

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Witterungsbedingte Extreme als besondere Herausforderung!



Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

I Raum- und Zeitskalen (Maßstäbigkeit von Klimainformationen)

„Jede Änderung im Energiehaushalt des Planeten Erde muss zu regional unterschiedlichen Klimaänderungen führen, weil ...

Ozean- und Landoberflächen regional sehr stark unterschiedliche Änderungen im Energiehaushalt zeigen, worauf wiederum ...

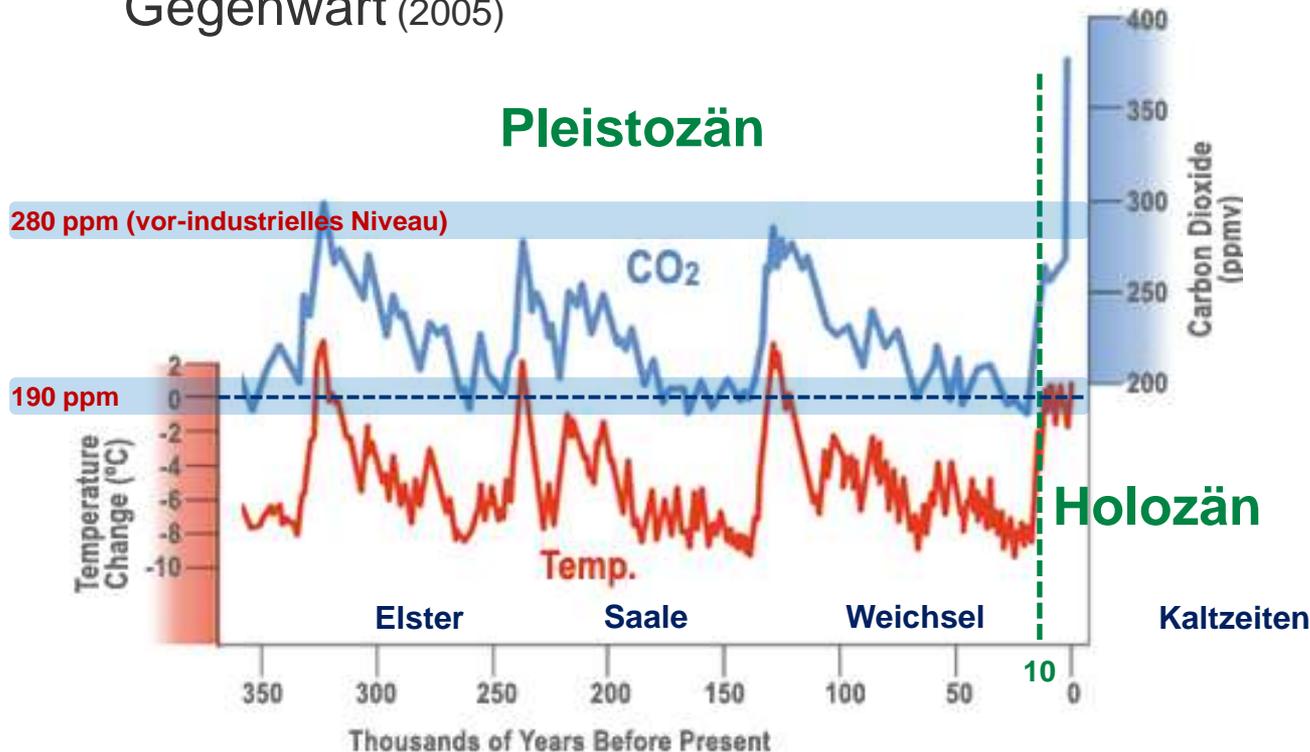
die allgemeine Zirkulation in Atmosphäre und im Ozean mit Zeitskalen von Stunden bis einigen Jahrhunderten reagieren.

Klima ändert sich also immer, die Frage ist nur wie schnell.,, (Graßl, 2016)

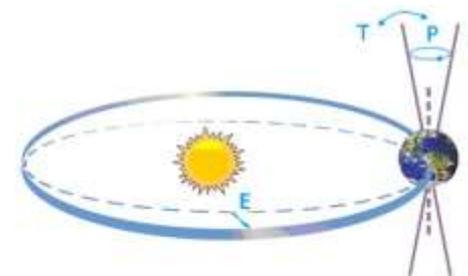
Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

- CO₂-Konzentration & Temperaturänderungen, 350.000 v.H. bis Gegenwart (2005)



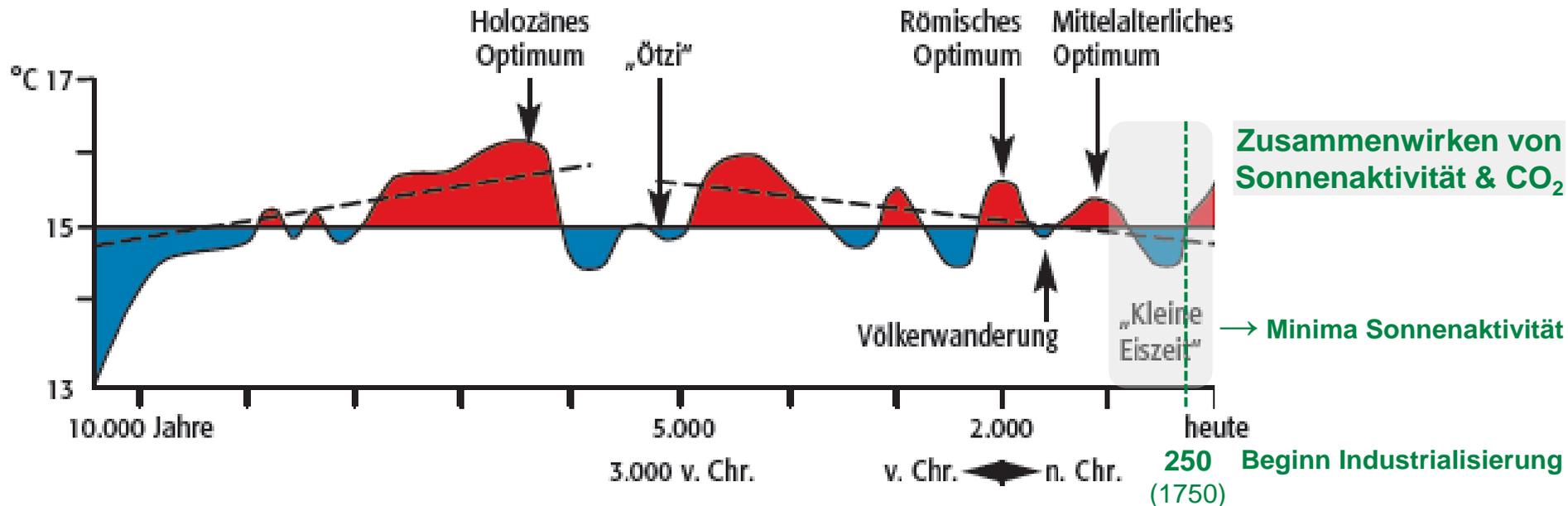
Milankovitch-Zyklen



Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

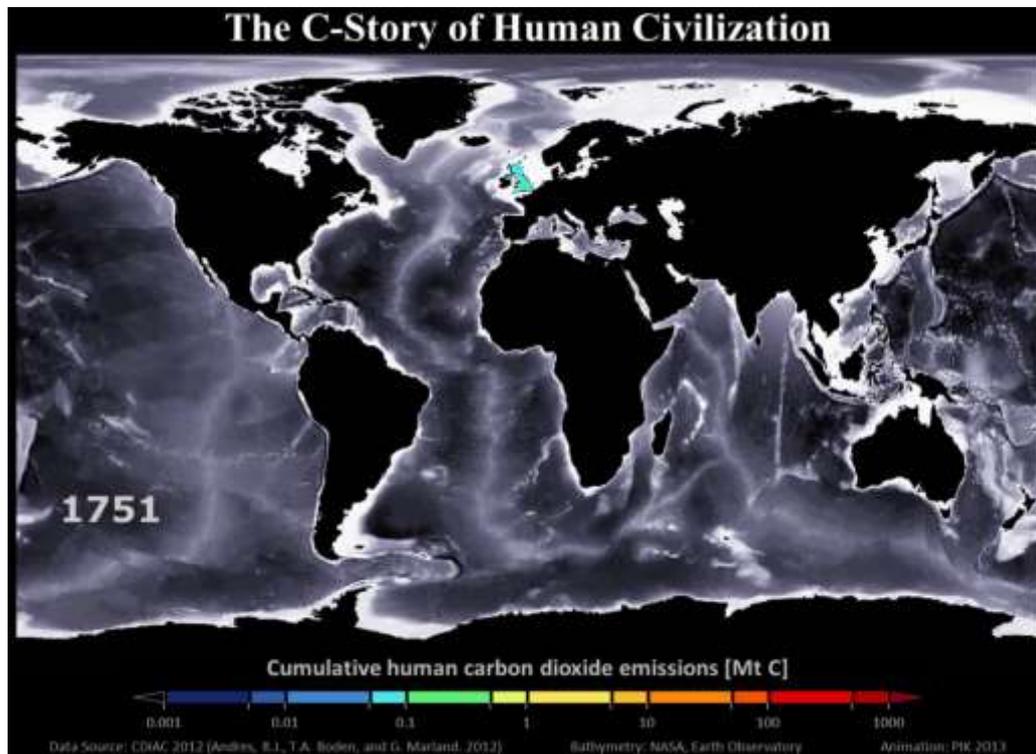
Temperaturänderungen im Holozän, 10.000 v.H. bis Gegenwart



Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

CO₂-Emissionen, 1751-2009 (kumulativ)

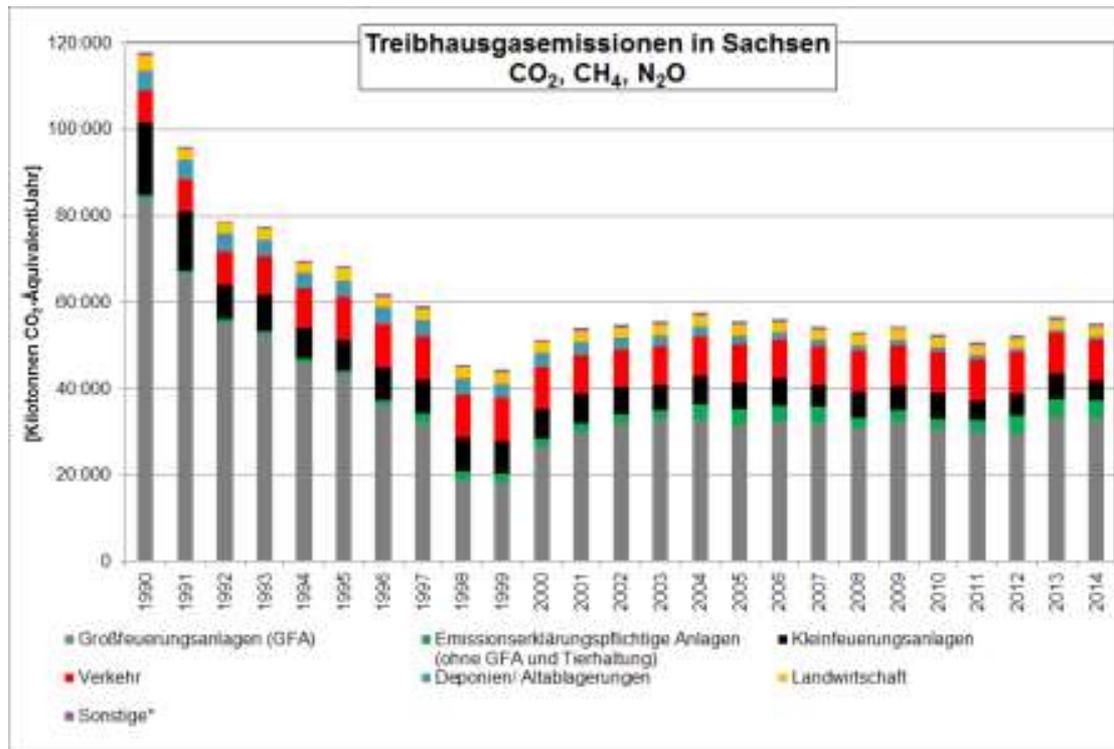


Quelle: PIK (2013)

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

Treibhausgas-Emissionen – Sachsen, 2014 (vs. 1990)

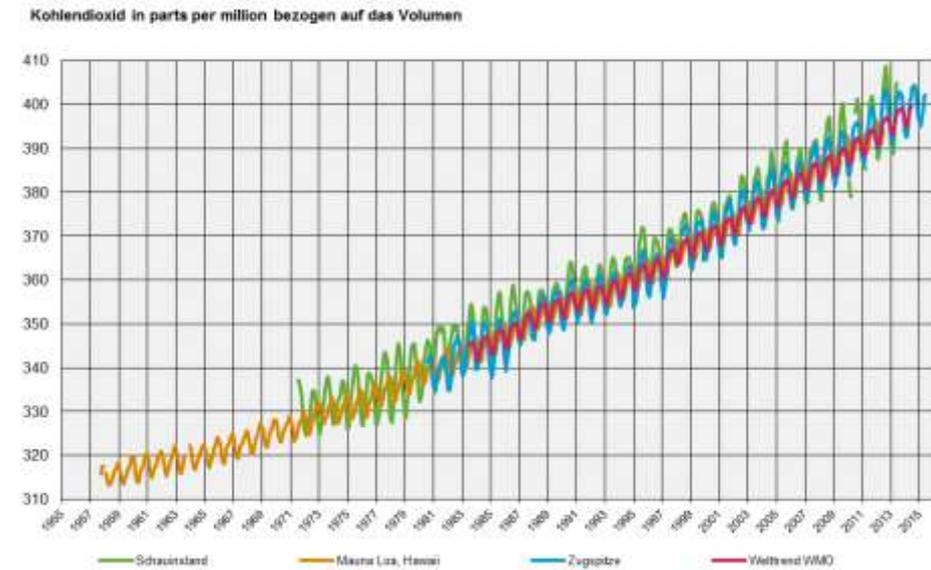


Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

CO₂-Konzentration, 1958-2015/16

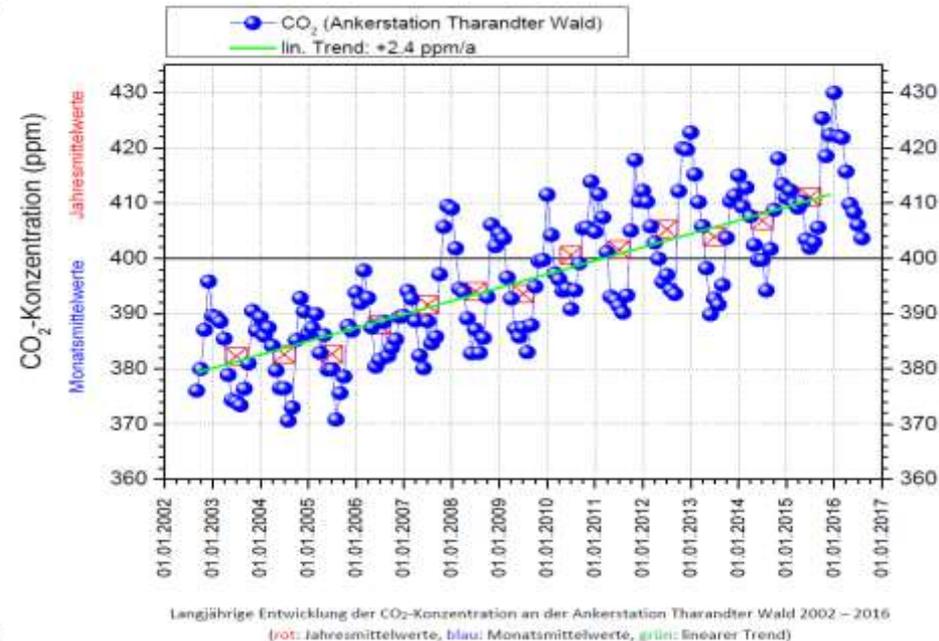
Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre (Monatssmittel)



11 ppmV = 10⁻⁶ = 1 Teil pro Million = 0.001 % angegeben als Molstruck

Quelle: Umweltbundesamt (Schauinsland, Zugspitze), NOAA Global Monitoring Division and Scripps Institution of Oceanography (Mauna Loa, Hawaii), World Meteorological Organization, WDCGG, World Trend

