

# Winterstürme mit hohem Schadenpotenzial in einem veränderten Klima (Projekt RESTER)

Michael Kunz, Monika Rauthe, Susanna Mohr, Christoph Kottmeier

Institut für Meteorologie und Klimaforschung  
Universität / Forschungszentrum Karlsruhe



# Vorgehen Quantifizierung Sturmgefährdung

Klima-  
Projektionen

- Regionale Modelle REMO und CLM (Konsortialläufe 1+2 + IMK)
- Emissionsszenario A1B (A2, B1)
- Kontrollzeitraum: 1971-2000; Projektionszeitraum 2021-2050
- Gebiet: Baden-Württemberg / Deutschland

Statistisches  
Modell

- Auswahl Stichprobe: statistisch unabhängige Ereignisse (POT/MIS)
- Extremwertstatistische Verteilungsfunktion und geeignetes Schätzverfahren für die freien Parameter

Validierung  
Sturmfelder

- Validierung Böengeschwindigkeit aus Klimaprojektionen gegenüber Stationsdaten, Sturmgefährdungskarte CEDIM + ERA-40 angetriebene CLM-Rechnungen (IMK)

Änderungs-  
szenarien

- Perzentile (98., 99.)
- Windgeschwindigkeiten für verschiedene Wiederkehrperioden
- **Sturmfelder: Windgeschwindigkeit und räumliche Ausdehnung**

# Quantifizierung Sturmklima

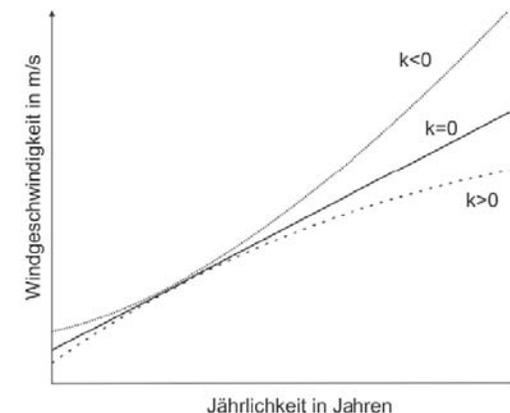
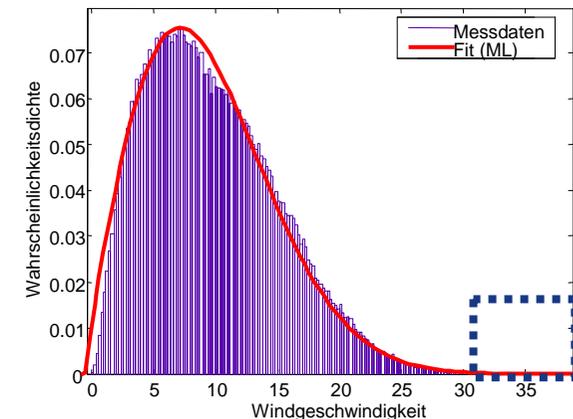
- Anwendung Extremwertstatistik **an jedem Gitterpunkt**
  - ⇒ Windgeschwindigkeit als Funktion der Wiederkehrperiode (RL):  $v(RL)$
  - ⇒ Sturmklima Zukunft aus Änderung  $v(RL)$  zwischen C20 und A1B

- Statistik

- Stichprobe mit Sturmereignissen
- extremwertstatistische Verteilungsfunktion
- Schätzung der freien Parameter

- Methoden (nach umfassender Evaluierung)

- „Peaks over threshold“,  $t > 48$  h ⇒ Stichprobe iid
- Basis: 100 stärkste Ereignisse in 30 Jahren
- Generalisierte Paretoverteilung
- Maximum Likelihood-Schätzer für Parameter

