



...vom Wetter zum Klima...

ASDR Naturgefahrenntagung Öblarn, 30.09.-02.10.2021

– *Alexander Podesser* –



ZAMG
Zentralanstalt für
Meteorologie und
Geodynamik

Begriff WETTER

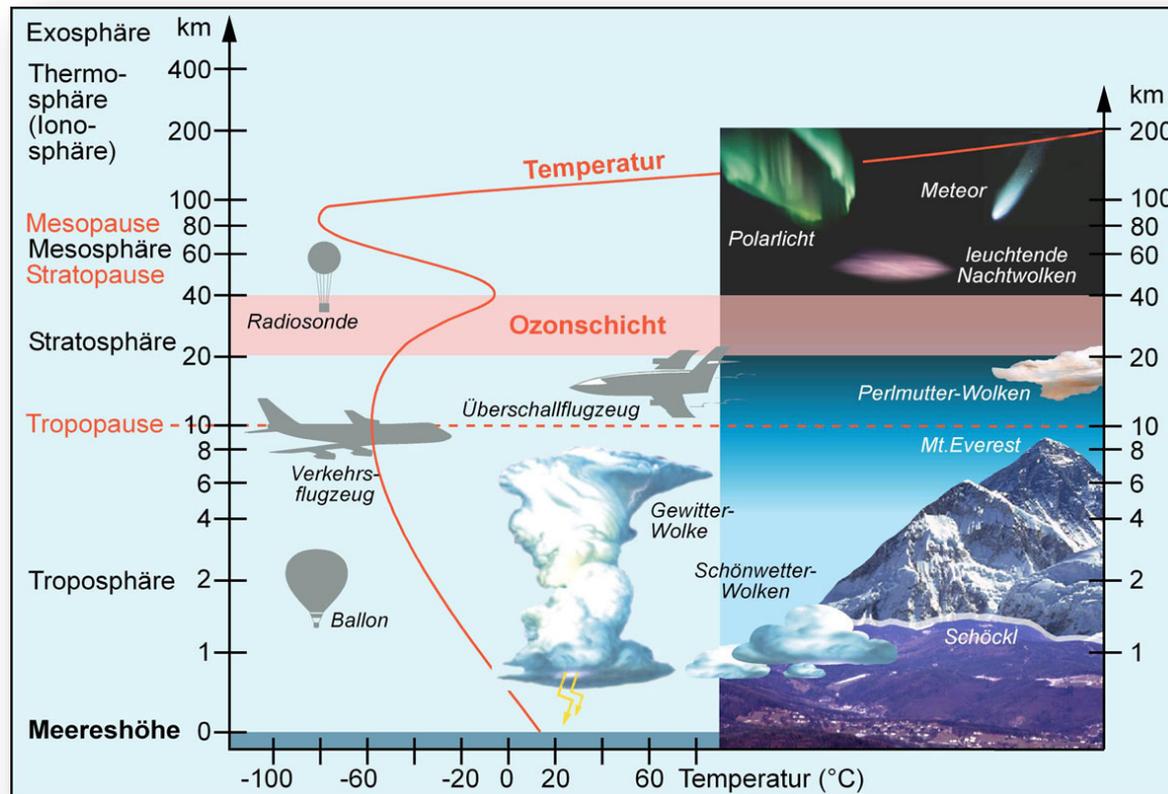


Als "Wetter" wird der physikalische Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt oder in einem auch kürzeren Zeitraum an einem bestimmten Ort oder in einem Gebiet bezeichnet, wie er durch die meteorologischen Elemente und ihr Zusammenwirken gekennzeichnet ist.

Quelle: DWD Lexikon

Begriff WETTER

Das Wettergeschehen spielt sich in der unteren Atmosphäre ab, die als Troposphäre bezeichnet wird.



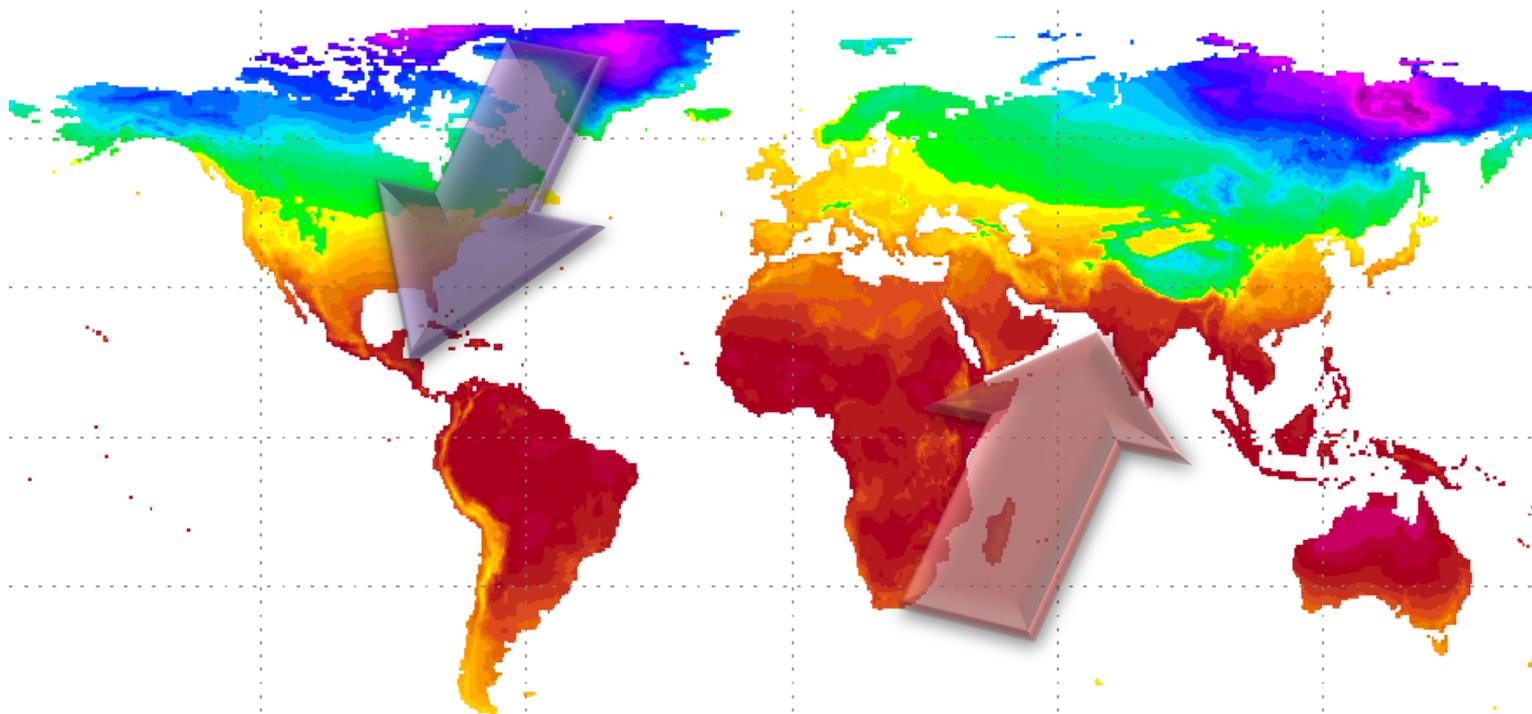
Begriff WETTER

Das Wettergeschehen spielt sich in der unteren Atmosphäre ab, die als Troposphäre bezeichnet wird.



WETTER Ursachen

Ursache der Wetterabläufe sind die unterschiedliche Erwärmung der Erdoberfläche und daraus resultierend der darüber liegenden Luftschichten in Abhängigkeit von der geographischen Breite, der Höhenlage über NN, der Land-Meer-Verteilung, der Orographie, des Bewuchses usw..

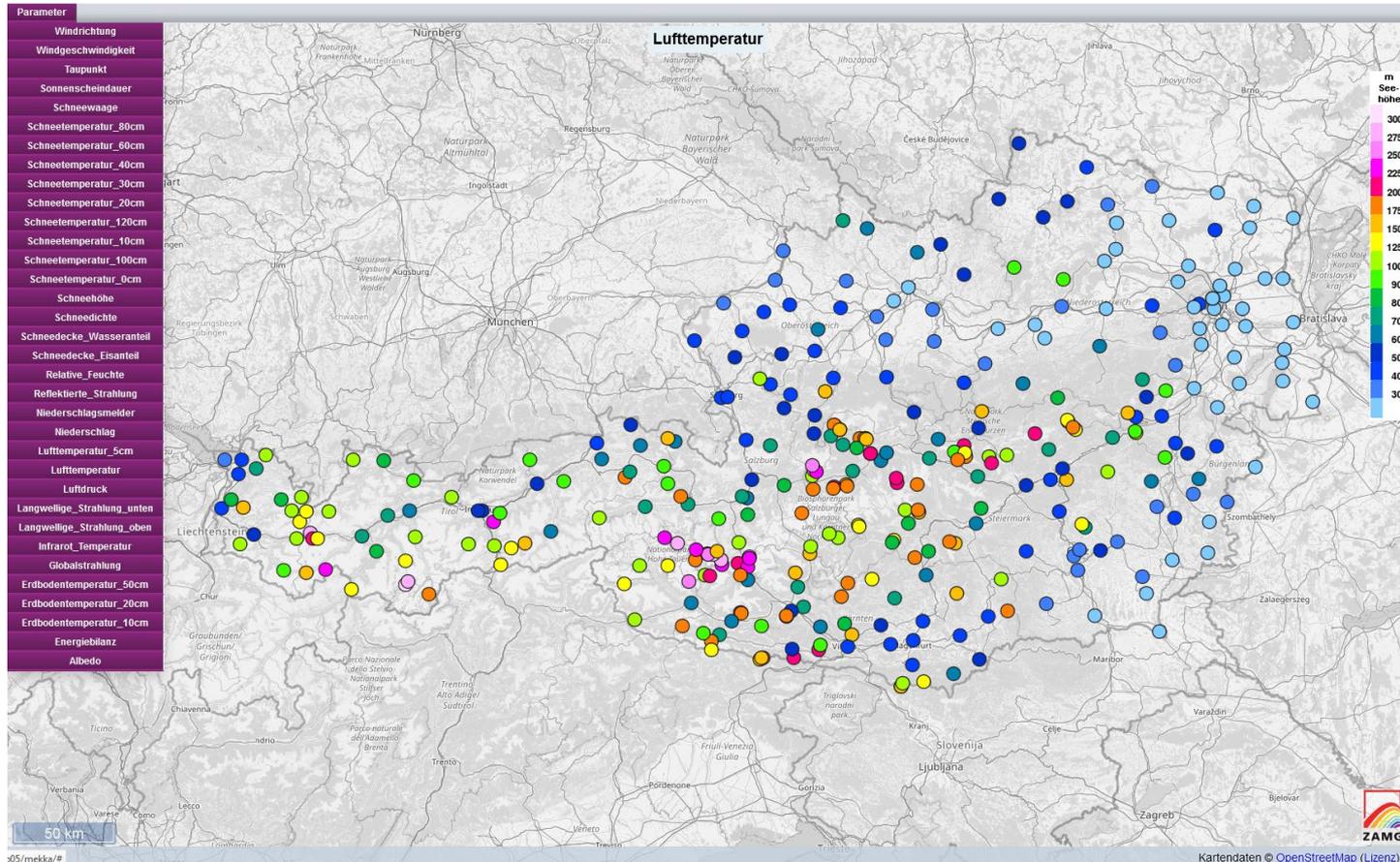


Wetterelemente

Das Wetter wird mit Hilfe quantifizierbarer Parameter charakterisiert. Diese Parameter sind fundamentale Größen des Wetters (Wetterelemente) wie z.B. Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftdruck, Drucktendenz, Windrichtung und Windgeschwindigkeit, Bewölkung (Wolken), Niederschlag und Sichtweite.