Quelle: UBA (04/2016)

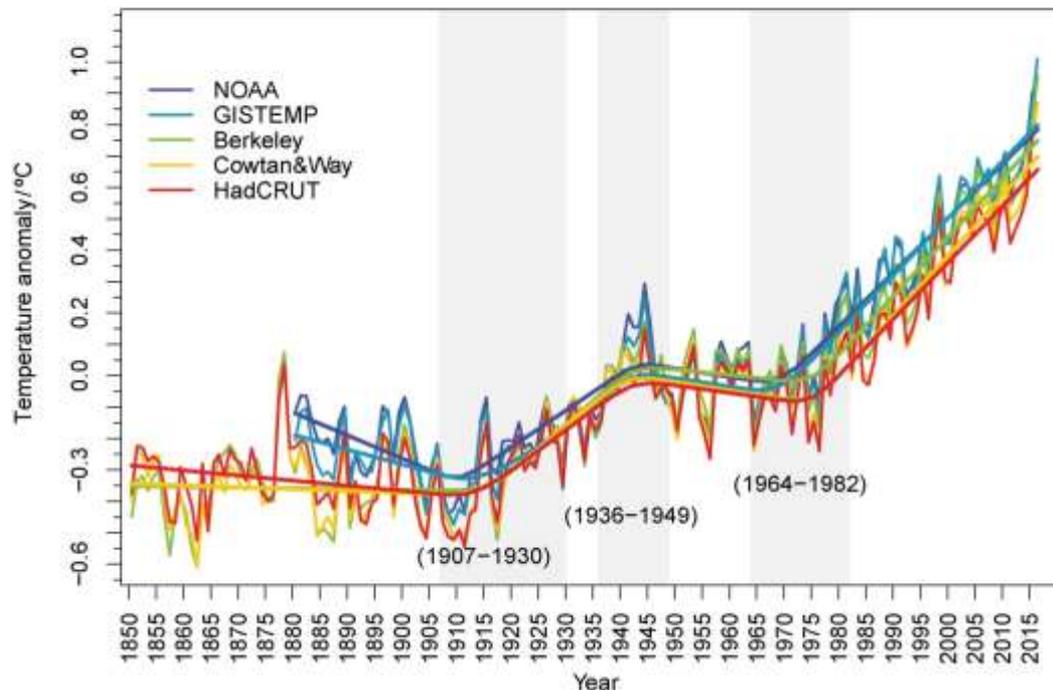


Quelle: TU Dresden,
Professur Meteorologie (09/2016)

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

■ Globale Jahresmittel der Lufttemperatur, 1850-2015 (Δ in $^{\circ}\text{C}$ bzw. K)



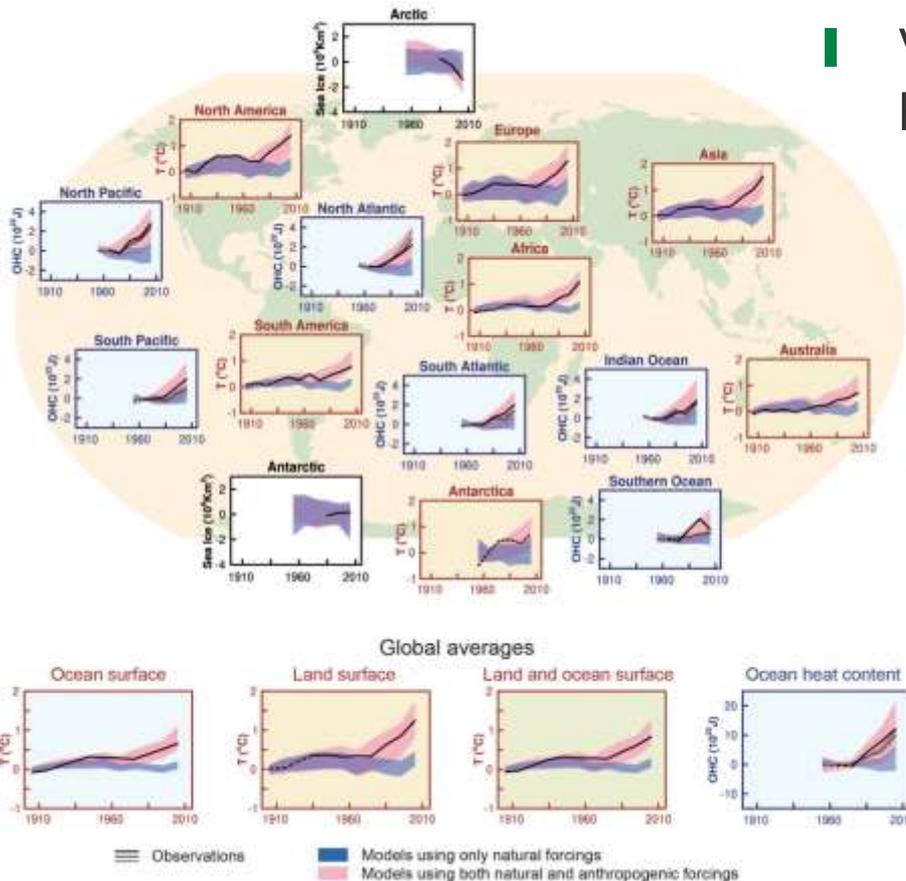
Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

Vergleich beobachteter und simulierter Klimawandel

Indikatoren:

- Temperatur (Atmosphäre)
- Meereis (Kryosphäre)
- Wärmegehalt Ozean (Hydrosphäre)



Quelle: IPCC, 2013:
Summary for Policymakers

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Systematik

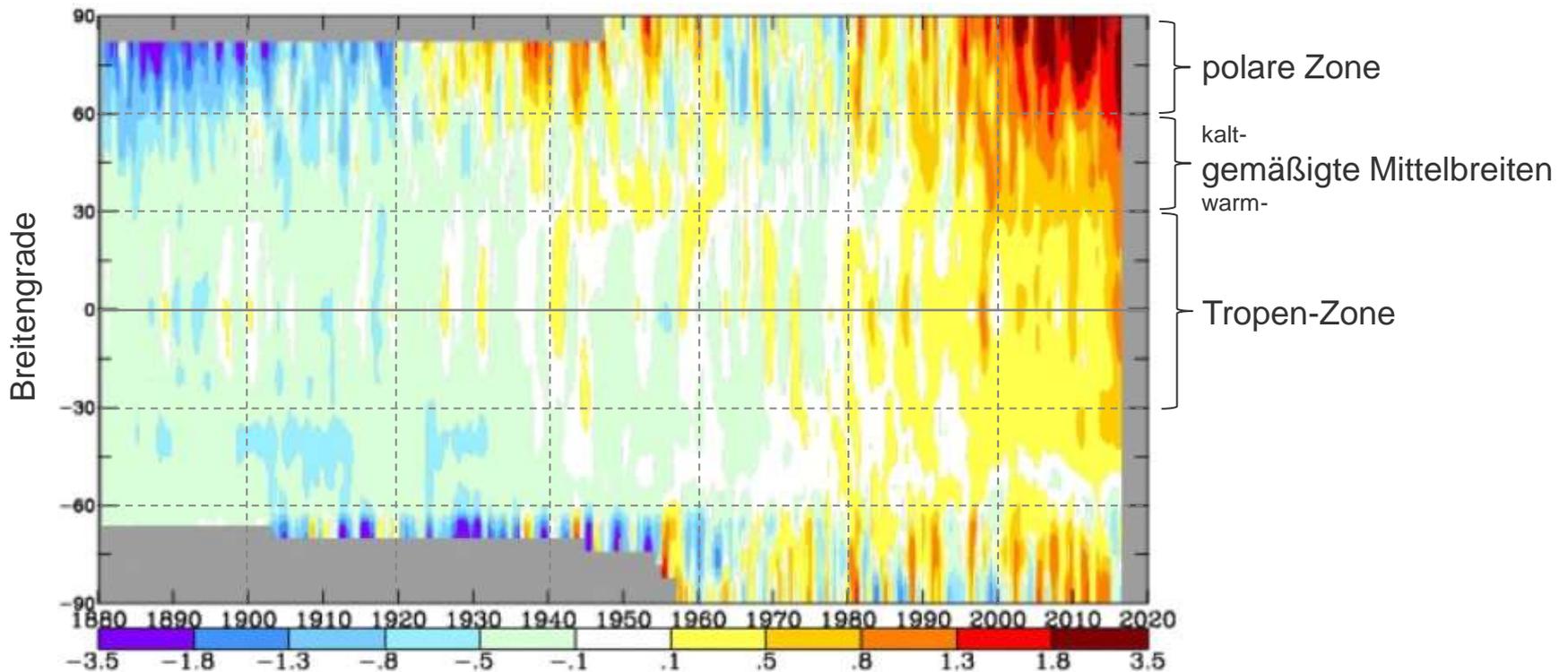
I Klimaänderung vs. Klimaschwankung

- 30jähriger Mittelungszeitraum → **Klimanormalperioden** (Änderungen)
 - Referenzperiode: 1961-1990 zur Bewertung des langfristigen Klimawandels festgelegt (WMO, 2014)
 - Bezugsperiode: 1981-2010 (10jährige Fortschreibung: 1991-2020, ...)
- 10jähriger Mittelungszeitraum → **Dekaden** (Schwankungen)
 - 1961-1970, ... , 2001-2010, ...

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

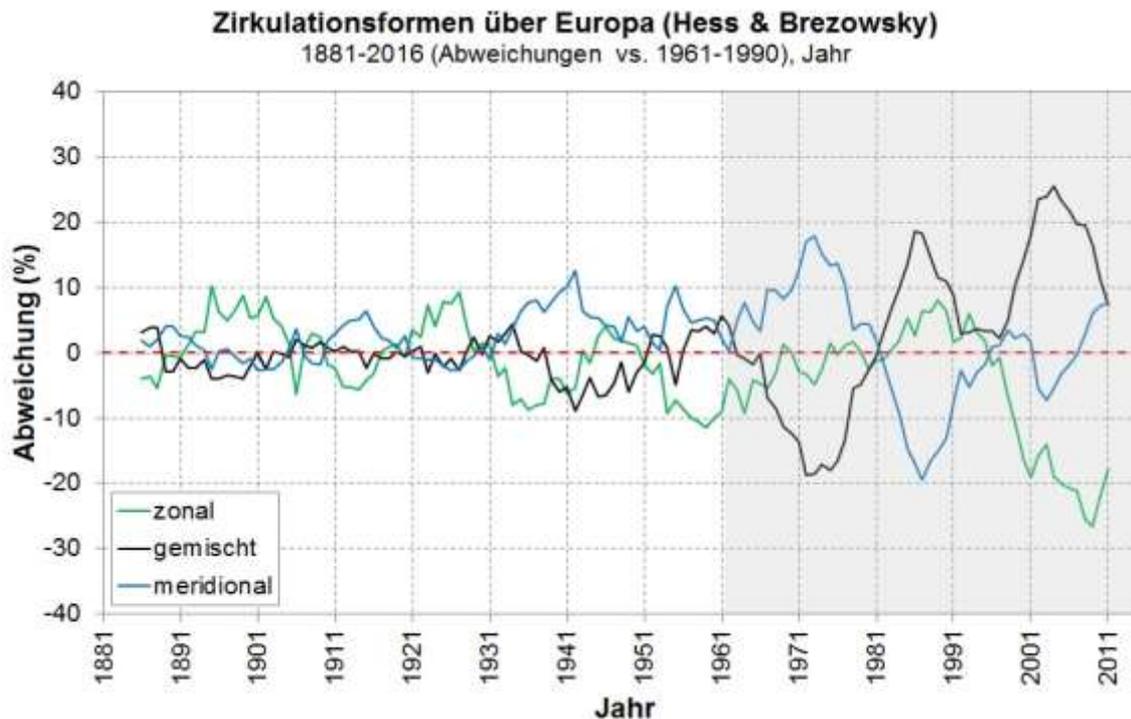
Zonale Jahresmittel der Lufttemperatur, 1881-2016 (Δ vs. 1961/90)



Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

Zirkulationsformen über Europa, 1881-2016 (Δ vs. 1961/90), Jahr



Modifizierungen in der atmosphärischen Zirkulation:

