

# Globaler Klimawandel

Wie äußert er sich in der Steiermark und in Graz?

*Christian Pehsl, Andreas Gobiet*

*Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG)*

29.11.2017, Graz



**ZAMG**

Zentralanstalt für  
Meteorologie und  
Geodynamik

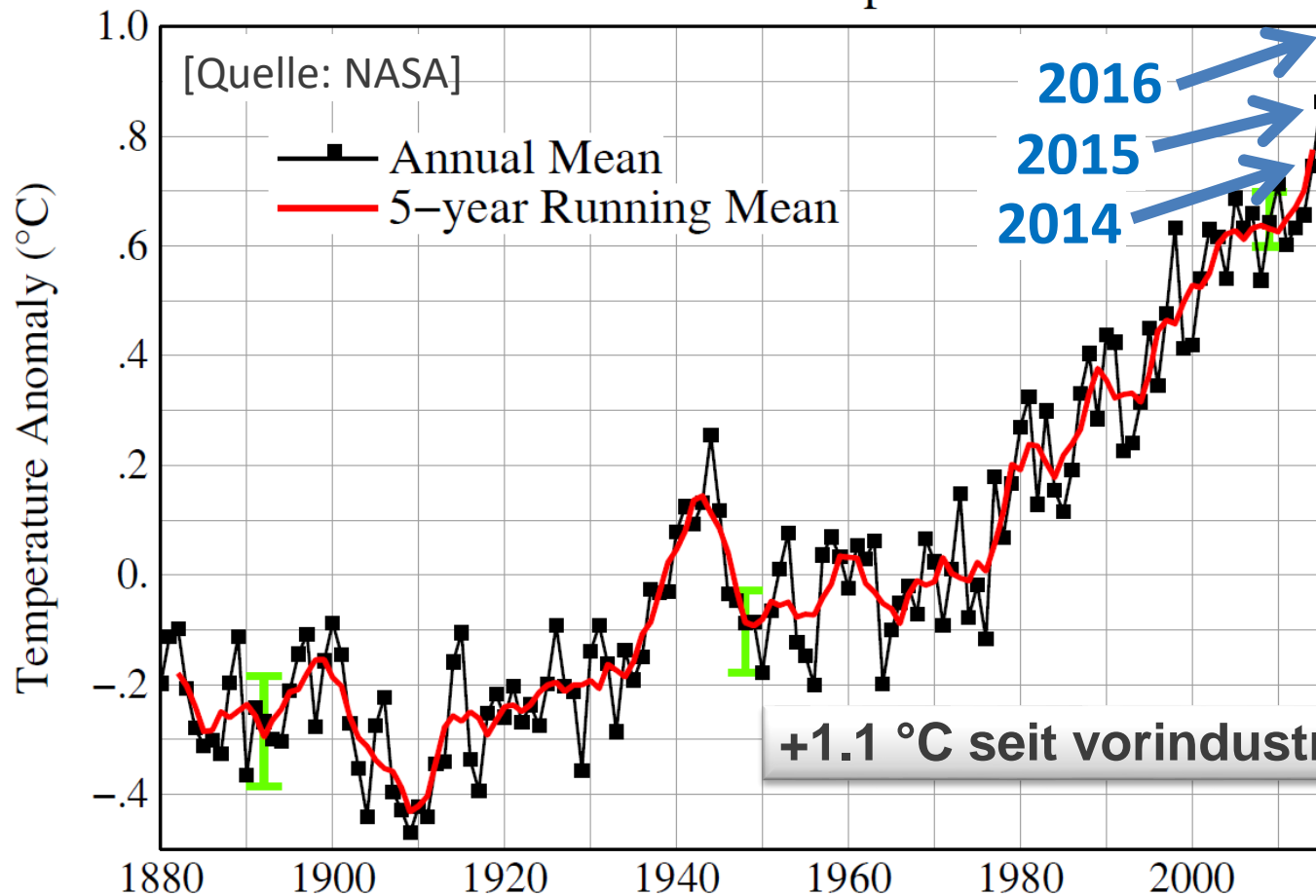
- 1. Klimawandel – Was steckt dahinter?**
- 2. Was sind Klimaszenarien?**
- 3. Klimawandel in der Steiermark und in Graz**

# 1. Klimawandel – Was steckt dahinter?

# Temperatur – Global

Die letzten 136 Jahre

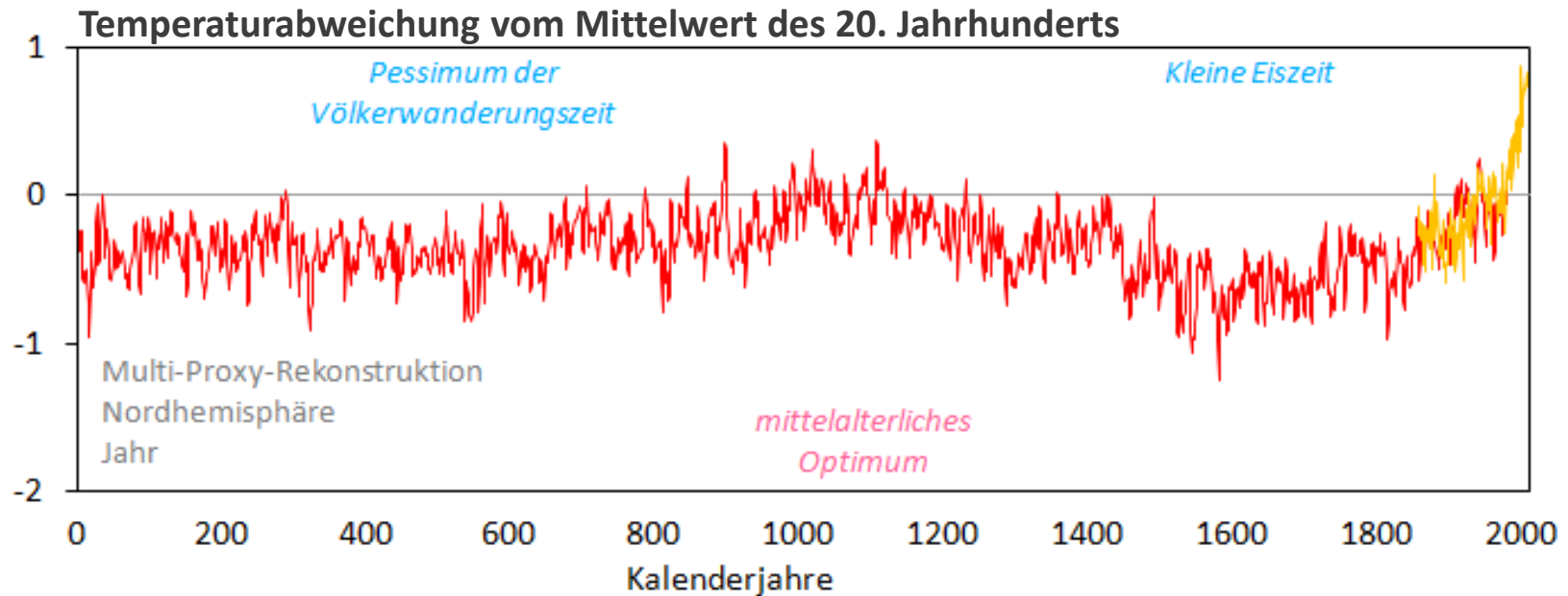
Global Land–Ocean Temperature Index



# Temperatur – Nordhemisphäre

## Die letzten 2000 Jahre

(Moberg u.a. 2005, instrumentell ergänzt durch Brohan et al. 2006)

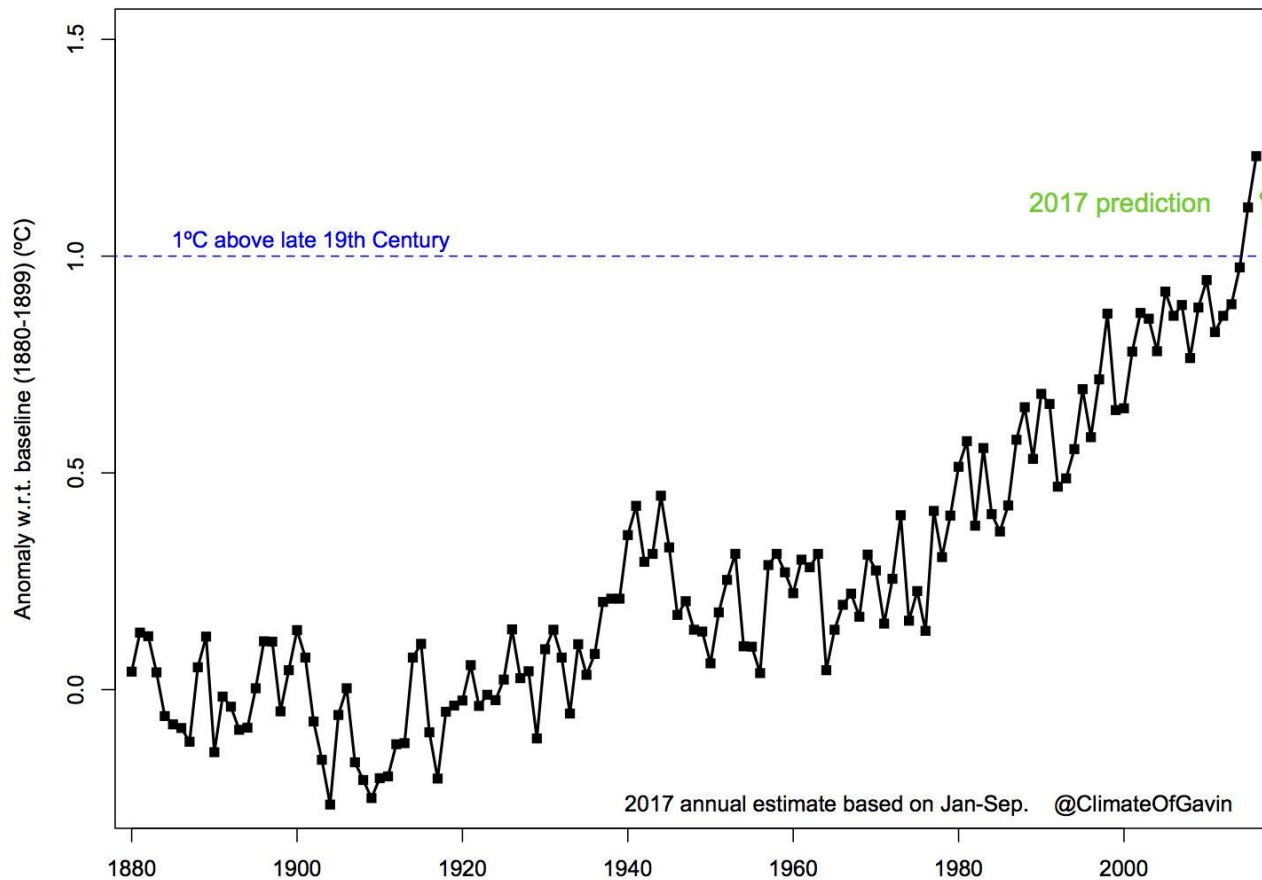


**Es ist heute wärmer als jemals in den letzten 2000 Jahren.**

# Temperatur – Global

## Die letzten 136 Jahre – Einordnung 2017

GISTEMP LOTI (incl. 2017 prediction)

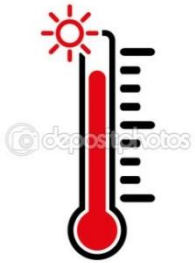


[Quelle: NASA/Schmidt]

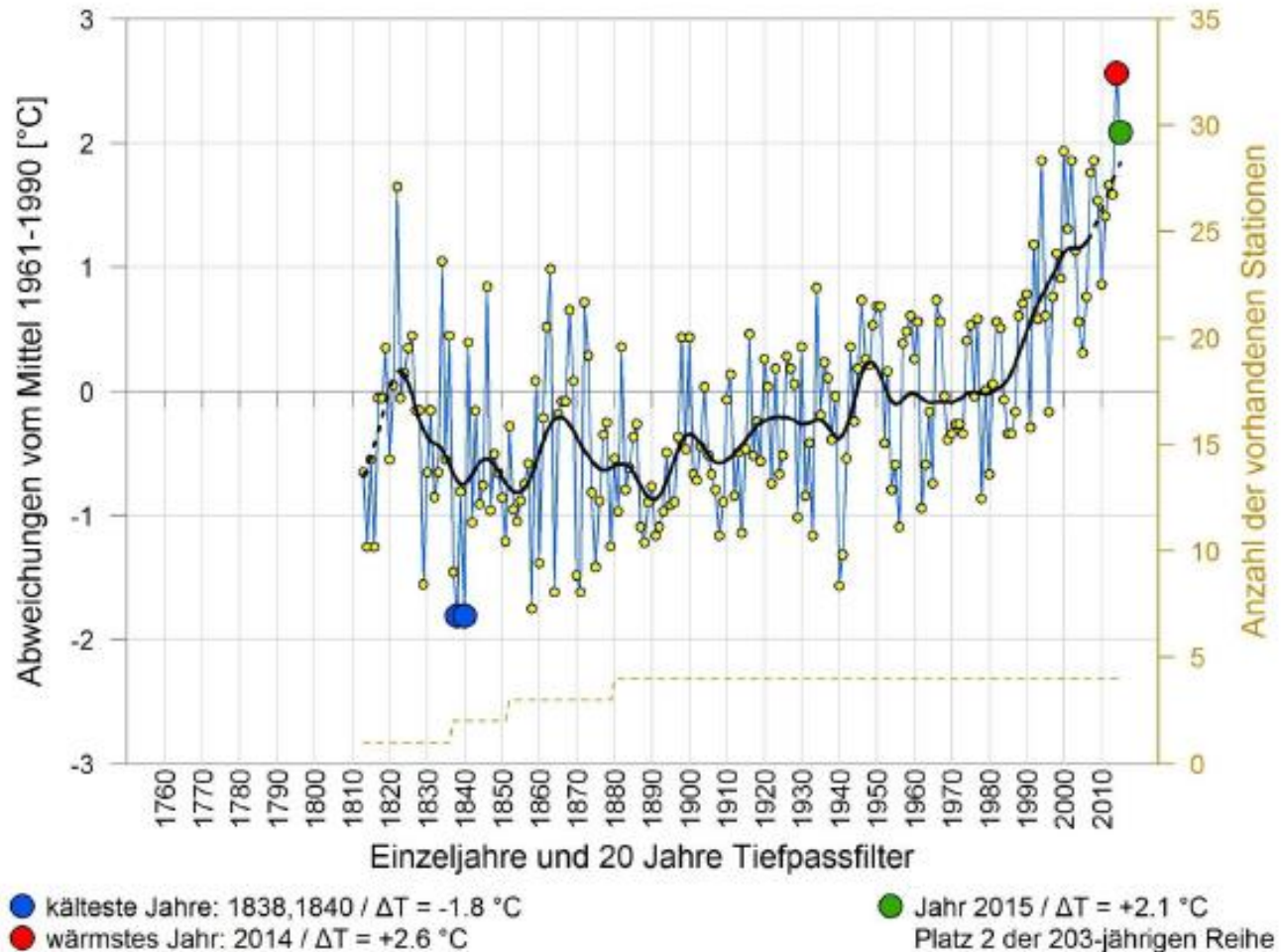
2017: voraussichtlich 2. od. 3. wärmstes Jahr

