

# Ein WETTREG-E1 Klimaszenario für die Region Sachsen-Anhalt

**A. Spekat, F. Kreienkamp, W. Enke**

Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH

Halle, 24. Februar 2011

# Vortragsübersicht

- Das Neue an diesem Vorhaben
- Hintergrund: Szenarios
- WETTREG
- Ergebnisse
- Ausblick

## Kurze Vorgeschichte

- Notwendigkeit, Anpassungsmaßnahmen bezüglich des Klimawandels zu treffen
- Kette von Informationsquellen: Szenarios der globalen Entwicklung  $\Rightarrow$  globale Klimamodelle  $\Rightarrow$  Projektionen eines zukünftigen Klimas
- Regionalisierung (downscaling) der Projektionen  $\Rightarrow$  Regionale Spezifika des Klimawandels
- Zahlreiche Studien seit den 1990ern in den Bundesländern, im Rahmen von Mehrländeraktivitäten (z.B. KLIWA), für ganz Deutschland (z.B. UBA)
- Einsatz von dynamischen (REMO, CLM) und statistischen (STAR, WETTREG) Regionalisierungen

## Dieses Vorhaben

- Bislang: Verwendung von Zukunftsprojektionen, die auf den so genannten SRES-Szenarios beruhen – dazu gleich mehr.
- Für den nächsten IPCC-Bericht werden nicht nur Modelle weiter entwickelt sondern auch das Szenario-Konzept – auch dazu gleich mehr.
- Seit 2010 sind erste neue Szenarios vom Typ E1 verfügbar.
- Als erstes Bundesland hat Sachsen-Anhalt diese Studie in Auftrag gegeben, mit der eine Regionalisierung auf der Basis der neuen Szenarios erfolgt.



# Bericht



Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH

14469 Potsdam - David-Gilly-Straße 1

Erstellung eines E1 Szenarios

für die Region Sachsen-Anhalt

mit WETTREG

Im Auftrag des Landesamt für Umweltschutz

Sachsen-Anhalt, Fachbereich3 Immissionsschutz/Klimaschutz

Vertrag Nr. 01/31/2010

Frank Kreienkamp, Arne Spekat, Wolfgang Enke

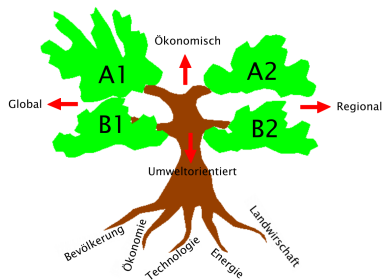
15. Oktober 2010

# Szenarios: Konzepte und Novellen

oder: wieso soll sich nur das Klima wandeln...?

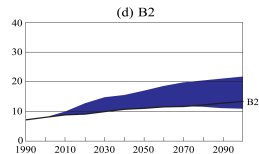
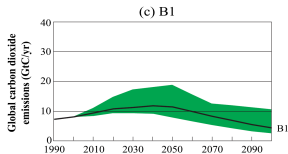
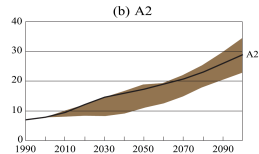
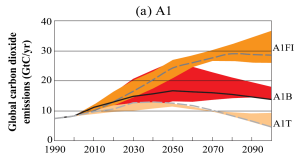
## Pantha rhei

- Seit 2001 sind Szenarios vom Typ SRES gebräuchlich (SRES = IPCC Special Report on Emission Scenarios)
- Es geht um **Emissionen von Treibhausgasen** und deren zeitlichen Verlauf
- Vier „Storylines“ definieren plausible Möglichkeiten von Zukunftsentwicklungen ⇒ Szenario-Familien A1, A2, B1 und B2.



## Emissionsverläufe

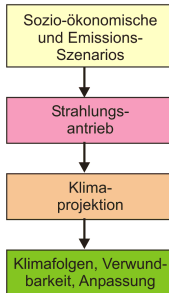
- Zeitliche Verläufe der Emissionen von Treibhausgasen im 21. Jahrhundert unter den Annahmen der vier Szenario-Familien



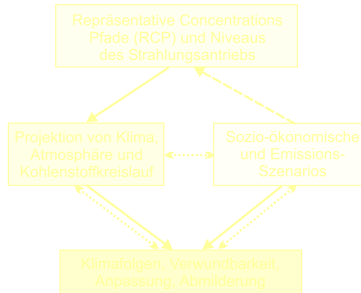
## Die SRES-Strategie

- Verwendung einer Größe, die von den Klimamodellen der „Generation AR4“ gut als Antrieb verwendet werden kann: Emission von Treibhausgasen.
- Nutzung einer Kaskade von Modellen, um die Emissionen zu beschreiben.