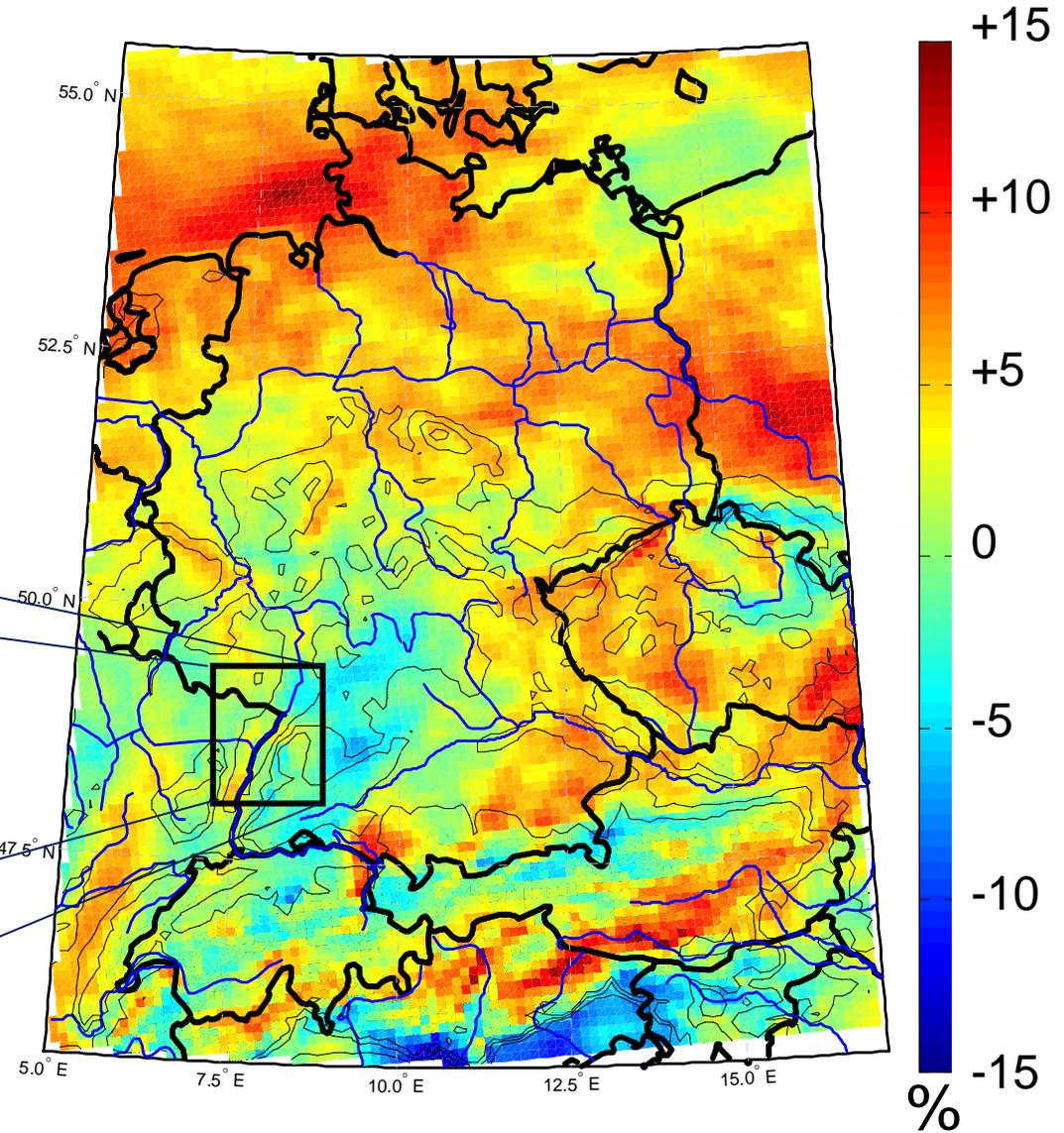
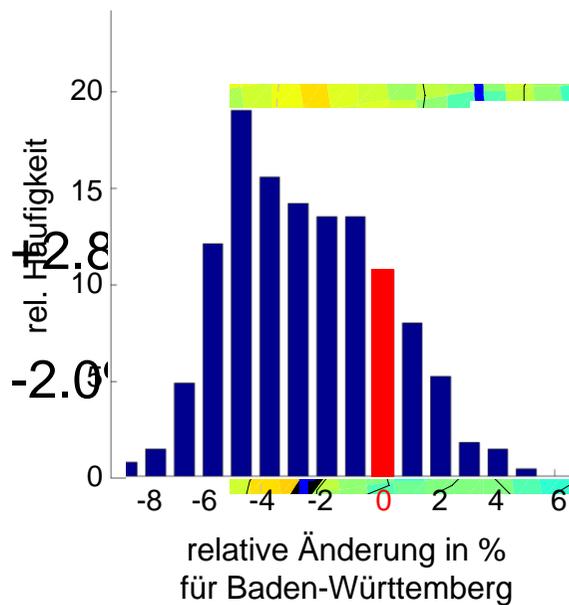