WETTER Messung



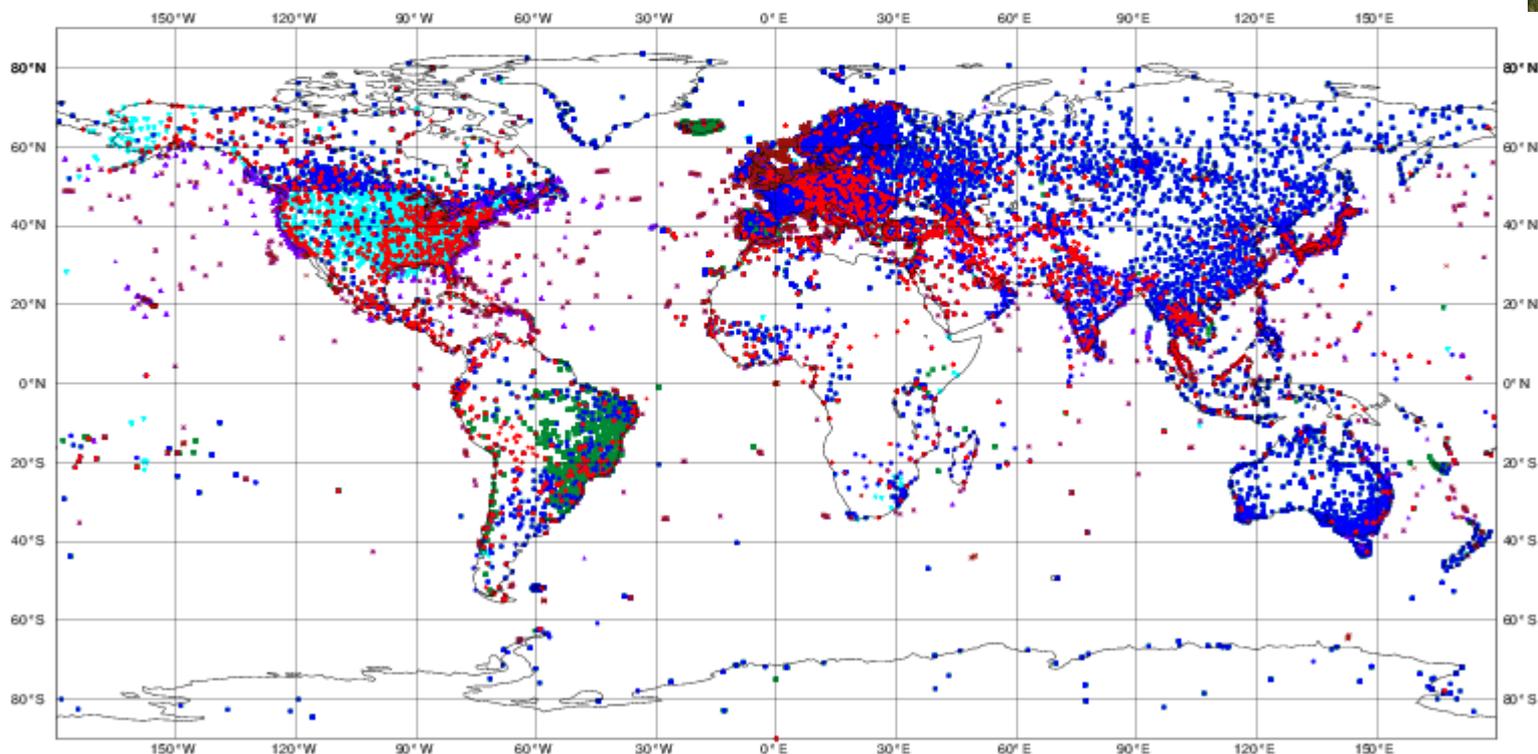


ECMWF data coverage (all observations) - SYNOP-SHIP-METAR

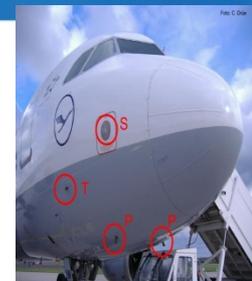
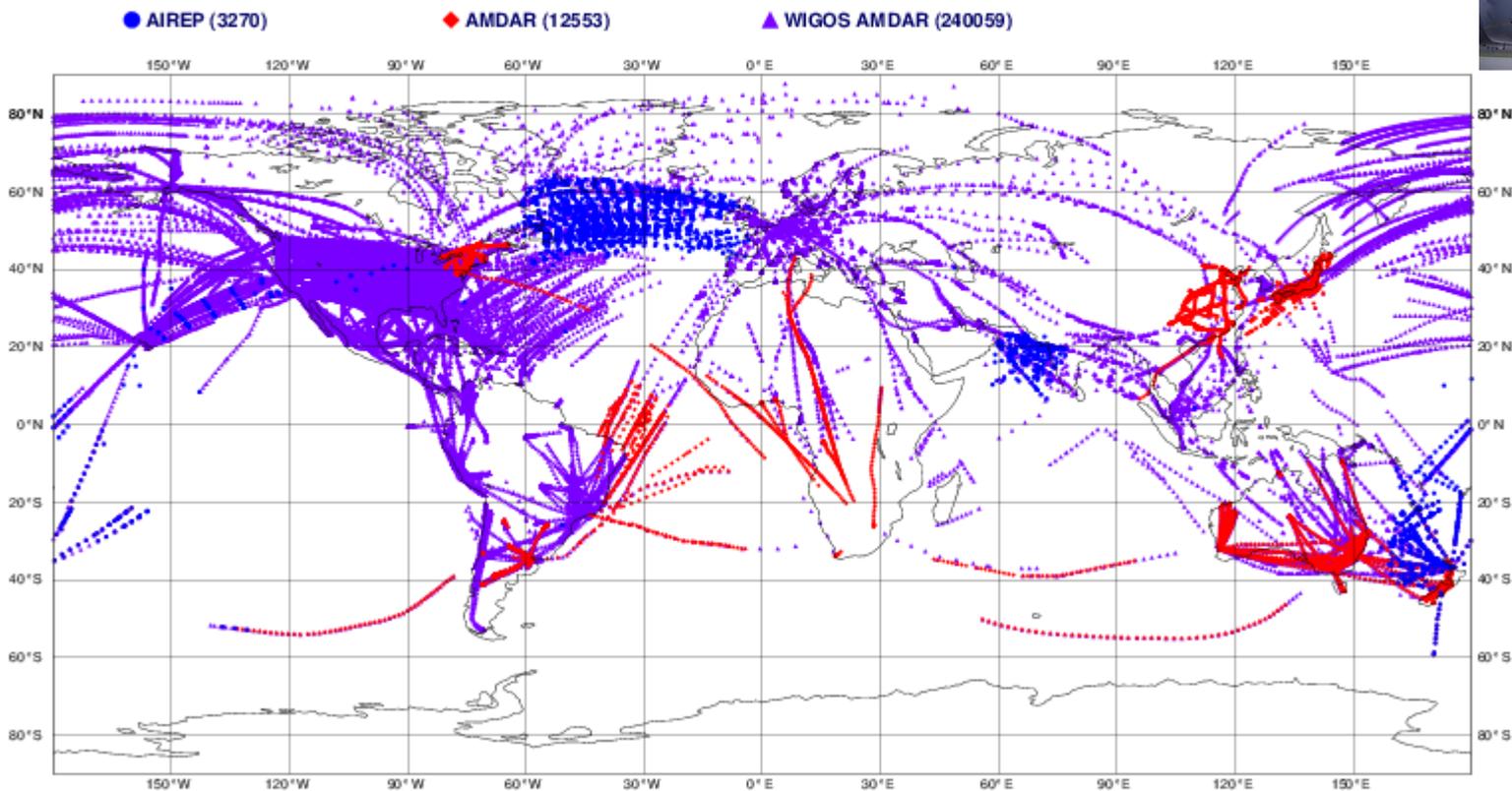
21/11/2018 00

Total number of obs = 103861

- SYNOP-LAND TAC (25019)
- ✕ SYNOP-SHIP BUFR (2267)
- ◆ METAR (15475)
- SYNOP-LAND BUFR (27774)
- ▲ SHIP-TAC (3802)
- ▼ METAR-AUTO (29524)



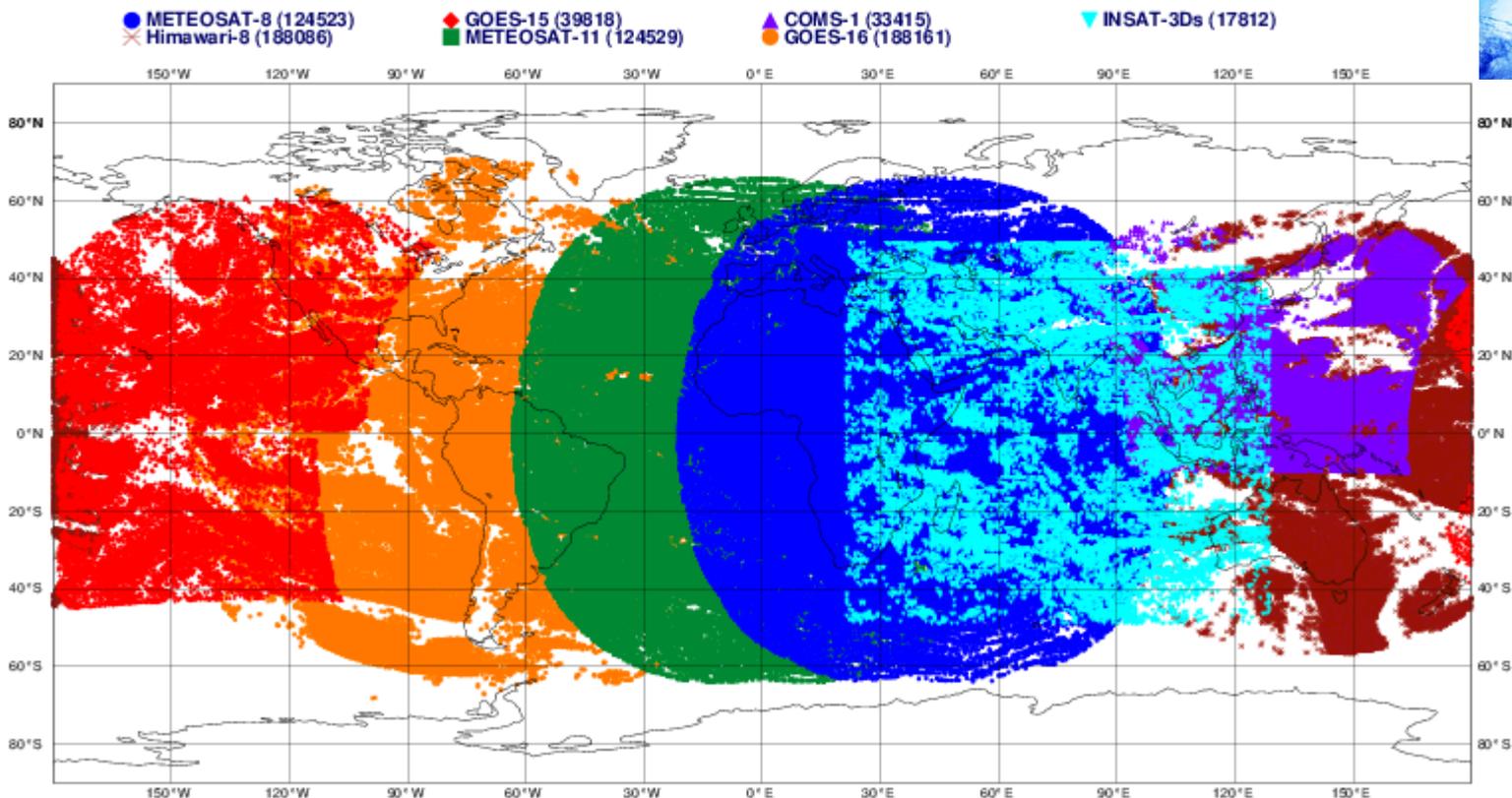
ECMWF data coverage (all observations) - AIRCRAFT 21/11/2018 00 Total number of obs = 255882