Sequentiell (TAR, AR4)

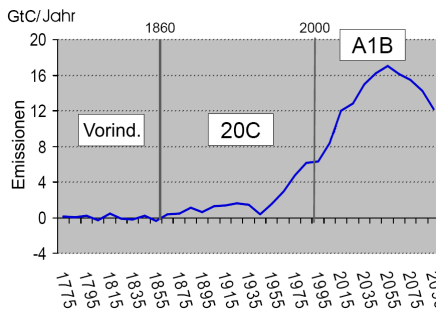


Parallel (AR5)



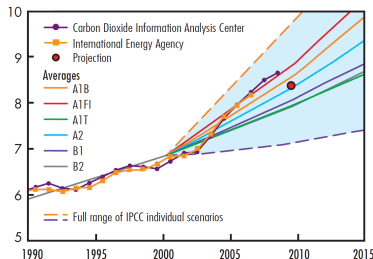
## Vergangenheit $\Rightarrow$ Szenario

- Emissionen von Treibhausgasen in der vorindustriellen Zeit
- Emissionen unter Einfluss der Industrialisierung bis zum Ende des 20. Jahrhunderts (20C)
- Unter Modellannahmen und der Storyline von A1B projizierte Änderungen im 21. Jahrhundert

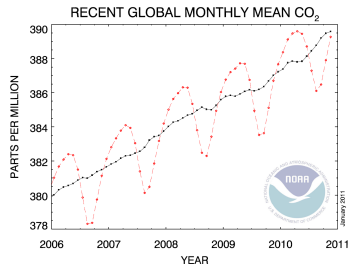


# Messungen und Szenarios

- Wo stehen wir?
- Emissionen der letzten Jahre
- Konzentration von CO<sub>2</sub> in den letzten Jahren.



(a) Emissionen



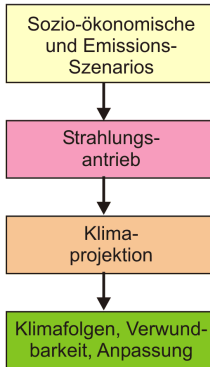
(b) Konzentrationen

## Alles wird besser...

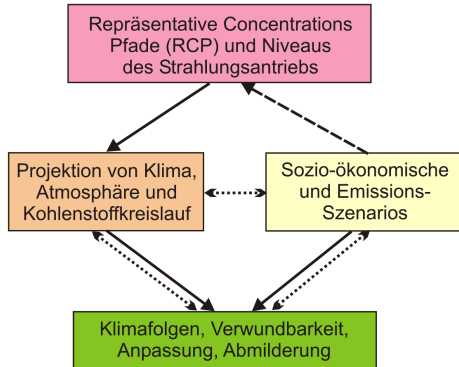
- Die Zeit geht an der Modellentwicklung nicht spurlos vorbei
- Bei den globalen Klimamodellen zahlreiche Weiterentwicklungen seit der „Generation AR4“, zum Beispiel
  - Beschreibung von weiteren Wechselwirkungen.
  - Modellierung des Kohlenstoffkreislaufs.
  - Beschreibung von Konzentrationen der Treibhausgase in der Atmosphäre
- ECHAM5 ⇒ ECHAM5C – dabei Beachten, dass ECHAM5C zwar „moderner“ ist, es wurde aber nur in gröberer Auflösung als das ältere ECHAM5 gerechnet.
- Dazu wird immer wichtiger, lokales Handeln sowohl bezüglich der Abmilderung der Klimafolgen (Mitigation) als auch der Anpassung (Adaptation) an den Klimawandel zu initiieren und zu koordinieren.
- Seit etwa 2008 wurde an einer neuen, feiner abgestimmten Strategie für die Szenarios gefeilt.