- Auftreten (s. Abb.)
- Persistenz
- Charakteristik

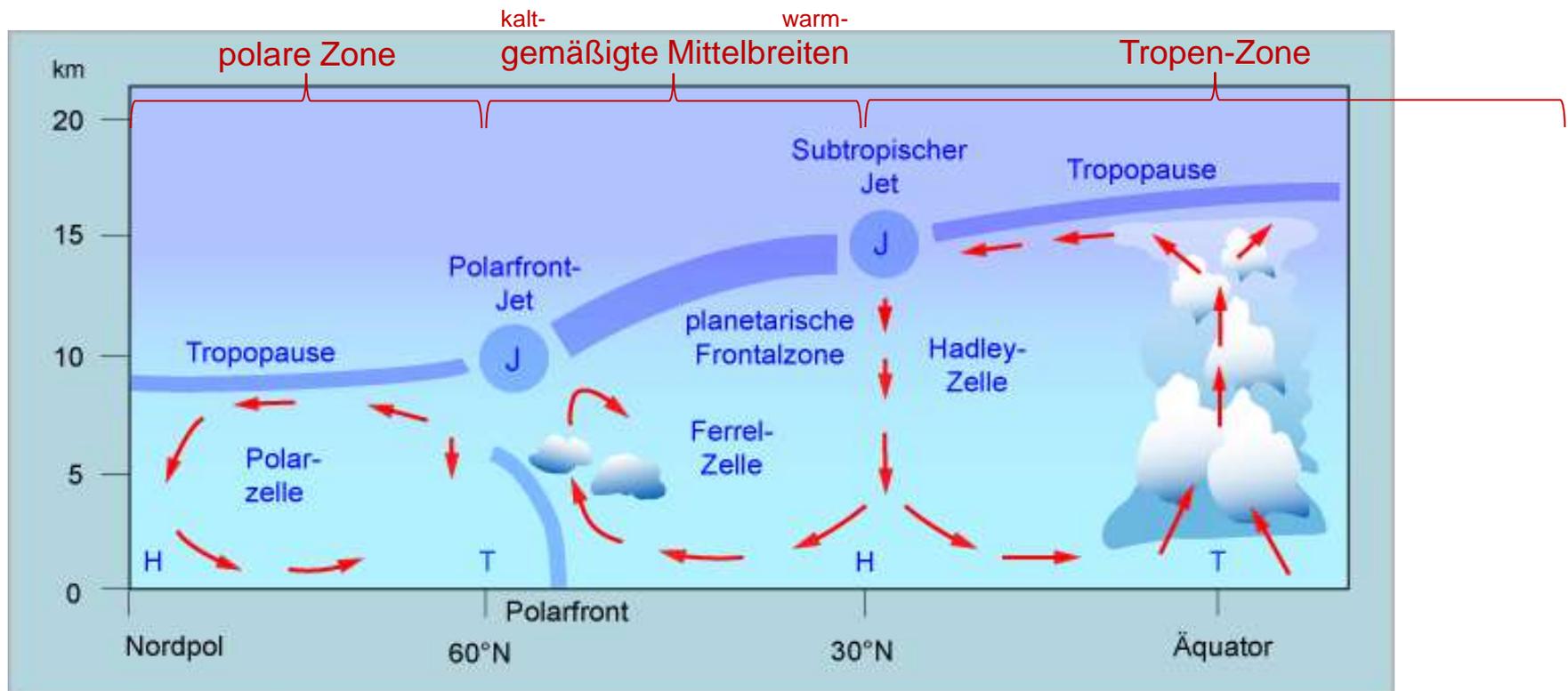
👉 ozeanische Zirkulation 👈

Daten: Deutscher Wetterdienst, 2017

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

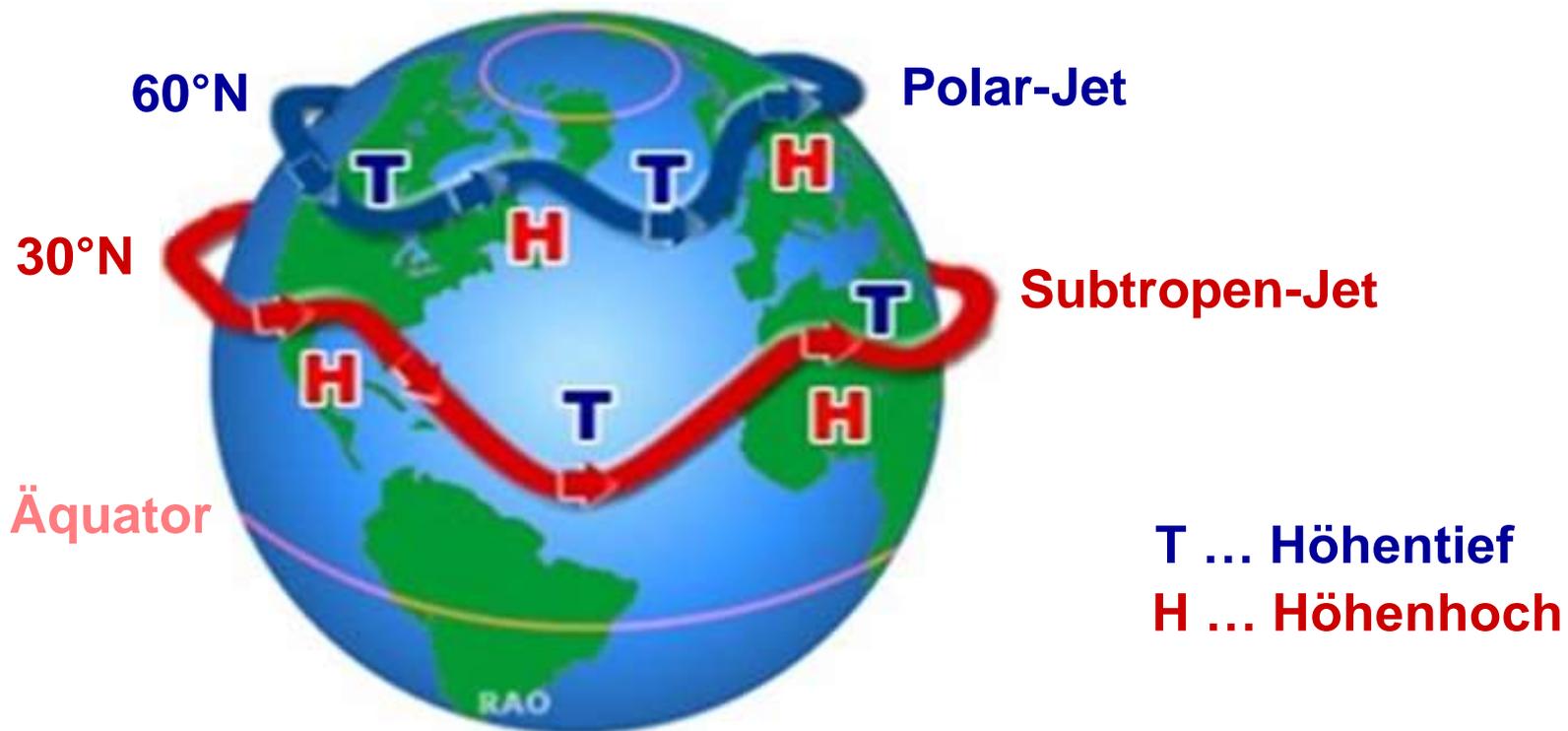
Atmosphärische Zirkulation (schematisch)



Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

Jetstream (Starkwindband)

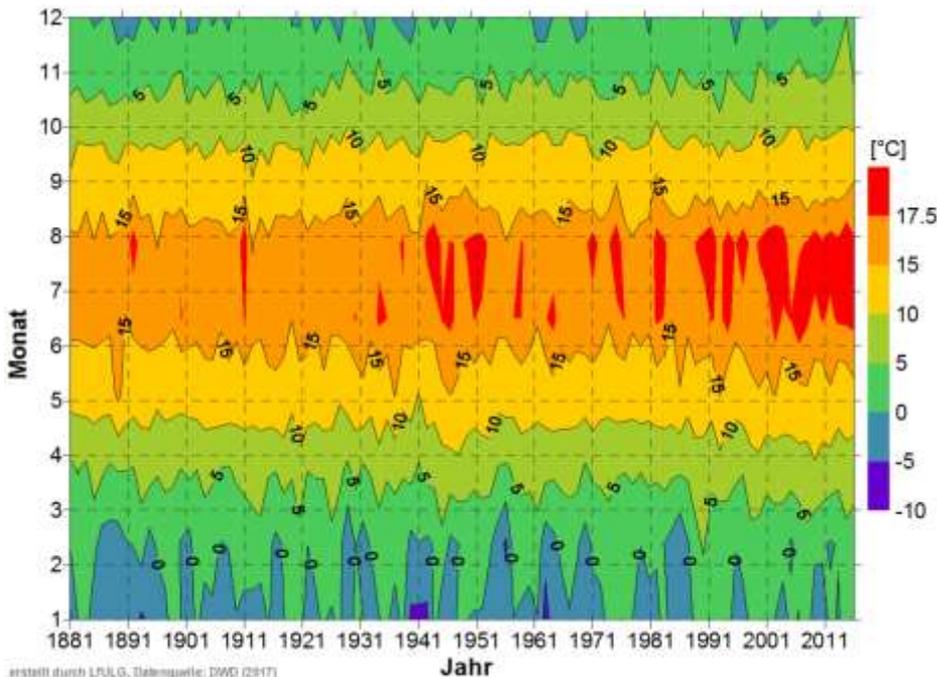


Quelle: RAOnline

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

Lufttemperatur – Sachsen, 1881-2016, Monatsmittel (°C)

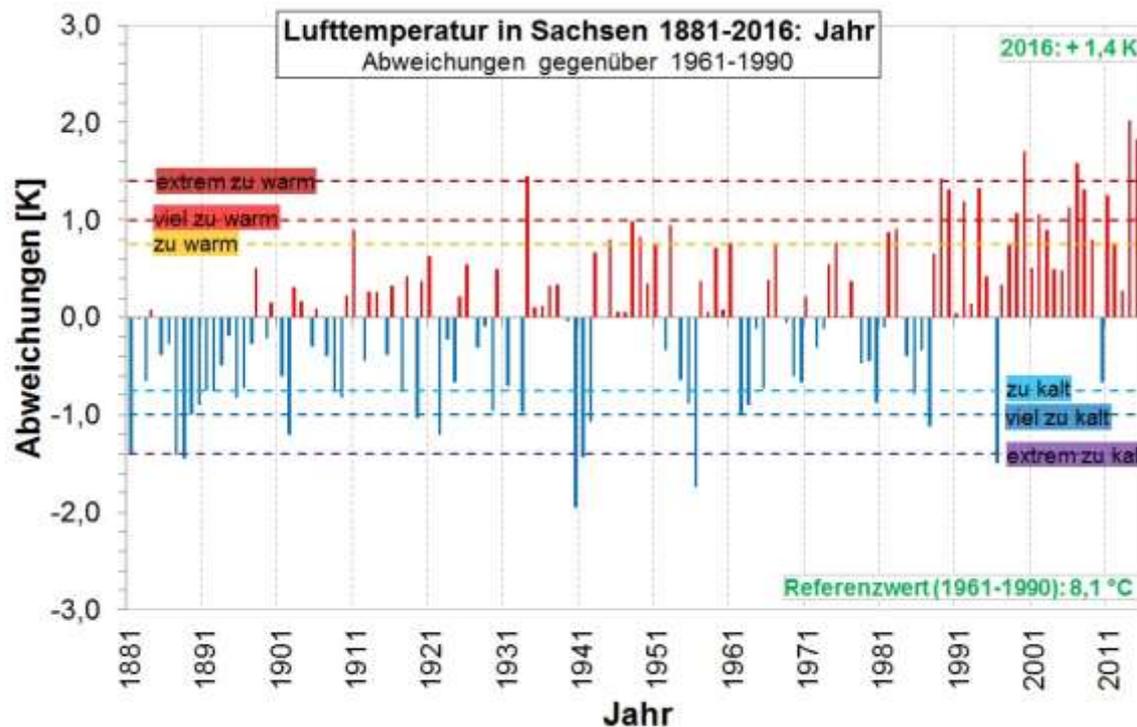


- Bereiche der Temperaturverteilung:
 - oberer → Sommertage
($T_{\max} > 25\text{ °C}$)
 - mittlerer → Jahresmittel
 - unterer → Frosttage
($T_{\min} < 0\text{ °C}$)

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

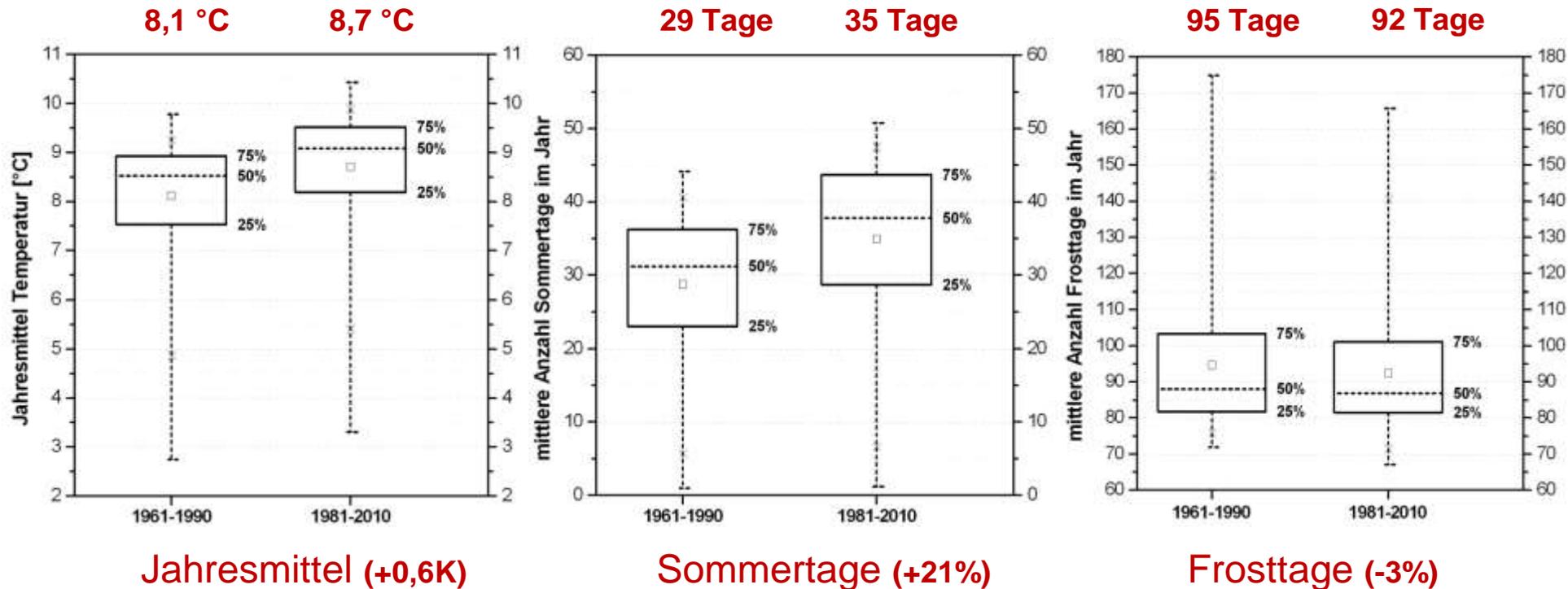
Lufttemperatur – Sachsen, 1881-2016 (Δ vs. 1961/90), Jahresmittel



Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

Klimanormalperioden (Änderung)



Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

I Dekaden (Schwankungen)

Klimaelement/ -größe	Abweichungen vs. 1961-1990				
	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010
<i>Jahr (Jan-Dez):</i>					
Lufttemperatur (K)	-0,2	0	+0,3	+0,6	+0,8
	7,9 °C	8,1 °C	8,4 °C	8,7 °C	8,9 °C
Sommertage (%)	+3	-10	+3	+24	+34
	30 d	26 d	30 d	36 d	39 d
Frosttage (%)	+5	-2	-4	-3	0
	100 d	93 d	91 d	92 d	95 d

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

I Statement zur Entwicklung der Winter

- Ursache
 - überproportionaler Temperaturanstieg in Arktis führt zur Abschwächung der Westwinddrift (zonale Zirkulation)
 - winterliche Kontinentalhochs können häufiger wirksam werden, deren genaue Lage den tatsächlichen Verlauf unserer Winter bestimmen
- Wirkung
 - tendenzielle Schwankungszunahme ("von-Jahr-zu-Jahr", dekadisch)



Quelle: RAOnline

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

I Kernaussagen bis hierher

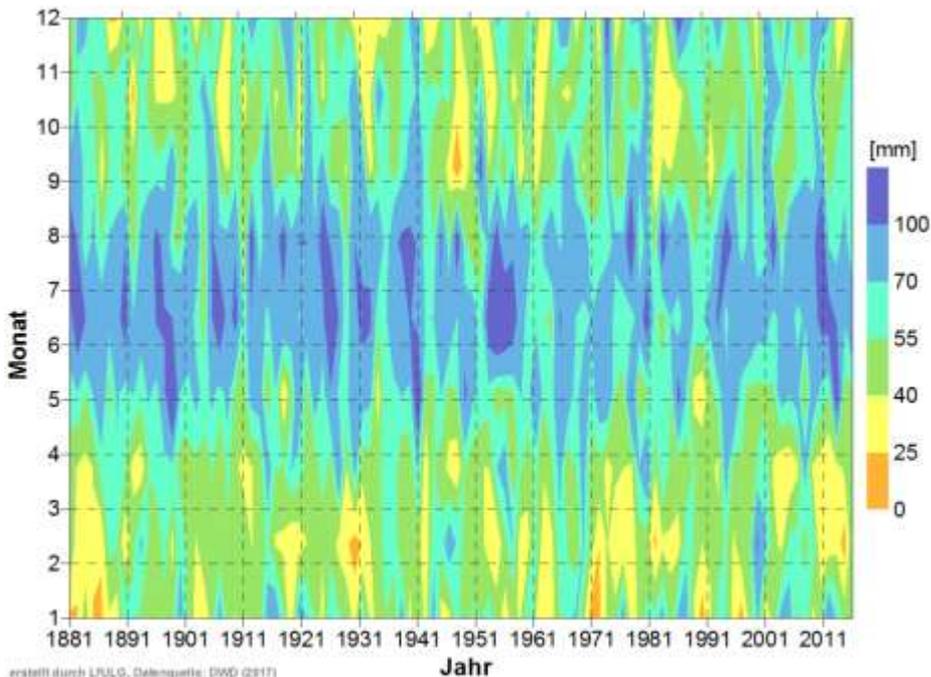
- Die regionale Klimaentwicklung seit den 1960er Jahren zeigt eine **hohe natürliche Variabilität**, die aber zunehmend von mittleren Trends der **Erwärmung überlagert** ist, was komplexe Auswirkungen zur Folge hat!
- Ursachen dafür sind **Änderungen** in der **atmosphärischen und ozeanischen Zirkulation** als Folge des globalen Temperaturanstieges!
- Umfangreiche Untersuchungen haben ergeben, dass der Klimawandel mit dem **Risiko** einer Zunahme **witterungsbedingter Extreme** einhergeht, die aber nur mit besonderen Verfahren erkennbar werden!