# Temperatur – Österreich

## Südostösterreich



JAHRESMITTELTEMPERATUR 1813 - 2015 REGION SÜDOST



ca. +2.2 °C seit 1900 (doppelt so viel wie im globalen Mittel)



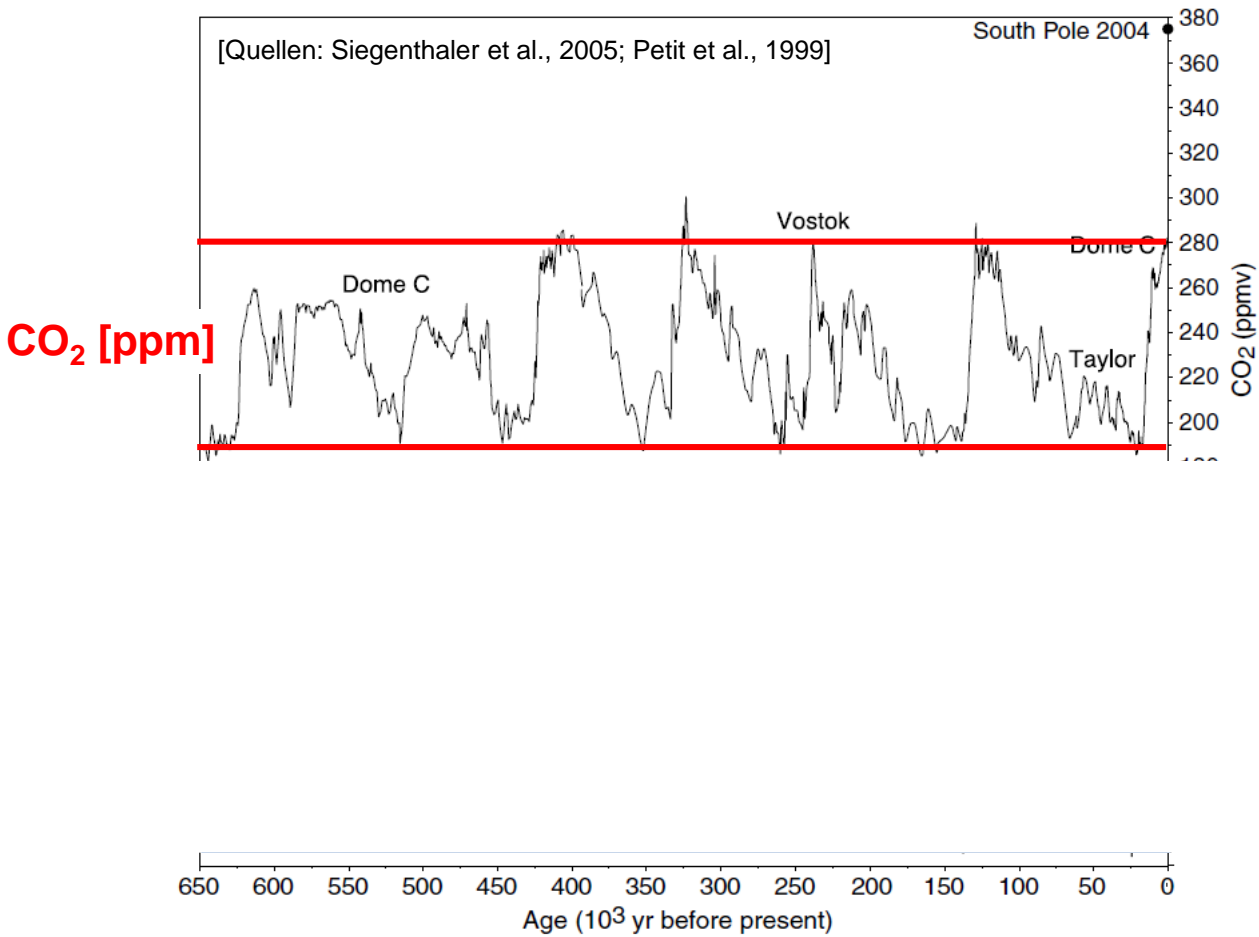
## Die Erde hat Fieber!

## Warum?



# CO<sub>2</sub>

## CO<sub>2</sub> Konzentration in der Erdgeschichte (400 000 Jahre)

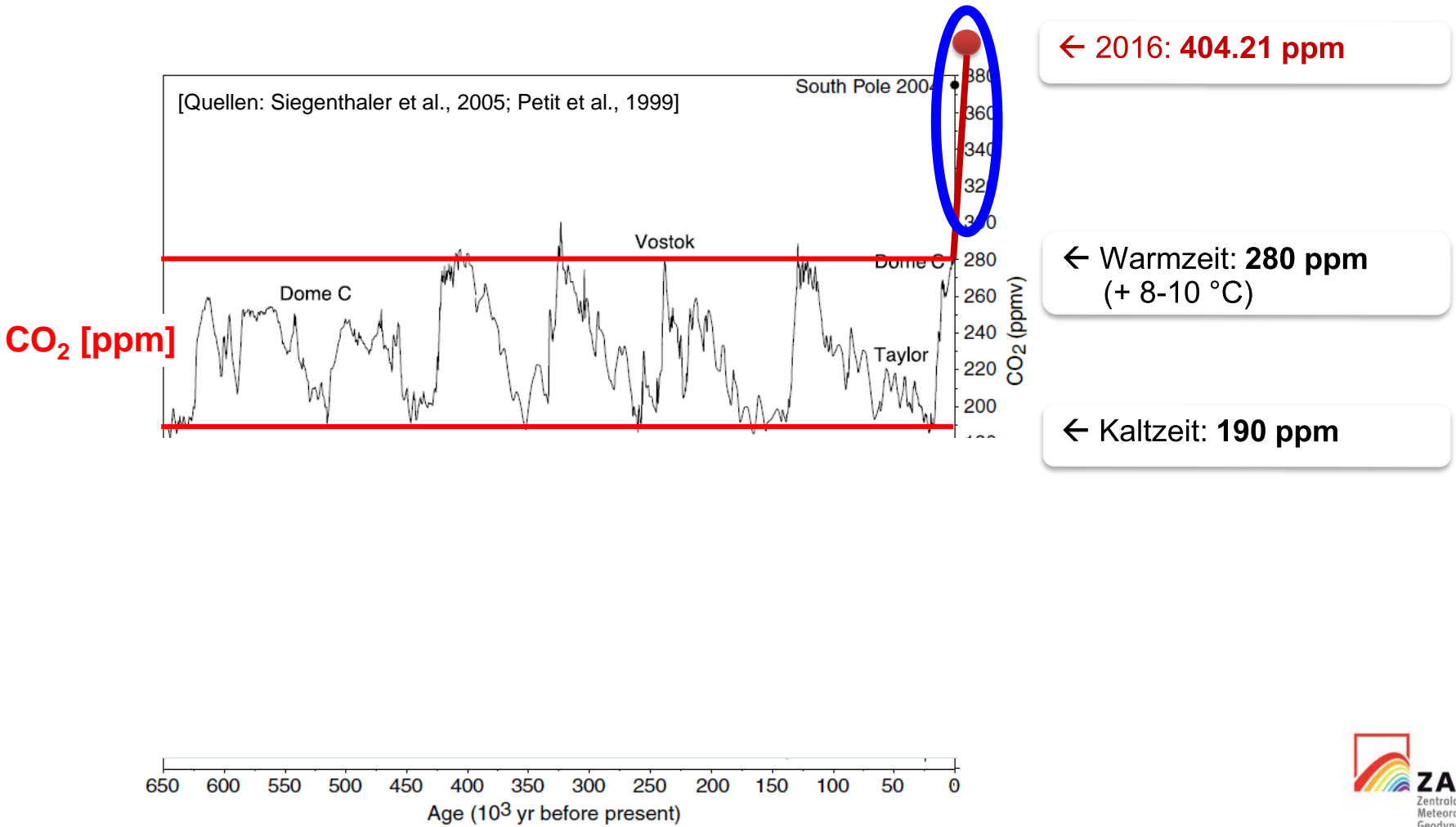


← Warmzeit: 280 ppm  
(+ 8-10 °C)

← Kaltzeit: 190 ppm

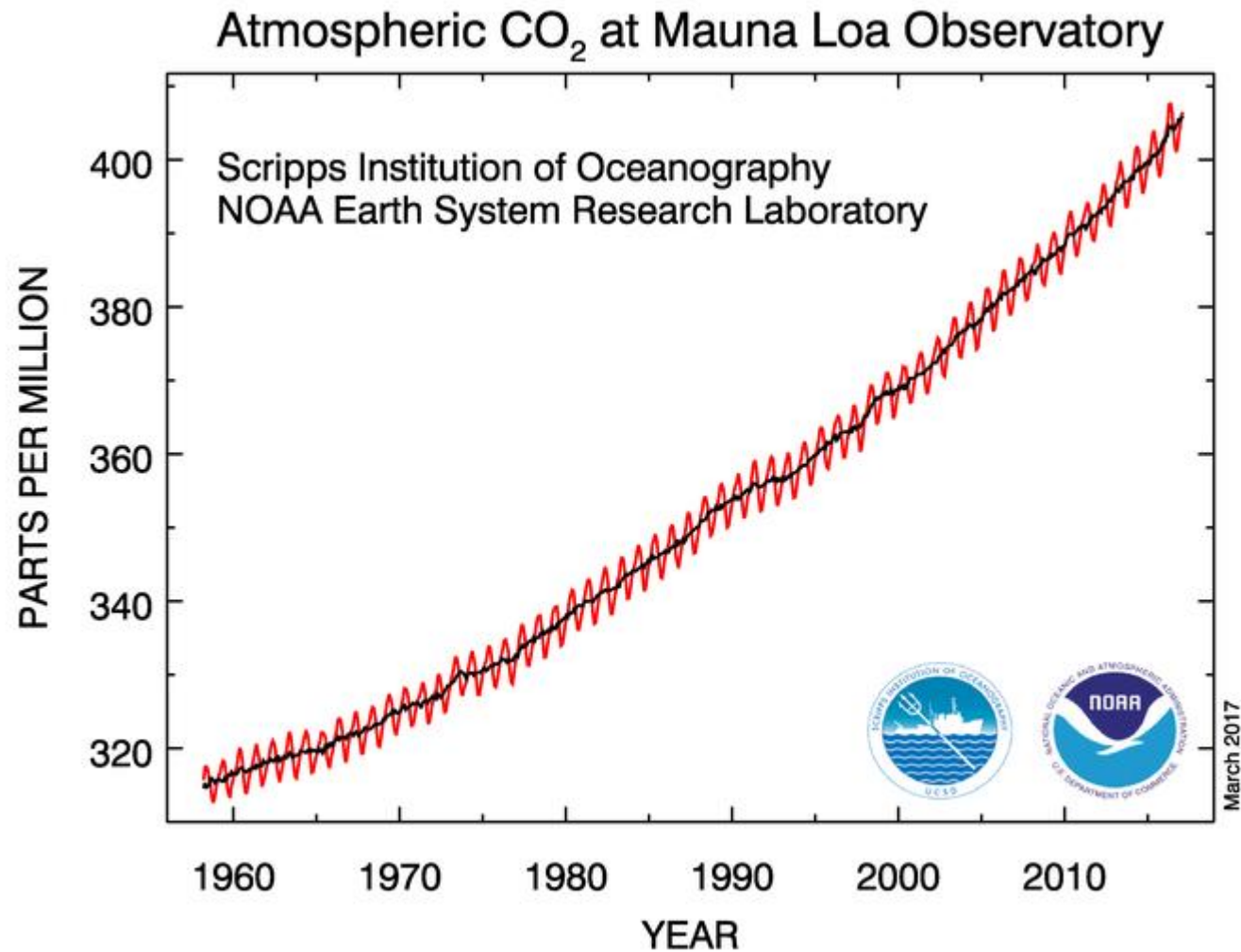
# CO<sub>2</sub>

## CO<sub>2</sub> Konzentration in der Erdgeschichte (400 000 Jahre)



# CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> Konzentration – direkte Messungen seit 1958



# Ursachen des CO<sub>2</sub> Anstiegs

## Was sagt IPCC dazu?



- CO<sub>2</sub> Konzentration heute **höher als jemals in den letzten 800,000 Jahren.**
- Mehr als **40% Anstieg** der CO<sub>2</sub> Konzentration seit Beginn Industrialisierung (bis 2013).
- Ursache: **Fossile Brennstoffe, Änderung der Landnutzung** (menschliche Aktivität).
- 30% des emittierten menschlichen CO<sub>2</sub> wurde im Ozean gespeichert (→ Versauerung)

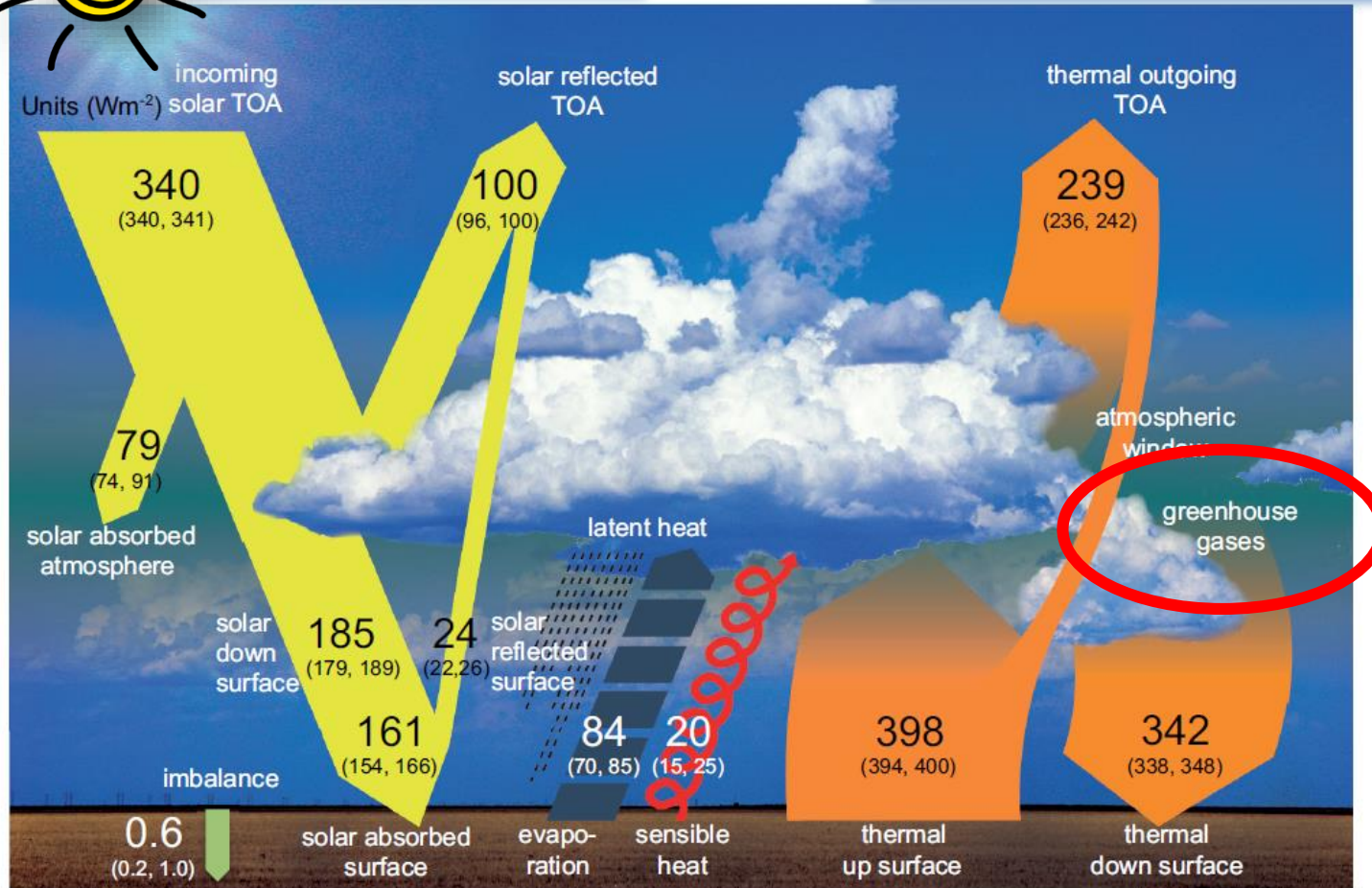
# Energiehaushalt der Erde

## Der globale Energiehaushalt



Sonnenlicht  
(kurzwellige Strahlung)

Wärmestrahlung der Erde  
(Infrarotstrahlung)



[IPCC,2013]

# Energiehaushalt der Erde

Was sagt IPCC dazu?