ECMWF data coverage (all observations) - AMV WV
20/11/2018 06

08.10

Total number of obs = 716344

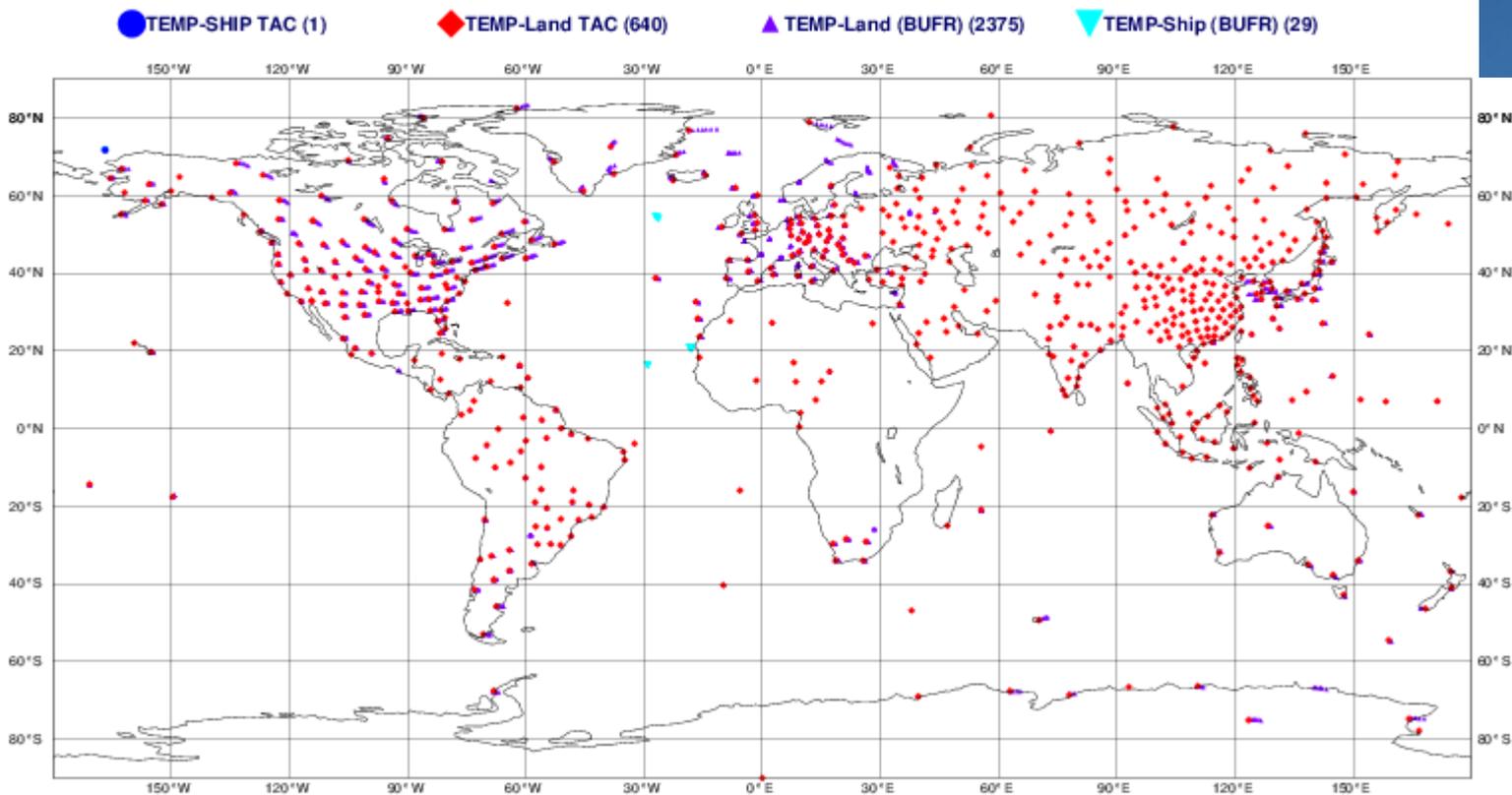




ECMWF data coverage (all observations) - RADIOSONDE

20/11/2018 12

Total number of obs = 3045



$$\omega = -gp \left[w - \left(\frac{\partial z}{\partial t} \Big|_p + \mathbf{v}_h \cdot \nabla_p z \right) \right]$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \phi}{\partial p} \right) \Big|_p + \mathbf{v}_h \cdot \nabla_p \frac{\partial \phi}{\partial p} - \omega \frac{RT}{p} \frac{\partial \ln \theta}{\partial p} = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \Big|_z = \frac{\partial}{\partial t} \Big|_\varepsilon - \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial t} \Big|_\varepsilon \frac{\partial}{\partial \varepsilon}$$

$$\Phi = N \left(-\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r} \sum_{i,j} \frac{\pm 1}{p_{ij}} + \frac{B}{r^n} \sum_{i,j} \frac{1}{p_{ij}^n} \right) \text{ mit } A = \sum_{i,j} \frac{\pm 1}{p_{ij}}$$

$$\rho_{hkl} = \frac{1}{V_Z} \sum_{\alpha} e^{-i\mathbf{G}\alpha} \int \rho_{\alpha}(r) e^{-i\mathbf{G}r} dr$$

WETTER Prognosen

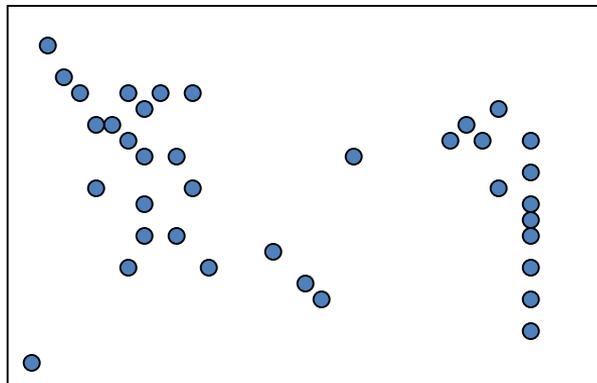
Datenassimilation

schwierige Aufgabe:

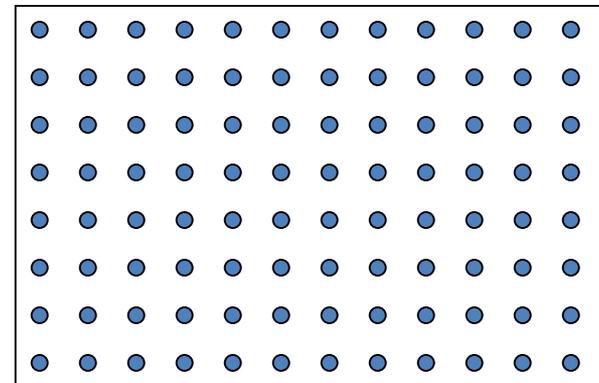
Punktmessungen auf ein regelmäßiges

3 dimensionales Modellgitter zu interpolieren.

Dieser Schritt ist beinahe so kompliziert wie die eigentliche Vorhersage.

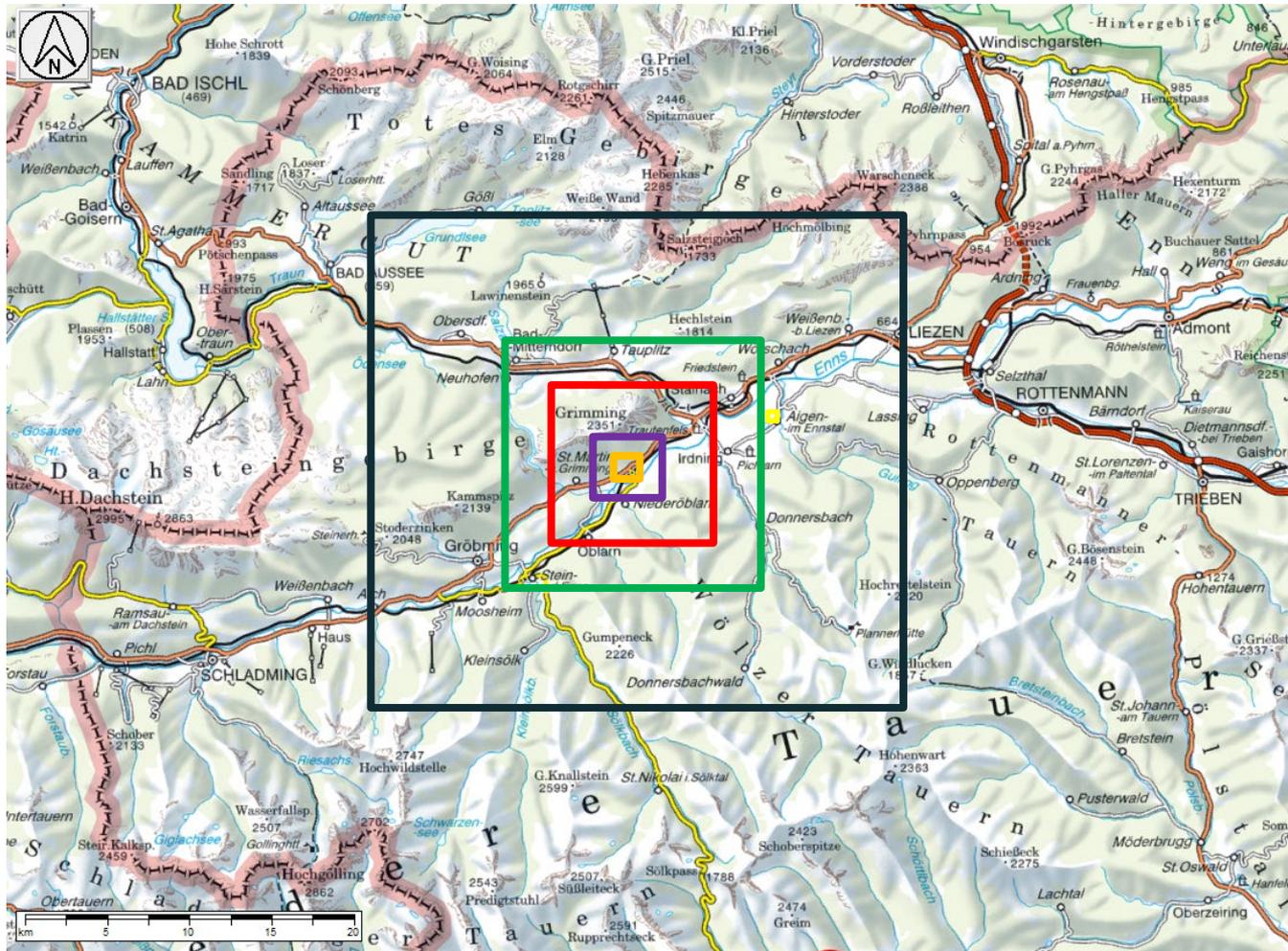


Analyse



Auflösung der Wettermodelle

08.10.2021



- GFS 30x30 km
- ECMWF 16x16 km
- ALADIN 9x9 km
- ALARO 5x5 km
- AROME 2.5x2.5 km
- INCA 1x1 km