# Szenarios à la AR5

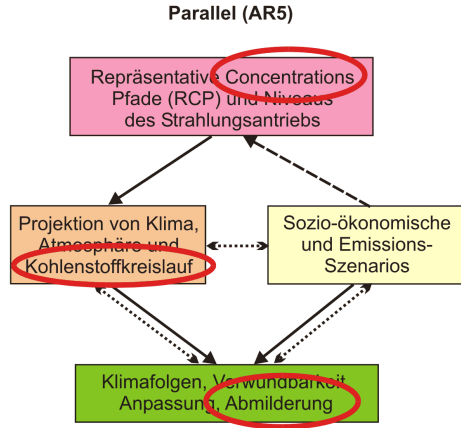
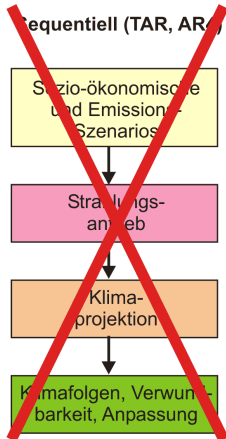
## Sequentiell (TAR, AR4)



## Parallel (AR5)

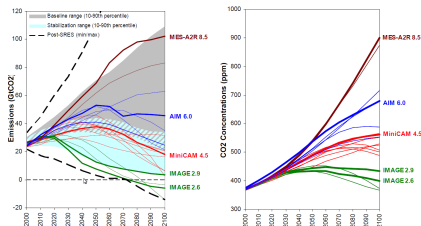


## Szenarios à la AR5



## Emissionen und Konzentrationen

- Bilder emittieren eine Fülle von Informationen, bitte auf die dicken Linien konzentrieren...



- Wichtig: Die Menge der in der Atmosphäre vorhandenen Treibhausgase (Konzentration) bestimmt die Stärke des Treibhauseffekts; was wir kontrollieren (?) können, sind die Emissionen.
- Merke: Selbst bei rapide zurückgehenden Emissionen nehmen die Konzentrationen zunächst zu – Erbe unseres bisherige Emissionsverhaltens.

## Was wäre wenn...

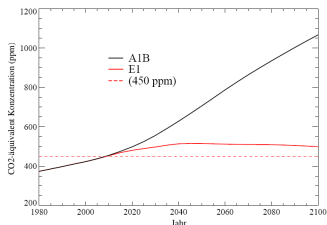
- Ganz wichtige Rolle von Szenarios: Gedankenexperimente.
- Mit der neuen, parallelen Strategie der Szenarios kann Licht auf die Frage geworfen werden: *Welche Emissionsverläufe führen zum Stabilisieren einer Treibhausgaskonzentration auf dem Niveau x.*
- Zur Definition wird der Strahlungsantrieb verwendet, im Grunde eine andere Betrachtungsweise der Treibhausgaskonzentration – stellen Sie sich eine „Zusatzsonne“ vor, die weitere Energie in Höhe des Treibhauseffekts liefert.
- Einheiten des Strahlungsantriebs: Watt pro Quadratmeter.
- So genannte RCP-Szenarios mit zeitlichen Verlaufspfaden des Strahlungsantriebs, Nomenklatur entsprechend dem Antrieb im Jahr 2100.

## Was wäre wenn...

- Die vier RCPs für den nächsten IPCC-Bericht
  - **RCP2.6** Höchster Antrieb bei  $\sim 3 \text{ W m}^{-2}$  vor 2100, danach Rückgang; Konzentrationsmaximum bei  $\sim 490 \text{ ppm}$   $\text{CO}_2$ -Äquivalent vor 2100, danach Rückgang.
  - **RCP4.5** Maximum Antrieb  $\sim 4,5 \text{ W m}^{-2}$ , Stabilisierung nach 2100; Konzentrationsmaximum bei  $\sim 650 \text{ ppm}$   $\text{CO}_2$ -Äquivalent; Stabilisierung nach 2100.
  - **RCP6.0** Maximum Antrieb  $\sim 6 \text{ W m}^{-2}$ , Stabilisierung nach 2100; Konzentrationsmaximum bei  $\sim 850 \text{ ppm}$   $\text{CO}_2$ -Äquivalent; Stabilisierung nach 2100.
  - **RCP8.5** Maximum Antrieb 2100 über  $8,5 \text{ W m}^{-2}$  keine Stabilisierung nach 2100; Konzentration im Jahr 2100 über  $1370 \text{ ppm}$   $\text{CO}_2$ -Äquivalent; keine Stabilisierung nach 2100.