Herausforderung → von «aus dem Bauch» zu «aus dem Zahlenwerk» und das beginnt mit «Zahlenwerk» und meint eine **konsistente klimatologische Datengrundlage!**

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

■ Niederschlag – Sachsen, 1881-2016, Monatssummen (mm)



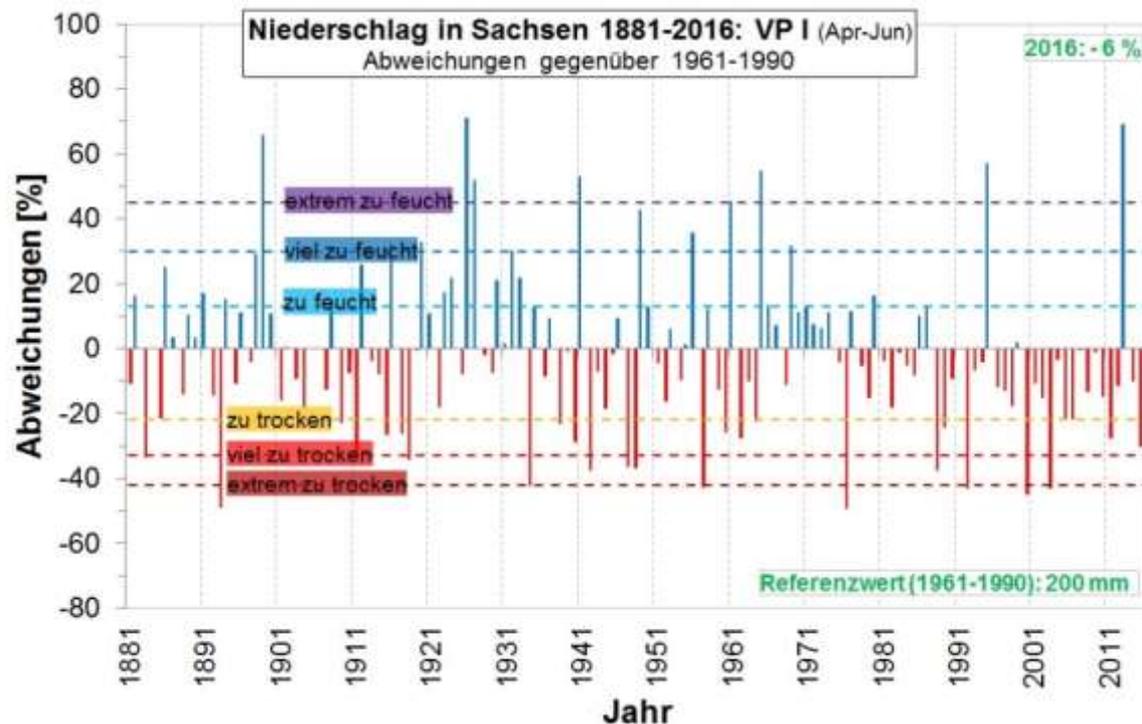
erstellt durch LfULG, Datenquelle: DWD (2017)

- Bereiche der Niederschlagsverteilung:
 - oberer → «Starkregen»
(R90p, R95p)
 - mittlerer → mittlere Summen
 - unterer → «Trockenheit»
(SPEI)

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

■ Niederschlag – Sachsen, 1881-2016 (Δ vs. 1961/90), Vegetationsperiode I



Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

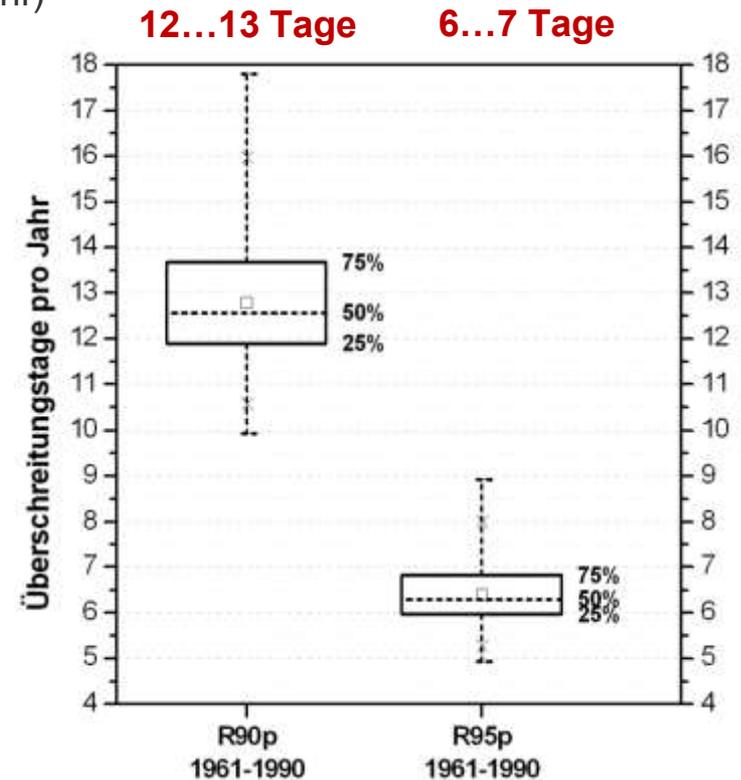
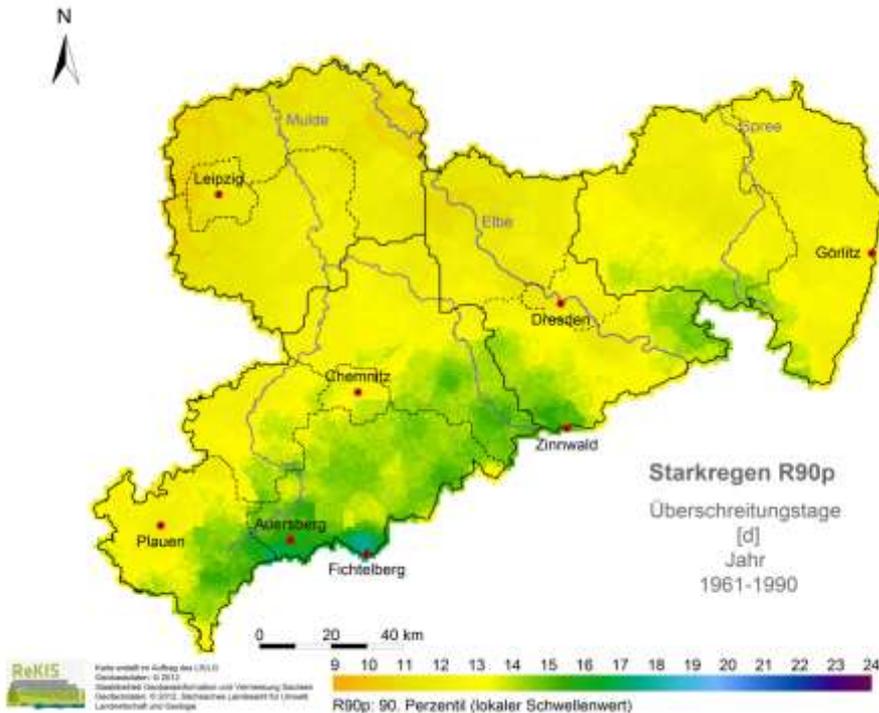
I Klimanormalperioden (Änderung), Dekaden (Schwankungen)

Klimaelement/ -größe	Klimanormalperioden		Abweichungen (%) vs. 1961-1990		
	1961-1990	1981-2010	1981-2010	1991-2000	2001-2010
<i>Vegetationsperiode I (Apr-Jun):</i>					
Niederschlag (mm)	215	190	-12	-7	-16
				200 mm	180 mm
<i>Vegetationsperiode II (Jul-Sep):</i>					
Niederschlag (mm)	215	240	+12	+12	+26
				240 mm	270 mm

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

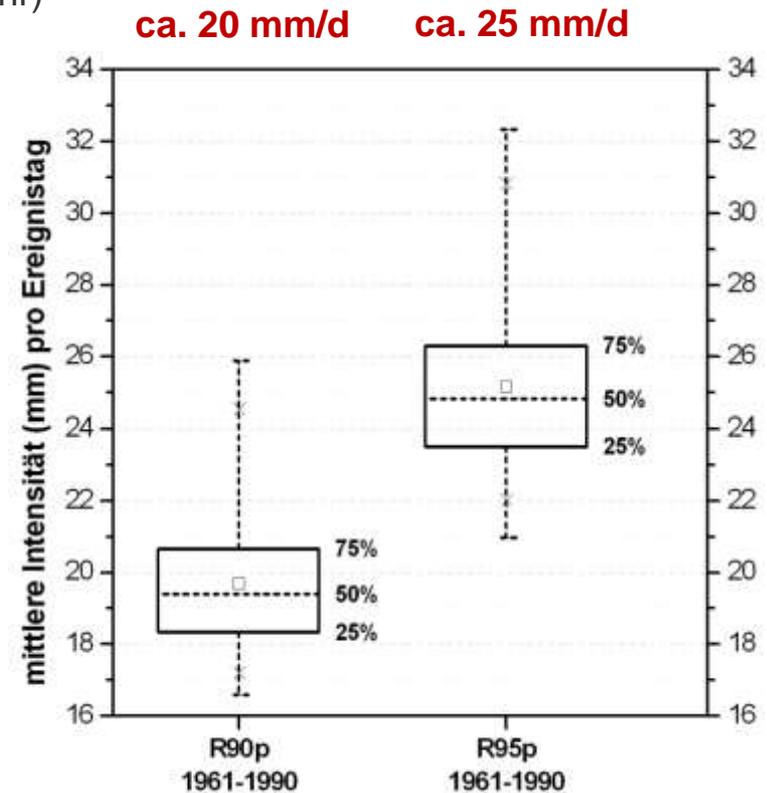
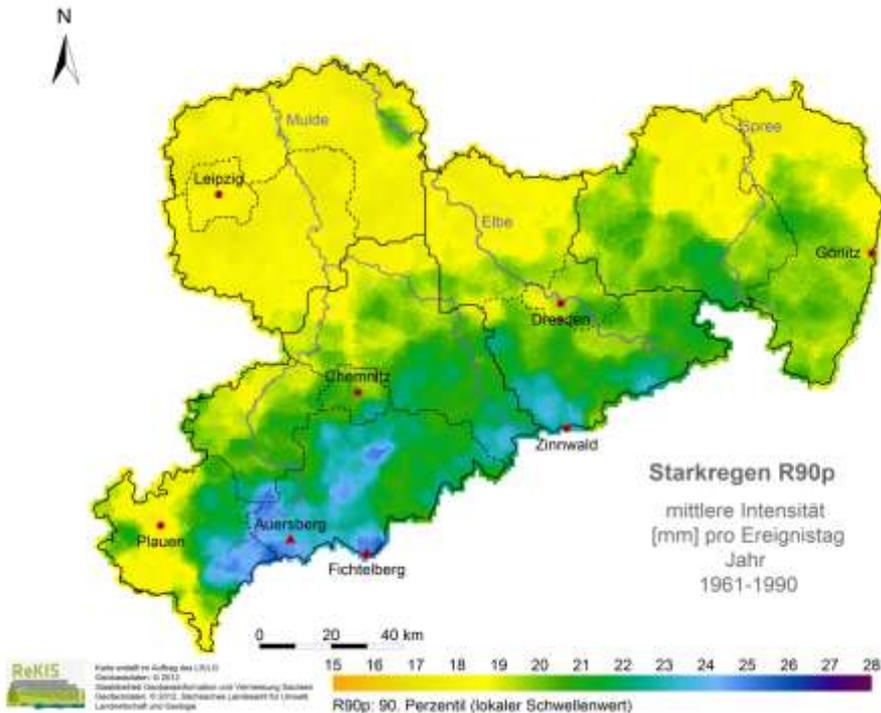
«Starkregen» - Auftreten, 1961-1990 (Jahr)



Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

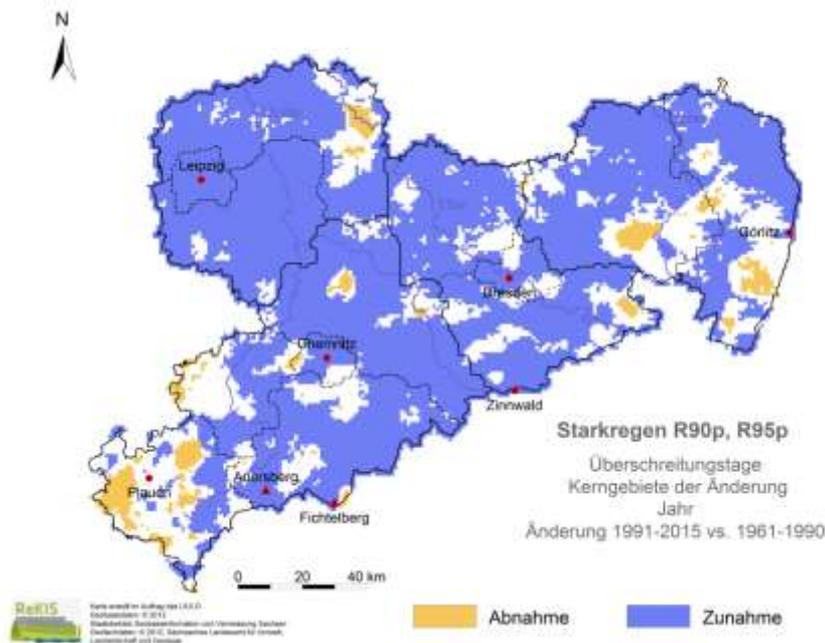
«Starkregen» - Intensität, 1961-1990 (Jahr)



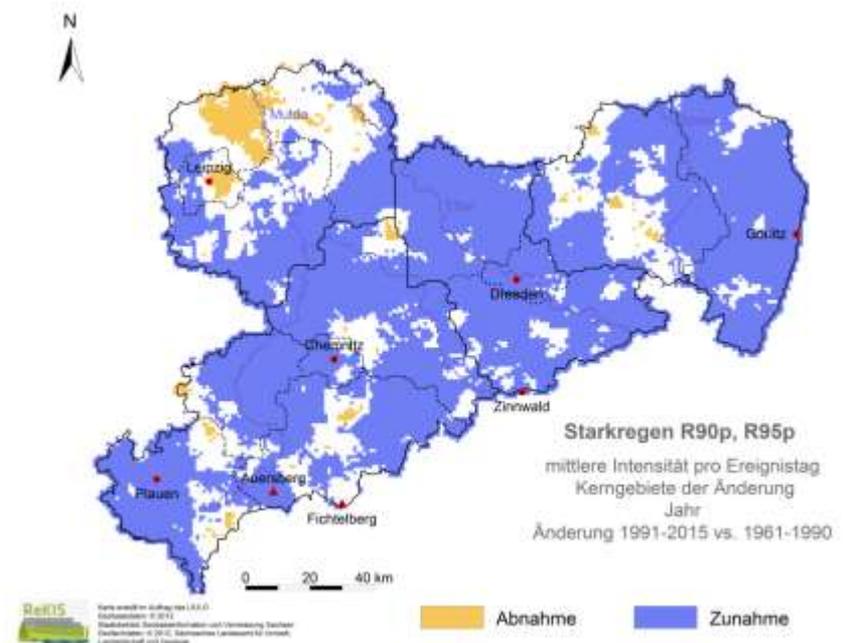
Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

«Starkregen» - Auftreten & Intensität, 1991-2015 (Δ vs. 1961/90), Jahr



Auftreten (R90p, R95p)



Intensität (R90p, R95p)

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

«Starkregen» - Auftreten & Intensität, 1991-2015 (Δ vs. 1961/90), Jahr

	Auftretenshäufigkeit	Intensität
<i>Flächenanteile Zunahmen / Abnahmen (%) für Kerngebiete (R90p, R95p):</i>		
Sachsen	71 / 4	71 / 3
PR Leipzig-West Sachsen	87 / 2	44 / 12
PR Oberlausitz-Niederschlesien	65 / 5	76 / 1
PR Oberes Elbtal/Ostertagebirge	75 / 1	91 / 0
PR Chemnitz	64 / 6	74 / 2