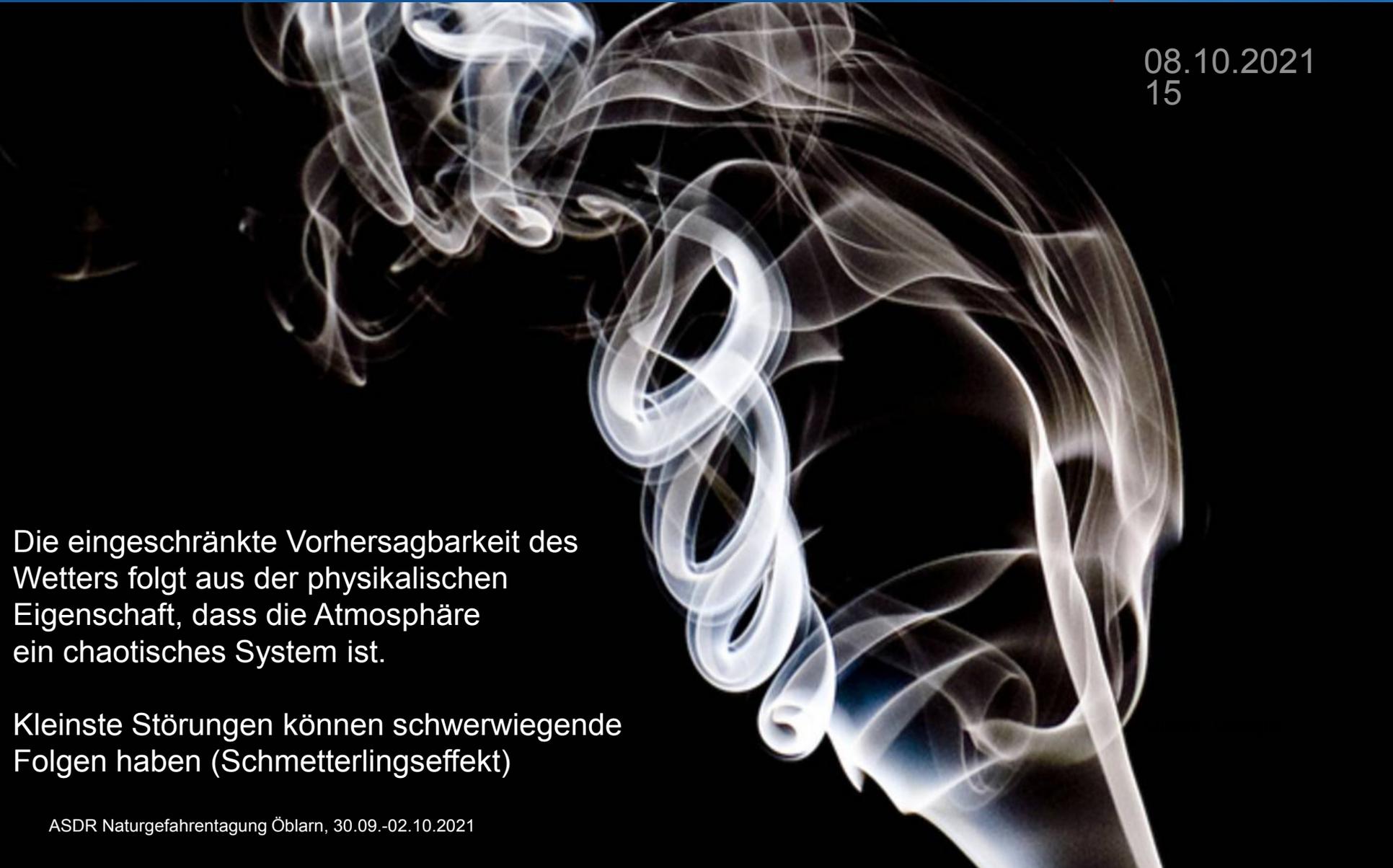
Prognosen sind keine Prophezeiungen!

08.10.2021
14





08.10.2021
15



Die eingeschränkte Vorhersagbarkeit des Wetters folgt aus der physikalischen Eigenschaft, dass die Atmosphäre ein chaotisches System ist.

Kleinste Störungen können schwerwiegende Folgen haben (Schmetterlingseffekt)

$$\omega = -g\rho \left[w - \left(\frac{\partial z}{\partial t} \Big|_p + \mathbf{v}_h \cdot \nabla_p z \right) \right]$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \phi}{\partial p} \right) \Big|_p + \mathbf{v}_h \cdot \nabla_p \frac{\partial \phi}{\partial p} - \omega \frac{RT}{p} \frac{\partial \ln \theta}{\partial p} = 0$$

$$\Phi = N \left(-\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \sum_{i,j} \frac{\pm 1}{p_{ij}} + \frac{B}{r^n} \sum_{i,j} \frac{1}{p_{ij}^n} \right) \text{ mit } A = \sum_{i,j} \frac{\pm 1}{p_{ij}}$$

WETTER Prognosen

$$\frac{\partial}{\partial t} \Big|_z = \frac{\partial}{\partial t} \Big|_\epsilon - \frac{\partial \epsilon}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial t} \Big|_\epsilon \frac{\partial}{\partial \epsilon}$$

$$\rho_{hkl} = \frac{1}{V_z} \sum_\alpha e^{-i\mathbf{G}\mathbf{r}_\alpha} \int \rho_\alpha(\mathbf{r}') e^{-i\mathbf{G}\mathbf{r}'} d\mathbf{r}'$$

Simulationsmodell der Atmosphäre

08.10.2021

Mithilfe der Analyse und sehr komplexen mathematischen Gleichungen werden mit den schnellsten Computern der Welt die Vorhersagen der nächsten Tage berechnet.



Beispiel: 03:00 Der Computer beginnt zu rechnen

04:30 der Computer ist fertig
Ergebnis: Wettermodelle die für bis 10 Tage in die Zukunft das Wetter weltweit voraussagen!

Würde man das Wettermodell auf einem privaten PC rechnen, hätte der Computer nach 100 Jahren 1 Tag fertig!

WETTER Prognosen

Für die komplexe Topographie der mittleren Breiten (Alpen) sind punktgenaue Wetterprognosen schwieriger!

08.10.2021
17



Quelle: NOAAH

Die mögliche Genauigkeit von längerfristiger Wettervorhersage

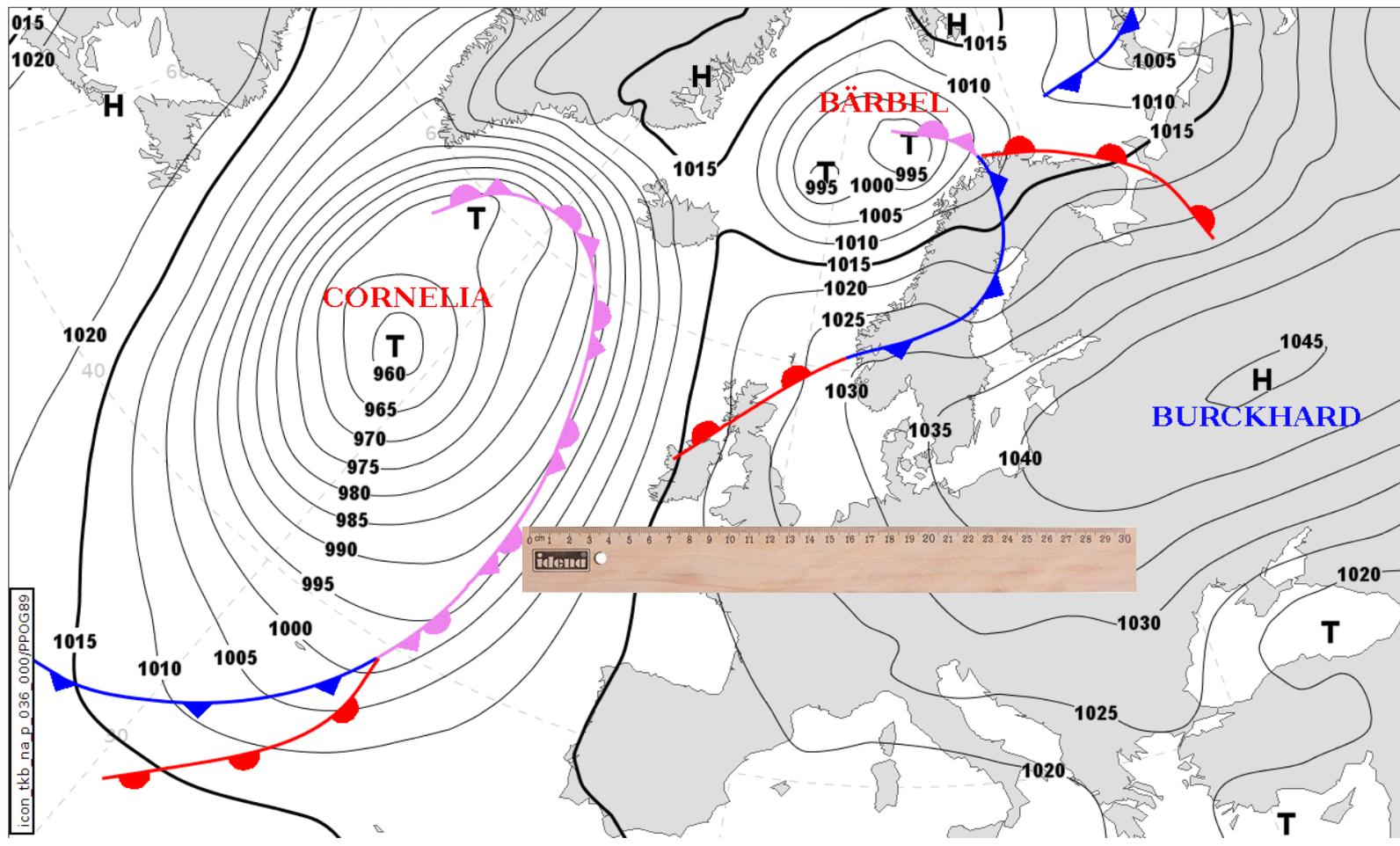


08.10.2019

WETTER Prognosen

Für die komplexe Topographie der mittleren Breiten (Alpen) sind punktgenaue Wetterprognosen schwieriger

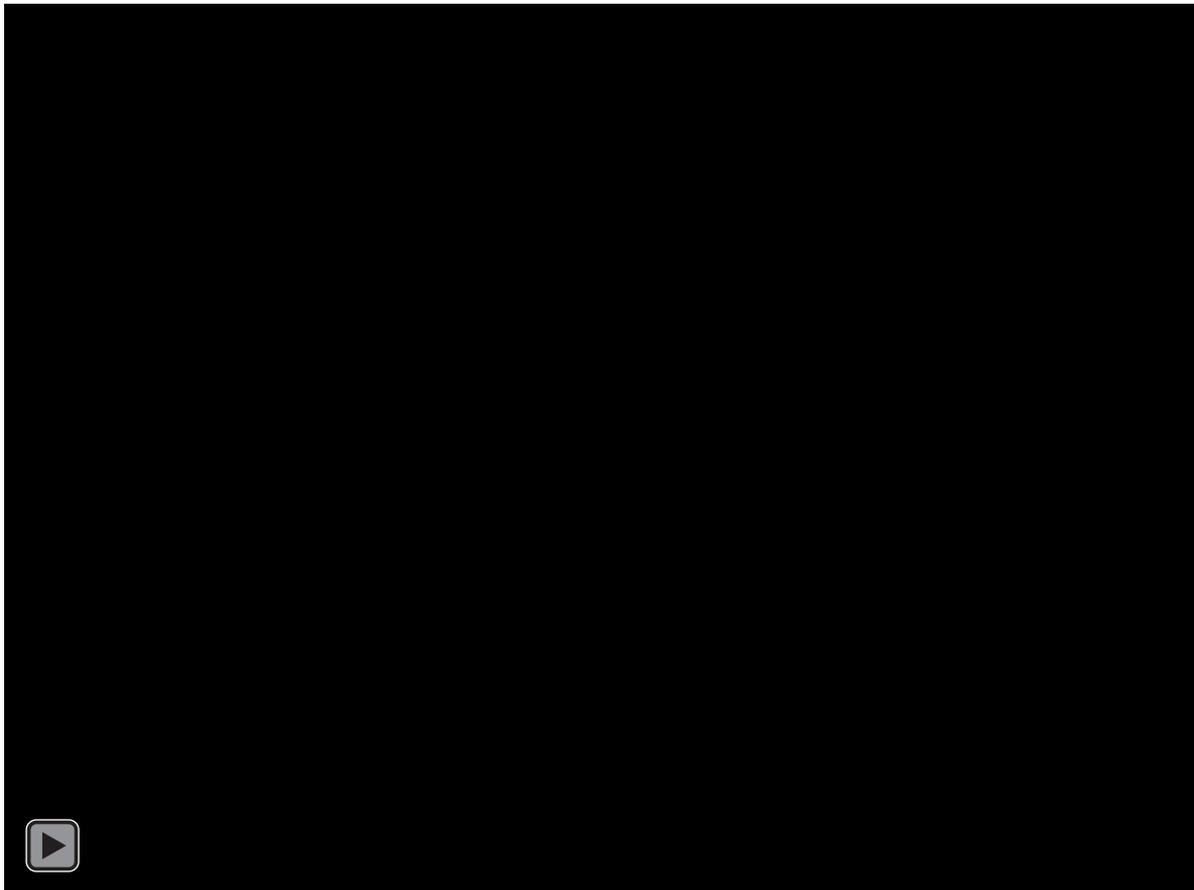
08.10.2021
20





Für das ebene Gelände der Subtropen hingegen deutlich einfacher 😊

08.10.2021
21





Als Witterung wird der allgemeine, durchschnittliche oder auch vorherrschende Charakter des Wetterablaufs eines bestimmten Zeitraums (von einigen Tagen bis zu ganzen Jahreszeiten) bezeichnet.