Human influence on the climate system is clear. This is evident from the increasing greenhouse gas concentrations in the atmosphere, positive radiative forcing, observed warming, and understanding of the climate system. {2–14}

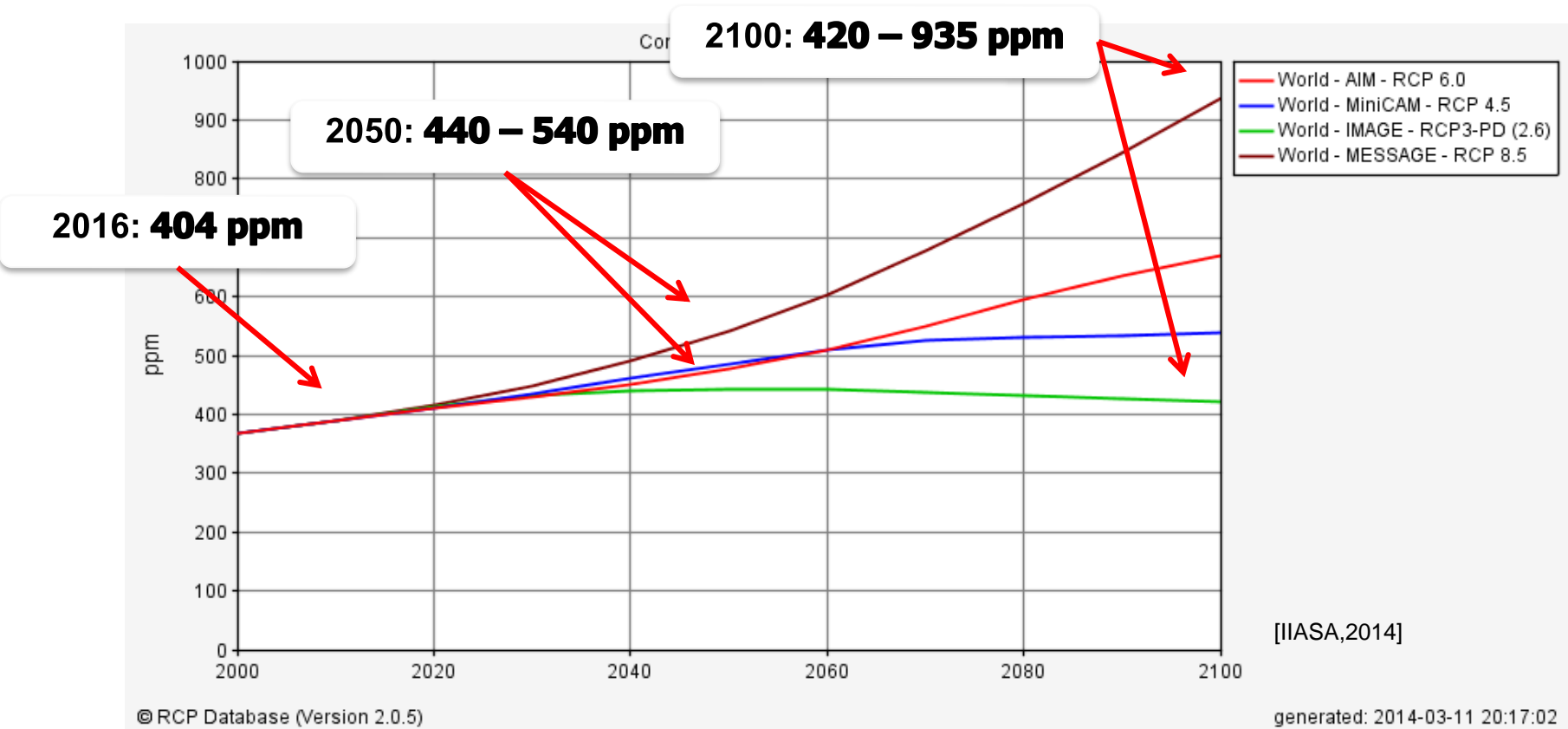
**Der Einfluss des Menschen auf das Klimasystem ist klar und belegbar.**

## 2. Was sind Klimaszenarien?



# Klimazukunft der Erde

## CO<sub>2</sub> Konz. im 21. Jahrhundert (THG Szenarien)



**Große Spannweite an Möglichkeiten!**



# Klimamodelle

Klimamodelle wandeln THG Szenarien in Klimaszenarien um...

**Dynamische Grundgleichungen** (Impulserhaltung, Massenerhaltung, Energieerhaltung, ideales Gasgesetz → fundamentale Physik):

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{m}{\rho} \left( \frac{\partial p'}{\partial x} - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} \right) = -\mathbf{v} \cdot \nabla u + v \left( f + u \frac{\partial m}{\partial y} - v \frac{\partial m}{\partial x} \right) - ew \cos \alpha - \frac{uw}{r} + D_u$$

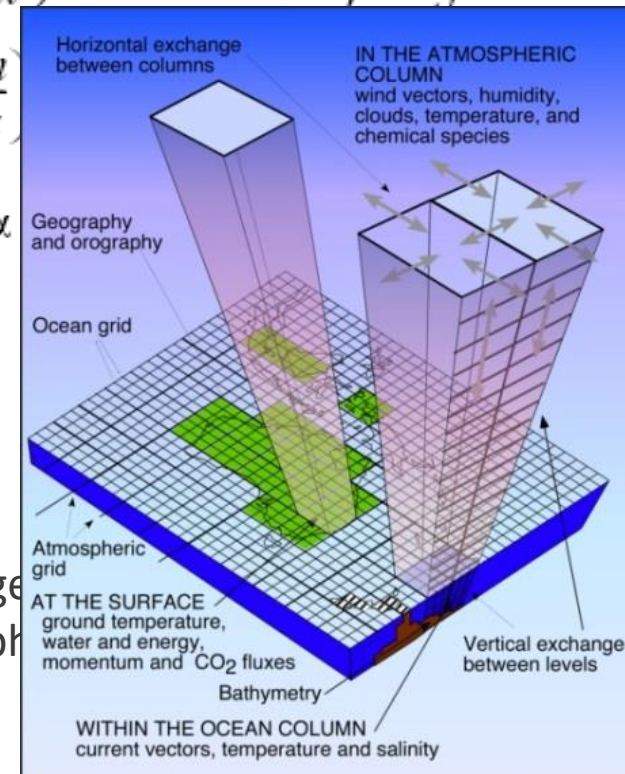
$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{m}{\rho} \left( \frac{\partial p'}{\partial y} - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial y} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} \right) = -\mathbf{v} \cdot \nabla v - u \left( f + u \frac{\partial m}{\partial y} - v \frac{\partial m}{\partial x} \right)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} - \frac{\rho_0 g}{\rho p^*} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} + \frac{gp'}{\gamma p} = -\mathbf{v} \cdot \nabla w + g \frac{p_0 T'}{p T_0} - \frac{g R_d p'}{c_p p} + e(u \cos \alpha)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\mathbf{v} \cdot \nabla T + \frac{1}{\rho c_p} \left( \frac{\partial p'}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla p' - \rho_0 g w \right) + \frac{Q}{c_p} + \frac{T_0}{\theta_0} D_\theta$$

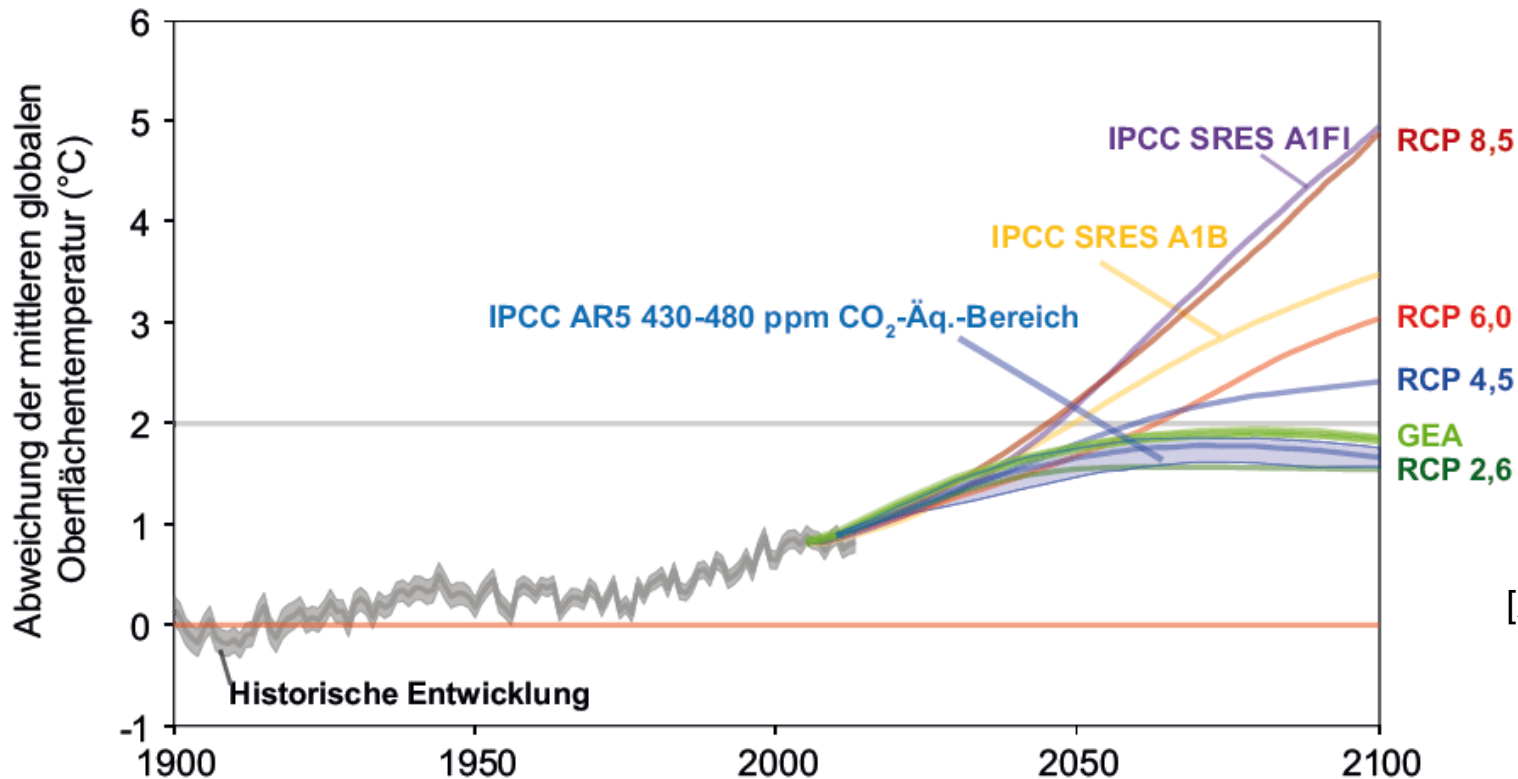
$$\frac{\partial p'}{\partial t} - \rho_0 g w + \gamma p \nabla \cdot \mathbf{v} = -\mathbf{v} \cdot \nabla p' + \frac{\gamma p}{T} \left( \frac{Q}{c_p} + \frac{T_0}{\theta_0} D_\theta \right)$$

**Parametrisierungen** (semi-empirische vereinfachte Darstellungen)  
 Konvektion (Cumuluswolken), Turbulenz (Grenzschicht), Mikrophysik  
 Strahlungstransfer, Boden, Schnee, ...