# Sturmklima A1B (2021-2050) vs C20 (1971-2000)

## REMO: A1B/C20

relative Änderung der  
Böengeschwindigkeit  
(A1B-C20)/C20

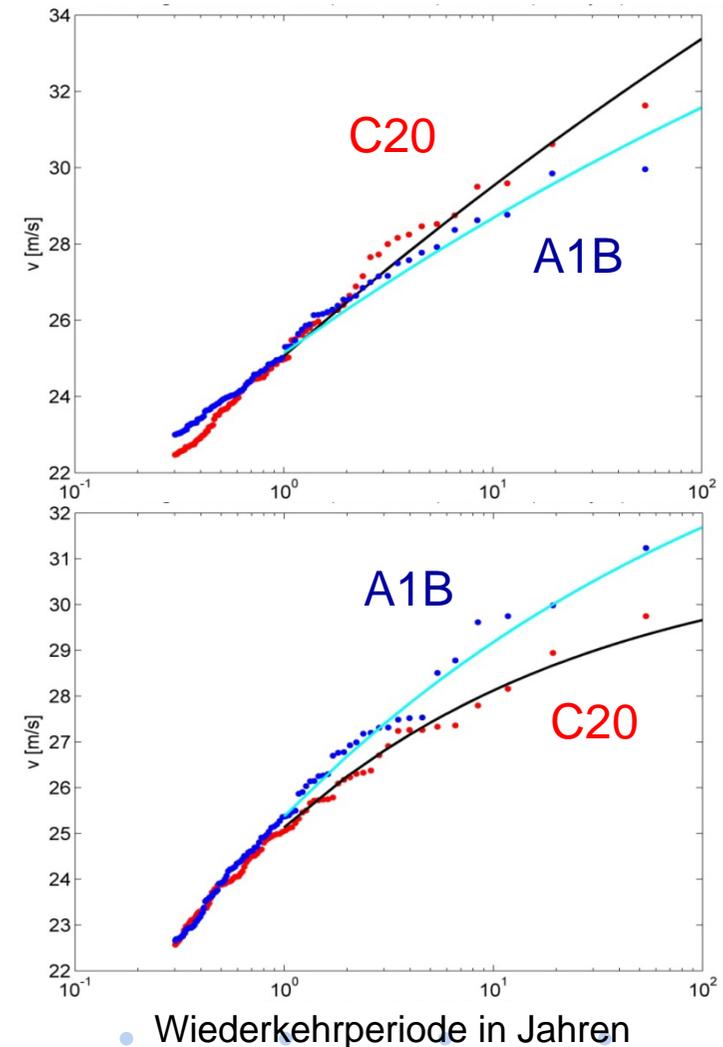
Wiederkehrperiode 10 Jahre



# Sturmklima A1B (2021-2050) vs C20 (1971-2000)

## REMO A1B/C20: Verteilungsfunktionen benachbarter Gitterpunkte

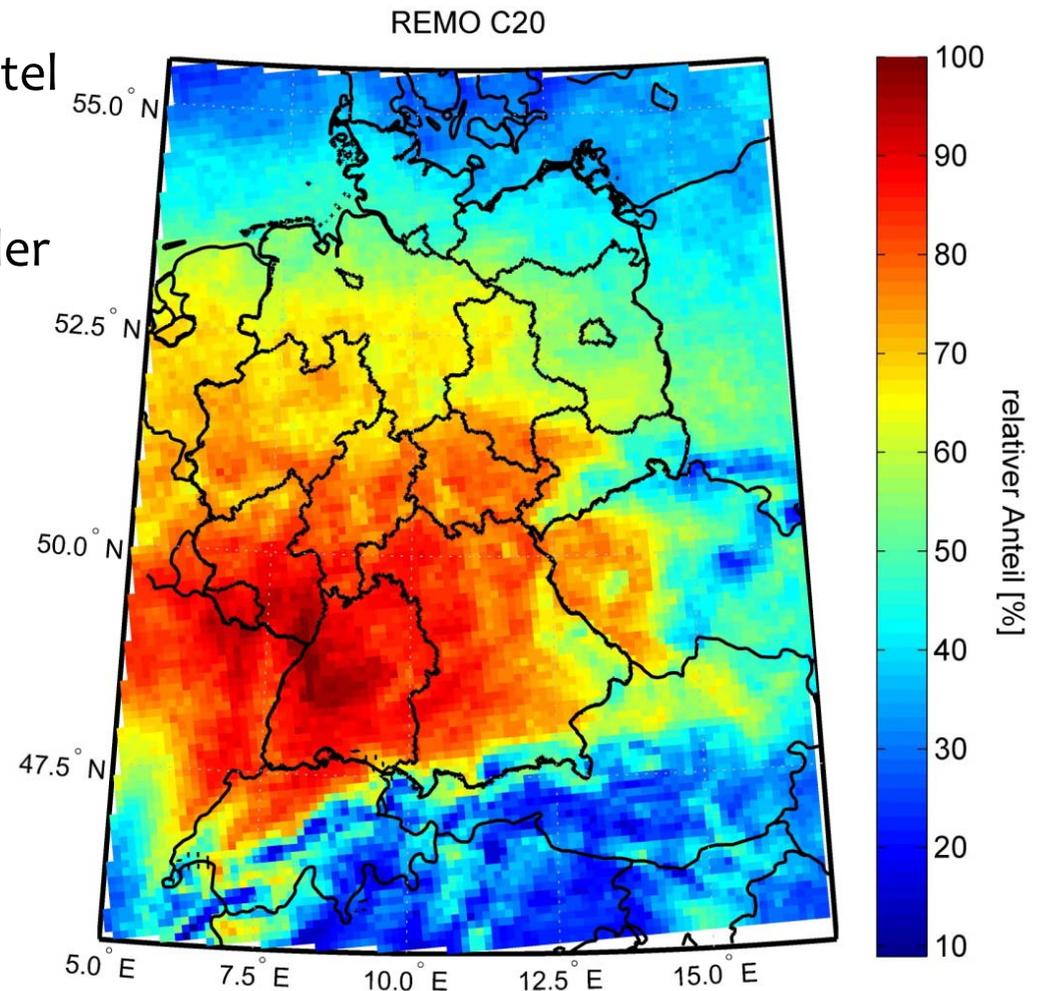
- Zukunft: **Abnahme** Böengeschwindigkeit ab Auftretenswahrscheinlichkeit  $p = 1$
- Zukunft: **Zunahme** Böengeschwindigkeit im gesamten Bereich



# Repräsentanz der Ereignisse

## REMO C20: Übereinstimmung der Stichproben an den Gitterpunkten

- Alle Sturmereignisse aus Mittel über 10 Gitterpunkte
- Relative Übereinstimmung der Ereignisse (Datum) an den Gitterpunkten in %