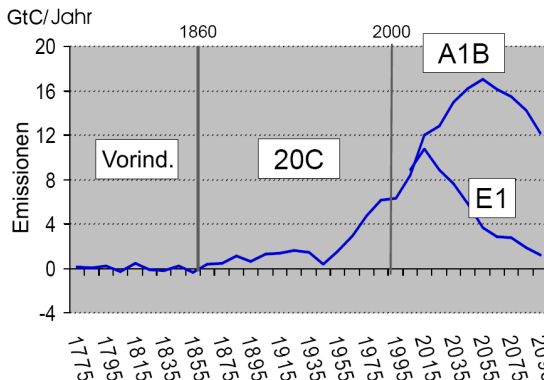
## Die Zweigrad-Leitplanke

- Politisches Ziel, abgestimmt zwischen zahlreichen Staaten: Globale Erwärmung auf  $2^{\circ}$  über dem vorindustriellen Niveau (VN) begrenzen.
- Das bedeutet, eine weitere Erwärmung nicht über  $1,5^{\circ}$ , denn ein halbes Grad ist bereits „aufgebraucht“.
- Konzentration von 450 ppm lässt eine globale Erwärmung um „lediglich“ 2 Grad über VN wahrscheinlich werden.
- Niedrigerer Antrieb als bei RCP2.6 notwendig  $\Rightarrow$  Definition eines weiteren Szenarios, **E1** genannt.



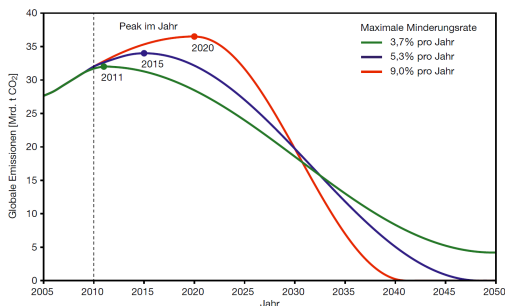
## E1-Emissionsverlauf

- Da wir so daran gewöhnt sind und weil wir Emissionen noch am ehesten kontrollieren können: Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Emissionen unter den Annahmen von Szenarios E1 und dem bekannten A1B.



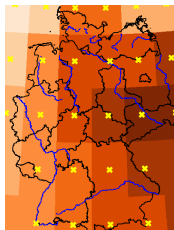
## Alternative Emissionsverläufe

- Globale CO<sub>2</sub>-Emissionen
- Konsequenzen, die das Erreichen des Höchststandes zu unterschiedlichen Zeiten hat.
- Randbedingung: Bis 2050 globale Emissionsmenge 750 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub>



## E1-Szenario für Sachsen-Anhalt

- E1-Daten Rechnungen mit globalen Modellen sind erst seit wenigen Monaten verfügbar, z.B. von ECHAM5C.
- Auflösung deutlich zu grob, um regionale Aussagen zu treffen. Abb. zeigt ECHAM5, bei ECHAM5C nur 25% der Gitterpunkte



- Notwendigkeit der Regionalisierung – hier: Statistische Methode WETTREG
- Für diese Sachsen-Anhalt-Studie wurde erstmals in Deutschland ein E1-Szenario regionalisiert.

# Regionalisierung: Strategien und Vorstellung von WETTREG

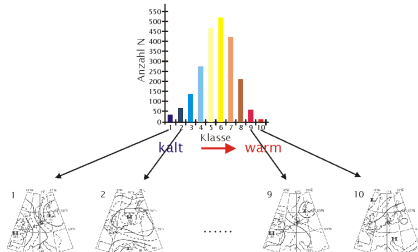
oder: welche Möglichkeiten gibt es, aus globalen Modellen  
hochauflösende Aussagen zu erhalten?