# Klimazukunft der Erde

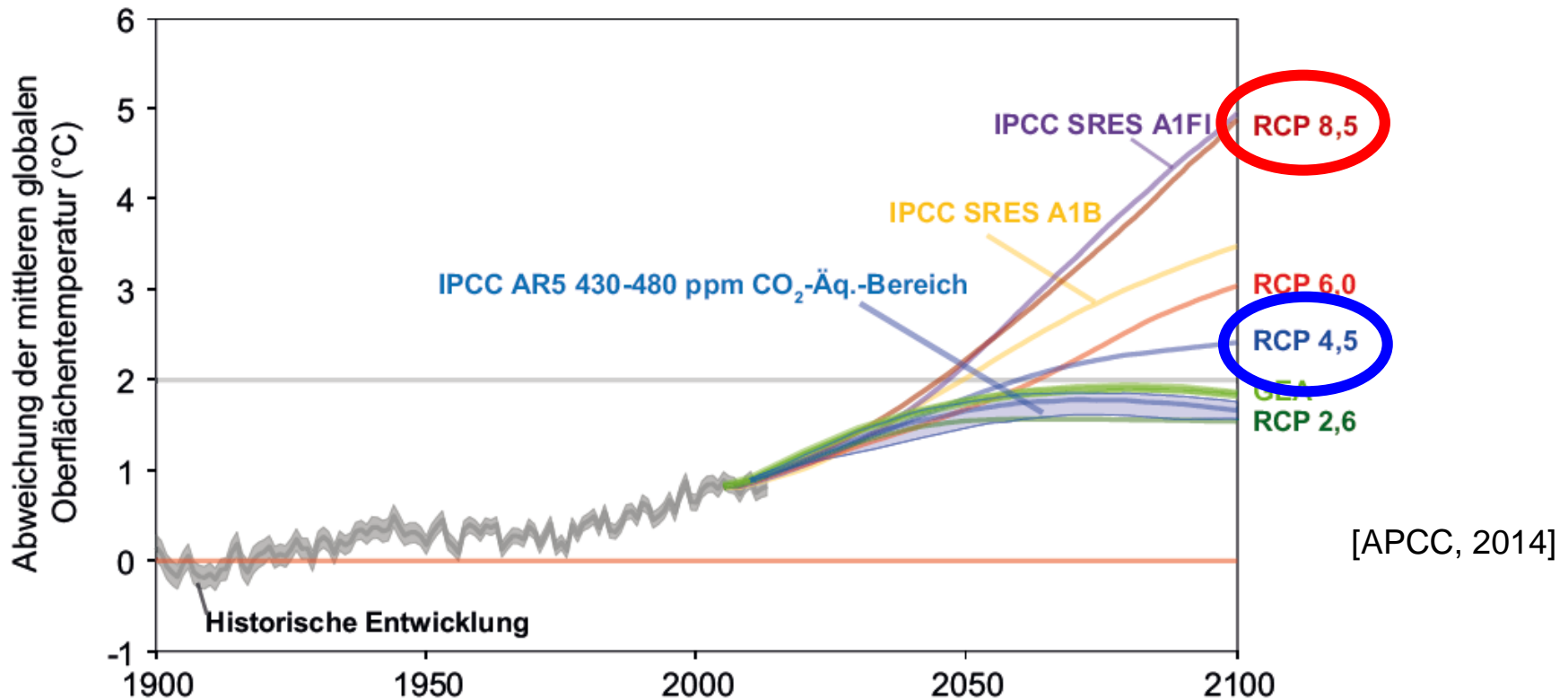
## Globale Temperaturentwicklung



- Bei ungebremsten CO<sub>2</sub> Ausstoß (RCP8.5): ca. +5°C bis 2100
- Bei sehr ambitionierter Klimaschutzpolitik (RCP2.6): ca. +2°C.

# Klimazukunft der Erde

## Globale Temperaturentwicklung



- Bei ungebremsten CO<sub>2</sub> Ausstoß (RCP8.5): ca. +5°C bis 2100
- Bei sehr ambitionierter Klimaschutzpolitik (RCP2.6): ca. +2°C.

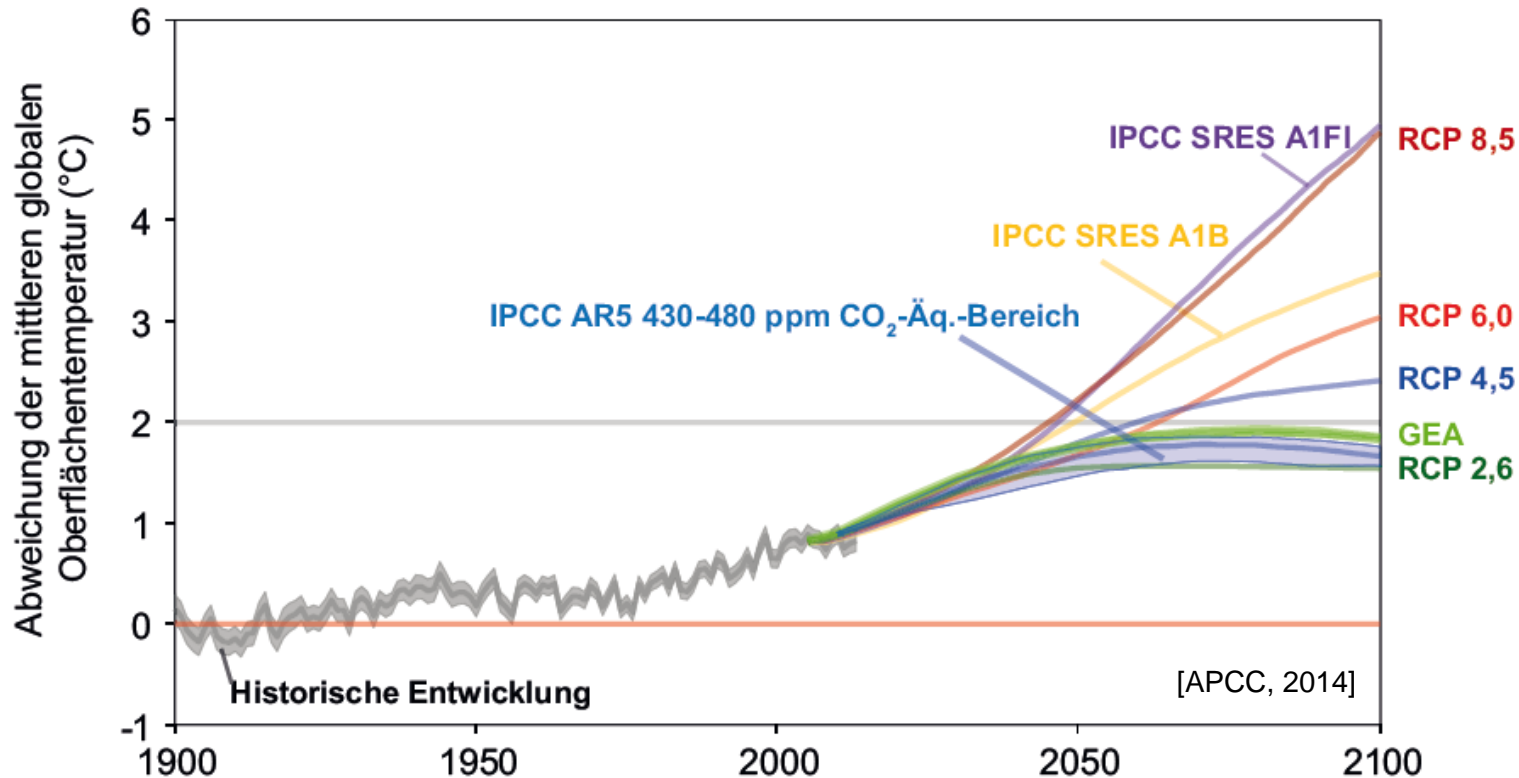
# Klimaszenarien ...

... hängen von Annahmen über die künftige Entwicklung der Gesellschaft ab!

(„Emissionsszenarien“)

# Klimaszenarien ...

... hängen von Annahmen über die künftige Entwicklung der Gesellschaft ab!



- Bei ungebremsten CO<sub>2</sub> Ausstoß (RCP8.5): ca. +5°C bis 2100
- Bei ambitionierter Klimaschutzpolitik (RCP4.5): ca. +3°C
- Bei sehr ambitionierter Klimaschutzpolitik (RCP2.6): ca. +2°C.

# Klimaszenarien ...

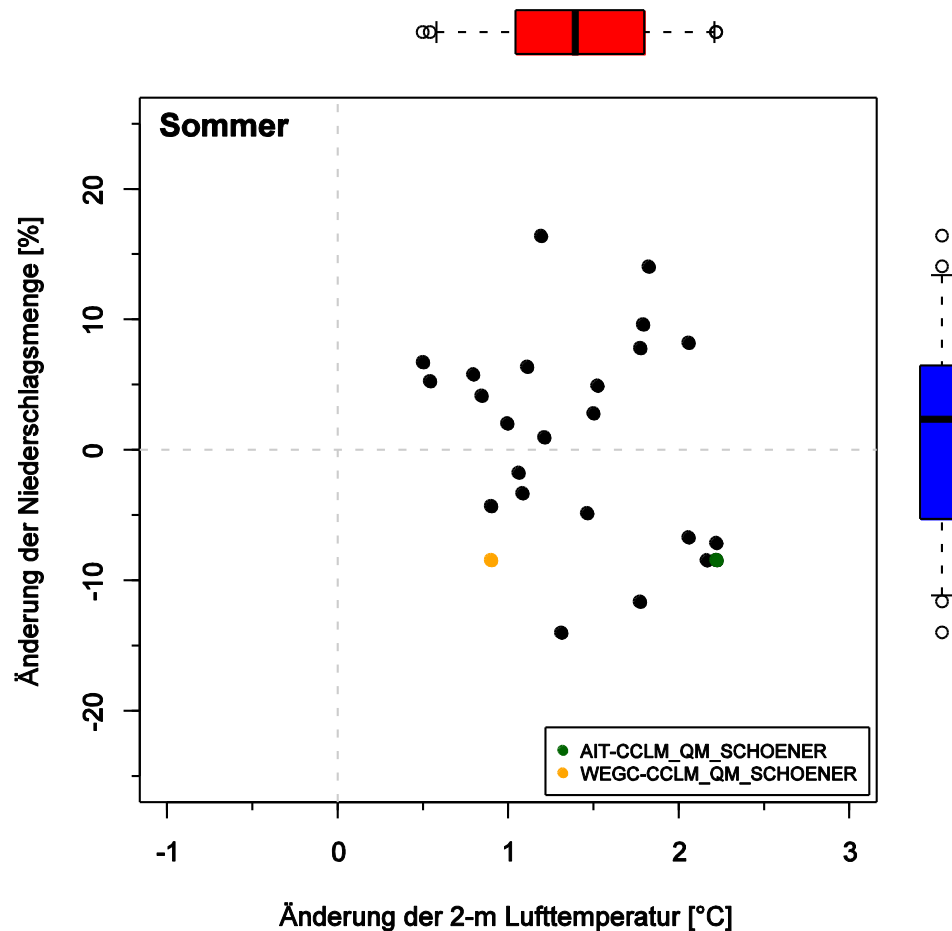
... sind mit Unsicherheiten behaftet und können immer nur Bandbreiten wahrscheinlicher Entwicklungen angeben!

# Klimaszenarien ...

... sind mit Unsicherheiten behaftet und können immer nur Bandbreiten wahrscheinlicher Entwicklungen angeben!

## Beispiel: Klimaänderung in der Steiermark bis 2050

(1971-2000 vs. 2021-2050, Simulationen: ENSEMBLES, reclip:century; A1B)



# Klimaszenarien ...

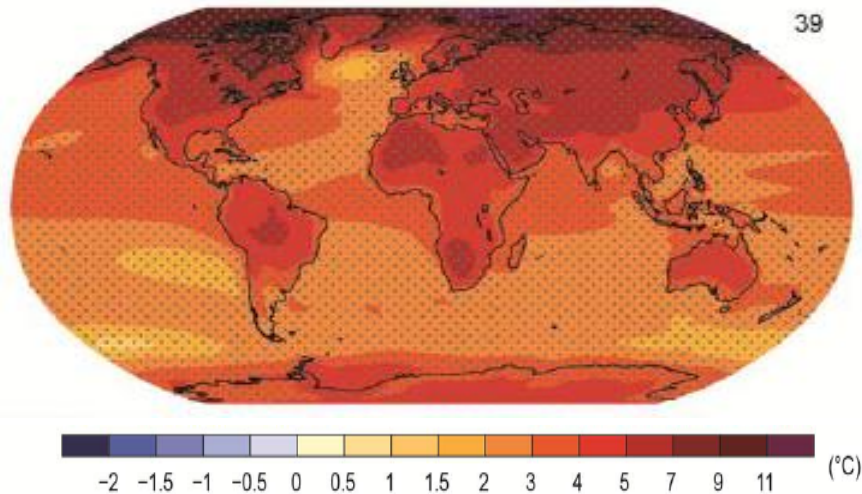
... können je nach betrachteter Region regional sehr unterschiedliche Aussagen enthalten!



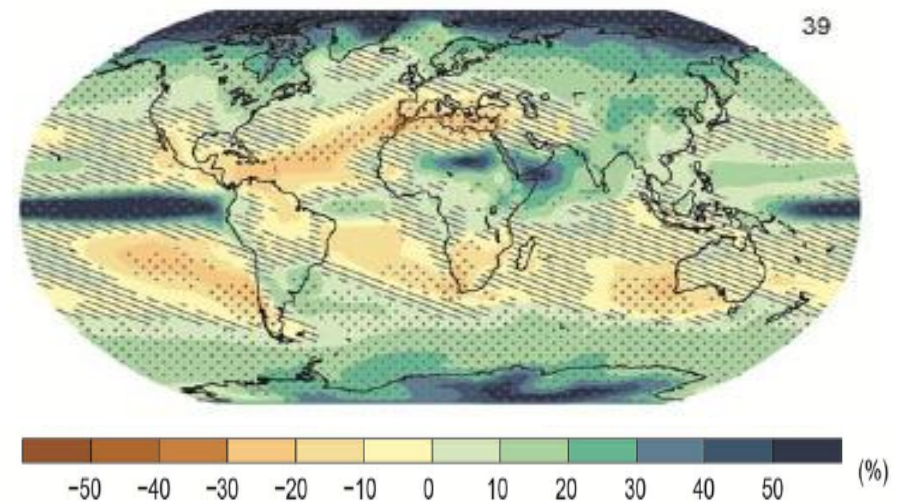
# Klimaszenarien ...

... können je nach betrachteter Region regional sehr unterschiedliche Aussagen enthalten!