# Robustheit der Ergebnisse aus Klimaprojektionen

„Ensemblebetrachtung“: Verwendung mehrerer regionaler Klimamodelle

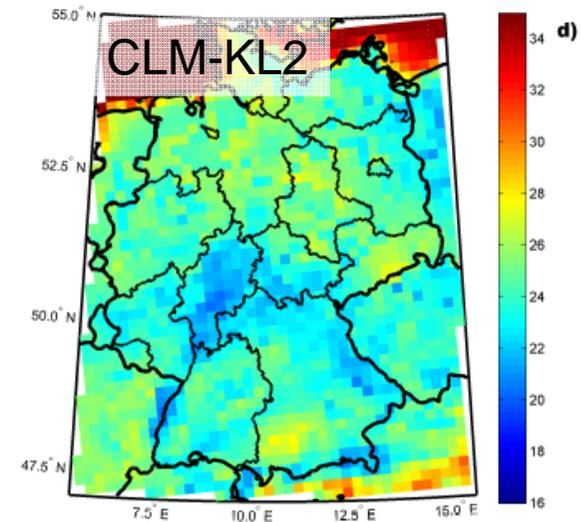
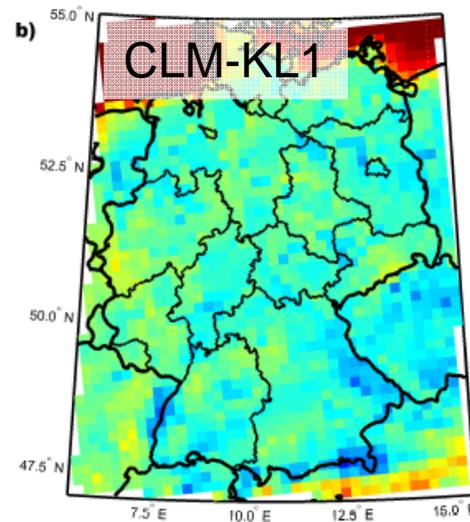
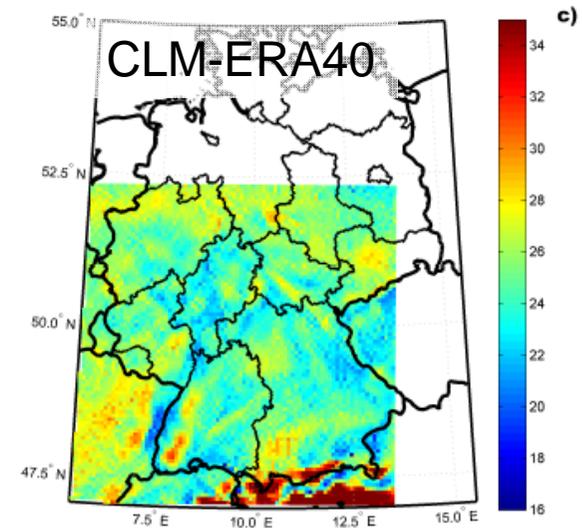
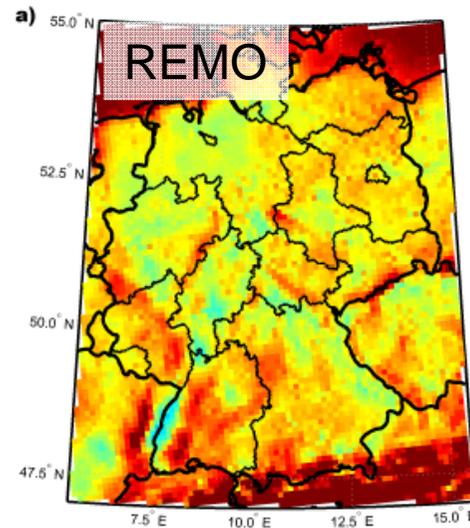
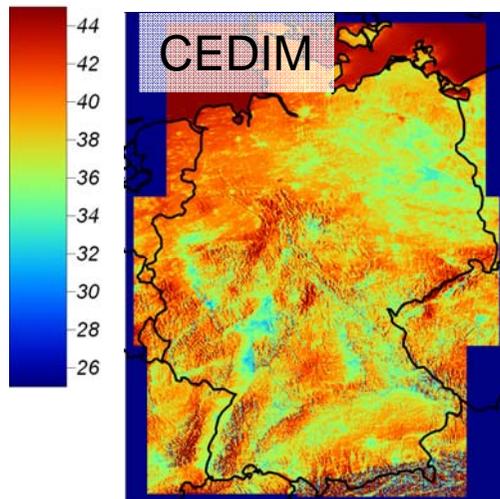
	REMO-UBA	CLM-KL	CLM-ERA40	CLM-IMK
Gebiet	D A CH	Europa	Mitteleuropa-S	<i>Mitteleuropa-S</i>
Antrieb	ECHAM5/MPI	ECHAM5/MPI	ECHAM5/MPI	<i>ECHAM5/MPI</i>
Lauf	1 (1860)	1,2,334	1	<i>1,3</i>
Auflösung	0.088° ≈ 10 km	0.167° ≈ 20 km	0.0625° ≈ 7 km	<i>0.0625° ≈ 7 km</i>
SRES	C20, A1B, A2,	C20, A1B, A2,	C20	<i>C20,A1B</i>
Format	REG	netCDF	netCDF	<i>netCDF</i>

# Vergleich der regionalen Modelle: C20 (1971-2000)

Kontrollzeitraum C20

Böengeschwindigkeit

Wiederkehrperiode  
10 Jahre



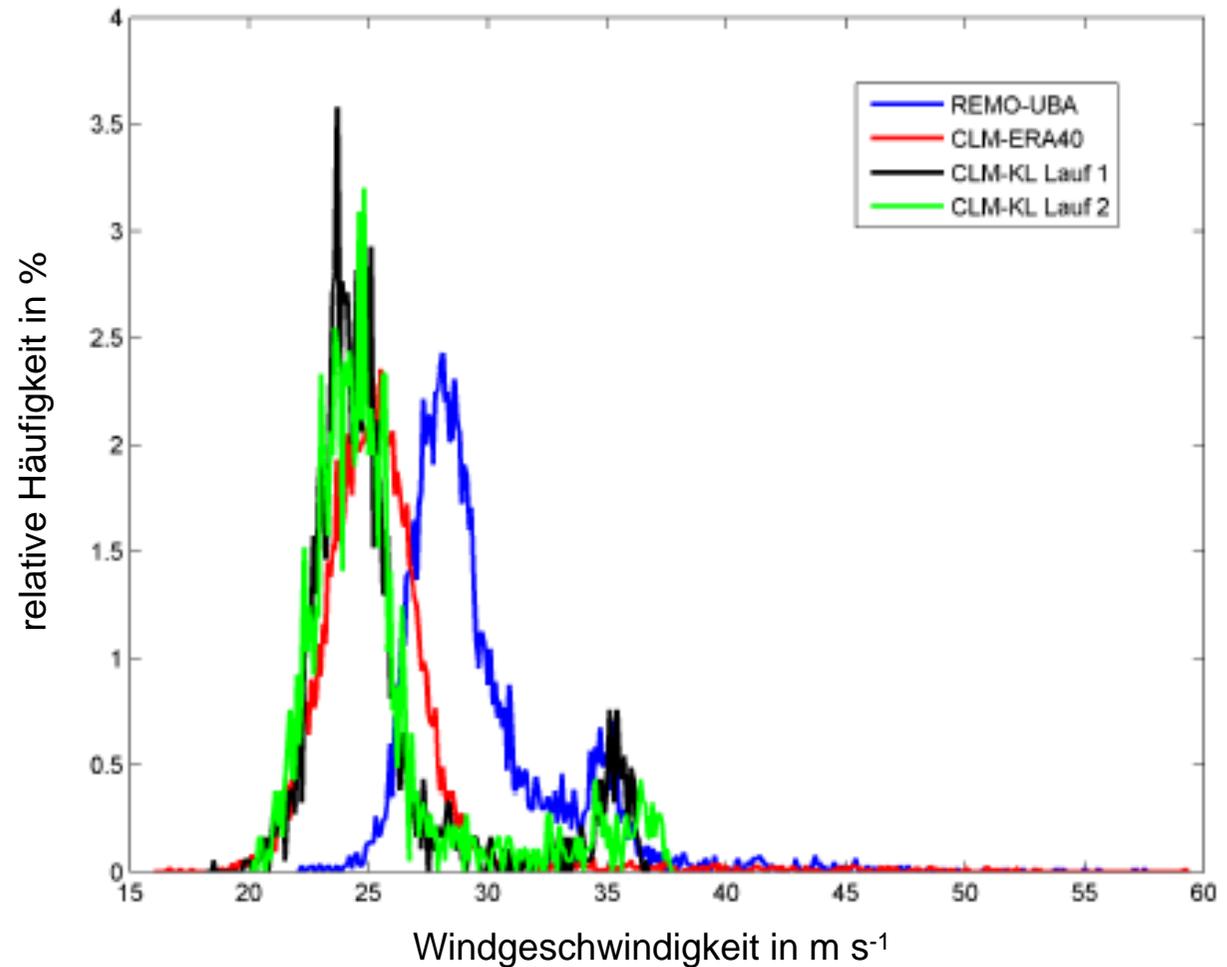
# Vergleich der regionalen Modelle: C20 (1971-2000)