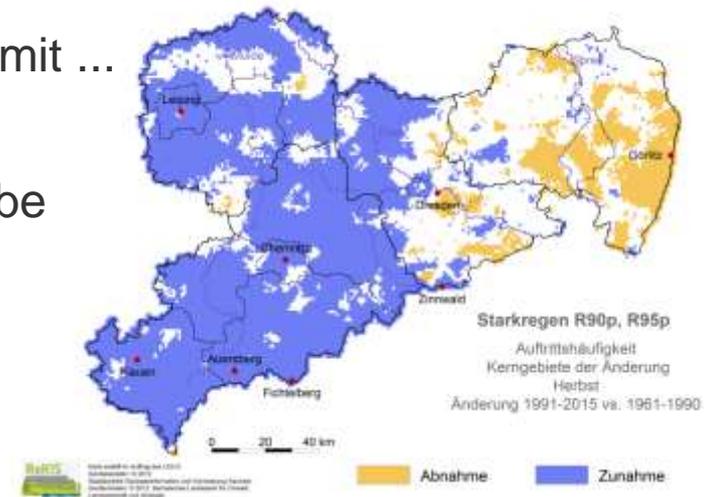


Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

■ «Starkregen» - Auftreten, 1991-2015 (Δ vs. 1961/90), Jahreszeiten

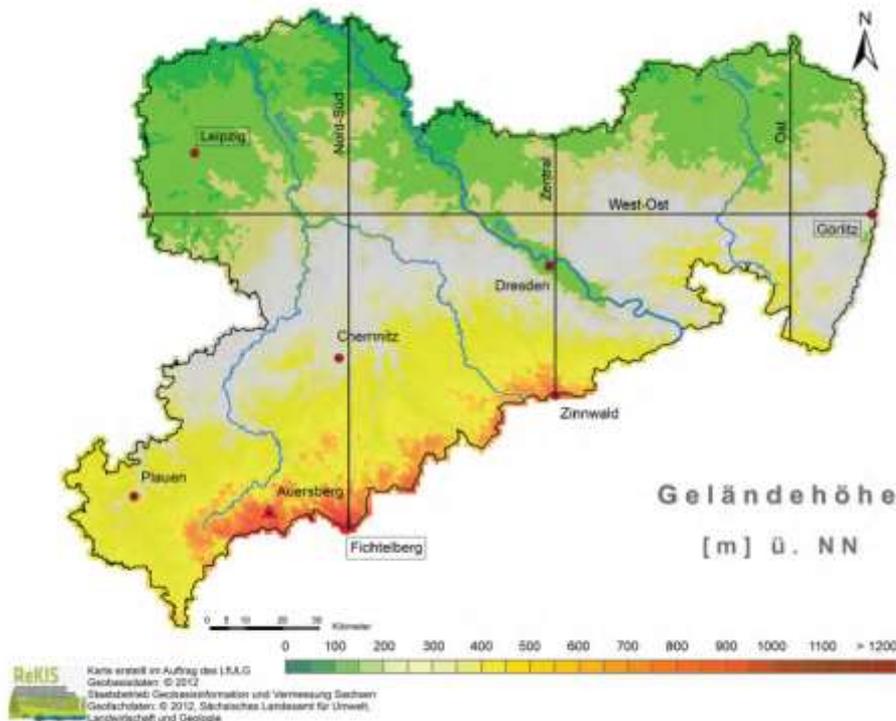
- Frühjahr/ VP I: weitgehend flächendeckende Abnahmen
- Sommer/ VP II: weitgehend flächendeckende Zunahmen
- Herbst: deutliche Zweiteilung Sachsens, mit ...
 - häufigeren westlich und ...
 - selteneren Ereignissen östlich der Elbe
- Winter: stark heterogene Raumstruktur



Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

«Starkregen» - zeitlicher Verlauf des Auftretens, 1961 bis 2015



Transekte:

West-Ost (Görlitz)

Nord-Süd (Fichtelberg)

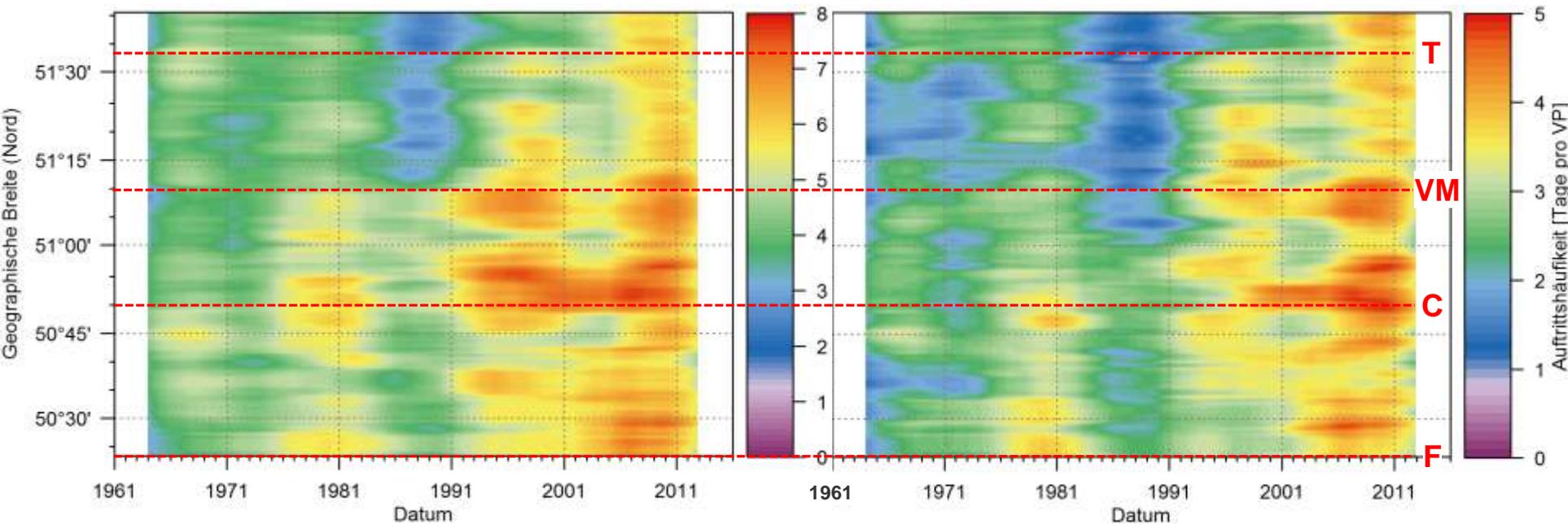
Zentral (Zinnwald)

Ost (Löbau)

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

■ «Starkregen» - Auftreten, 1961 bis 2015 (VP II) → Transekt "Nord-Süd"



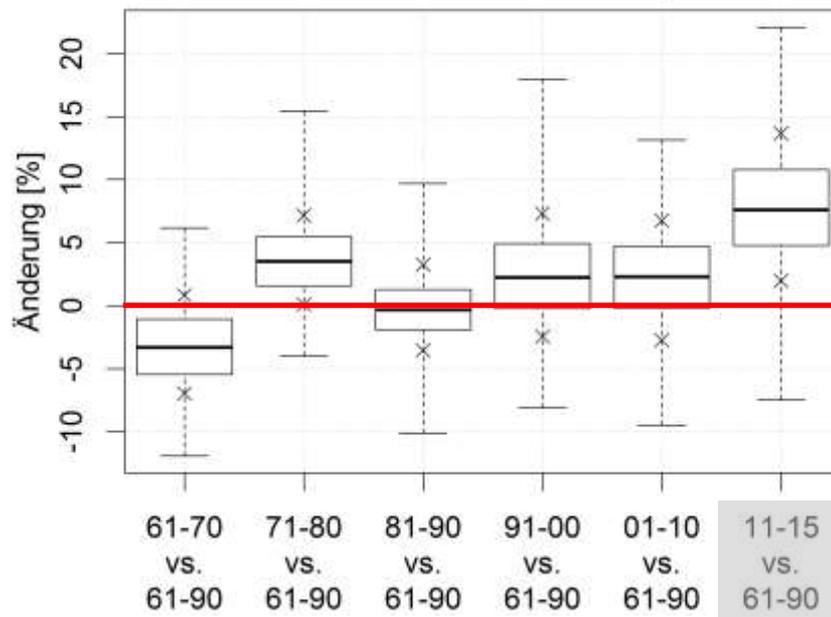
Ereignisse R90p

Ereignisse R95p

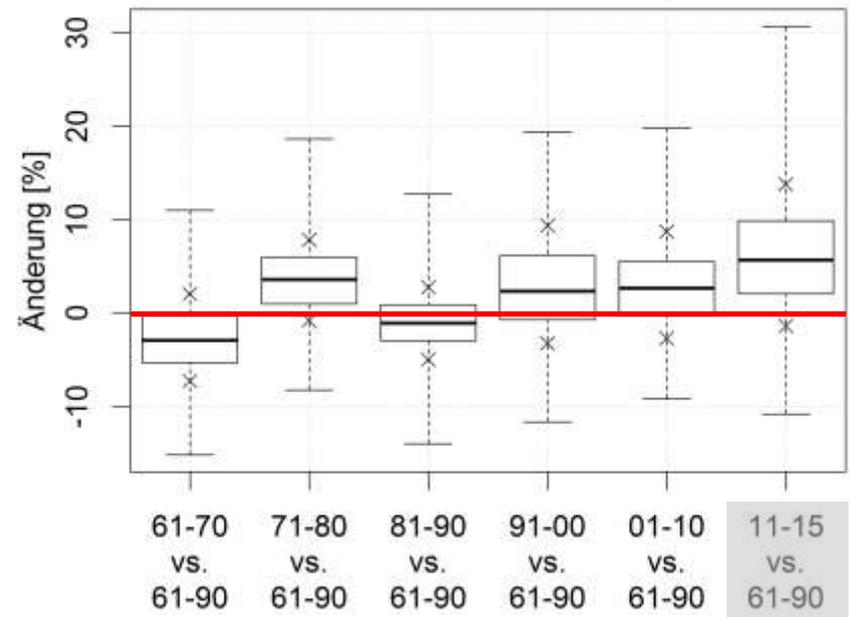
Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

«Starkregen» - Intensität, Dekaden (Δ vs. 1961/90), Jahr



Ereignisse R90p



Ereignisse R95p

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

I «Starkregen» - Fazit

- überwiegende **Zunahme** der **Auftretenshäufigkeit** und mittleren **Intensität** mit Bezug zum Jahr
- **Differenzierungen** zwischen den **Jahreszeiten** und Region
- **Zunahmen** insbesondere während der **Sommermonate** → geht hier mit einer erhöhten Hitzebelastung einher!

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

Einfluss der Witterung auf das Wohlbefinden (Temperatur, Feuchte)

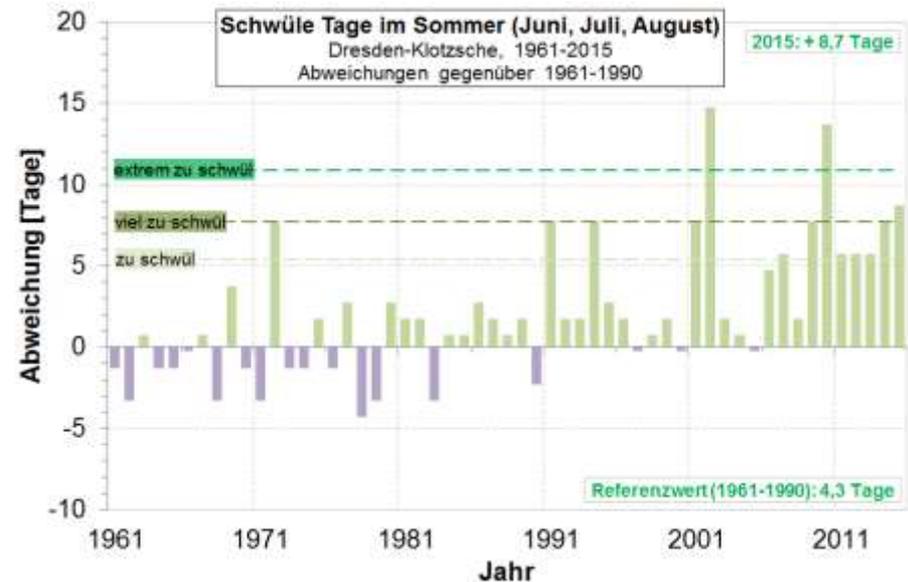
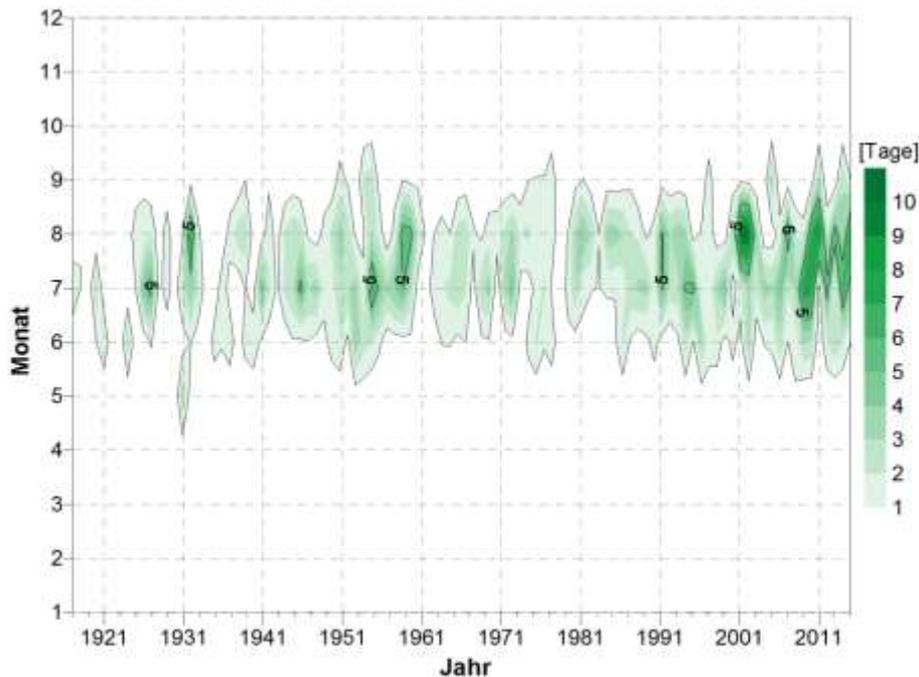
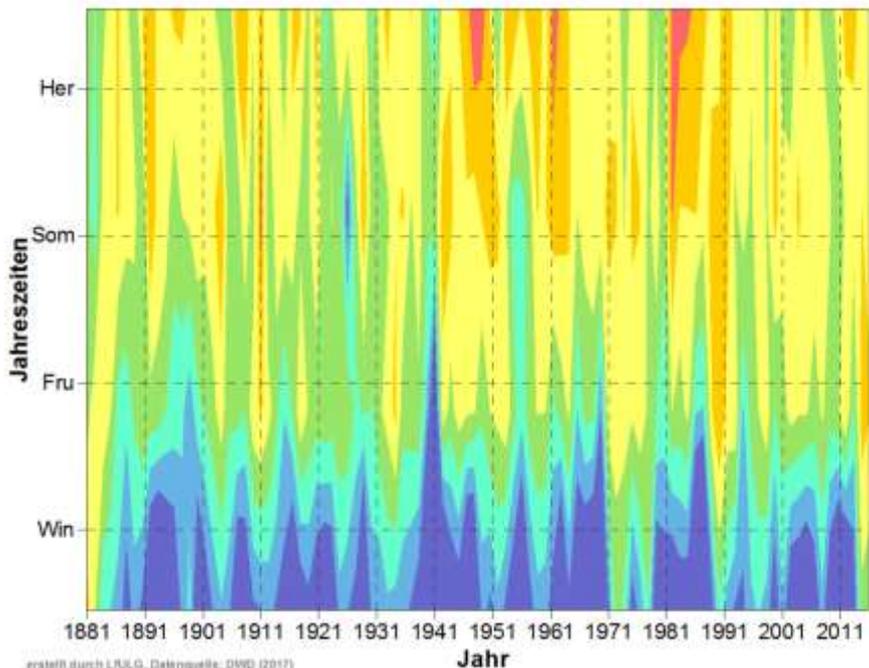


Abb.: Schwüle Tage für Raum „Wahnsdorf-Klotzsche“, 1917-2015)

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

- «Trockenheit» - Sachsen, 1881-2016, Jahreszeiten → **atmosphärische Rahmenbedingungen** ("Türöffner für Trockenheit")



- **Index dM (n. de Martonne):**
 - $dM = RR / (TM + 10)$
(RR: Niederschlag, TM: Temperatur)

- **Index SPEI:**
 - standardisierter Niederschlags-Verdunstungs-Index
 - Skalierung auf Zeithorizonte der „Einwirkzeit“ (Kumulation)