## Temperaturänderung



## Niederschlagsänderung



RCP 8.5  
(1986-2005 to 2081-2100)

# 3. Klimawandel in der Stmk. und in Graz

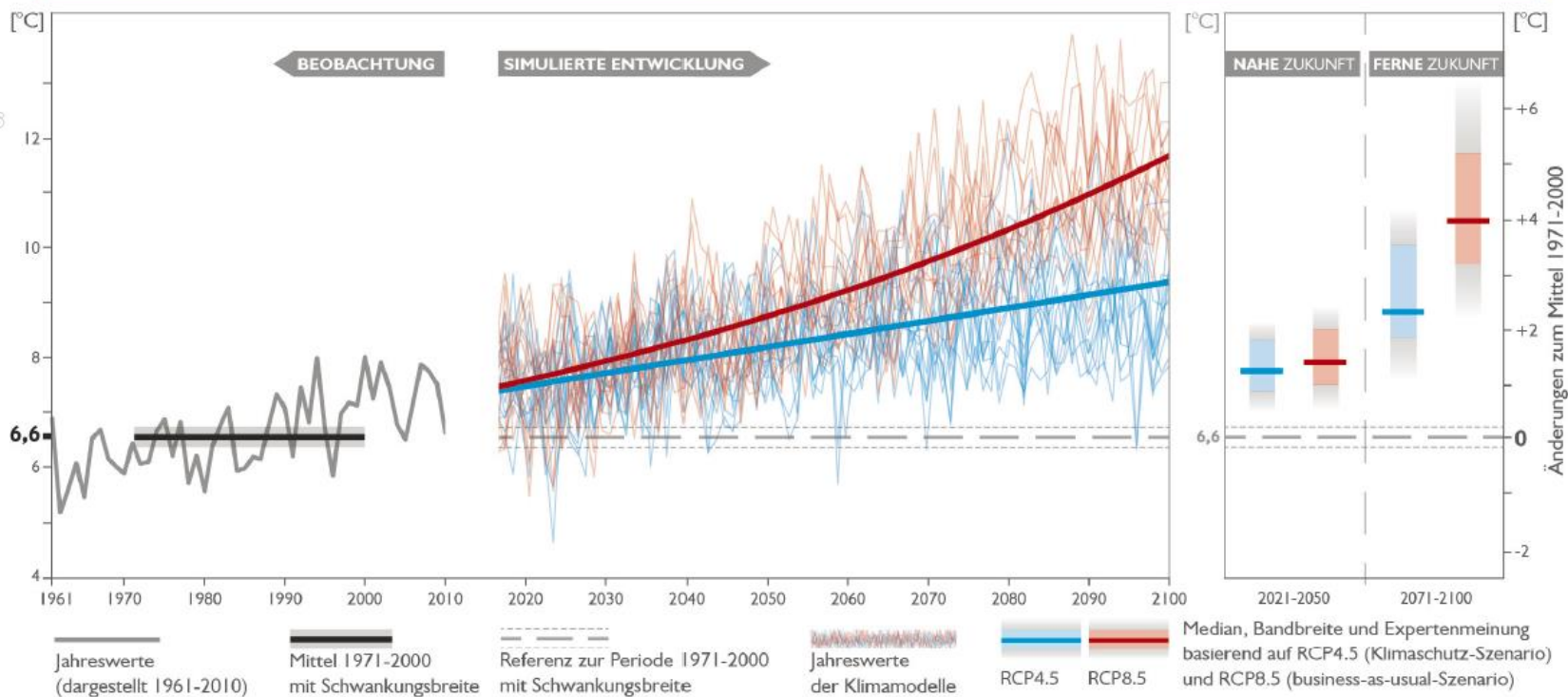


© Graz Tourismus | Werner Krug



## Steiermark: Temperatur im 21. Jahrhundert

### Vergangene und simulierte Entwicklung der mittleren Lufttemperatur



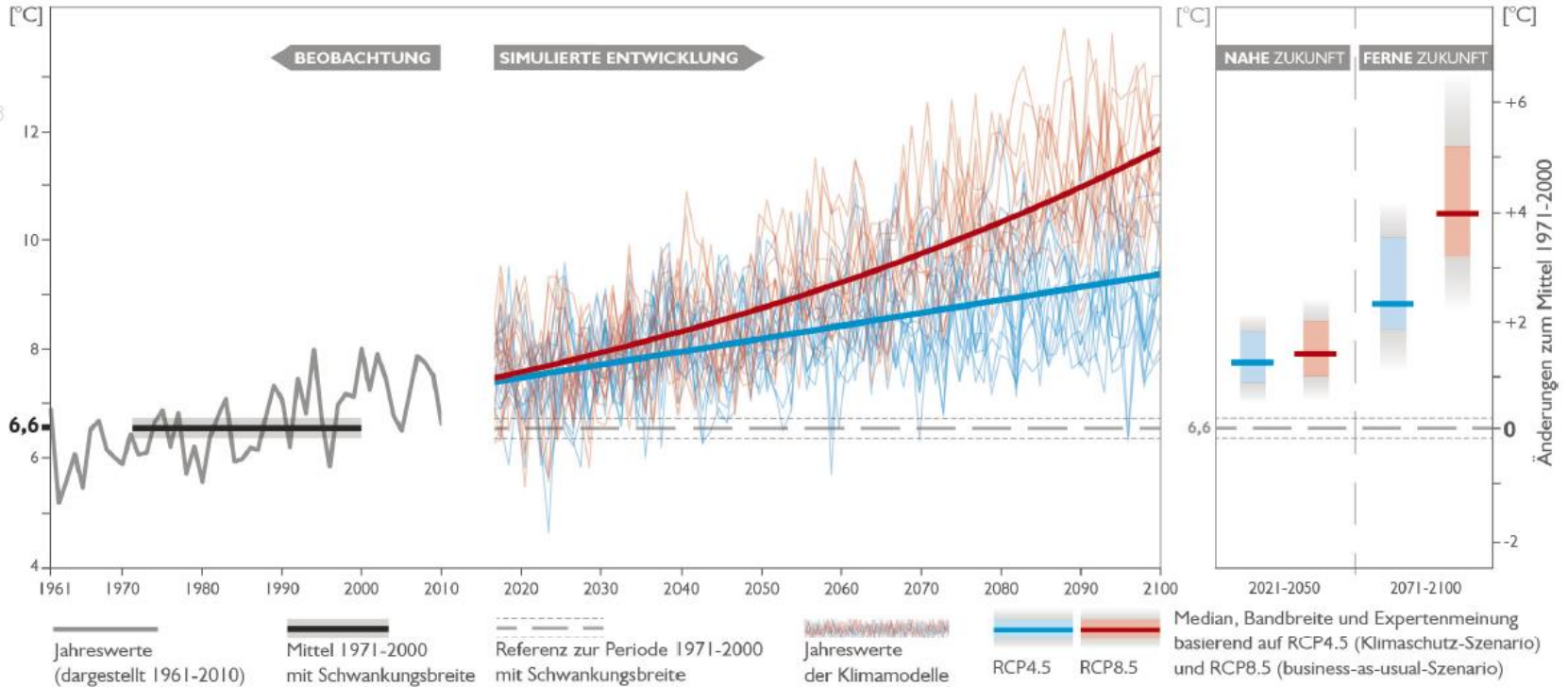
		1971-2000		2021-2050				2071-2100			
		Jahreswerte		RCP4.5 (Klimaschutz-Szenario)		RCP8.5 (business-as-usual)		RCP4.5 (Klimaschutz-Szenario)		RCP8.5 (business-as-usual)	
Mittel	bis	6,8		+1,8		+2,0		+3,6		+5,3	
	von	6,4		+0,9		+1,0		+1,8		+3,3	
	<b>Mittel</b>	<b>6,6</b>		<b>+1,3</b>		<b>+1,4</b>		<b>+2,3</b>		<b>+4,0</b>	
		Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer
Mittel	bis	-1,6	15,3	+1,9	+1,9	+2,3	+2,2	+3,3	+3,2	+5,4	+5,9
	von	-2,4	14,9	+0,8	+1,1	+0,7	+1,1	+1,9	+1,7	+3,5	+3,3
	<b>Mittel</b>	<b>-2,0</b>	<b>15,1</b>	<b>+1,5</b>	<b>+1,3</b>	<b>+1,6</b>	<b>+1,4</b>	<b>+2,4</b>	<b>+2,1</b>	<b>+4,5</b>	<b>+4,0</b>





## Steiermark: Temperatur im 21. Jahrhundert

### Vergangene und simulierte Entwicklung der mittleren Lufttemperatur

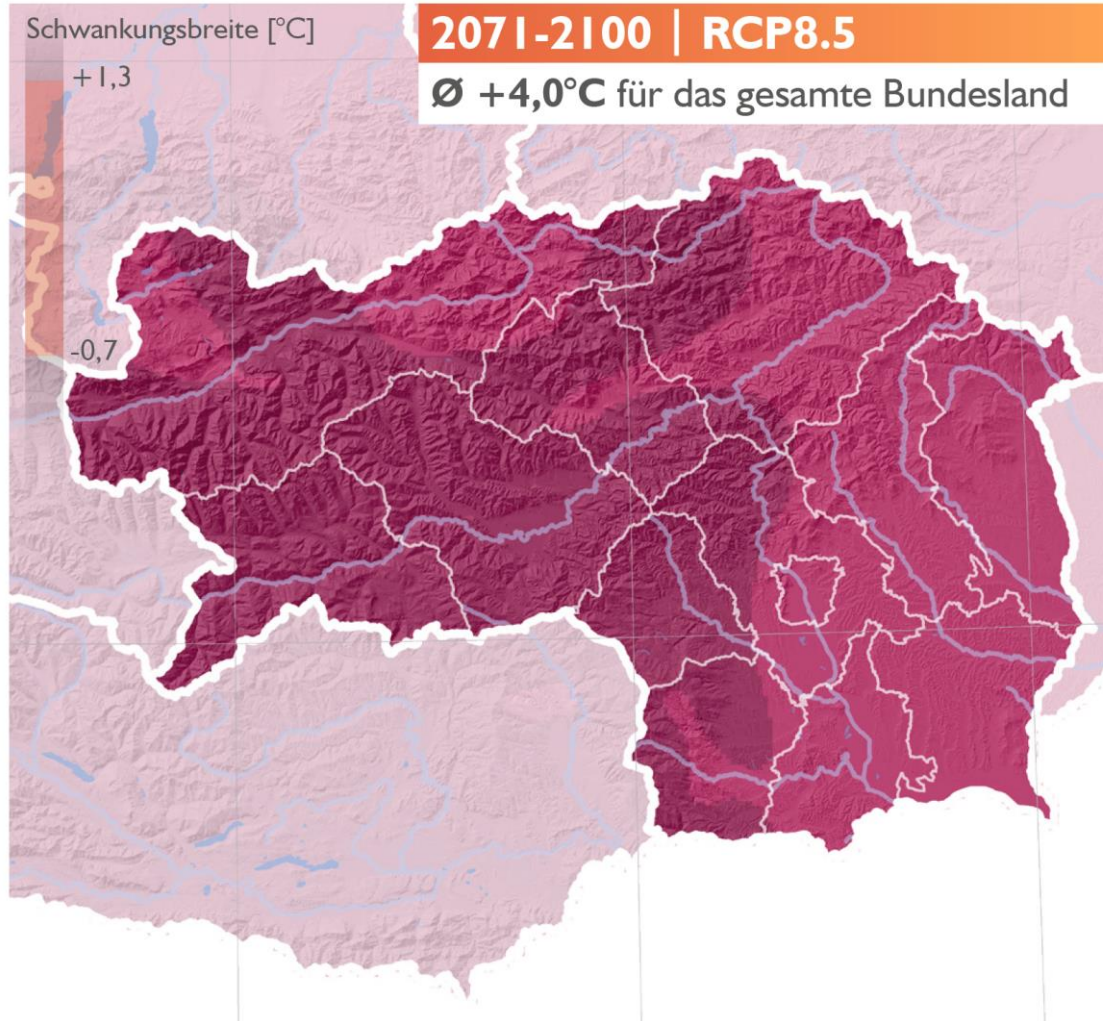
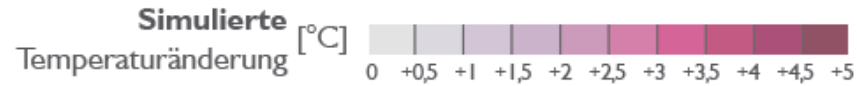


		1971-2000		2021-2050				2071-2100			
		Jahreswerte		RCP4.5 (Klimaschutz-Szenario)		RCP8.5 (business-as-usual)		RCP4.5 (Klimaschutz-Szenario)		RCP8.5 (business-as-usual)	
bis		6,8		+1,8		+2,0		+3,6		+5,3	
<b>Mittel</b>		<b>6,6</b>		<b>+1,3</b>		<b>+1,4</b>		<b>+2,3</b>		<b>+4,0</b>	
von		6,4		+0,9		+1,0		+1,8		+3,3	
		Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer
bis		-1,6	15,3	+1,9	+1,9	+2,3	+2,3	+3,3	+3,3	+5,4	+5,0
<b>Mittel</b>		<b>-2,0</b>	<b>15,1</b>	<b>+1,5</b>	<b>+1,3</b>	<b>+1,6</b>	<b>+1,6</b>	<b>+2,5</b>	<b>+2,5</b>	<b>+4,0</b>	<b>+3,5</b>
von		-2,4	14,9	+0,8	+1,1	+0,7	+0,7	+1,5	+1,5	+3,0	+2,5