## Regionalisierungs-Strategien

- Welche Strategien gibt es, zwischen die Maschen des globalen Modells zu blicken und den Klimawandel für Regionen zu beschreiben?
- **Dynamisch**
  - Nutzung einer höher aufgelösten Version des Globalmodells in einem begrenzten Fenster – Konzession an technische Randbedingungen (Speicherkapazität, Rechengeschwindigkeit) – Daten von außerhalb des Fensters kommen vom Globalmodell.
  - Vertreter dieser Modellart: CLM, REMO
- **Statistisch**
  - Welche Beziehungen gibt es zwischen Klima am Ort und großräumigen Mustern in der Atmosphäre? Lernen in der Gegenwart, Übertragung auf die Verhältnisse eines modellierten zukünftigen Klimas. Mit relativ einfachen technischen Mitteln realisierbar.
  - Vertreter dieser Modellart: STAR, WETTREG

## Kurzbeschreibung WETTREG - I

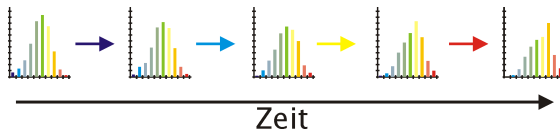
- Statistische Regionalisierungsmethode WETTREG
- Phase eins (lernen):
  - Definition von Zirkulationsmustern (**WETT**erlagen) und **REG**ression)
  - Prinzip *vom-Lokalen-zur-Zirkulation* (Environment-to-circulation) zur Konstruktion der Muster



- Wiedererkennen der Muster in Rechnungen eines globalen Klimamodells.

## Kurzbeschreibung WETTREG - II

- Statistische Regionalisierungsmethode WETTREG
- Phase zwei (Synthetisieren von lokalen Zeitreihen, statistische Information aus dem Globalmodell):
  - Zusammensetzen von Zeitreihen aus zufällig gezogenen Segmenten.
  - Steuernder Faktor für Verwendung/Verwerfen eines Segments: Sich verändernde Häufigkeit der Muster mit der Zeit (aus dem Szenario des Klimamodells).

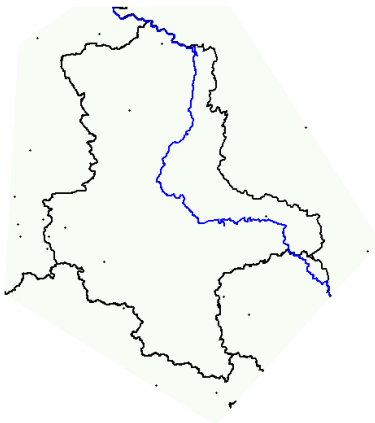


- WETTREG berechnet 10 gleichwertige Varianten eines zukünftigen Klimas.

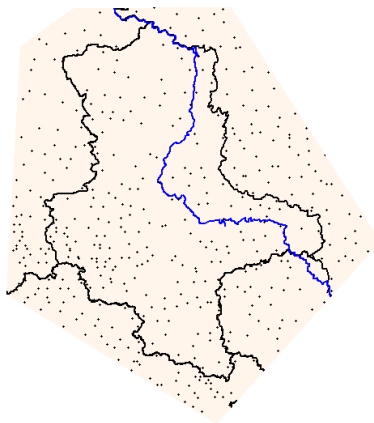
## Kurzbeschreibung WETTREG - III

- Statistische Regionalisierungsmethode WETTREG
- Phase Drei (Physikalische Information aus dem Globalmodell):
  - Weitere Modulation der zusammengesetzten Zeitreihen extrahiert aus den Atmosphären-Eigenschaften, die das globale Klimamodell im Szenario berechnet.
- Was bekommen wir von WETTREG?
  - Zeitreihen an den Orten von Klimastationen, die die Signatur einer zukünftigen Klimaänderung enthalten.
  - Pro Station zehn Reihen, ermöglicht Einblicke in die Variabilität des simulierten Klimas.

# Stationsnetz ST und Umgebung



(a) Klima



(b) Niederschlag

# Ergebnisse:

## Regionalsierungen auf der Basis der (neuen) E1-Szenariodaten und der (bisherigen) A1B-Szenariodaten

oder: über welches neue Wissen verfügen wir nach dem  
Sachsen Anhalt-Projekt?