## Kontrollzeitraum C20

Böengeschwindigkeit

Wiederkehrperiode  
10 Jahre

Gebiet: Deutschland

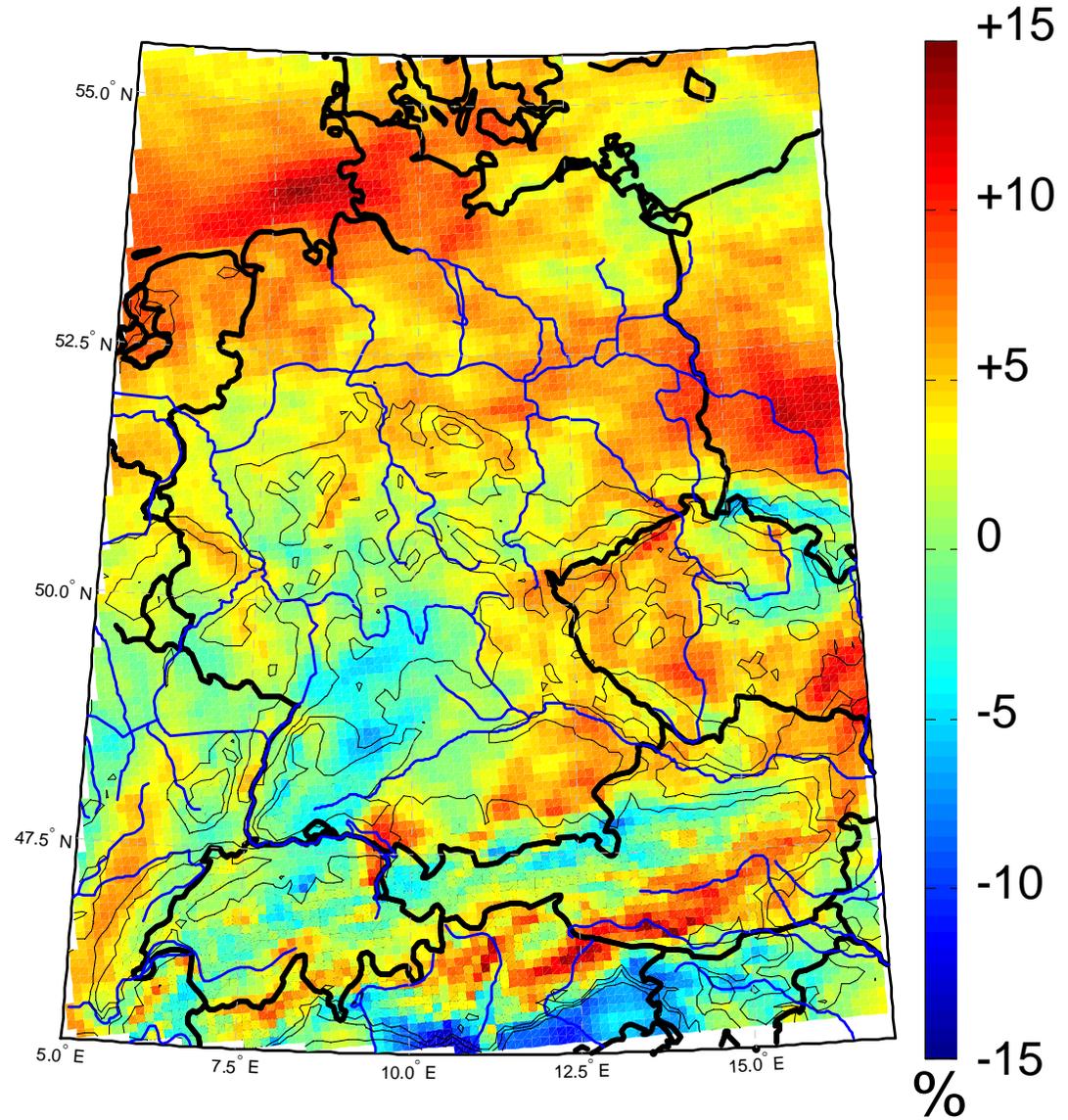
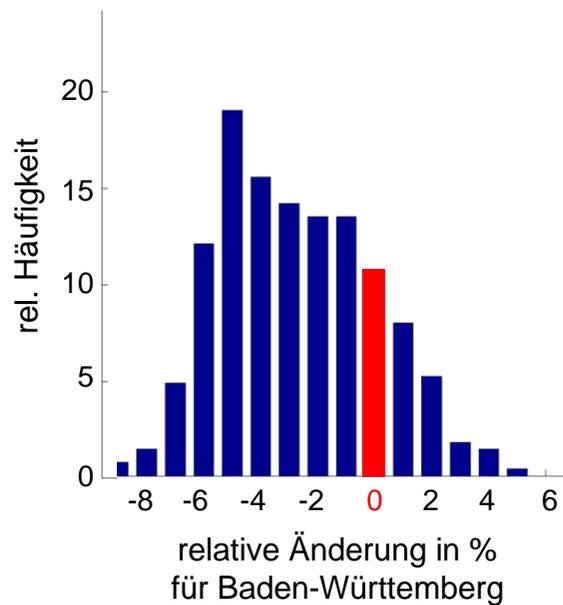