**Je nach Szenario: Bis zu + 4 °C bis 2100!**

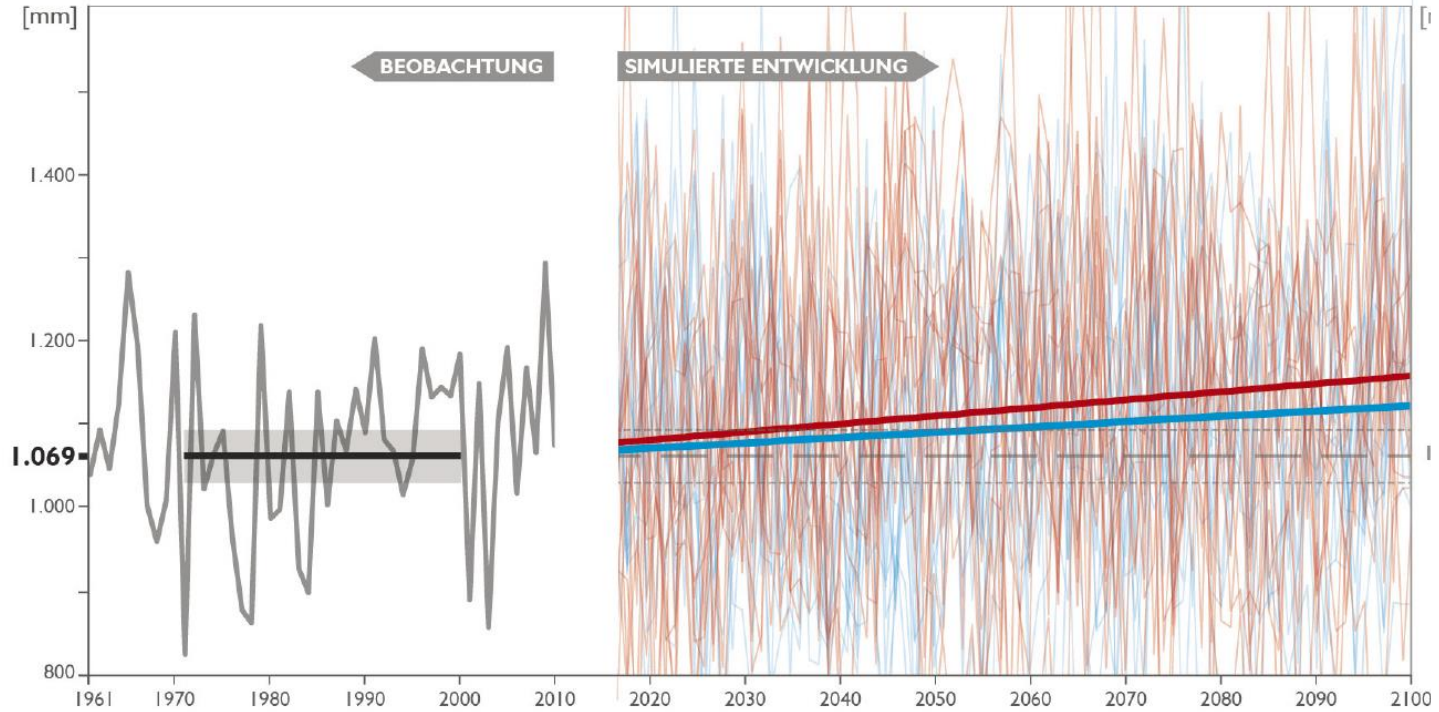


## Steiermark: Temperatur im 21. Jahrhundert





## Steiermark: Niederschlag im 21. Jahrhundert



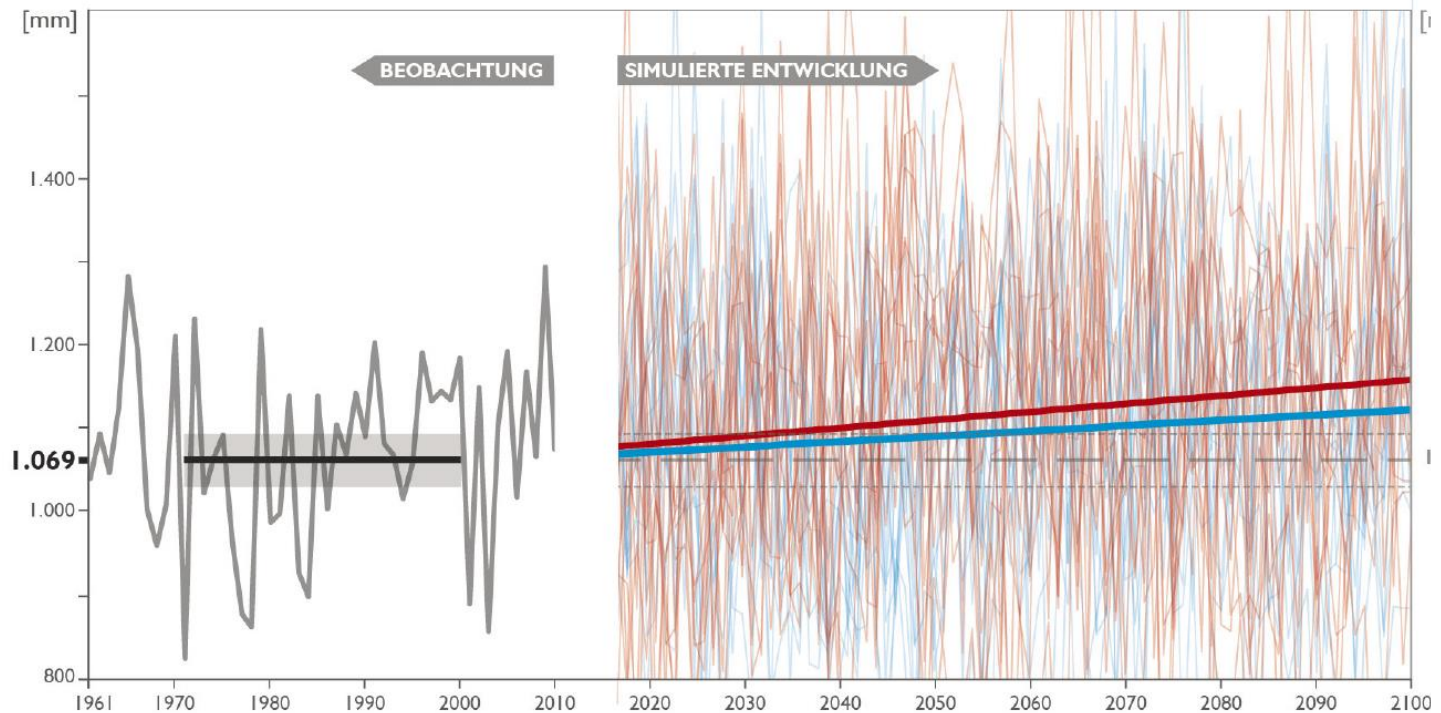
		1971-2000		2021-2050				2071-2100			
		Jahreswerte		RCP4.5 (Klimaschutz-Szenario)		RCP8.5 (business-as-usual)		RCP4.5 (Klimaschutz-Szenario)		RCP8.5 (business-as-usual)	
Mittel	bis	1.113		+7,7		+11,6		+14,9		+18,2	
		<b>1.069</b>		<b>+2,6</b>		<b>+5,9</b>		<b>+7,4</b>		<b>+8,0</b>	
	von	1.024		-1,5		+1,6		-1,5		-2,1	
		Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer
Mittel	bis	184	439	+20,0	+9,5	+25,7	+12,6	+26,1	+17,8	+39,3	+18,5
		<b>167</b>	<b>411</b>	<b>+11,7</b>	<b>-0,0</b>	<b>+14,0</b>	<b>+2,3</b>	<b>+12,1</b>	<b>+3,9</b>	<b>+24,1</b>	<b>-2,3</b>
	von	150	382	+0,4	-9,8	-1,8	-8,1	-6,4	-13,1	+8,8	-22,7

Winter: Dezember - Jänner - Februar / Sommer: Juni - Juli - August





## Steiermark: Niederschlag im 21. Jahrhundert



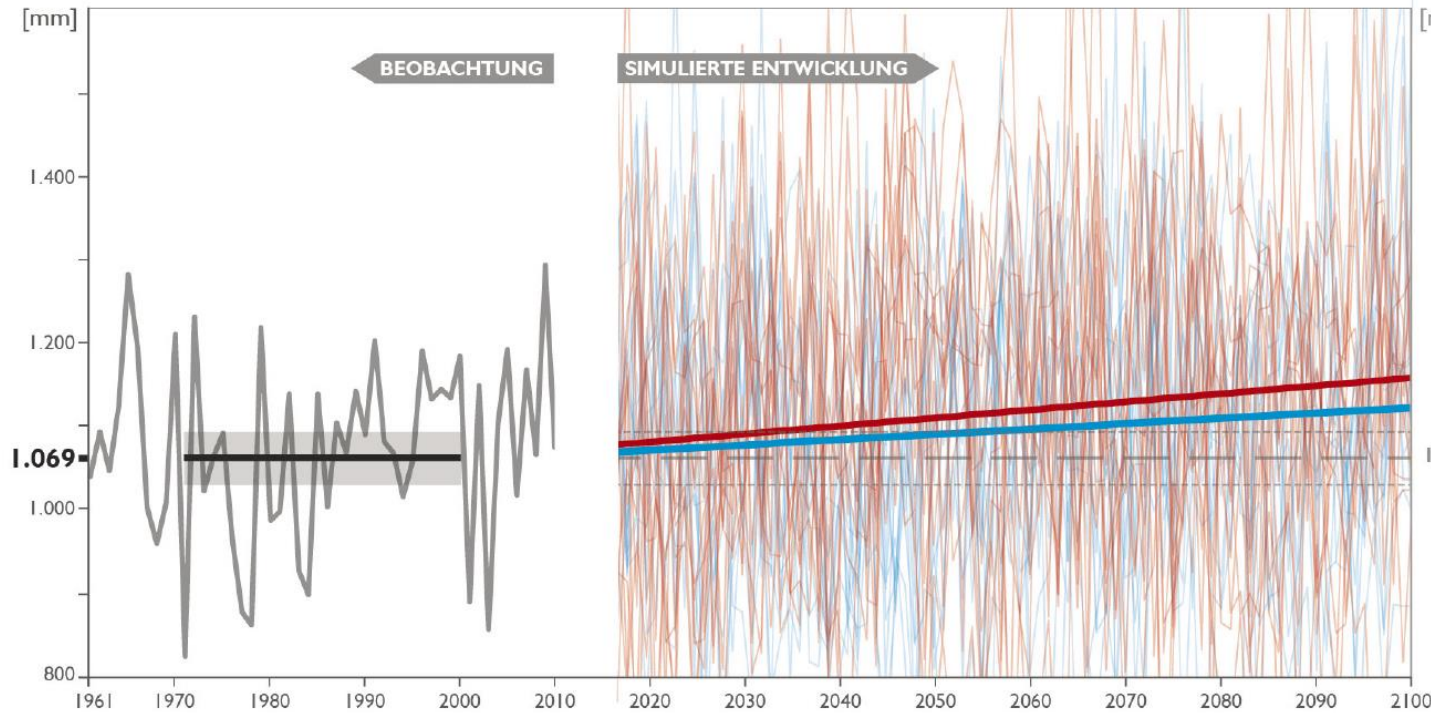
		1971-2000				2021-2050				2071-2100			
		Jahreswerte		RCP4.5 (Klimaschutz-Szenario)		RCP8.5 (business-as-usual)		RCP4.5 (Klimaschutz-Szenario)		RCP8.5 (business-as-usual)			
bis		1.113		+7,7		+11,6		+14,9		+18,2			
<b>Mittel</b>		<b>1.069</b>		<b>+2,6</b>		<b>+5,9</b>		<b>+7,4</b>		<b>+8,0</b>			
von		1.024		-1,5		+1,6		-1,5		-2,1			
		Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer		
bis		184	439	+20,0	+9,5	+25,7	+12,6	+26,1	+12,6	+18,2	+8,0		
<b>Mittel</b>		<b>167</b>	<b>411</b>	<b>+11,7</b>	<b>-0,0</b>	<b>+14,0</b>	<b>+2,3</b>	<b>+12,1</b>	<b>+2,3</b>	<b>+18,2</b>	<b>+8,0</b>		
von		150	382	+0,4	-9,8	-1,8	-8,1	-6,1	-8,1	-2,1	-2,1		

**Jahresniederschlag nimmt leicht zu. Nicht signifikant. (Angabe in %)**

Winter: Dezember - Jänner - Februar / Sommer: Juni - Juli - August



## Steiermark: Niederschlag im 21. Jahrhundert



1971-2000		2021-2050				2071-2100				
Jahreswerte		RCP4.5 (Klimaschutz-Szenario)		RCP8.5 (business-as-usual)		RCP4.5 (Klimaschutz-Szenario)		RCP8.5 (business-as-usual)		
bis	1.113	+7,7		+11,6		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <b>Im Winter wird es deutlich feuchter! (+ 24 % bis 2100)</b> </div>				
<b>Mittel</b>	<b>1.069</b>	<b>+2,6</b>		<b>+5,9</b>						
von	1.024	-1,5		+1,6						
	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer
bis	184	439	+20,0	+9,5	+25,7	+12,6	+26,1	+17,8	+39,3	+18,5
<b>Mittel</b>	<b>167</b>	<b>411</b>	<b>+11,7</b>	<b>-0,0</b>	<b>+14,0</b>	<b>+2,3</b>	<b>+12,1</b>	<b>+3,9</b>	<b>+24,1</b>	<b>-2,3</b>
von	150	382	+0,4	-9,8	-1,8	-8,1	-6,4	-13,1	+8,8	-22,7

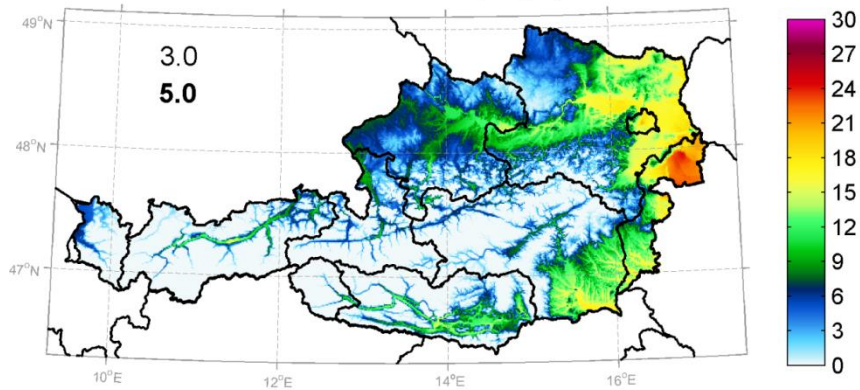
Winter: Dezember - Jänner - Februar / Sommer: Juni - Juli - August



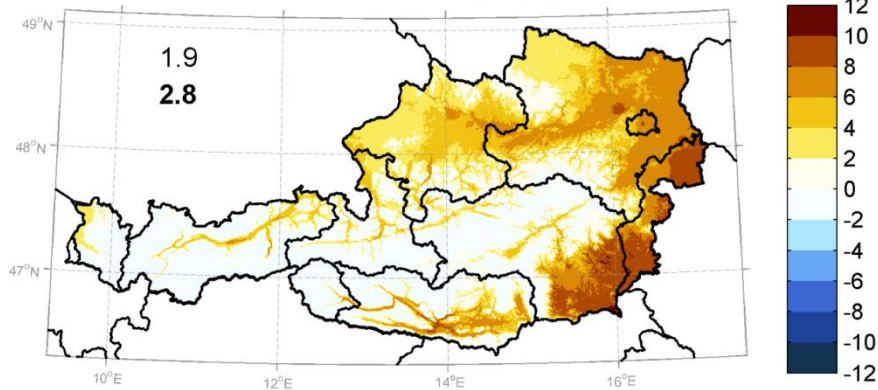
# 1. Hitze

## Hitzetage (> 30°) - Vergangenheit

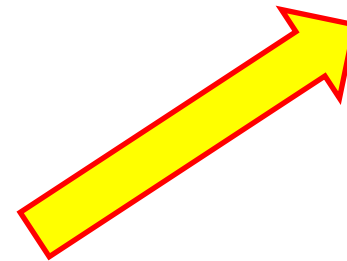
su30 1986-2010 (days)



$\Delta$  to 1961-1985 (days)



12 Tage

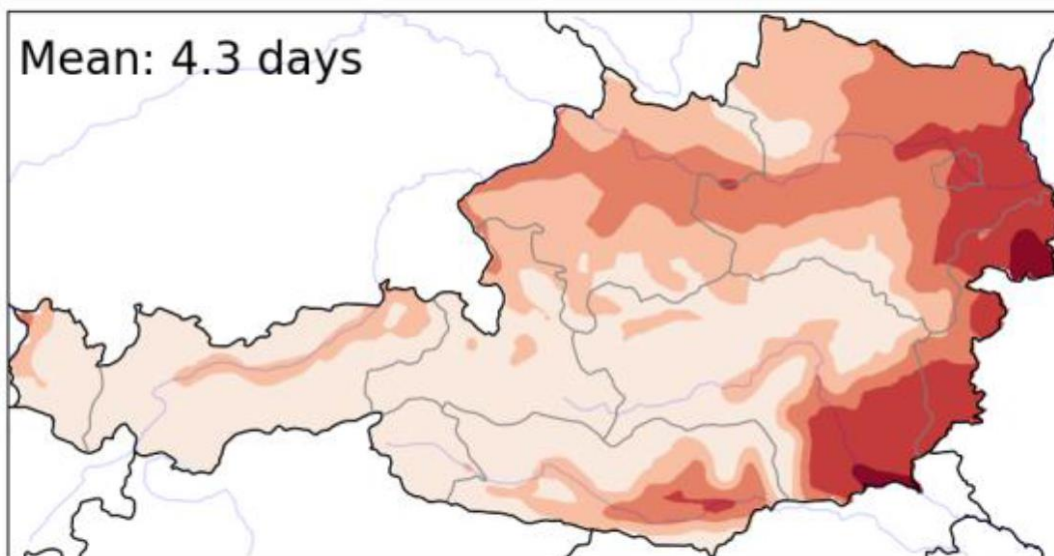


4 Tage

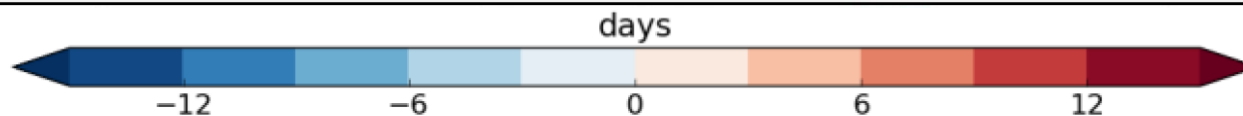
# 1. Hitze

## Hitzetage ( $> 30^{\circ}\text{C}$ ) - Zukunft

su30, jährlich: Änderung (RCP4.5, 2021-2050)