Bei der Witterung ist der berücksichtigte Zeitraum im Gegensatz zum Klima wesentlich kürzer. Witterung fasst den Wetterablauf von mehreren Tagen oder Wochen, selten auch Monaten zusammen.

Dabei werden typische Witterungstypen oder auch Verläufe unterschieden, wobei die Charakteristik durch die jeweils vorherrschende Wetterlage bestimmt wird.

Einige typische Witterungsperioden treten in bestimmten Gebieten immer wieder in gleichen Zeiträumen auf und heißen deshalb auch Regelfälle der Witterung.



Das Klima beschreibt den Zustand des Klimasystems über lange Zeiträume von Jahrzehnten bis hin zu erdgeschichtlichen Zeitskalen.

Das Klimasystem besteht aus verschiedenen Komponenten (Atmosphäre, Hydrosphäre, Lithosphäre, Biosphäre, Kryosphäre). Zwischen ihnen besteht ein stetiger Austausch von Energie und Masse über bestimmte Flüsse (Strahlung, Wind, Verdunstung, Niederschlag, Meeresströmungen, chemische Umwandlungen usw.), die ein energetisches Gleichgewicht der Subsysteme anstreben.

Diese Phänomene werden durch den Energiefluss von der Sonne sowie die ungleiche Verteilung dieser Strahlungsenergie auf der Erde gesteuert.

KLIMA: Skalen

Beobachtungszeit	charakteristische Zeit	Zeitskala Jahre, u.a. Stunden	atmosphärische Phänomene
vorterrestrische Zeit		10^{14}	← Alter der Erde
paläoklimatologisch (vorhistorisch)	Klima	10^9 a → 10^{13}	← hypothetischer Zyklus der Eiszeitalter
		10^{12}	
		10^{11}	← Tertiär
		10^6 a → 10^{10}	← Eiszeitalter
		10^9	Zyklus der Kalt- und Warmzeiten ("Eis- und Zwischeneiszeiten")
neoklimatologisch	Klima	10^3 a → 10^7	← holozänes "Klimaoptimum"
		historisch 5000 a	
		modern 300 a	← "Kleine Eiszeit"
subklimatologisch	Witterung	30 a	← Gletscherrückzug im 20. Jahrhundert
		supra-synoptisch	← Sahel-Dürre
	Wetter	a (= Jahr) → 10^4	← kalter Winter
		mon (= Monat) → 10^3	← Tiefdruckgebiet (Zyklone)
		d (= Tag) → 10^2	← tropischer Wirbelsturm
Mikroturbulenz	h (= Stunde) → 10^1	← Schönwetterwolke (Cumulus)	
	min (= Minute) → 10^0	← "Staubteufel"	
	s (= Sekunde) → 10^{-1}	← Windbö	
		10^{-2}	← Hitzeflimmern
		10^{-3}	
		10^{-4}	

von der Klimatologie zur Klimaforschung



klassische Klimatologie (bis etwa 1950)	moderne Klimatologie (ca. 1930–1970)	Klimaforschung (ab ca. 1950)
Merkmale und Zugriff:	Merkmale und Zugriff:	Merkmale und Zugriff:
ganzheitlicher Klimabegriff	ganzheitlicher Klimabegriff	reduktionistischer Klimabegriff
lokaler Zugriff	lokaler und globaler Zugriff	globaler Zugriff V
vom Kleinklima zum Großklima	vom Großklima zum Kleinklima	vom Großklima zum Kleinklima
Methodik:	Methodik:	Methodik:
geographisch orientiert	geographisch und physikalisch	physikalisch orientiert
deskriptiv, quantitativ, qualitativ	deskriptiv, quantitativ und kausal	kausal, quantitativ
systematisierend	qualitativ	mathematische Zusammenhänge
empirische Datensammlung und statistische Auswertung	empirische Datensammlung und statistische Auswertung	Datenerhebung und -produktion
Mittelwerte meteorologischer Größen	qualitative Analyse großräumiger Zusammenhänge	Differentialgleichungen, numerische Lösungsverfahren und Computersimulation
Interessen und Schwerpunkte:	Interessen und Schwerpunkte:	Interessen und Schwerpunkte:
Wirkung des Klimas auf Mensch und Umwelt	lokale und globale Ursachen des Klimas	Ursachen des Klimas und anthropogene Einflüsse
räumliche Verteilung lokaler Klimate	räumliche und zeitliche Verteilung von Klima; Ursachen von Klima-	zeitliche Veränderung des globalen Klimas (Klimadynamik)
Zersplitterung in Teildisziplinen (spezielle Klimatologie, Aerologie, Bioklimatologie u.a.)	änderungen	Kohärenz durch Fokussierung aller Teilgebiete auf das Problem des Klimawandels
	Zersplitterung in geographische und dynamische Klimatologie	

von der Klimatologie zur Klimaforschung

KLIMAATLAS STEIERMARK - TABELLEN

Durchschnittliche Zahl der Sommertage

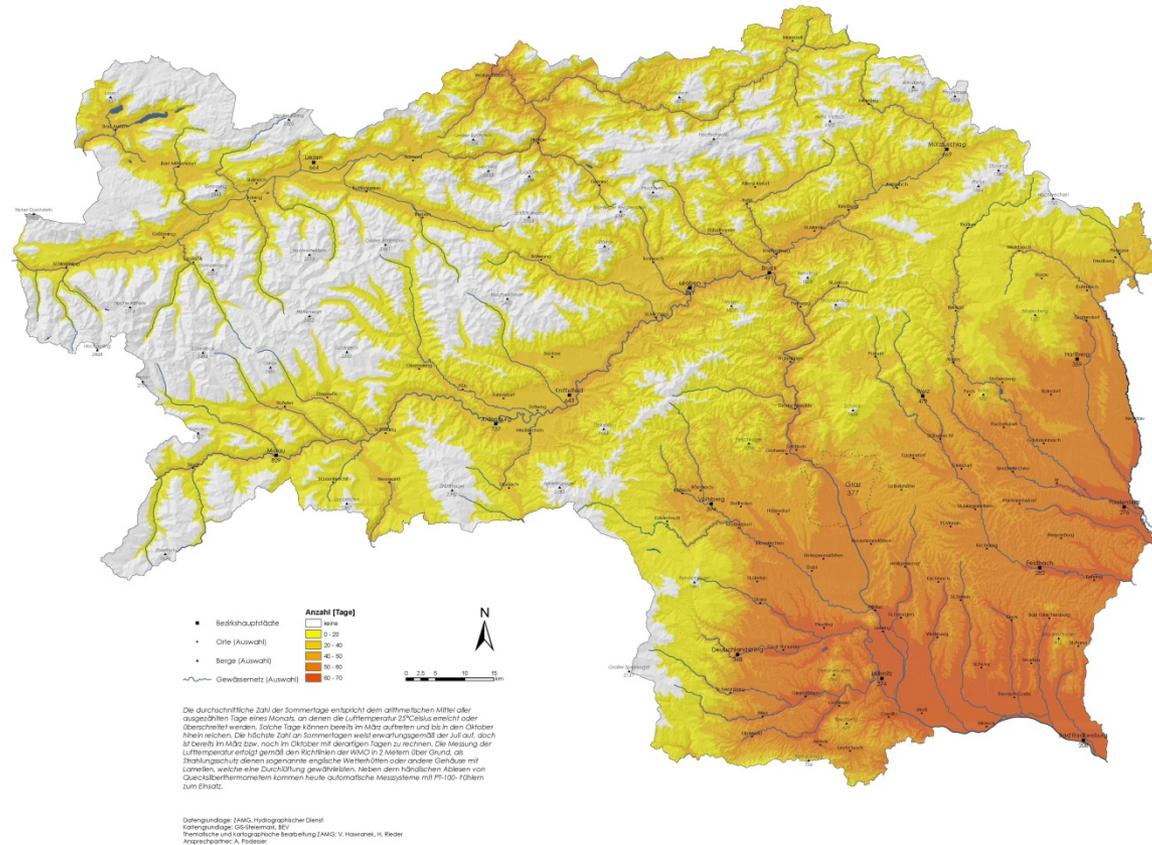
Nr.	Name	Sh [m]	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Fr	So	He	Wi	Jahr
1	Admont	648	0,0	0,0	0,0	0,1	3,1	7,4	12,1	12,0	3,1	0,1	0,0	0,0	3,2	31,5	3,2	0,0	37,9
3	Aflenz	785	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	4,2	7,9	8,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,9	20,1	1,1	0,0	22,1
4	Aigen/Ennstal	640	0,0	0,0	0,0	0,1	3,2	7,7	12,2	11,9	2,9	0,0	0,0	0,0	3,3	31,8	2,9	0,0	38,0
7	Altenberg/Hartberg	429	0,0	0,0	0,0	0,3	3,7	9,5	15,8	14,5	3,8	0,2	0,0	0,0	4,0	39,8	4,0	0,0	47,8
10	Bad Aussee	660	0,0	0,0	0,0	0,4	4,1	8,7	13,8	14,0	4,9	0,3	0,0	0,0	4,5	36,5	5,2	0,0	46,2
11	Bad Gleichenberg	293	0,0	0,0	0,0	0,5	5,2	11,8	18,5	16,1	4,7	0,3	0,0	0,0	5,7	46,4	5,0	0,0	57,1
14	Bad Mitterdorf	810	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	6,4	11,0	10,3	2,9	0,1	0,0	0,0	2,1	27,7	3,0	0,0	32,8
15	Bad Radkersburg	208	0,0	0,0	0,1	0,5	5,7	12,4	19,6	17,2	5,8	0,2	0,0	0,0	6,3	49,2	6,0	0,0	61,5
18	Birkfeld	635	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	5,1	10,1	8,3	1,3	0,0	0,0	0,0	1,1	23,5	1,3	0,0	25,9
23	Bruck/Mur	493	0,0	0,0	0,0	0,3	4,2	9,6	16,2	15,0	5,4	0,1	0,0	0,0	4,5	40,8	5,5	0,0	50,8
27	Deutschlandsberg	448	0,0	0,0	0,0	0,7	5,8	12,5	19,2	16,5	6,1	0,8	0,0	0,0	6,5	48,2	6,9	0,0	61,6
37	Fischbach	1015	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	2,0	2,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	0,4	0,0	6,2
47	Fürstenfeld	271	0,0	0,0	0,0	0,5	5,5	12,1	19,1	17,1	5,7	0,5	0,0	0,0	6,0	48,3	6,2	0,0	60,5
50	Gleisdorf	375	0,0	0,0	0,0	0,4	4,7	11,0	17,3	15,8	4,9	0,3	0,0	0,0	5,1	44,1	5,2	0,0	54,4
57	Graz-Flughafen	337	0,0	0,0	0,0	0,4	4,9	11,3	17,8	15,4	4,2	0,2	0,0	0,0	5,3	44,5	4,4	0,0	54,2
58	Graz-Messendorfberg	435	0,0	0,0	0,0	0,4	4,5	9,5	15,6	14,0	4,1	0,1	0,0	0,0	4,9	39,1	4,2	0,0	48,2
60	Graz-Universität	366	0,0	0,0	0,0	0,5	4,7	11,0	17,3	14,7	3,7	0,2	0,0	0,0	5,2	43,0	3,9	0,0	52,1
61	Gröbming	763	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	7,1	11,0	10,4	2,3	0,0	0,0	0,0	2,5	28,5	2,3	0,0	33,3
69	Hieflau	500	0,0	0,0	0,0	0,5	4,6	8,9	13,4	14,1	4,7	0,1	0,0	0,0	5,1	36,4	4,8	0,0	46,3
80	Irdning-Gumpenstein	698	0,0	0,0	0,0	0,1	4,0	9,1	14,3	14,0	5,0	0,0	0,0	0,0	4,1	37,4	5,0	0,0	46,5
84	Kalwang	760	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	5,4	9,3	8,4	1,2	0,0	0,0	0,0	1,1	23,1	1,2	0,0	25,4
87	Kindberg	561	0,0	0,0	0,0	0,1	3,7	8,2	13,7	13,3	3,4	0,1	0,0	0,0	3,8	35,2	3,5	0,0	42,5
90	Kirchberg-Grafendorf	455	0,0	0,0	0,0	0,3	3,7	8,3	15,4	14,1	4,0	0,0	0,0	0,0	4,0	37,8	4,0	0,0	45,8
95	Kleinsölk	1005	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	2,6	5,3	5,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,6	13,1	0,3	0,0	14,0
101	Krippenstein	2050	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
103	Lassnitzhöhe	527	0,0	0,0	0,0	0,2	2,5	7,3	12,5	11,1	2,4	0,1	0,0	0,0	2,7	30,9	2,5	0,0	36,1
104	Leibnitz	273	0,0	0,0	0,1	1,0	7,2	13,4	20,9	18,5	6,9	0,7	0,0	0,0	8,3	52,8	7,6	0,0	68,7
112	Lobming	414	0,0	0,0	0,0	0,3	4,2	9,9	16,0	14,2	3,5	0,2	0,0	0,0	4,5	40,1	3,7	0,0	48,3
116	Mariazell	865	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	3,4	6,4	7,1	1,4	0,0	0,0	0,0	1,1	16,9	1,4	0,0	19,4
128	Mürzzuschlag	758	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	4,7	8,9	8,8	1,4	0,0	0,0	0,0	1,3	22,4	1,4	0,0	25,1



