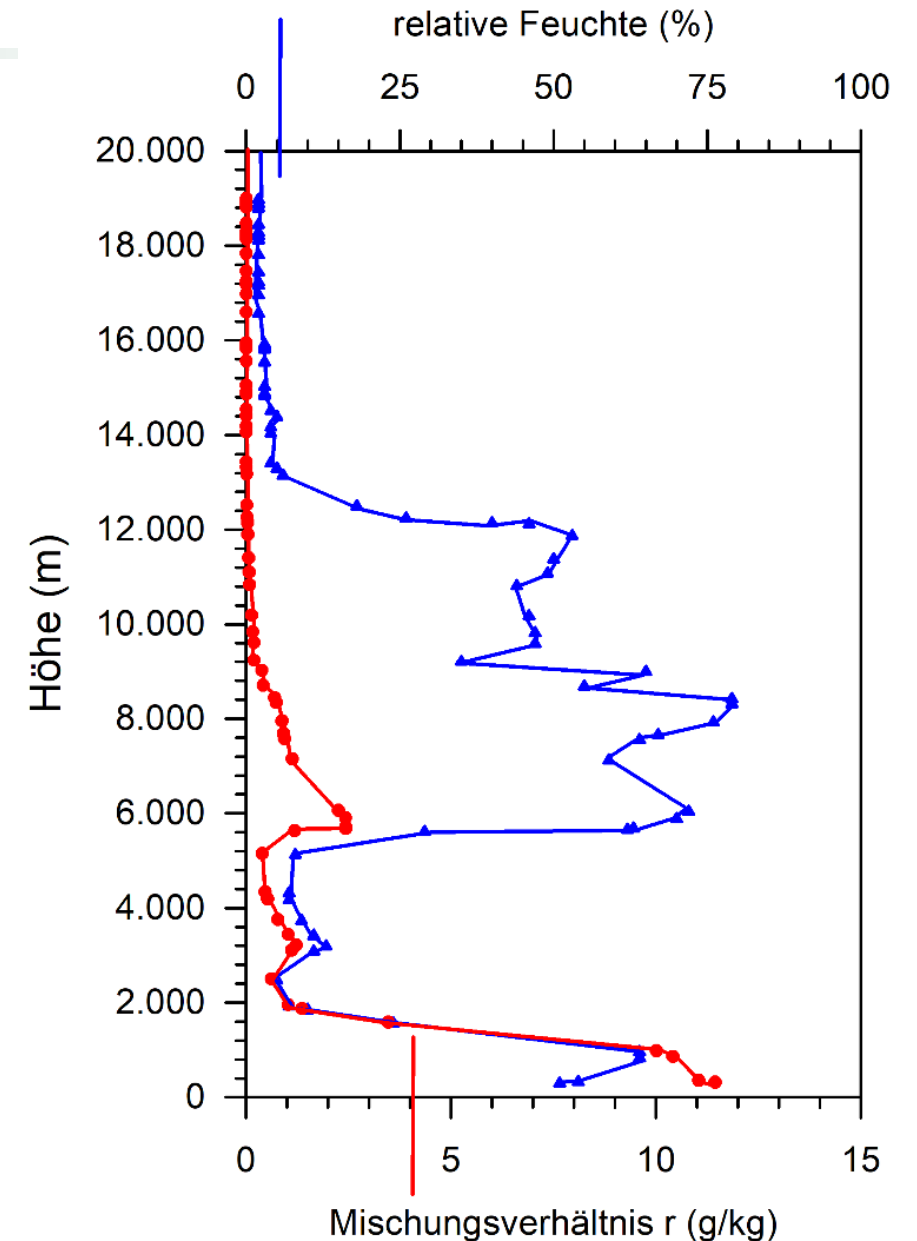
Empirische Gleichung nach Süring:
Abnahme Dampfdruck mit der Höhe

$$e(z) = e(z = 0) \times 10^{-\frac{z}{6} - \frac{z^2}{120}}$$

Skalierungshöhe
Halbwertshöhe

5.2 Vertikale Verteilung des Wasserdampfs

- Sounding Stuttgart am 15.09.2020, 12:00 UTC
 - trockene Schicht 2-6 km; darüber und darunter relativ feucht
 - sehr geringe Werte des Mischungsverhältnis ab ~ 10 km
 - Abnahme Mischungsverhältnis durch Abnahme Temperatur (im Mittel)
 - Aber: relative Feuchte prinzipiell keine direkte Funktion der Höhe



Wir fassen zusammen...

■ Feuchtemaße (Verwendung je nach Fragestellung)

- **Wasserdampfpartialdruck e** (in hPa): Druck durch den Dampf; hat eine obere Grenze, die von der Temperatur abhängt → Sättigungsdampfdruck E
- **Relative Feuchte f** (in %): relatives Maß, abh. von Temperatur
- **Taupunktstemperatur τ** (in °C): Temperatur bei 100% rel. Feuchte
- **Mischungsverhältnis r** (in kg / kg): Masse Dampf (M_d) zu Masse **trockener** Luft (M_l); konservativ bei Vertikalbewegungen
- **spezifische Feuchte q** (in kg / kg): Masse Dampf (M_d) zu Masse **feuchter** Luft (M_l); konservativ bei Vertikalbewegungen

■ Virtuelle Temperatur

- Temperatur, die trockene Luft besitzen muss, damit sie bei gleichem Druck p dieselbe Dichte ρ besitzt wie feuchte Luft
- In Zustandsgleichung kann bei Verwendung von T_v die Gaskonstante für trockene Luft R_L verwendet werden

■ Tagesgang: Dampfdruck, absol./sepz. Feuchte, Mischungsverhältnis + Taupunktstemp. haben geringen Tagesgang; rel. Feuchte invers zu Temperatur