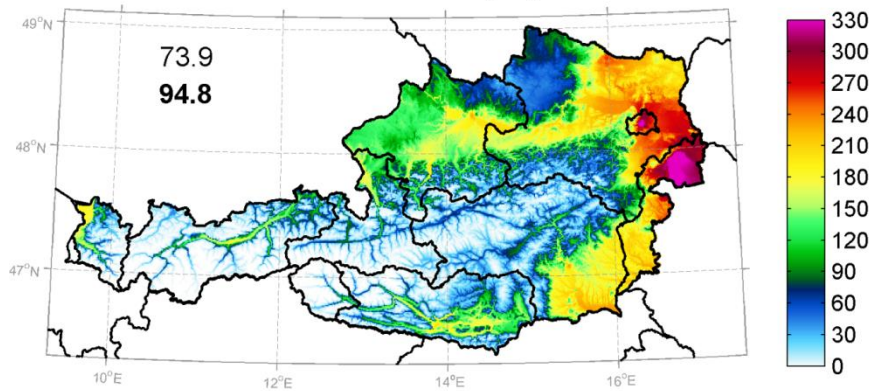
su30, jährlich: Änderung (RCP4.5, 2071-2100)



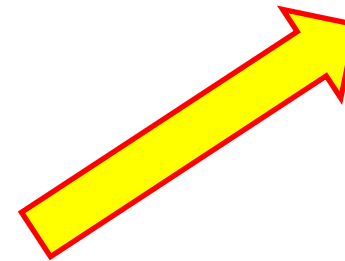
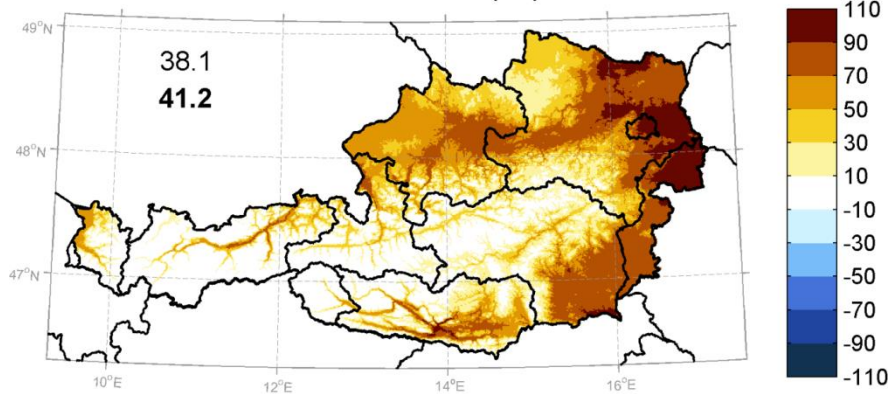
# 1. Hitze

## Kühlbedarf - Vergangenheit

cdd 1986-2010 (°C)

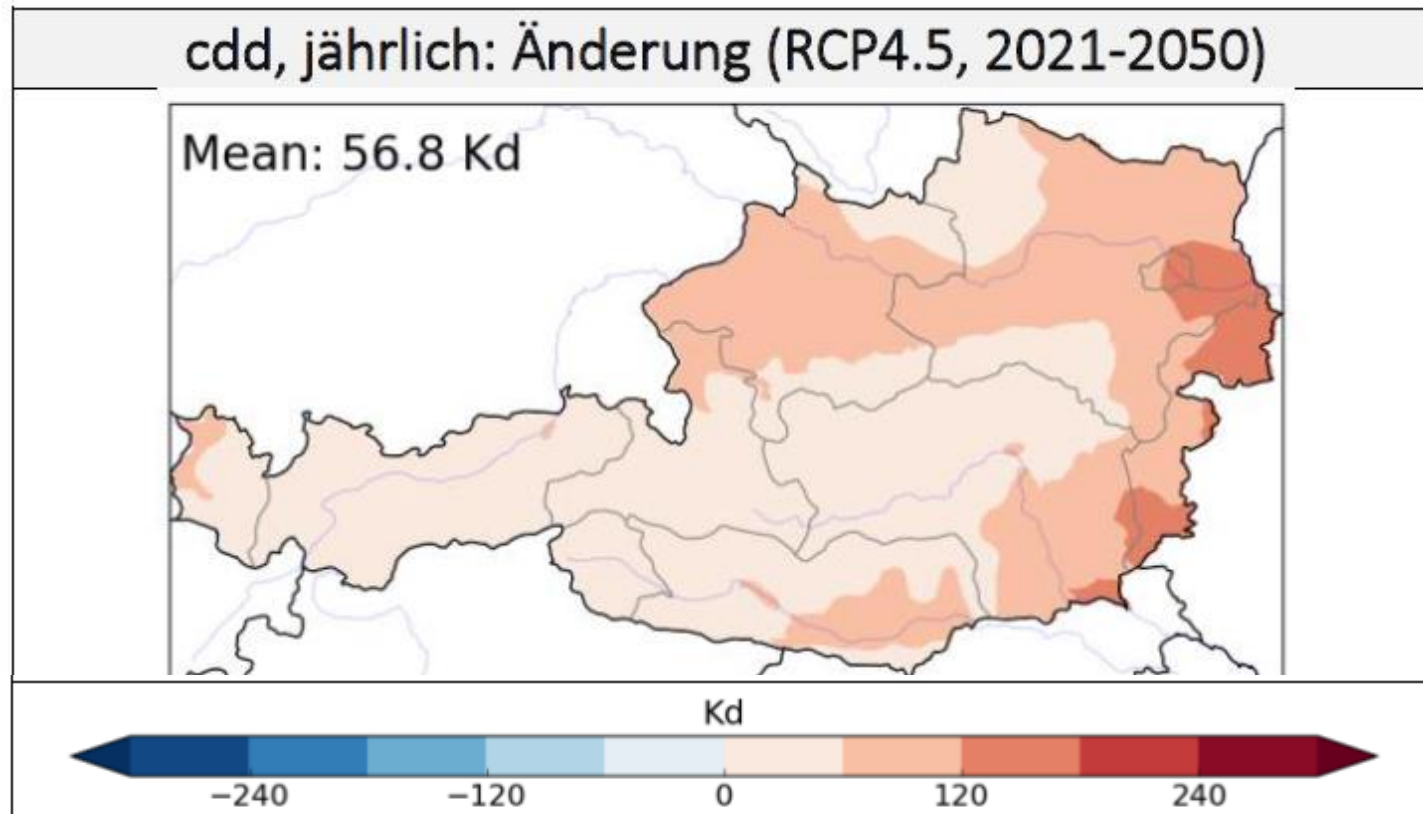


$\Delta$  to 1961-1985 (°C)



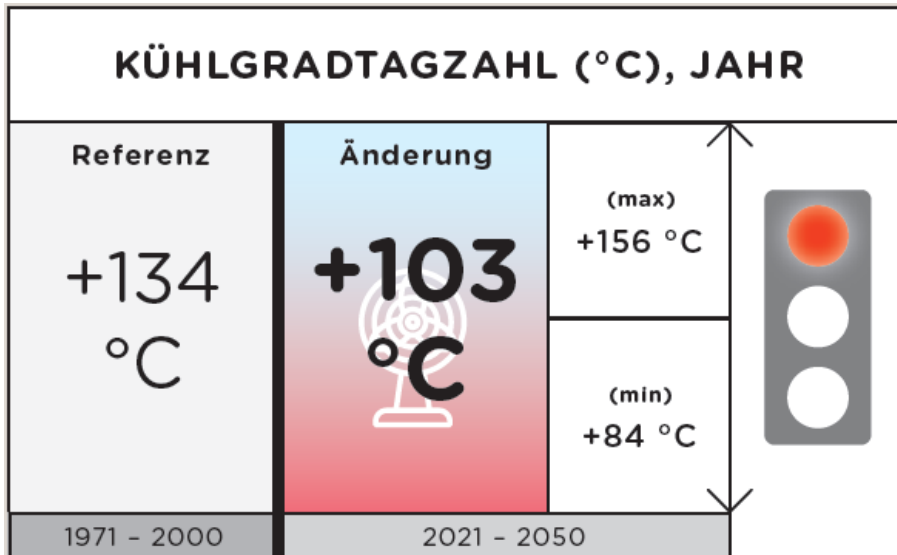
# 1. Hitze

## Kühlbedarf – Zukunft

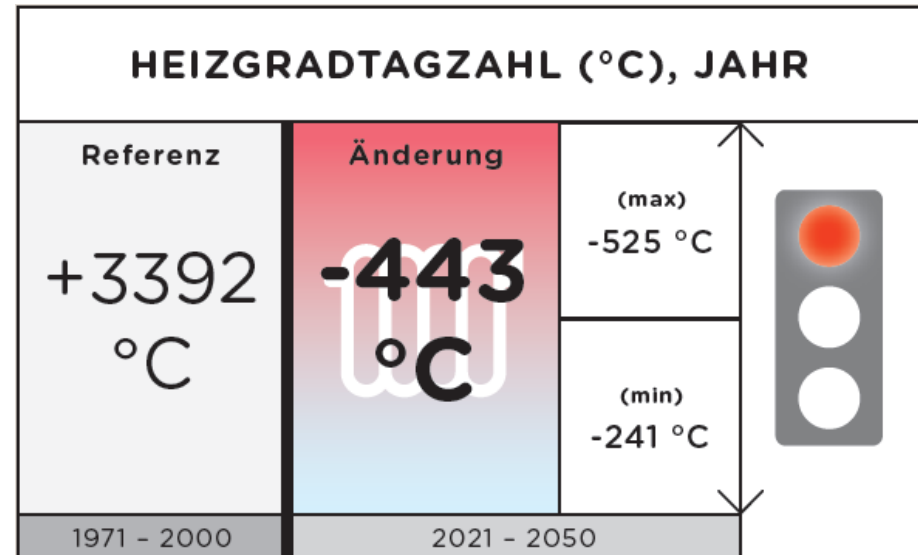


# 1. Hitze

## Kühlen und Heizen (Beispiel im Südosten der Steiermark)



Summe der Differenz zwischen Raum- (+20,0 °C) und Außentemperatur an Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur über +18,3 °C



Summe der Differenz zwischen Raum- (+20,0 °C) und Außentemperatur an Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur unter +12,0 °C

Der Kühlbedarf wird zunehmen, der Heizbedarf wird weiter abnehmen  
(stärker als der Kühlbedarf zunimmt)



# 1. Hitze

Welche Aktivitätsfelder der Klimawandelanpassungsstrategie sind betroffen?

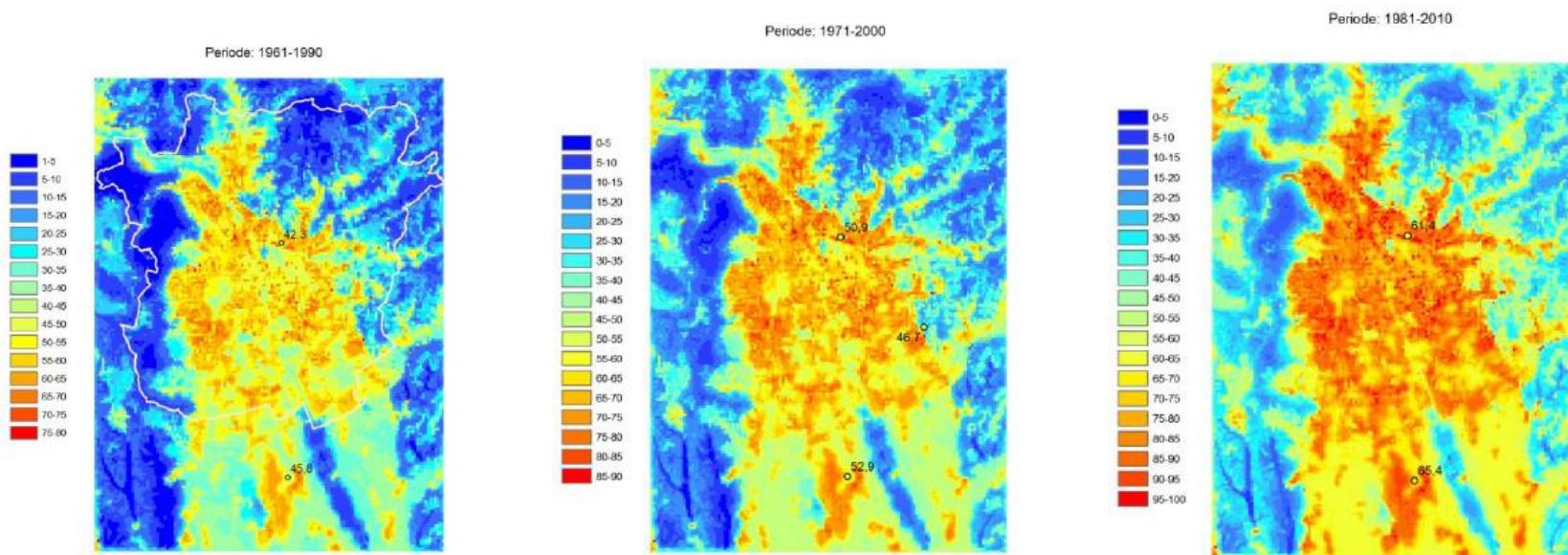
- **Bauen und Wohnen**
- **Wirtschaft und Industrie**
- **Tourismus und Freizeit**
- **Verkehrsinfrastruktur und Mobilität**
- **Energie und Versorgung**
- **Gesundheit und Soziales**
- **Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft**
- **Raumordnung/-planung**
- **Schutz vor Naturgefahren und Katastrophenmanagement**
- **Ökosysteme und Biodiversität**
- **Urbane Grünräume**