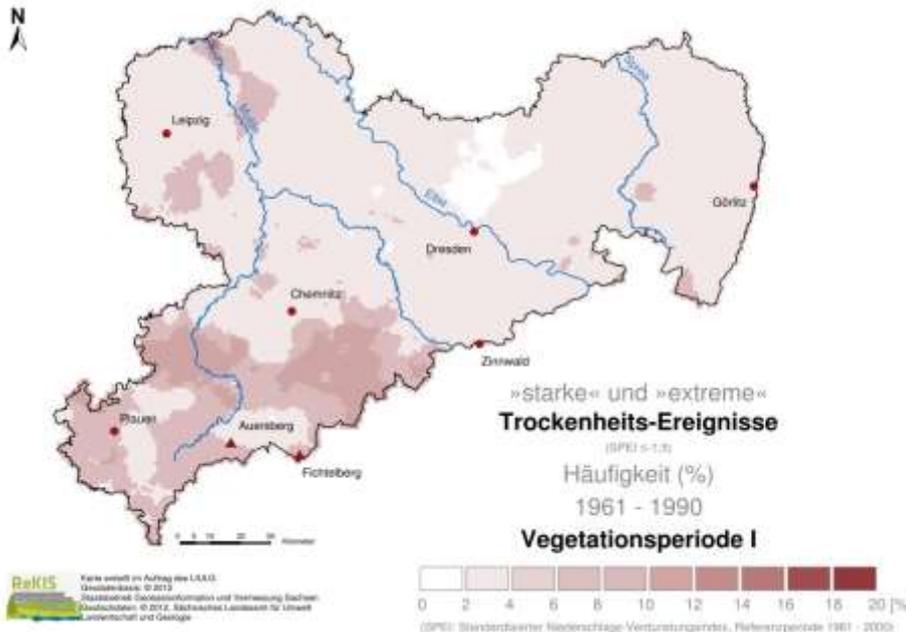
– **Legende:**

extrem	stark	moderat	nahezu	moderat	stark	extrem
feucht			normal	trocken		

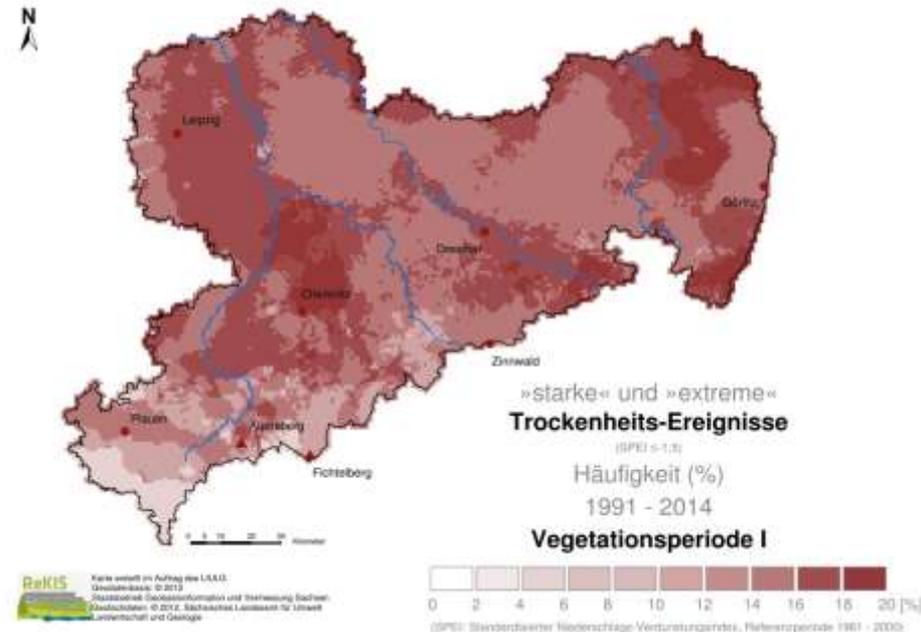
Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

«Trockenheit» - Häufigkeit «starker» & «extremer» Ereignisse (SPEI), VP I



1961-1990



1991-2014

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

«Trockenheit» - Ereignischarakteristika (SPEI), 1991-2014 (Δ vs. 1961/90)

	Häufigkeit	Andauer (%)	Schwere (%)
zeitlicher Bezug	Vegetationsperiode I	mehrjährig	
Erfassung	SPEI(3)	SPEI(24)	
Ausprägung	«stark» & «extrem»	«moderat»	
Sachsen	3...4fach	+29	+40
PR Leipzig-Westsachsen	~4fach	+31	+55
PR Oberlausitz-Niederschlesien	~5fach	+42	+53
PR Oberes Elbtal/Ostertgebirge	4...5fach	+33	+41
PR Chemnitz	~2fach	+17	+23



Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Klimatologische Kernaussagen

- **Kontinuierliche Erwärmung mit erhöhter Hitzebelastung im Sommer**
 - **erhöhtes Risiko lokaler Hochwässer in kleineren Einzugsgebieten**
 - durch Zunahmen in der Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen
 - **Frühjahr: erhöhtes Trockenheitsrisiko**
 - insbesondere durch Niederschlagsabnahmen
 - **Sommer: erhöhtes Erosionsrisiko**
 - Verbesserung des potentiellen Wasserdargebotes, insbesondere durch Niederschlagszunahmen, wobei ...
 - Zunahme des Starkregen-Anteils an Niederschlagssummen
- trockene Abschnitte werden von Starkregenereignissen unterbrochen 

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Klimatologische Kernaussagen

■ Sommerhalbjahr (Frühjahr/ VP I & Sommer/ VP II)

- Trockenheit mit unterschiedlicher Charakteristik ...

	Monat	Trockenheit	Starkregen	Wassermanagement
4	April			Bewässerung
5	Mai			
6	Juni			lokaler Hochwasserschutz, Erosionsschutz
7	Juli			
8	August			
9	September			

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Gegenwärtige Tendenz (Jahre 2014-2016)

I Schlagwort "Kumulation"

- vergleichsweise sehr hohes Temperaturniveau
... in Kombination mit ...
- kumulatives Wasserdefizit (insbesondere aus Winter, Frühjahr)
... führt zu ...
- agrarischer, forstlicher, hydrologischer Trockenheit

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Womit beschäftigen wir uns ...

07. Dezember 2017
(Dresden)

16. & 17. Mai 2018
(Annaberg-Buchholz)

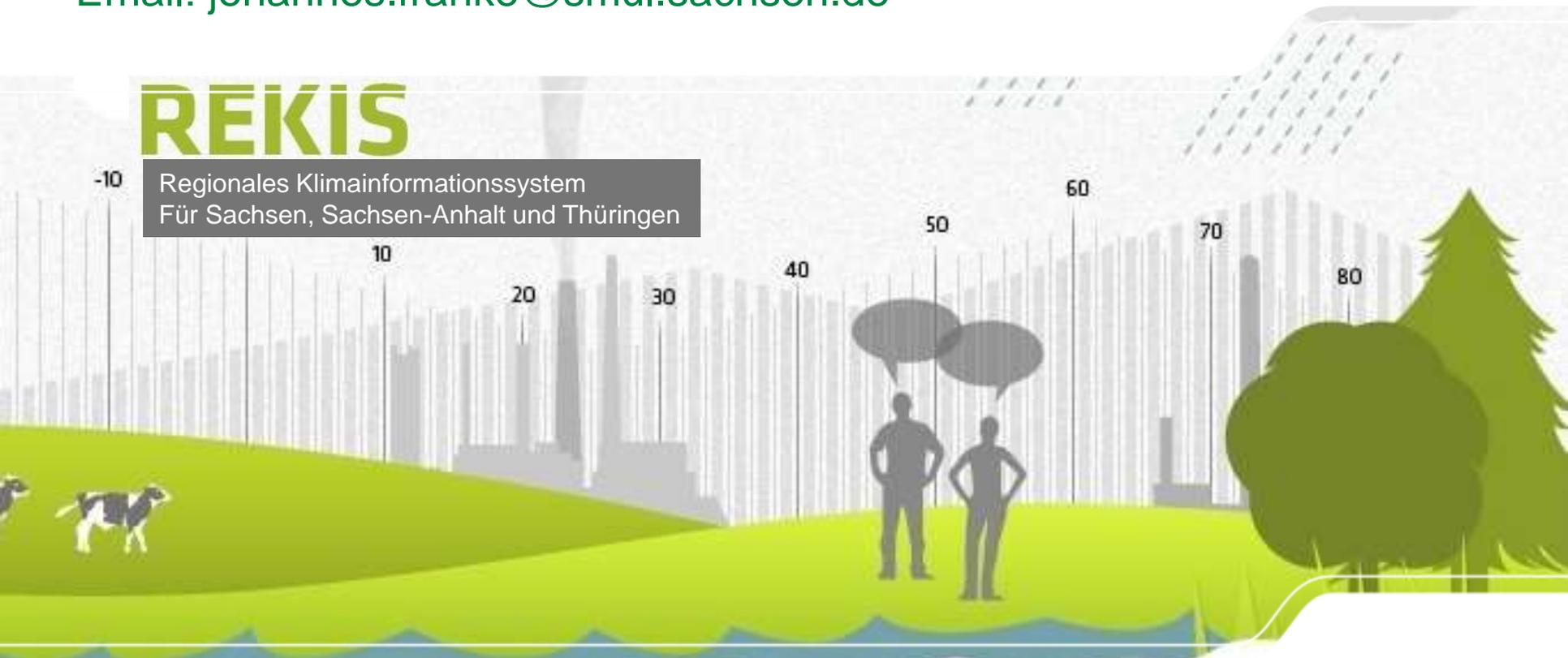


Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Email: johannes.franke@smul.sachsen.de

REKIS

Regionales Klimainformationssystem
Für Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen



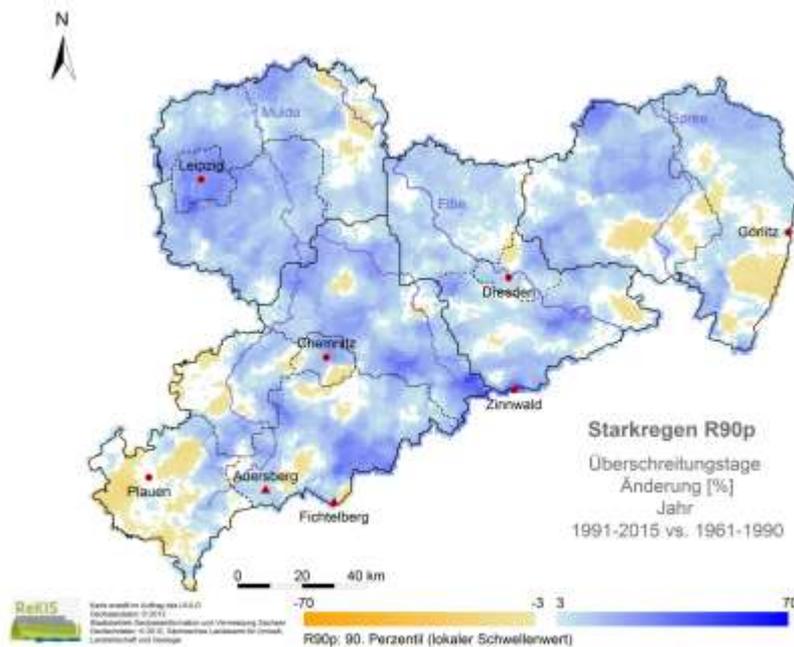
www.klima.sachsen.de

www.rekis.org

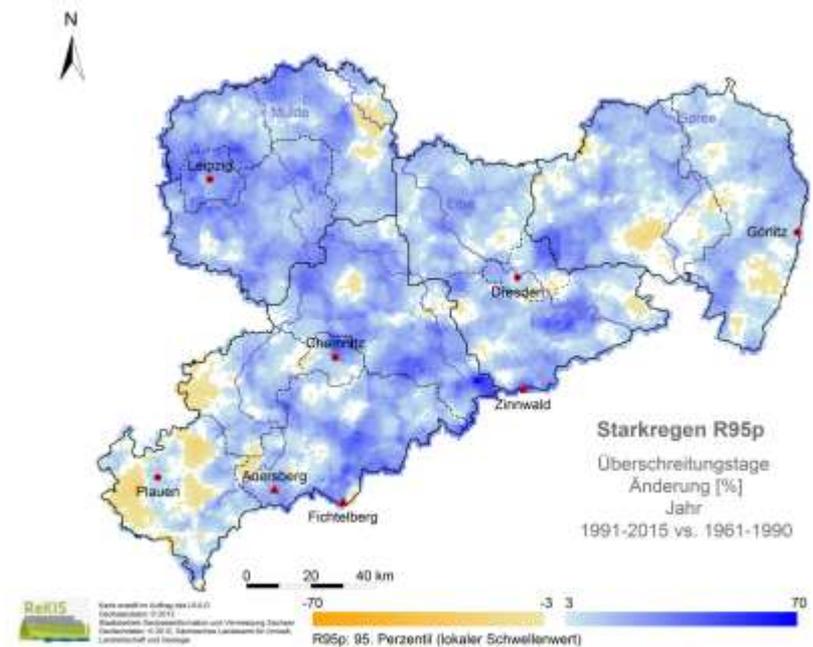
Klimawandel in Sachsen

Was wissen wir?

«Starkregen» - Auftreten, 1991-2015 (Δ vs. 1961/90), Jahr



Ereignisse R90p

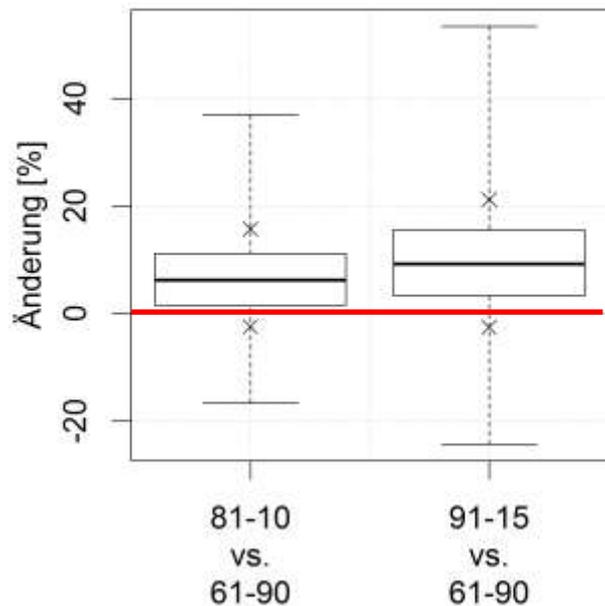


Ereignisse R95p

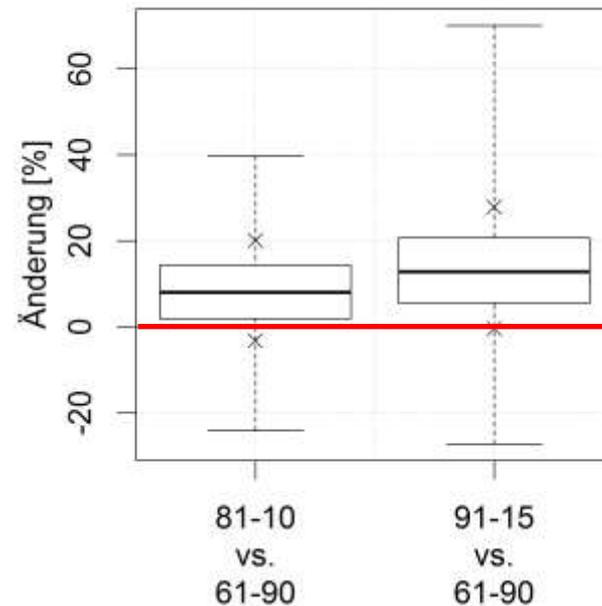
Klimawandel in Sachsen

Was wissen wir?