# Sturmklima A1B (2021-2050) vs C20 (1971-2000)

## REMO: A1B/C20

relative Änderung  
Böengeschwindigkeit  
(A1B-C20)/C20

Wiederkehrperiode 10 Jahre

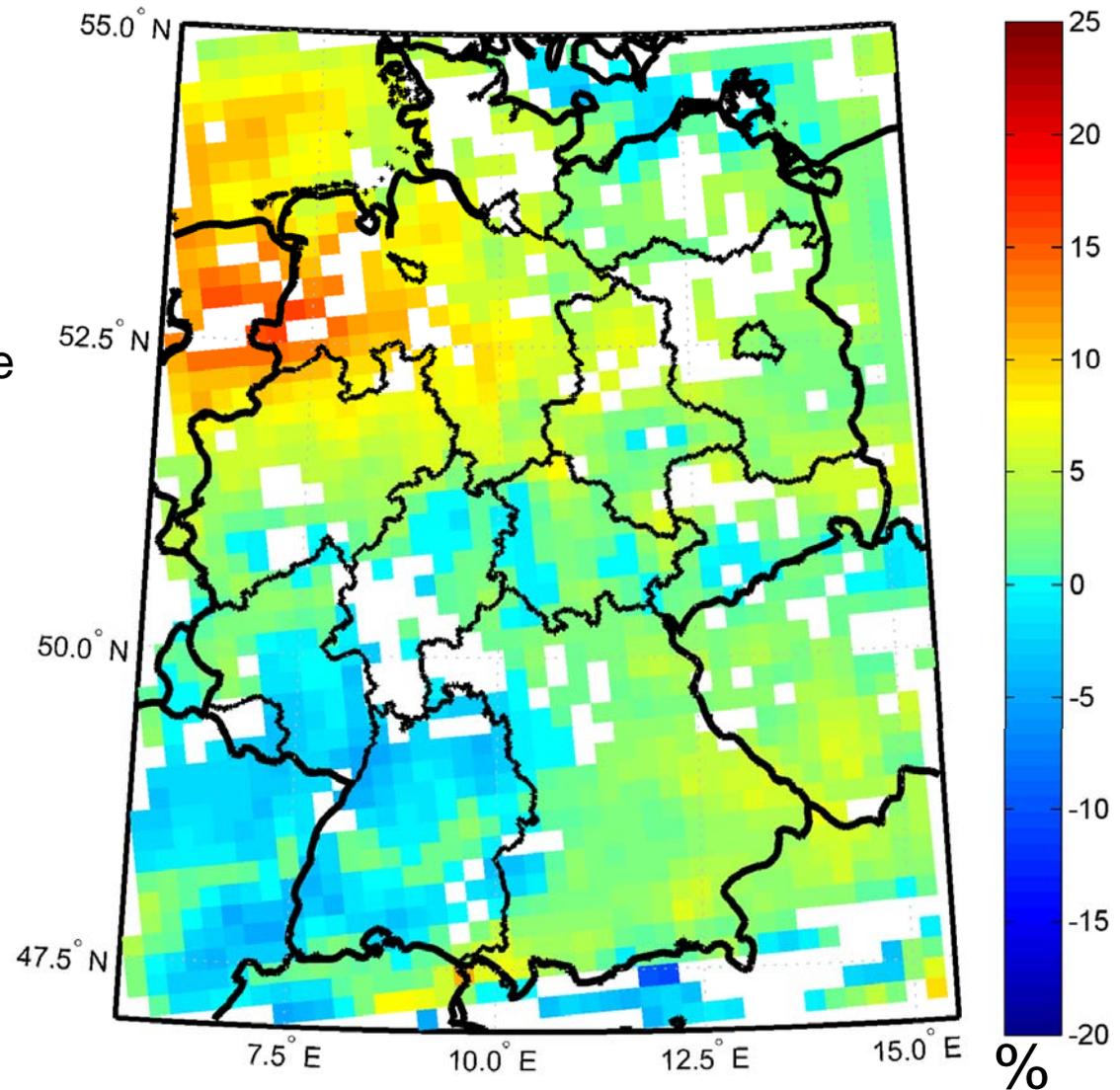
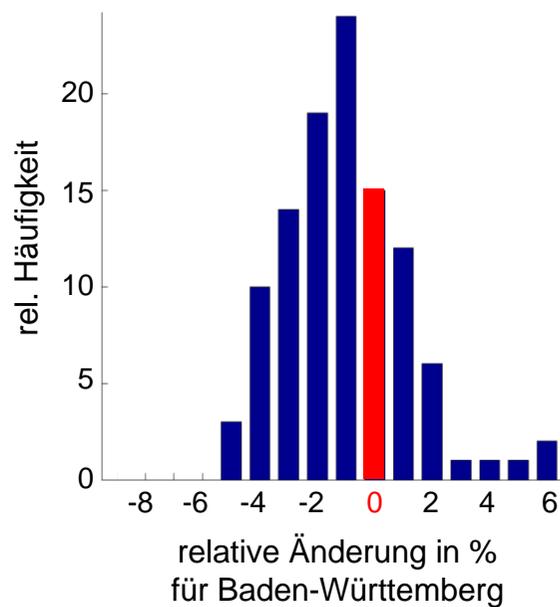