2.24 Durchschnittliche Zahl der Sommertage

Periode 1971 bis 2000

2 TEMPERATUR



KLIMAATLAS STEIERMARK

Klimaänderung – Rolle der Medien

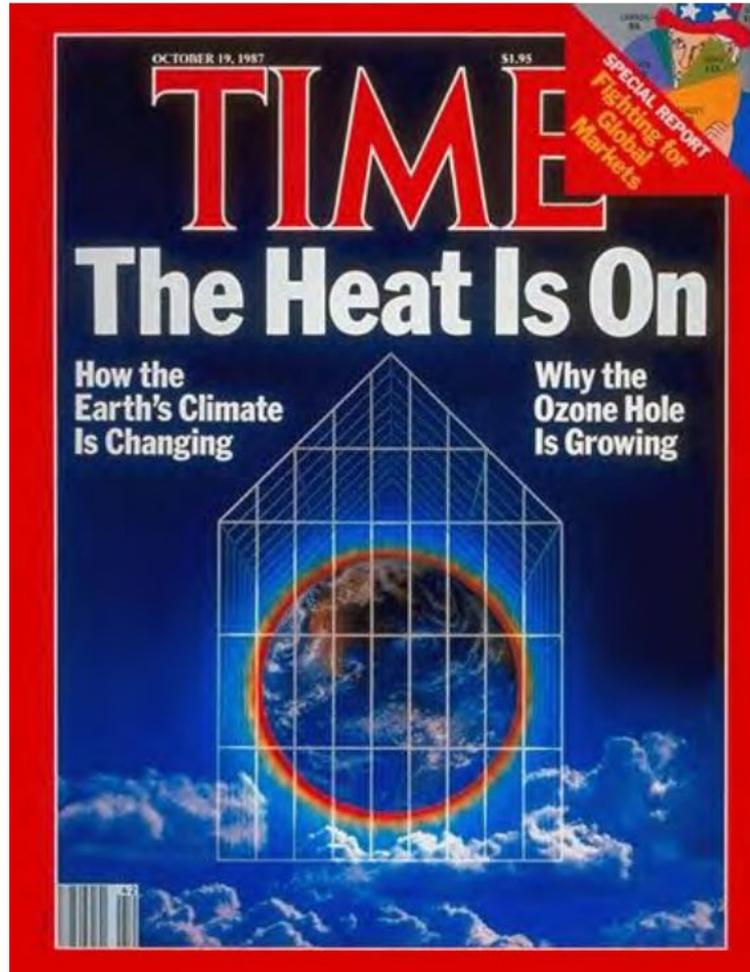


August 1979

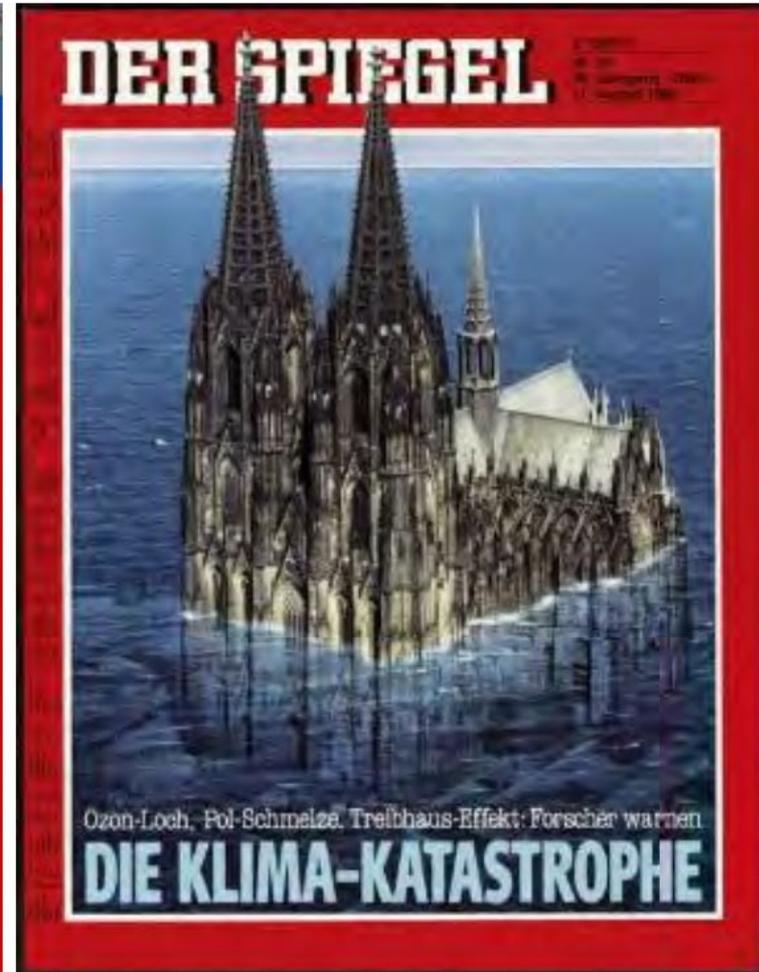


April 1977

Klimaänderung – Rolle der Medien



Oktober 1987



Jänner 1988

Klimaänderung – Rolle der Medien



Mai 2005



Juni 2007



Klimaänderung – Rolle der Medien