«Starkregen» - Auftreten, 1981-2010 & 1991-2015 (Δ vs. 1961/90), Jahr



Ereignisse R90p

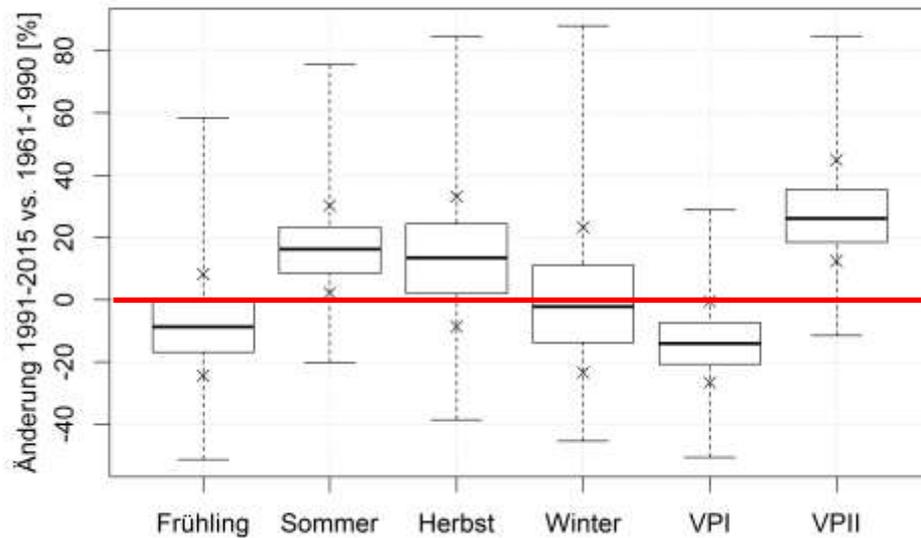


Ereignisse R95p

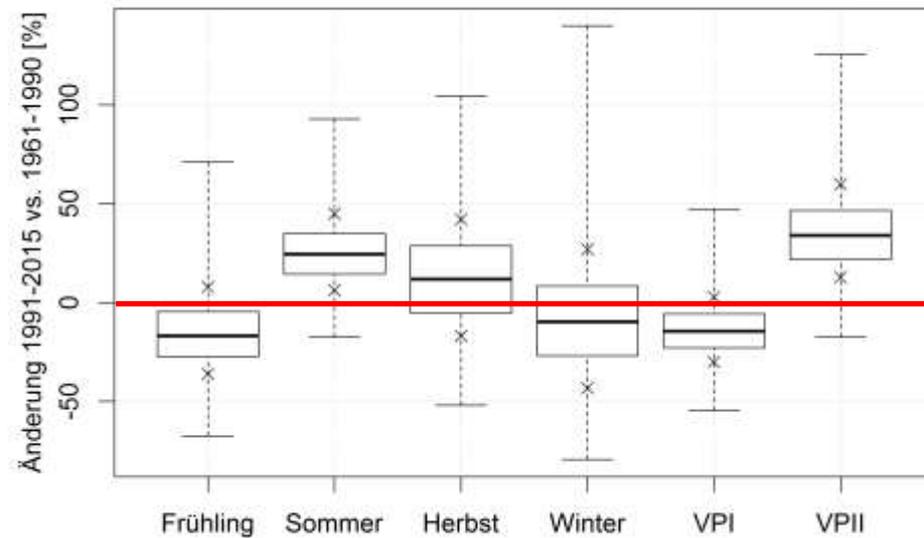
Klimawandel in Sachsen

Was wissen wir?

«Starkregen» - Auftreten, 1991-2015 (Δ vs. 1961/90), Jahreszeiten



Ereignisse R90p

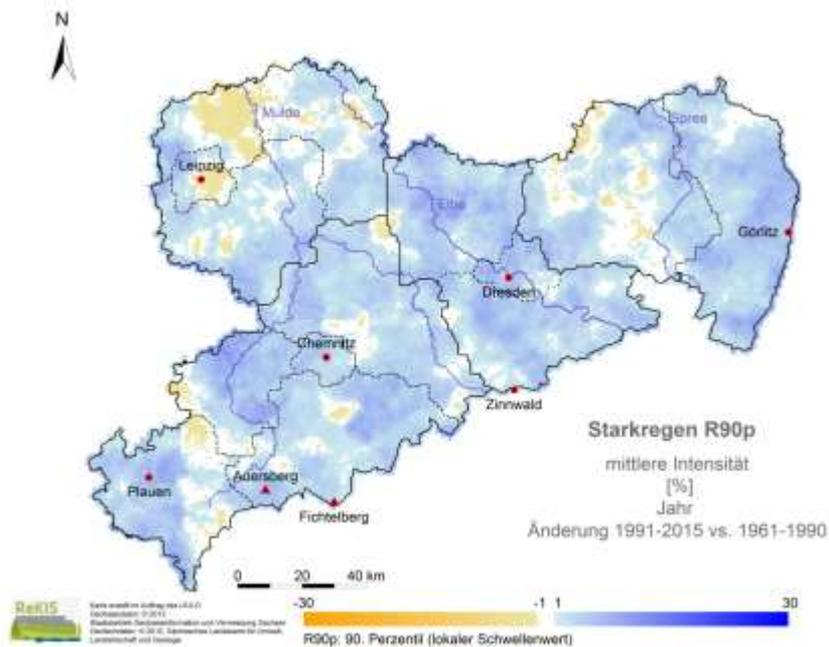


Ereignisse R95p

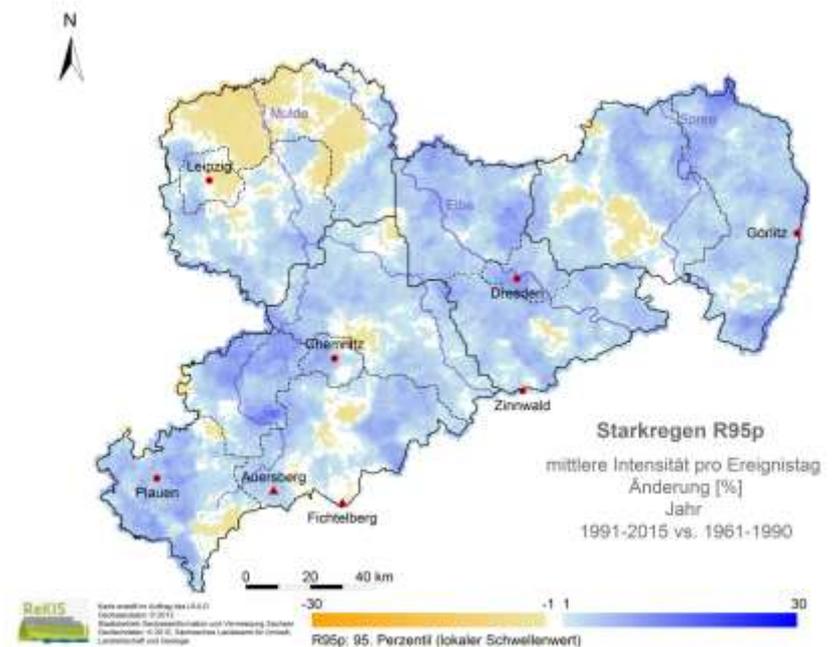
Klimawandel in Sachsen

Was wissen wir?

«Starkregen» - Intensität, 1991-2015 (Δ vs. 1961/90), Jahr



Ereignisse R90p

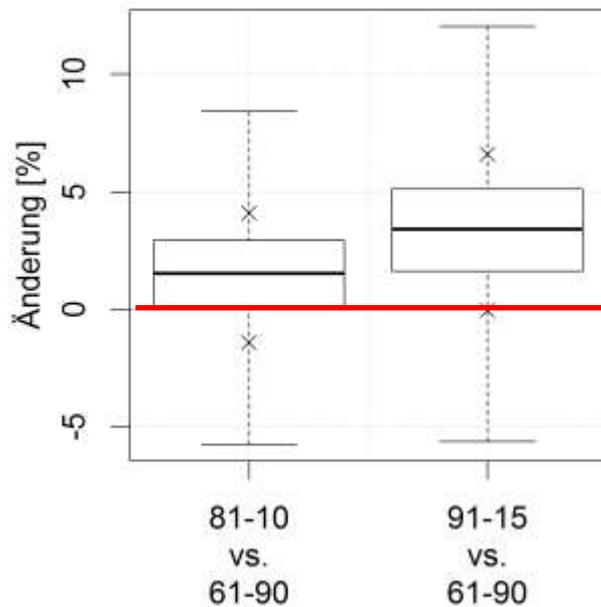


Ereignisse R95p

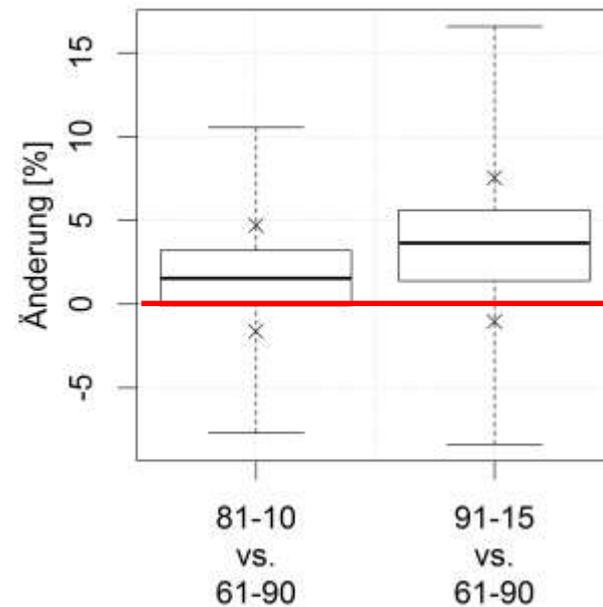
Klimawandel in Sachsen

Was wissen wir?

- «Starkregen» - Intensität, 1981-2010 & 1991-2015 (Δ vs. 1961/90), Jahr



Ereignisse R90p



Ereignisse R95p

Klimawandel in Sachsen

Systematik

I Bezugszeiträume

Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
			Jahr												
meteorol. Winterhalbjahr						meteorol. Sommerhalbjahr									
						Vegetations- periode I			Vegetations- periode II						
			Winter			Frühjahr			Sommer			Herbst			
Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	

Klimawandel in Sachsen

Witterungsbedingte Extreme als besondere Herausforderung!

I «Starkregen»

- Definition: größten 10 (R90p) bzw. 5 (R95p) Prozent aller Regenereignisse an einem Ort (lokal) in einem Zeitraum;
- Überschreitungstage: Auftretenshäufigkeit von Starkregen-Ereignissen (R90p, R95p);
- Intensität: Regenmenge (pro Tag) von Starkregen-Ereignissen (R90p, R95p)

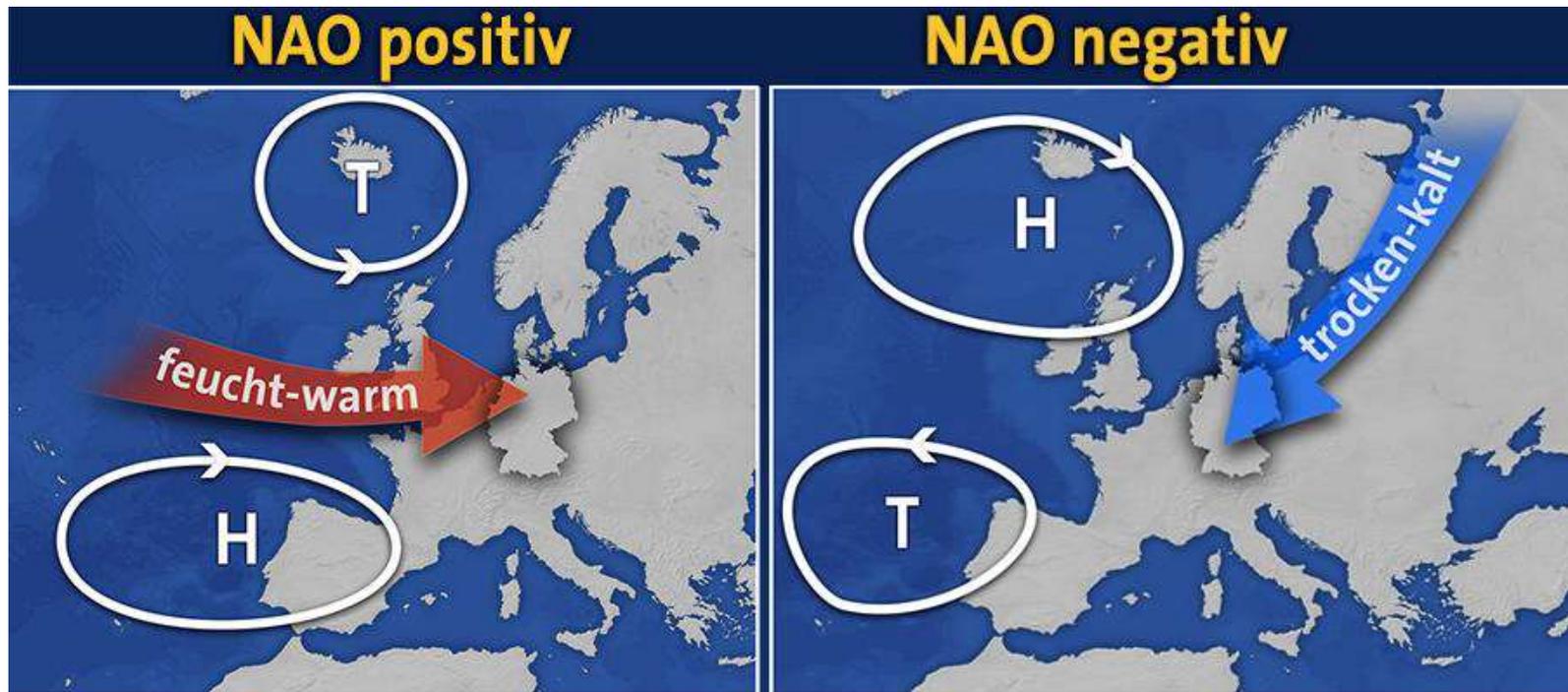
IPCC (Weltklimarat) – 5. Sachstandsbericht (2013/14)

Verlangsamter Temperaturanstieg

- "In den vergangenen 15 Jahren ist die globale Mitteltemperatur weiterhin gestiegen, jedoch war die Geschwindigkeit des Temperaturanstieges langsamer als in den vorgehenden Jahrzehnten.."
- "IPCC stellt fest, dass man aus diesem Befund nicht auf eine generelle Abschwächung des globalen Klimawandels schließen kann, da solche kurzfristige Veränderungen vor allem auf natürliche und interne Schwankungen im Klimasystem zurückgehen."

Quelle: Deutsche IPCC Koordinierungsstelle, 2013

Atmosphärische Zirkulation Nordatlantische Oszillation (NAO)

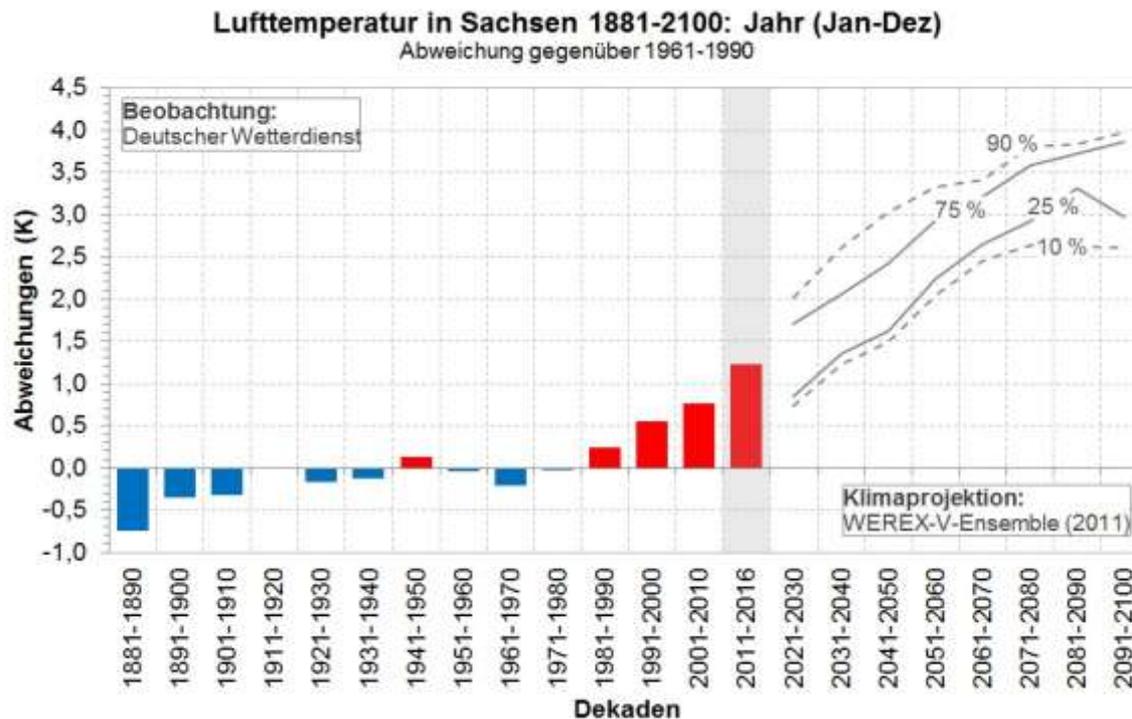


Download: tagesschau.de, 2015)

Klimawandel in Sachsen

Was wissen wir?