# Sturmklima A1B (2021-2050) vs C20 (1971-2000)

## CLM-KL1: A1B/C20

relative Änderung  
Böengeschwindigkeit  
(A1B-C20)/C20

Wiederkehrperiode 10 Jahre

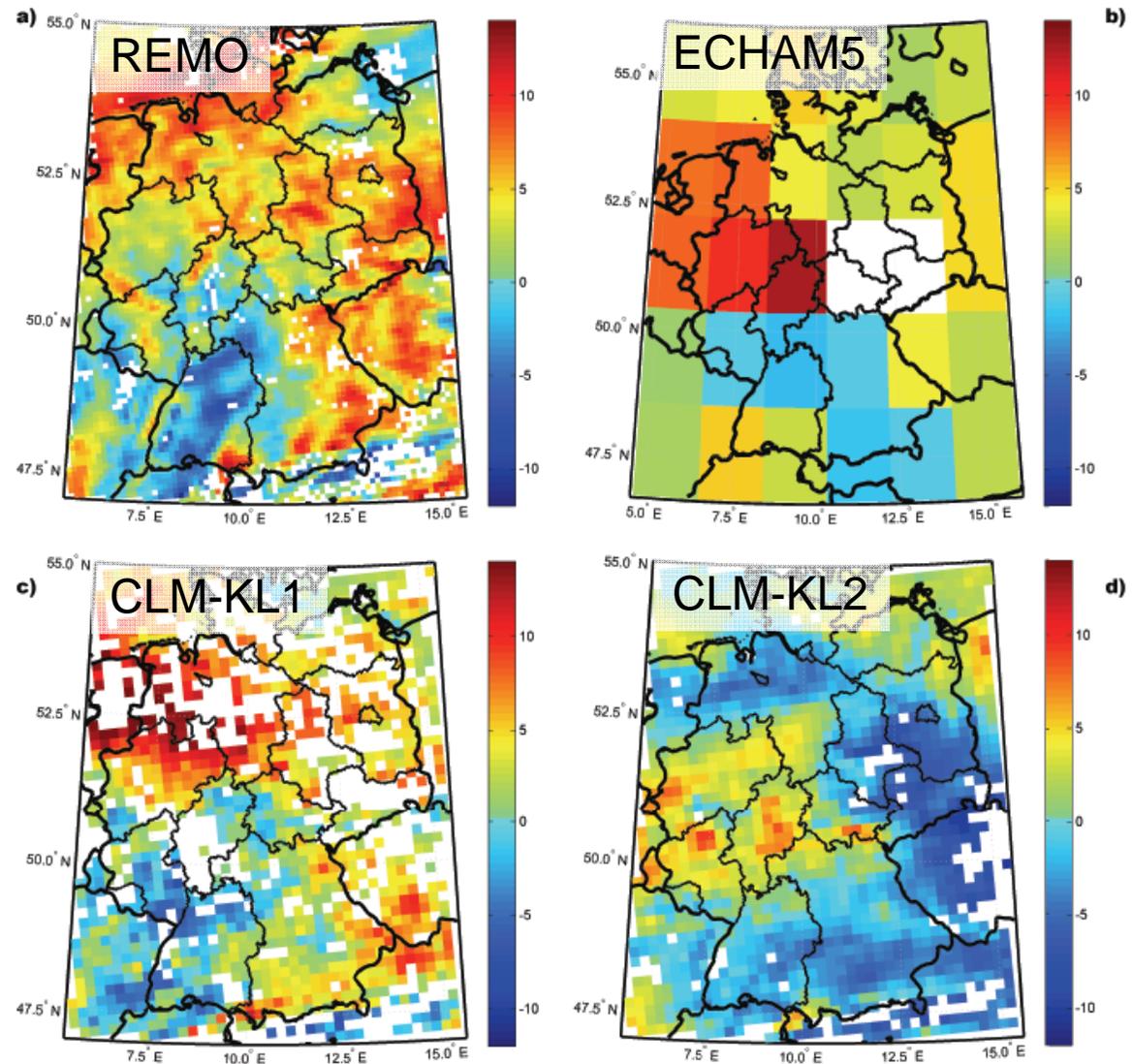


# Vergleich der regionalen Modelle: Änderung A1B vs C20

## Projektionszeit. A1B

relative Änderung der  
Böengeschwindigkeit  
(A1B-C20)/C20

Wiederkehrperiode  
10 Jahre

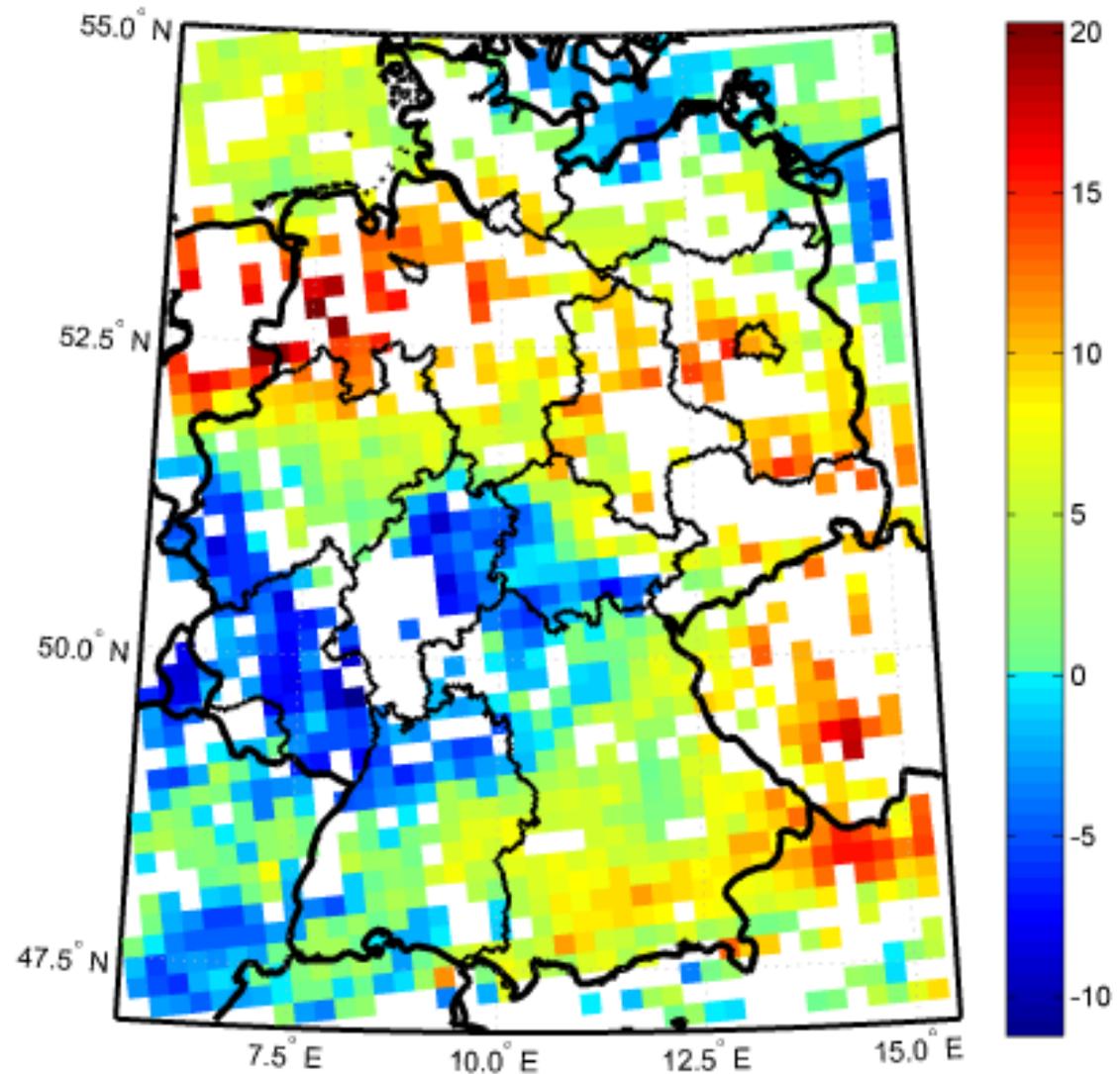