**Betrifft sämtliche  
Aktivitätsfelder!**

# 1. Hitze

Projekt „Jacky\_cool\_check“

30.11.2017  
Folie 39



# 2. Extremniederschläge/Gewitter

## Extremniederschläge in der Vergangenheit [Pistotnik]

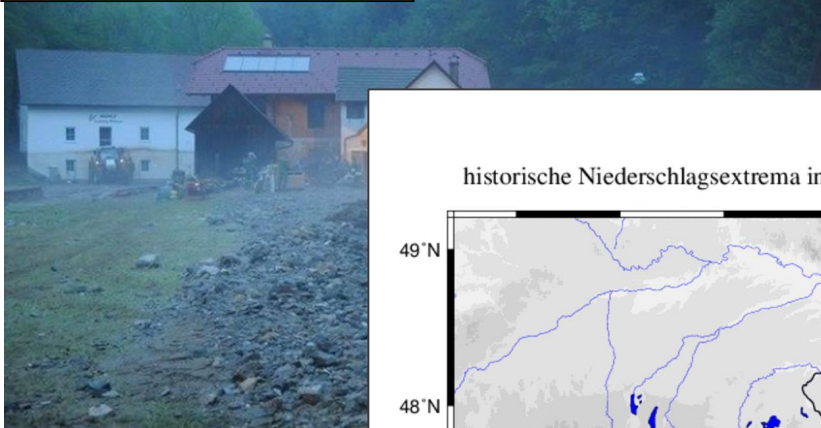
Stärkste bekannte Wolkenbrüche der Geschichte und der letzten 20 Jahre:

Ort	Datum	Max. Niederschlag [mm]	Zeit [h]	Kommentar
Stiftingtal	16.07.1913	~670	3	Hydrologische Rekonstruktion; 2 Todesopfer
Schaueregg	10.08.1915	~650	2	Hydrologische Rekonstruktion
Semmering	05.06.1947	324	7	Messung an Station des Hydrografischen Dienstes
Allerheiligen	12.08.1958	~500	8	Hydrologische Rekonstruktion; 5 Todesopfer
Weikertschlag	29.06.2006	200	5	Messung an Station des Hydrografischen Dienstes
Hollenthon	26.05.2010			1 Todesopfer
Tauchen	14.06.2010	97	1	Inoffizielle Messung an privater Station; 1 Todesopfer
Simbach (DE)	01.06.2016	161	4	Inoffizielle Messung an privater Station; 7 Todesopfer



# 2. Extremniederschläge/Gewitter

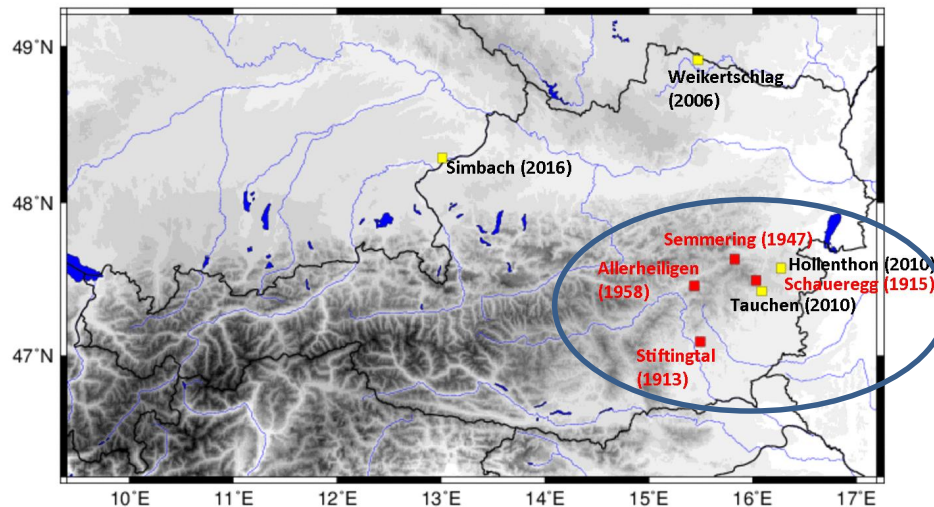
Hollenthon, 26.05.2010  
© Norbert Stangl



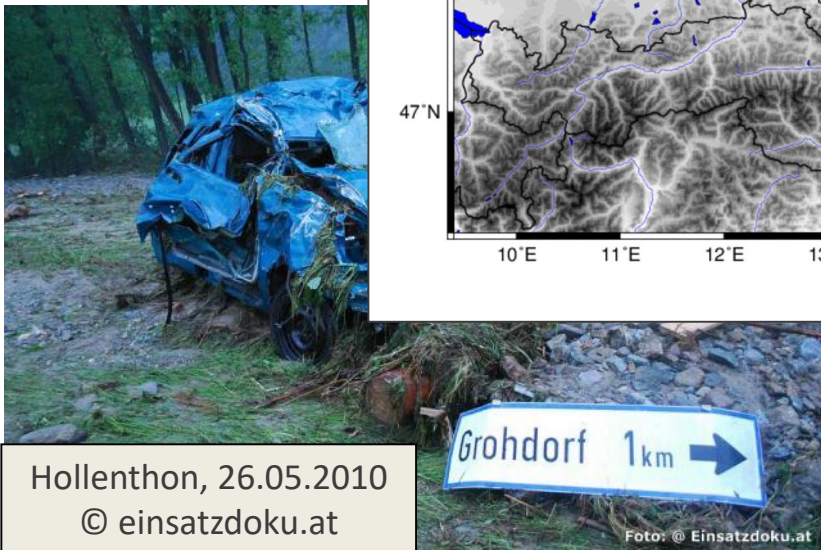
Tauchen, 14.06.2010  
© krone.at



historische Niederschlagsextrema in Österreich



Tauchen, 14.06.2010  
© FF Pinggau



Hollenthon, 26.05.2010  
© einsatzdoku.at



# 2. Extremniederschläge/Gewitter

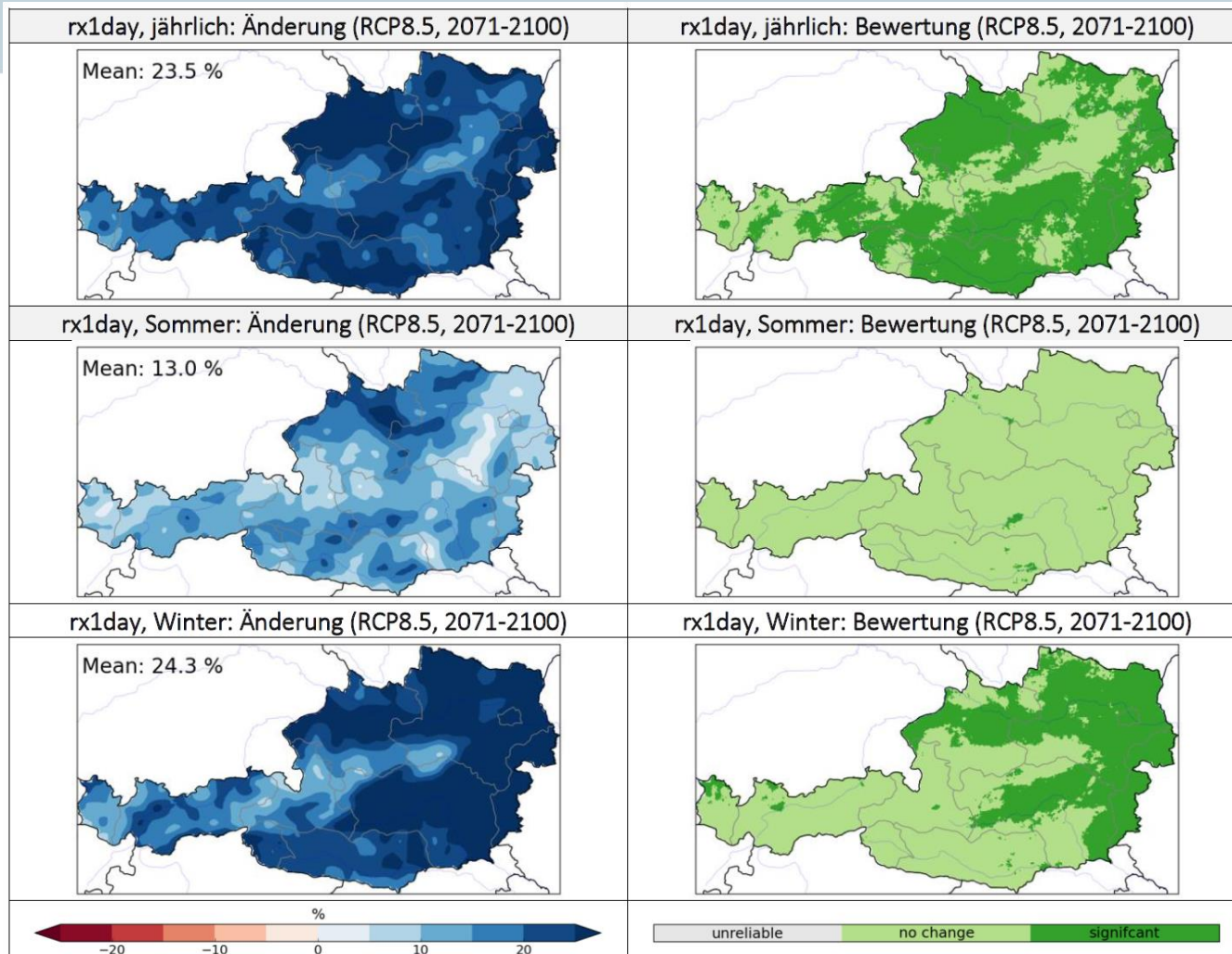
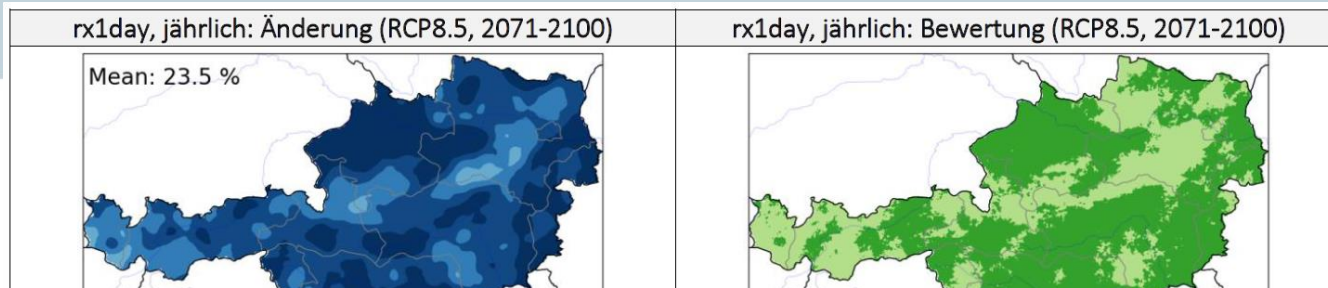


Abbildung 52: Oben: Änderung der maximalen täglichen Niederschlagsmenge in der fernen Zukunft des RCP8.5. Mitte: Änderung der maximalen täglichen Niederschlagsmenge im Sommer in der fernen Zukunft des RCP8.5. Unten: Änderung der maximalen täglichen Niederschlagsmenge im Winter in der fernen Zukunft des RCP8.5.



## 2. Extremniederschläge/Gewitter



Es wird erwartet, dass Extremniederschläge in Zukunft zunehmen. Da heute Klimamodelle derart kleinräumige Prozesse nicht gut erfassen, einige physikalische Argumente aber auf eine Zunahme hinweisen, besteht die Möglichkeit weitaus stärkerer Zunahme, als heute aus den Klimaszenarien ersichtlich ist (= mögliche unliebsame Überraschung).

Konsequenzen ergeben sich daraus für Überschwemmungen und Muren, aber auch für die Wasserqualität (Verschmutzungen) und die Bodenerosion.

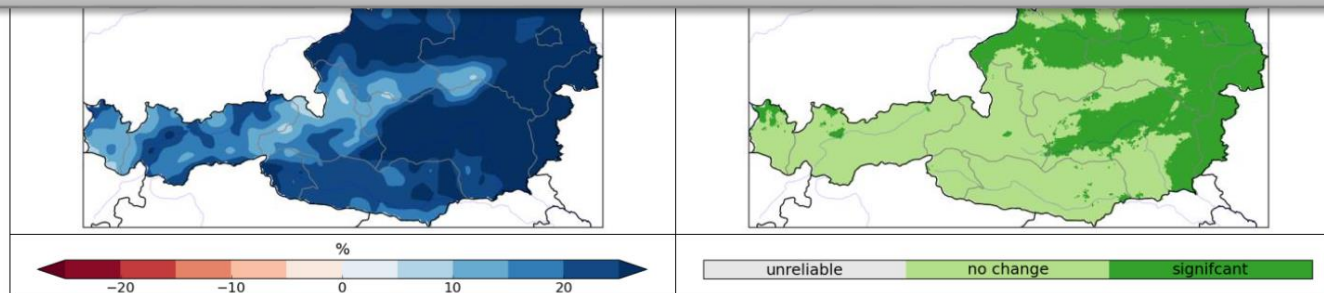


Abbildung 52: Oben: Änderung der maximalen täglichen Niederschlagsmenge in der fernen Zukunft des RCP8.5. Mitte: Änderung der maximalen täglichen Niederschlagsmenge im Sommer in der fernen Zukunft des RCP8.5. Unten: Änderung der maximalen täglichen Niederschlagsmenge im Winter in der fernen Zukunft des RCP8.5.

## 2. Extremniederschläge/Gewitter

Welche Aktivitätsfelder der Klimawandelanpassungsstrategie sind betroffen?

- **Bauen und Wohnen**
- **Wirtschaft und Industrie**
- **Tourismus und Freizeit**
- **Verkehrsinfrastruktur und Mobilität**
- **Energie und Versorgung**
- **Gesundheit und Soziales**
- **Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft**
- **Raumordnung/-planung**
- **Schutz vor Naturgefahren und Katastrophenmanagement**
- **Ökosysteme und Biodiversität**
- **Urbane Grünräume**

**Betrifft sämtliche  
Aktivitätsfelder!**

# Zusammenfassung

**Der Einfluss des Menschen auf das Klimasystem ist klar und belegbar. Weiterer globaler Temperaturanstieg auch bei ambitionierter Klimapolitik bis Mitte des Jahrhunderts gegeben.**

**Weiterer Temperaturanstieg in der Steiermark und in Graz ist zu erwarten.**

**Auswirkungen auf die Niederschlagsmengen unsicher – Tendenz zu mehr Niederschlag im Winter!**

**Im Sommer keine signifikante Änderung der Gesamtniederschlagsmengen – aber Tendenz zu selteneren und stärkeren Niederschlägen!**

# Weiterführende Literatur



**Klimaszenarien für die Steiermark bis 2100 ÖKS15:**  
<http://www.technik.steiermark.at/cms/ziel/132190538/DE/>



**Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014:**  
<http://hw.oeaw.ac.at/7699-2>



**Danke für die  
Aufmerksamkeit!**