Februar 2007



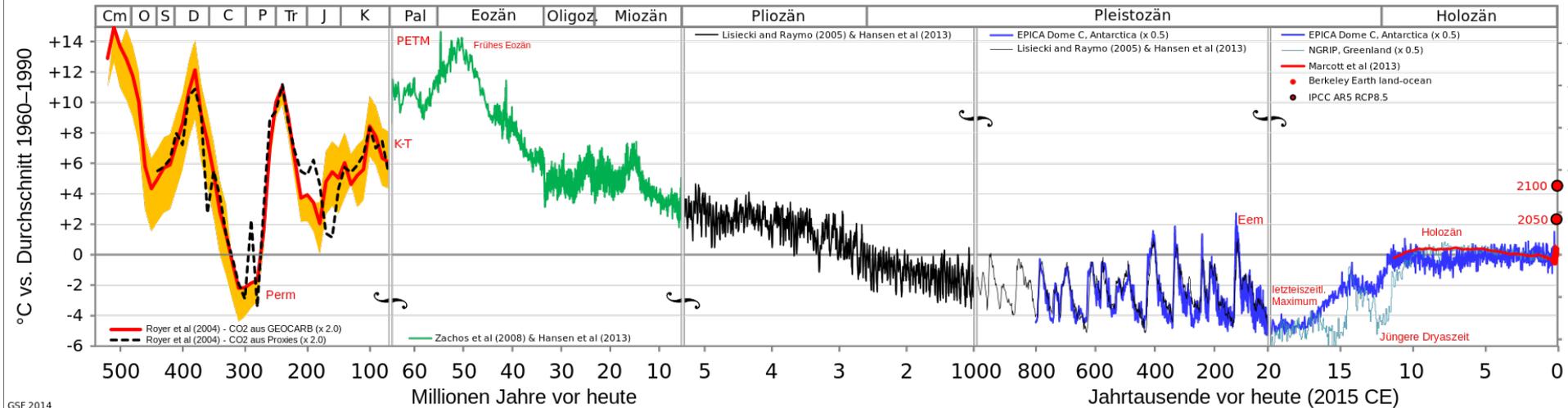
Jänner 2007

Klimaänderung – Rolle der Medien



Temperaturabweichung vom Mittelwert 1960-1990

Temperatur des Planeten Erde

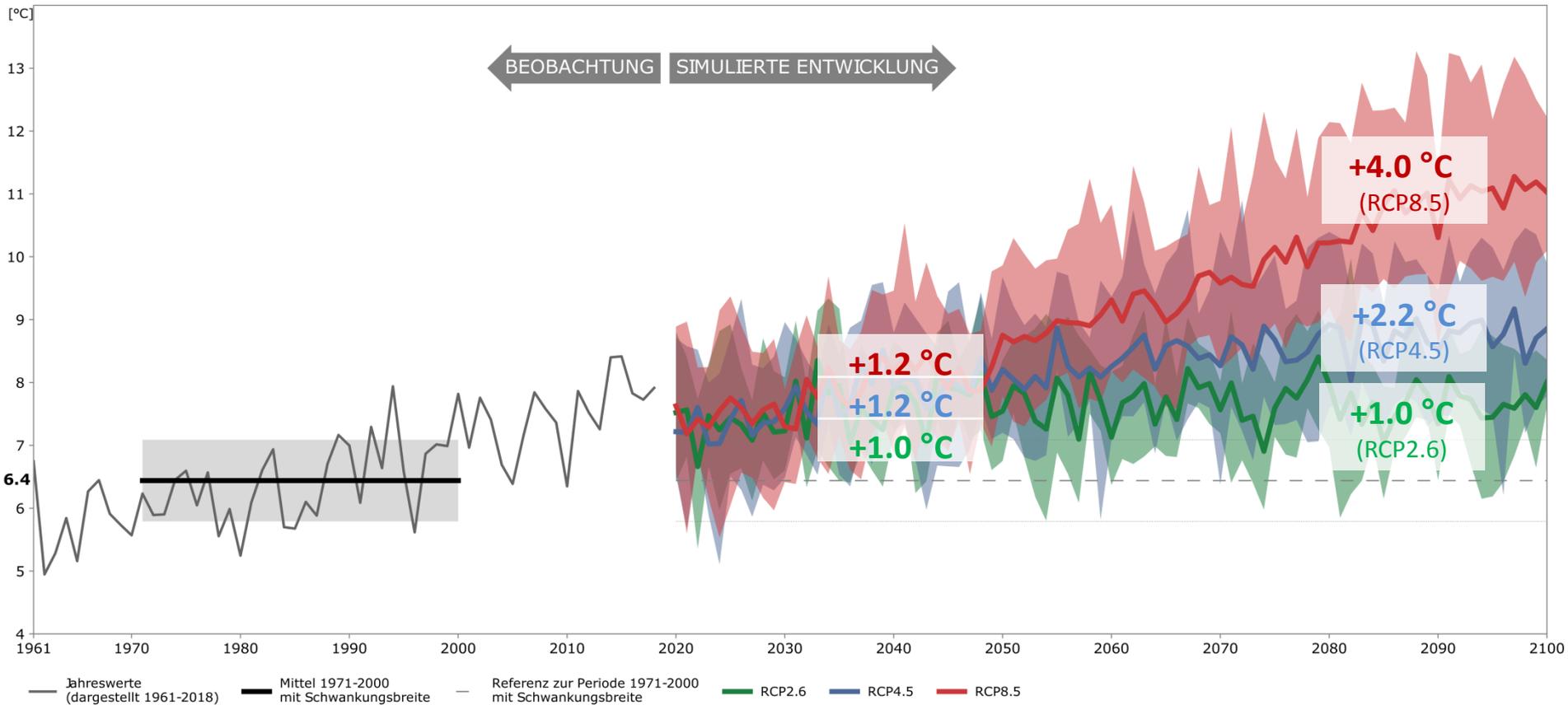


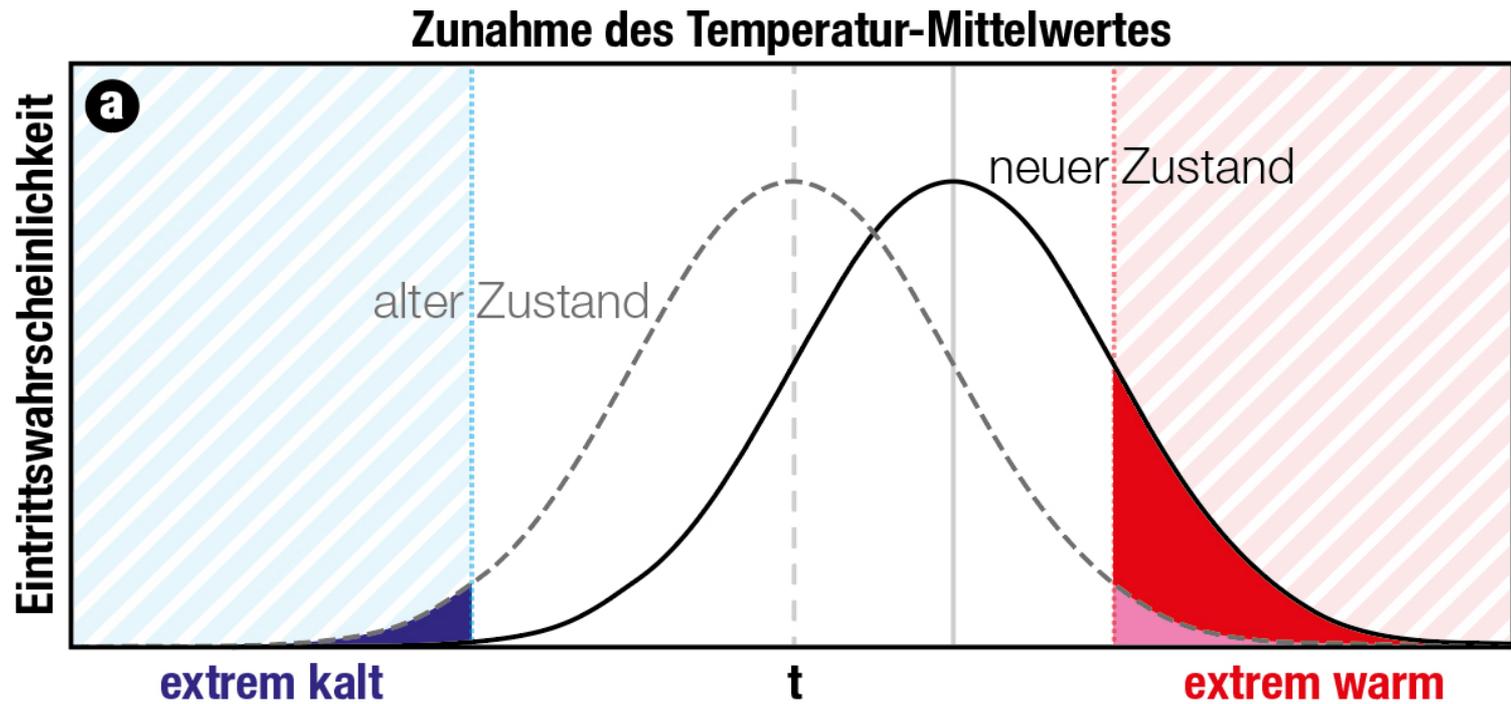
→ in den letzten 2.5 Mill. Jahre fast durchwegs

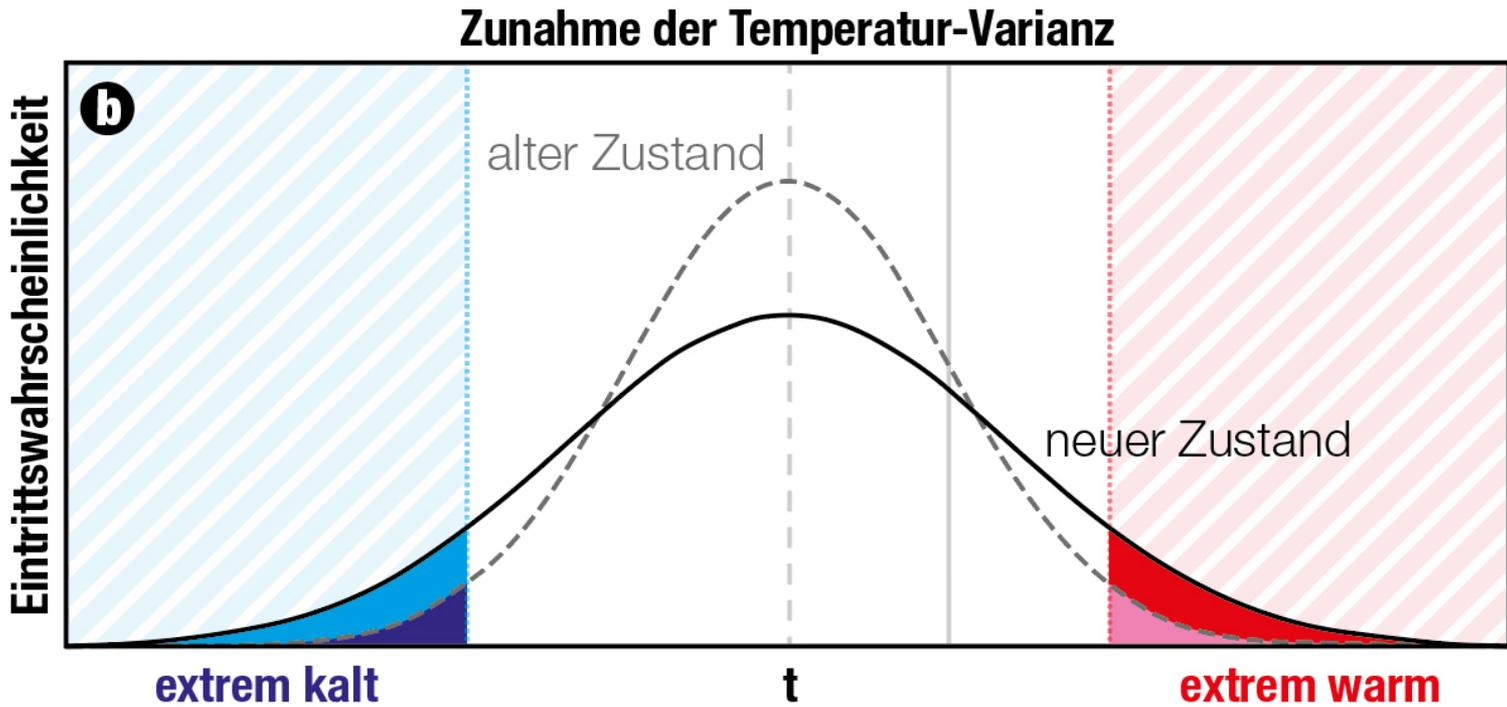
→ unterschiedlich starke Schwankungen

[Quelle: Wikipedia]