Lufttemperatur – Sachsen, 1881-2100 (Δ vs. 1961/90), Jahresmittel

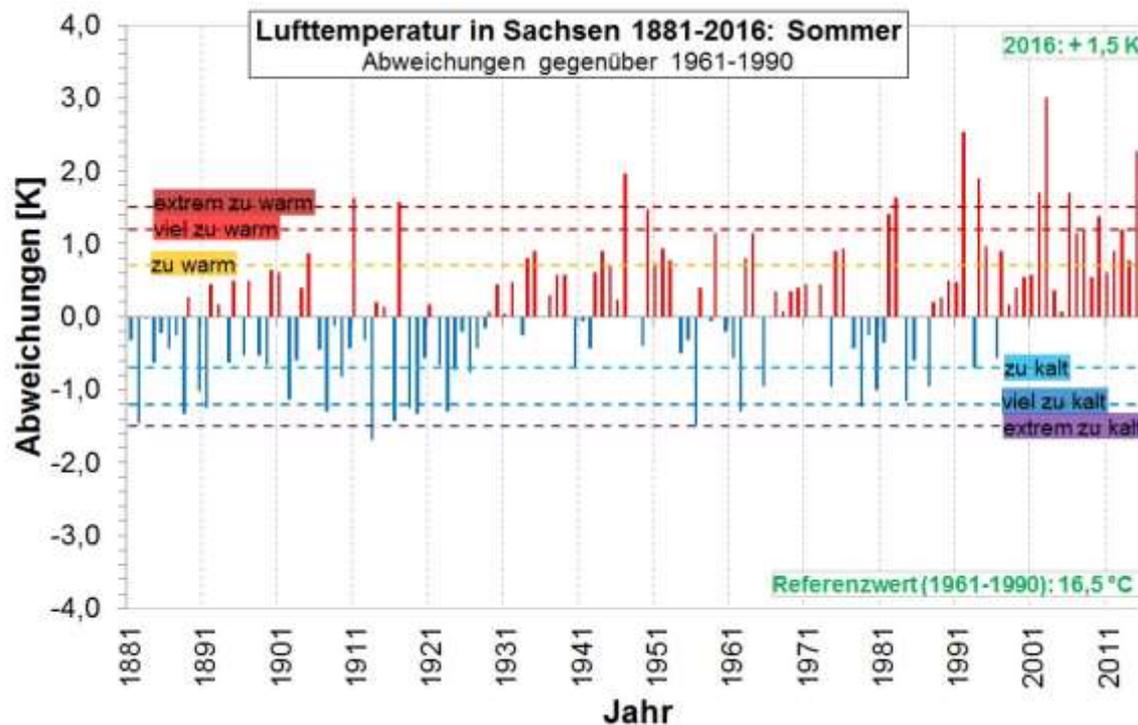


erstellt: LIULG (2017)

Klimawandel in Sachsen

Was wissen wir?

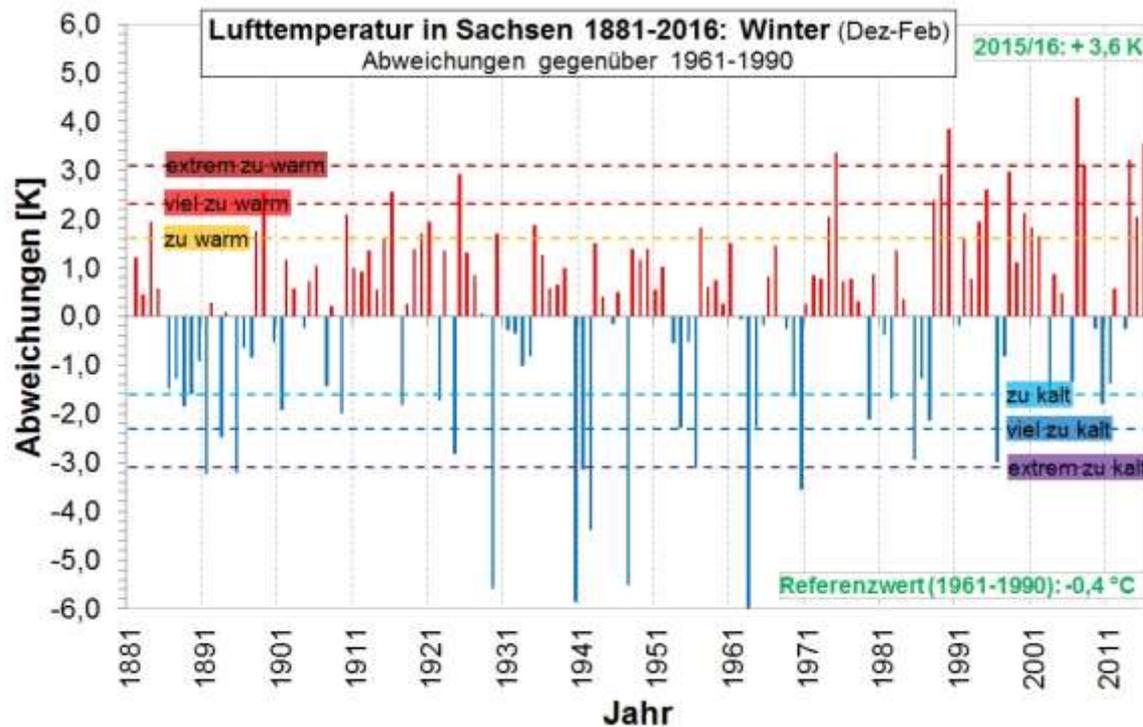
Lufttemperatur – Sachsen, 1881-2016 (Δ vs. 1961/90), Sommermittel



Klimawandel in Sachsen

Was wissen wir?

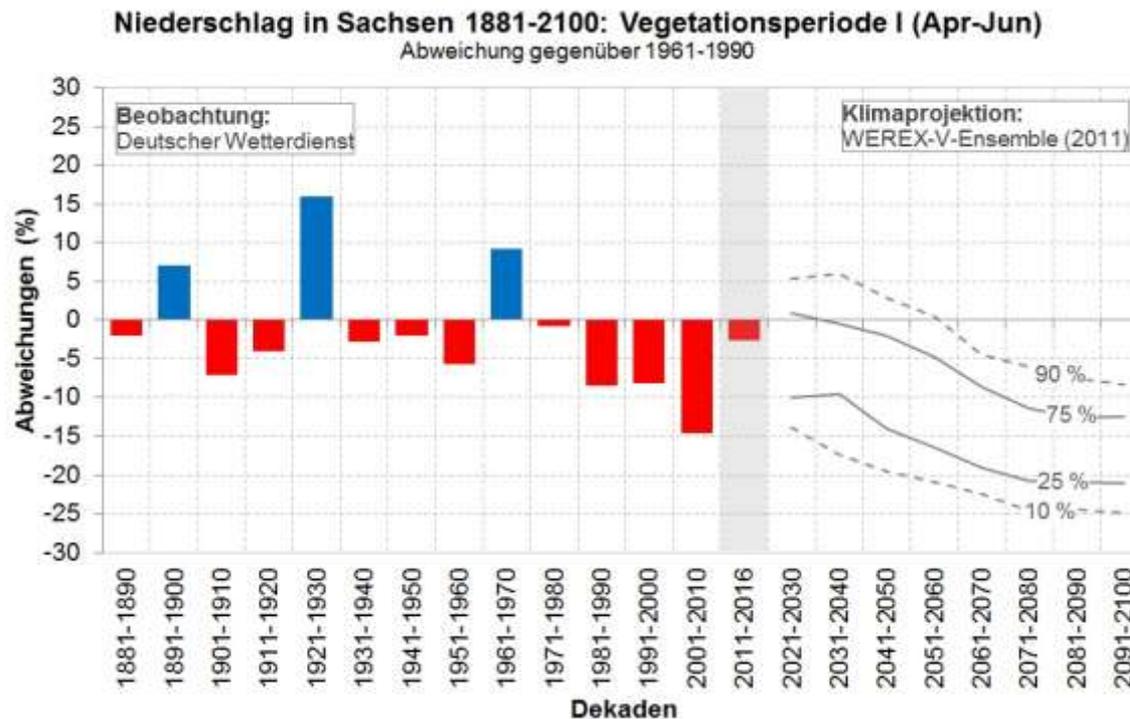
Lufttemperatur – Sachsen, 1881-2016 (Δ vs. 1961/90), Wintermittel



Klimawandel in Sachsen

Was wissen wir?

■ Niederschlag – Sachsen, 1881-2100 (Δ vs. 1961/90), Vegetationsperiode I



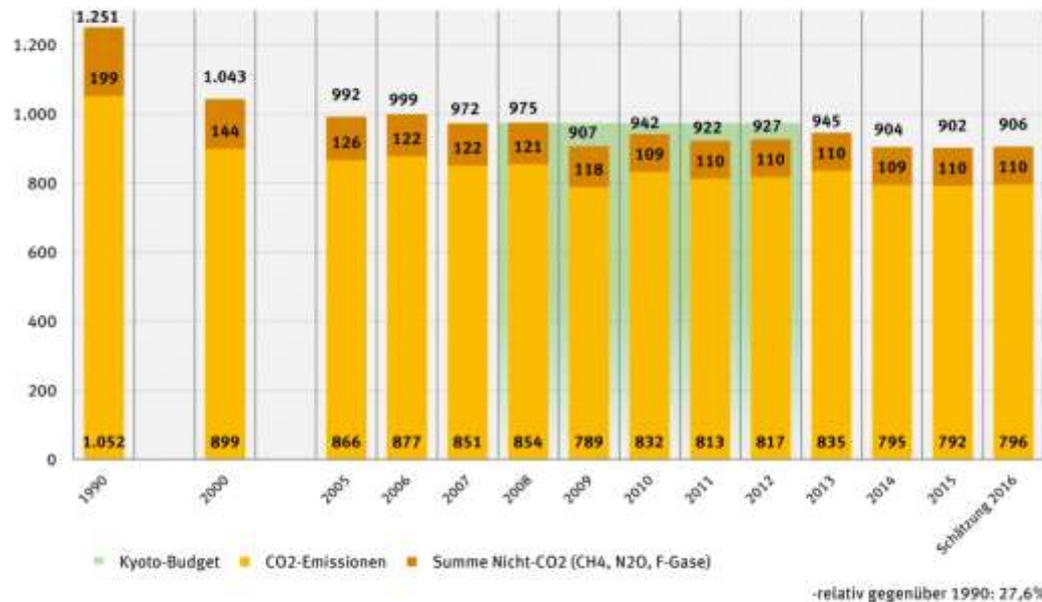
erstellt: LRULG (2017)

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

Treibhausgas-Emissionen – Deutschland, 1990-2016

Treibhausgasemissionen in Deutschland 1990 bis 2016 in Mio.t CO₂-equivalent*



* alle Angaben ohne Berücksichtigung von Landnutzungsänderungen

Quelle: UBA Emissionsinventar; Stand: 02.05.2017

Quelle: UBA (03/2017)

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

CO₂-Emissionen – Deutschland, 2015 & 2016

CO₂-Emissionen in Deutschland - Schätzung für das Jahr 2016

Emissionsquellen	2015	2016	Veränderung	
	Mio. t	Mio. t	Mio. t	%
Energiebedingte Emissionen	744,3	748,5	4,2	0,6
Mineralöle	245,6	249,3	3,7	1,5
Erdgas und Grubengas	150,7	163,6	12,9	8,5
Steinkohlen	148,5	140,7	-7,8	-5,2
Braunkohlen	171,6	166,7	-4,9	-2,8
Sonstige ¹⁾	25,3	25,6	0,3	1,1
diffuse Emissionen ²⁾	2,6	2,6	0,0	0,0
Industrieprozesse	42,2	42,0	-0,2	-0,4
Lösemittel/ Produktverwendung³⁾	5,6	5,4	-0,2	-3,7
Gesamtsumme	792,1	795,9	3,8	0,5

1) fossiler Abfallanteil, Ersatzbrennstoffe und Emissionen durch Rauchgasentschwefelung

2) durch Förderung, Aufbereitung und Umwandlung von Brennstoffen

3) inklusive Bodenkalkung und Harnstoffanwendung in der Landwirtschaft

Quelle: UBA Emissionssituation

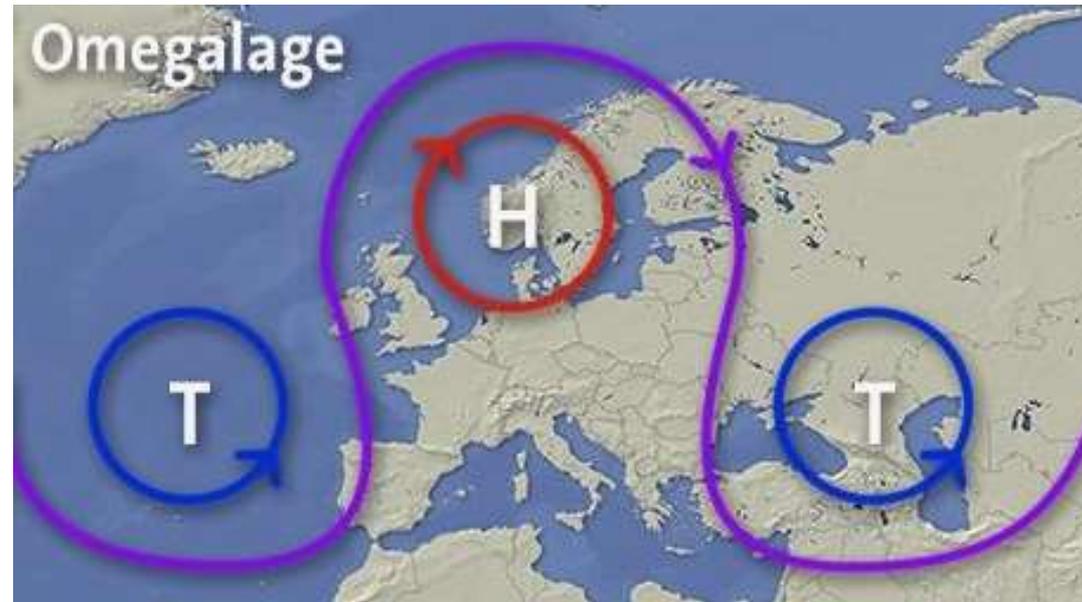
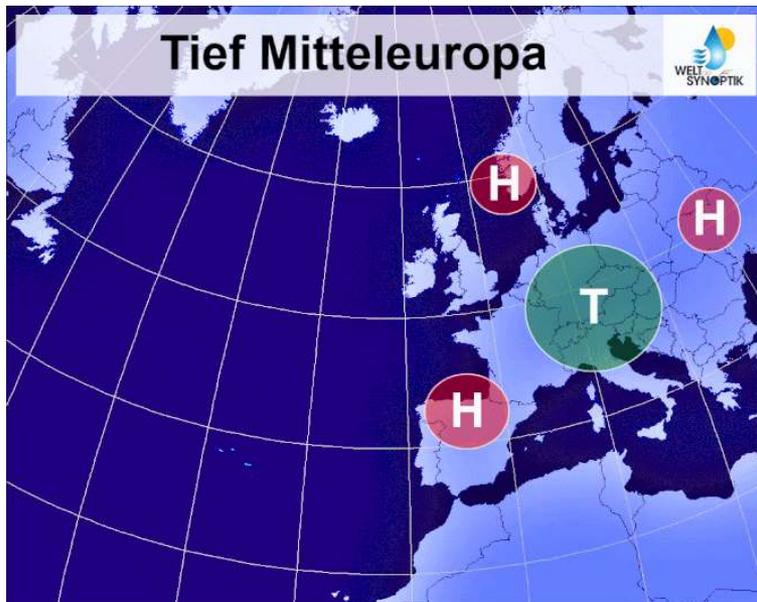
Stand: 02.03.2017

Quelle: UBA (03/2017)

Klimawandel – Ursachen und Auswirkungen in Sachsen

Was wissen wir?

- Großwetterlagen mit Blocking-Situation (schematisch)



Quelle: www.wetter.tagesschau.de, 2015

Klimawandel in Sachsen

Was wissen wir?

I Großwetterlage "Tief Mitteleuropa", 1881-2016



Häufigkeit:
siehe Abbildung

Andauer:
Elbe-Hochwasser: 2002 (7 Tage),
2013 (5 Tage) / SW-Deutschland
2016 (3+7 Tage)
→ langsam verlagernd

Charakteristik:
→ wärmere Luftmassen können
mehr Wasserdampf halten!

Daten: Deutscher Wetterdienst, 2017