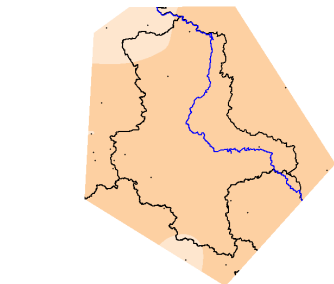
# Datenbasis

- Im Bericht
  - ECHAM5C Szenario E1  $\Rightarrow$  WETTREG
  - ECHAM5 Szenario A1B  $\Rightarrow$  WETTREG
- Seit Februar 2011
  - ECHAM5C Szenario A1B  $\Rightarrow$  WETTREG
- Vorstellung von
  - Klimasignalen der Temperatur
  - Klimasignalen des Niederschlags
  - Vergleich von zeitlichen Entwicklungen

# Klimasignale Temperatur

- Differenz zwischen Szenario 2071–2100 und 20C 1971–2000
- Kartendarstellung für Sachsen-Anhalt

BHRC\_E1\_ET : BHRC\_L1 : ET : 100M : 2071\_2099 : 2001\_2099 : 2001\_2099 : 100M\_TempK : meteorogischna.jar  
BHRC\_E1\_ET : BHRC\_L1 : ET : 100M : 1971\_2000 : 1971\_2000 : 1971\_2000 : 100M\_TempK : meteorogischna.jar

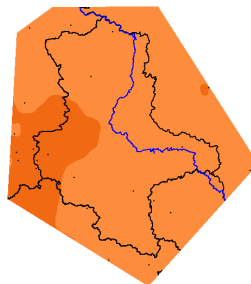


Mittel: 2.1 [°C]

(a) ECHAM5C-E1

20C  
1971-2000

BHRC\_E1\_ET : BHRC\_L1 : ET : 100M : 2071\_2099 : 2001\_2099 : 2001\_2099 : 100M\_TempK : meteorogischna.jar  
BHRC\_E1\_ET : BHRC\_L1 : ET : 100M : 1971\_2000 : 1971\_2000 : 1971\_2000 : 100M\_TempK : meteorogischna.jar

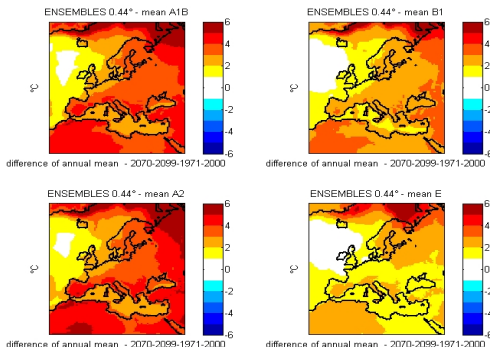


Mittel: 3.4 [°C]

(b) ECHAM5-A1B

# Zum Vergleich: REMO – Mitteltemperatur Europa

## Temperaturänderungen - Jahr (C°)



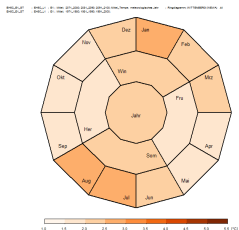
**Bis ~ 3 °C**

Quelle: Jacob et al. 2011: 2 Grad globale Erwärmung: Was bedeutet das für unser Klima?; CSC

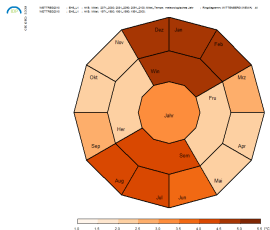
Thementagung 2011, Leipzig

# Klimasignale Temperatur

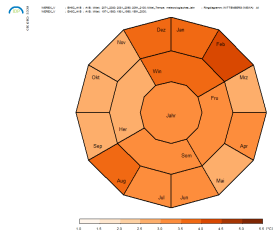
- Differenz zwischen Szenario 2071–2100 und 20C 1971–2000
- Ringdiagramm Station Wittenberg



(a) ECHAM5C-E1



(b) ECHAM5-A1B



(c) ECHAM5C-A1B

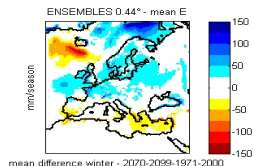
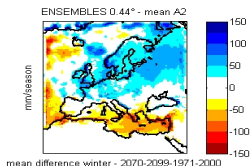
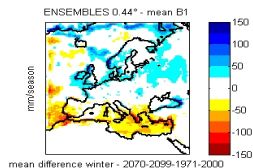
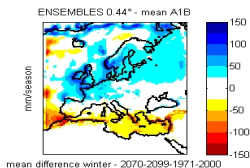
## Was ist zu erkennen?