KLIMA Zukunft

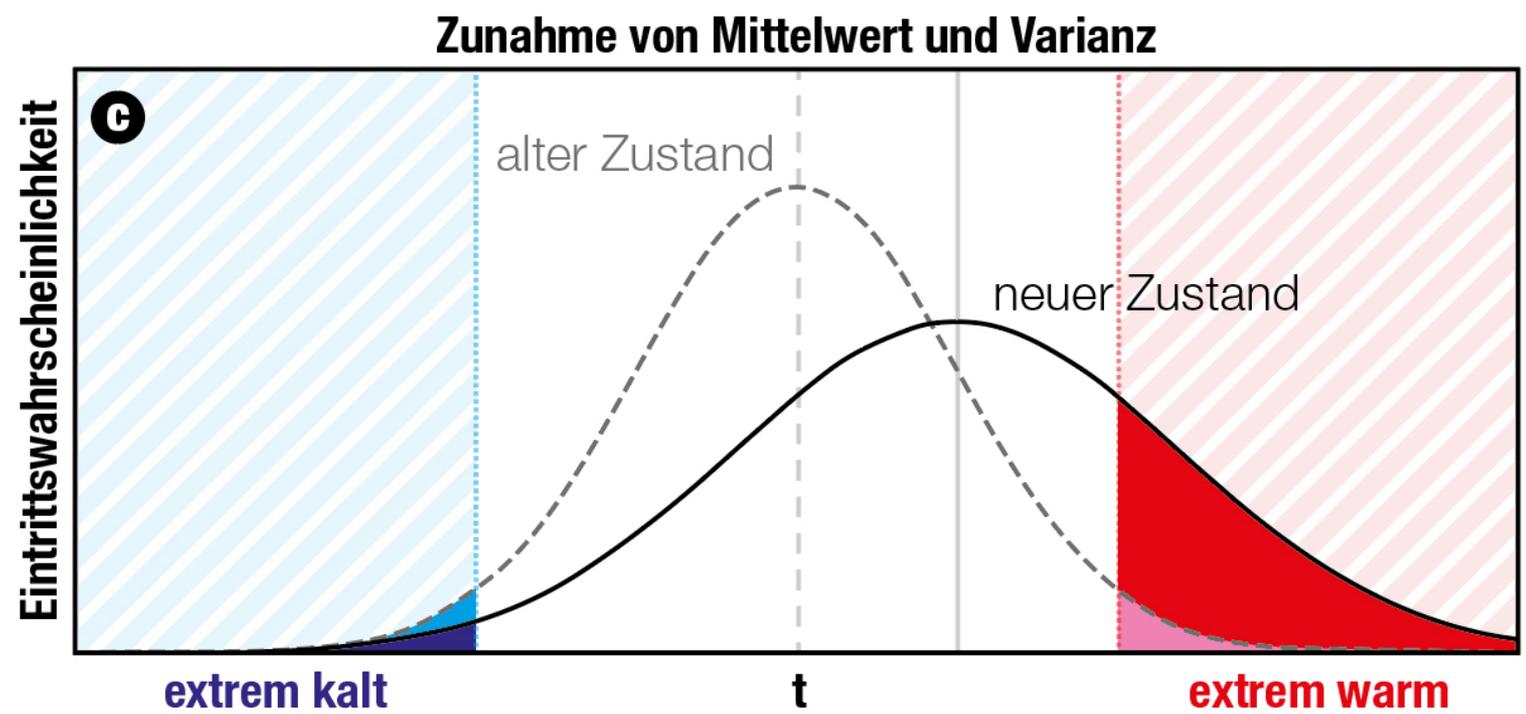




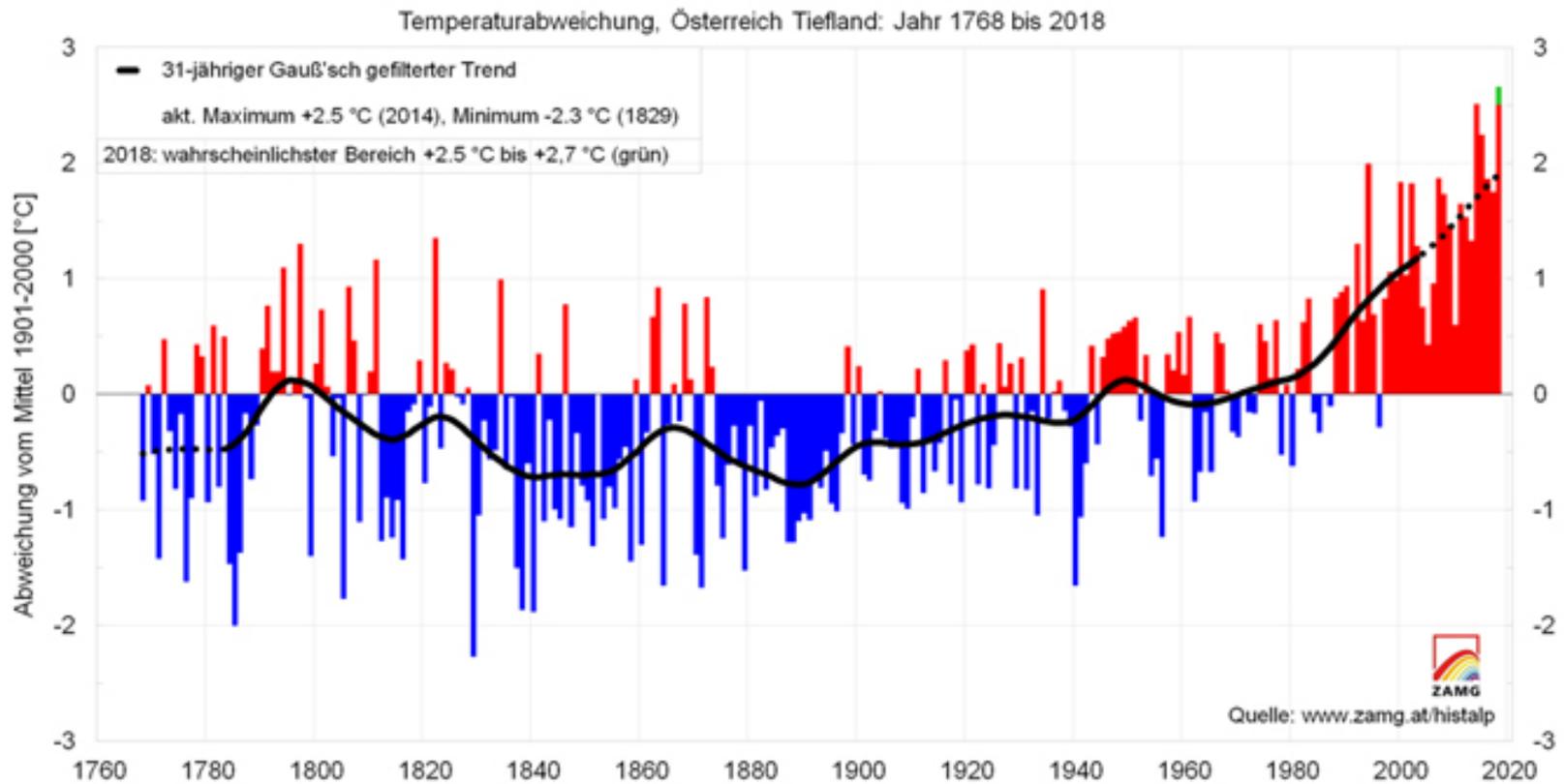




Klimawandel: Zunahme der Extrema



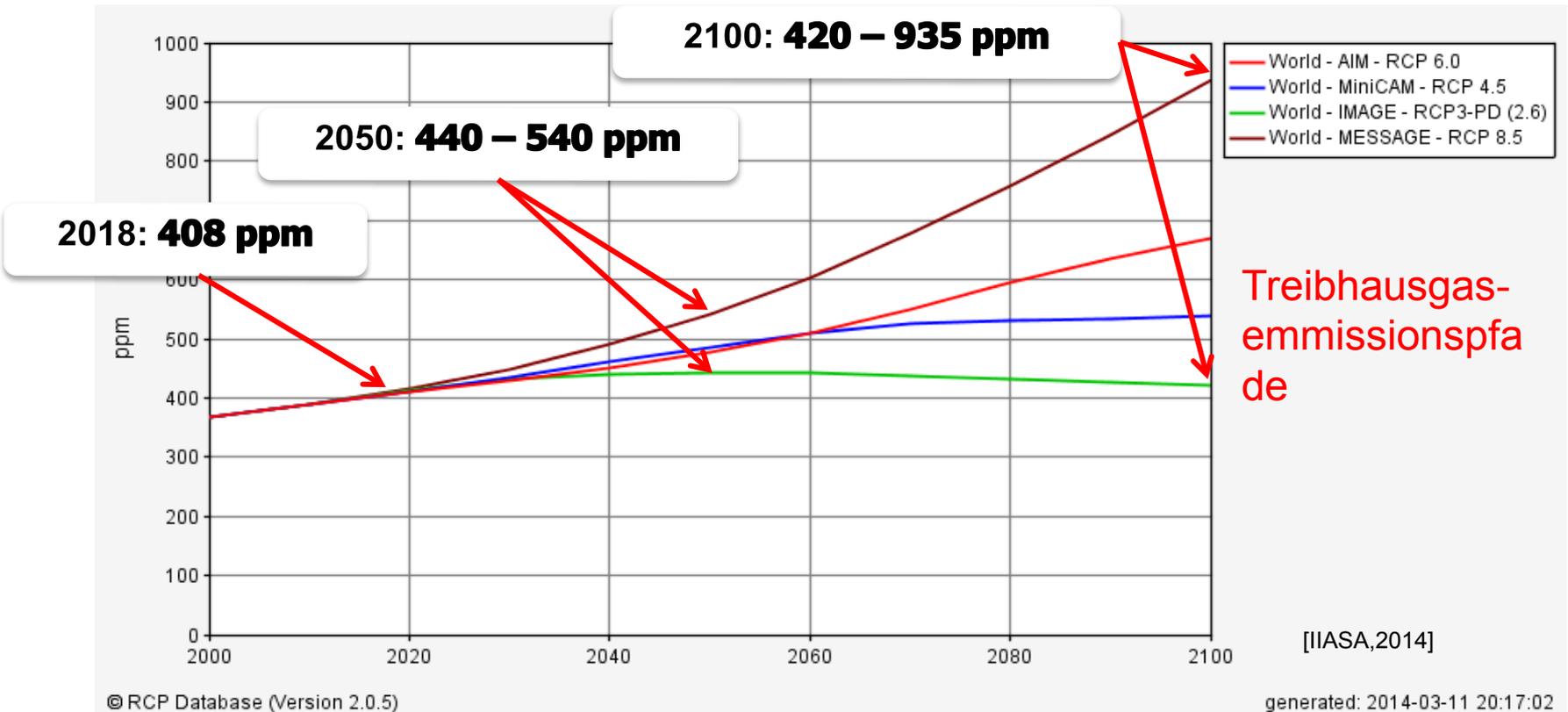
Temperaturen in Österreich





CO₂-Äquivalente Global

08.10.2021
39



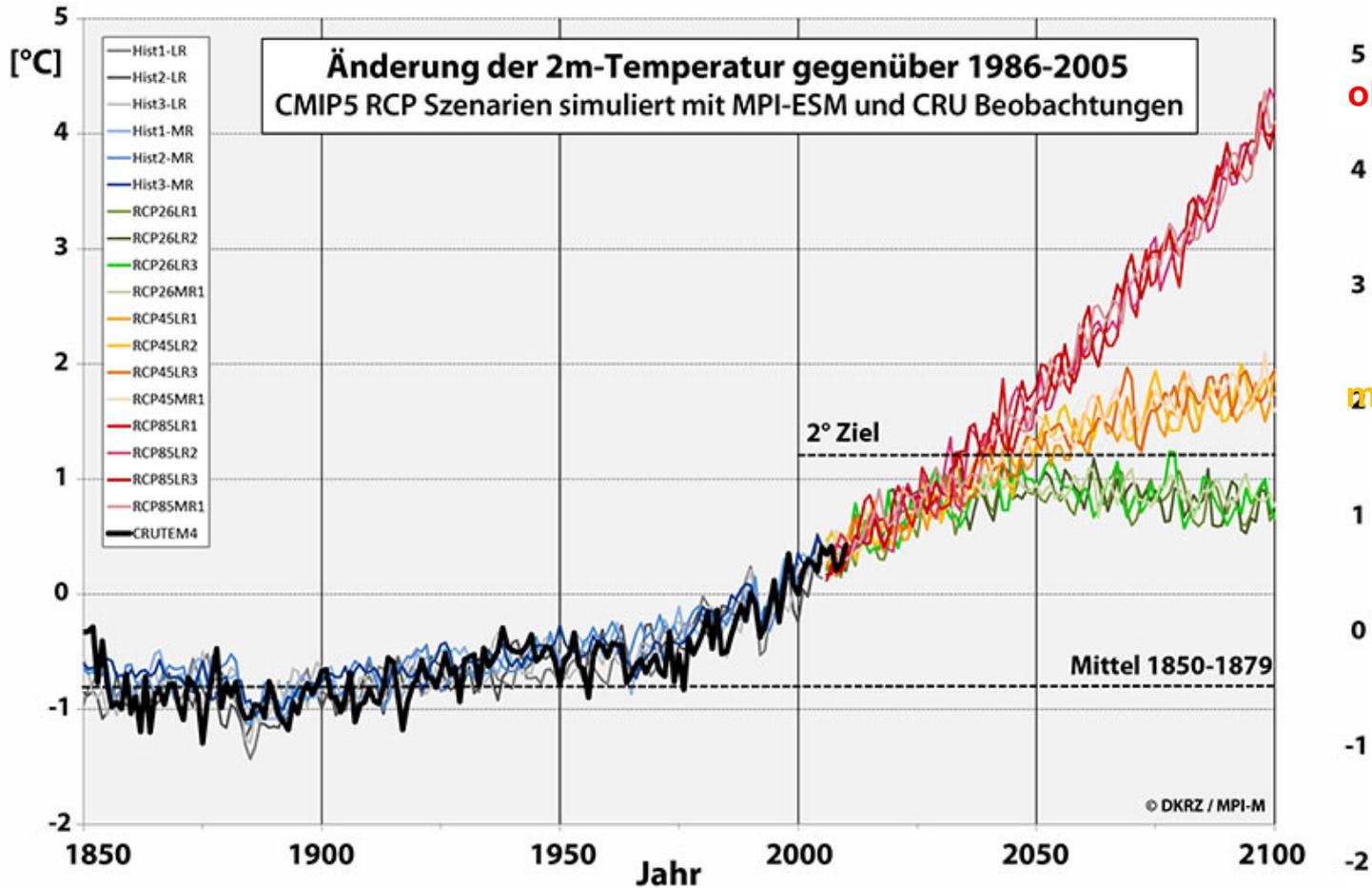
Große Spannweite an Möglichkeiten!



Temperatur Global

08.10.2021

[Quelle: Deutsches Klimarechenzentrum (DKRZ)]



5
ohne Klimaschutz (RCP 8.5)

2
mit Klimaschutz (RCP 4.5)

KLIMA Zukunft - Unsicherheiten



- Fähigkeit der GCMs/RCMs abzubilden (komplexe Modellphysik und Rückkopplungen): simulieren Persistenz erheblich besser als Frequenz und den Winter besser als den Sommer
- Abhängigkeit der Validierung von der Wahl der Klassifikationsmethode und des Klimamodells, sowie der Wahl der Vergleichszeiträume
- Unsicherheiten in den Beobachtungen und durch Wahl des Referenz Datensatzes
- BIAS in regionaler Zirkulation
- Abhängigkeit des Modellfehlers der großräumigen Zirkulation auf Veränderungen im künftigen Klimasystem (Einfluss externer Faktoren/Treiber auf die Variabilität)
- Kopplung mit/Einfluss der NAO (Nordatlantische Oszillation)
- Anthropogener Einfluss auf das Klima



- werden persistenter
 - › länger andauernde Dürre-/Hitzeperioden (Belastung/Herausforderung für Mensch, Tier- und Pflanzenwelt)
 - › vermehrt Hochwässer durch großflächigen und konvektiven Niederschlag
- Abnahme der mediterranen Bodenfeuchte
- Tendenz hin zu einer eher positiven NAO- Zunahme der Westwetterlagen in Mitteleuropa und Abnahme der Blocking-Lagen über dem Nordatlantik im Winter
- Für den Frühling und den Herbst werden keine großen Änderungen in der Zirkulation erwartet

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!