- Anstiegssignale stark abhängig von der Wahl des antreibenden Szenarios
  - ECHAM5C-E1: Größenordnung von 2–2,5°C  
(d.h. 2,5–3,0°C gegenüber VN)
    - Obwohl E1 **global** nicht mehr als 2°C Temperaturanstieg anstrebt, treten **lokal** durchaus höhere Anstiegswerte auf.
  - ECHAM5-A1B: Größenordnung von 3–4°C  
(d.h. 3,5–4,5°C gegenüber VN)
- Jahresgang unterschiedlich stark ausgeprägt
  - Bekanntes Charakteristikum des antreibenden ECHAM5-Modells: relativ schwache Signale im Frühjahr
  - Signalstärke größer im Sommer und Winter als in den Übergangsjahreszeiten.
  - Relativ geringe Unterschiede zwischen den Jahreszeiten in ECHAM5C-A1B



# Zum Vergleich: REMO - Niederschlagssignal Winter

## Niederschlagsänderungen: Winter (mm/3 Monate)

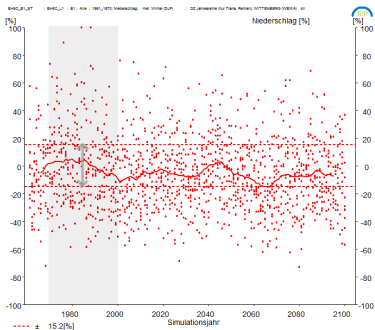


Quelle: Jacob et al. 2011: 2 Grad globale Erwärmung: Was bedeutet das für unser Klima?; CSC

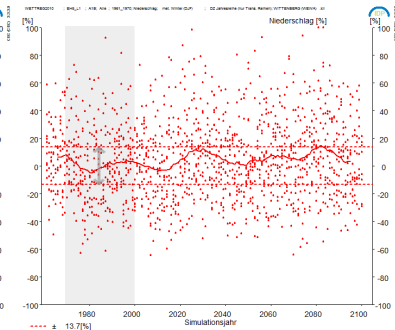
Thementagung 2011, Leipzig

## Zeitentwicklung Niederschlagssignal - Winter

- Zeitraum 20C 1971–2000 zur Abschätzung des Wertebereichs (Variabilität) des derzeitigen Klimas
- Mittlere Signale verlassen diesen „Ereignishorizont“ nicht



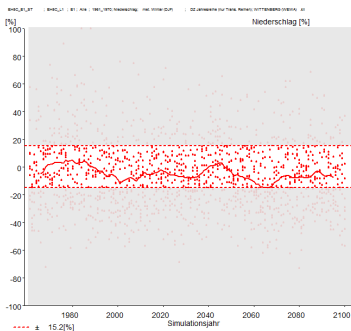
(a) ECHAM5C-E1



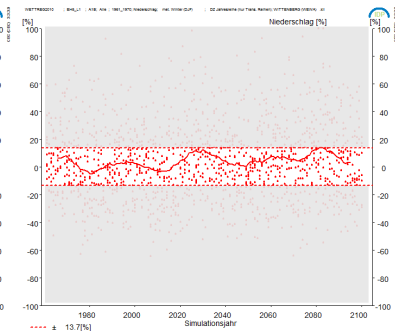
(b) ECHAM5-A1B

## Zeitentwicklung Niederschlagssignal - Winter

- Zeitraum 20C 1971–2000 zur Abschätzung des Wertebereichs (Variabilität) des derzeitigen Klimas
- Mittlere Signale verlassen diesen „Ereignishorizont“ nicht



(a) ECHAM5C-E1

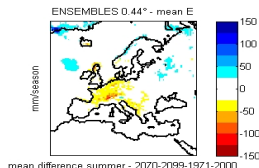
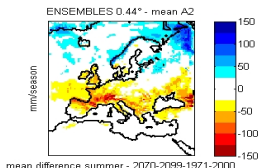
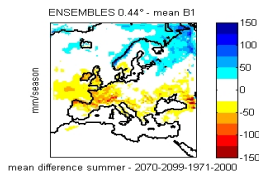
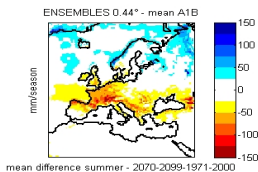


(b) ECHAM5-A1B



# Zum Vergleich: REMO - Niederschlagssignal Sommer

## Niederschlagsänderungen: Sommer (mm/3 Monate)

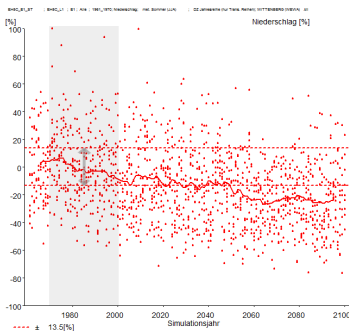


Quelle: Jacob et al. 2011: 2 Grad globale Erwärmung: Was bedeutet das für unser Klima?; CSC

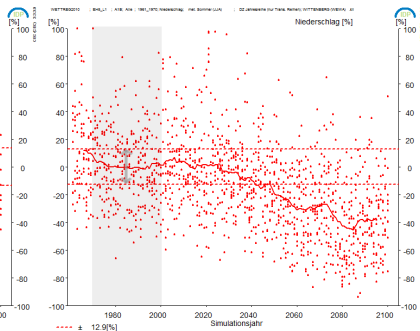
Thementagung 2011, Leipzig

## Zeitentwicklung Niederschlagssignal - Sommer

- Zeitraum 20C 1971–2000 zur Abschätzung des Wertebereichs (Variabilität) des derzeitigen Klimas
- Mittlere Signale verlassen diesen „Ereignishorizont“ nach  $\approx 2040$



(a) ECHAM5C-E1

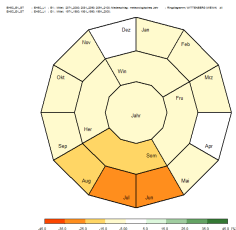


(b) ECHAM5-A1B

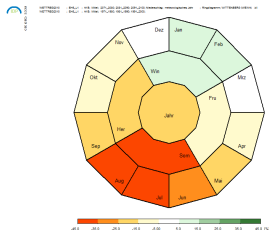


# Klimasignale Niederschlag

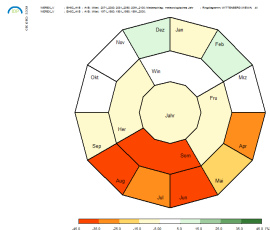
- Differenz zwischen Szenario 2071–2100 und 20C 1971–2000
- Ringdiagramm Station Wittenberg



(a) ECHAM5C-E1



(b) ECHAM5-A1B



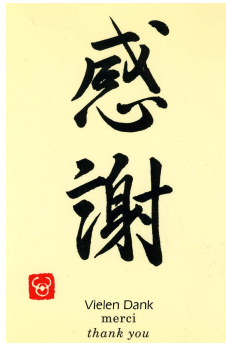
(c) ECHAM5C-A1B

## Was ist zu erkennen?

- Graduelle Unterschiede beim Änderungssignal abhängig vom antreibenden Szenario
  - ECHAM5C-E1: Abnahme in allen Jahreszeiten, am stärksten im Sommer
  - ECHAM5-A1B: Ganz leichte Zunahme im Winter, starke Abnahme unter  $-35\%$  im Sommer
  - ECHAM5C-A1B: Ähnlichkeit mit ECHAM5-A1B
- Signifikanz der Signale im zeitlichen Verlauf über das 21. Jahrhundert
  - Im Winter wird der Korridor der Variabilität des gegenwärtigen Klimas kaum verlassen
  - Im Sommer deutliches Verlassen des Korridors nach unten  $\Rightarrow$  klares Signal

# Ausblick

- Stichwort: Bandbreiten
  - Dies war die Regionalisierung von einigen wenigen GCM-Szenarios
  - Demnächst verfügbar: RCP-Läufe
  - Demnächst (hoffentlich) verfügbar für Vergleiche: Regionalisierungen ECHAM5C E1  $\Rightarrow$  REMO (mit **drei** E1-Szenarioläufen)



**Vielen Dank** für Ihre Aufmerksamkeit

frank.kreienkamp@cec-potsdam.de

arne.spekat@cec-potsdam.de