# Differenz der CLM-KL Läufe (A1B vs C20)

## Projektionszeit. A1B

relative Differenz zwischen  
CLM-KL1 und -KL2 der  
Böengeschwindigkeit  
(A1B-C20)/C20

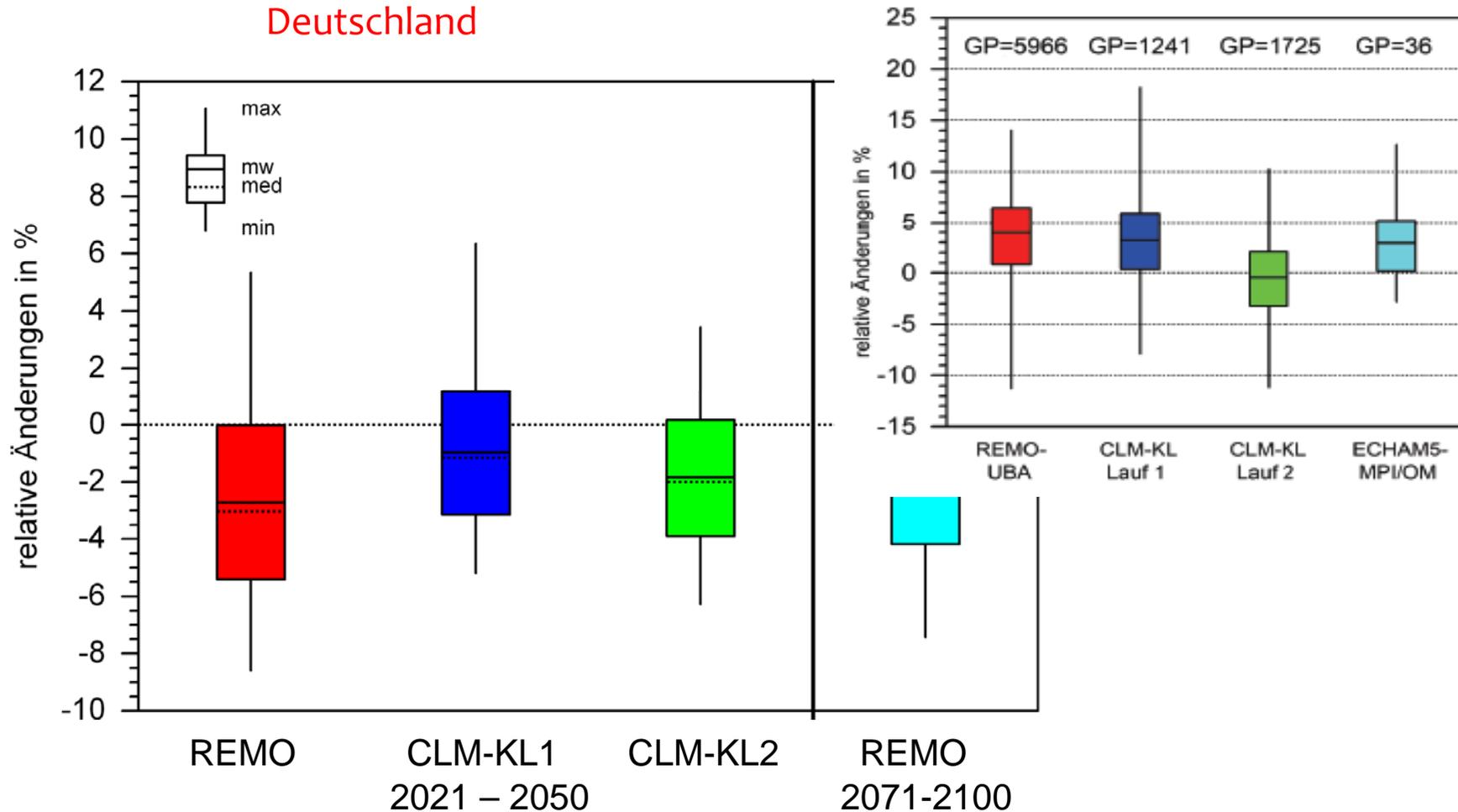
Wiederkehrperiode  
10 Jahre



# Änderungsszenarien Windgeschwindigkeit A1B/C20

- Relative Änderungen Böengeschwindigkeit für eine Wiederkehrperiode von 10 a
- Gitterpunkte Baden-Württemberg

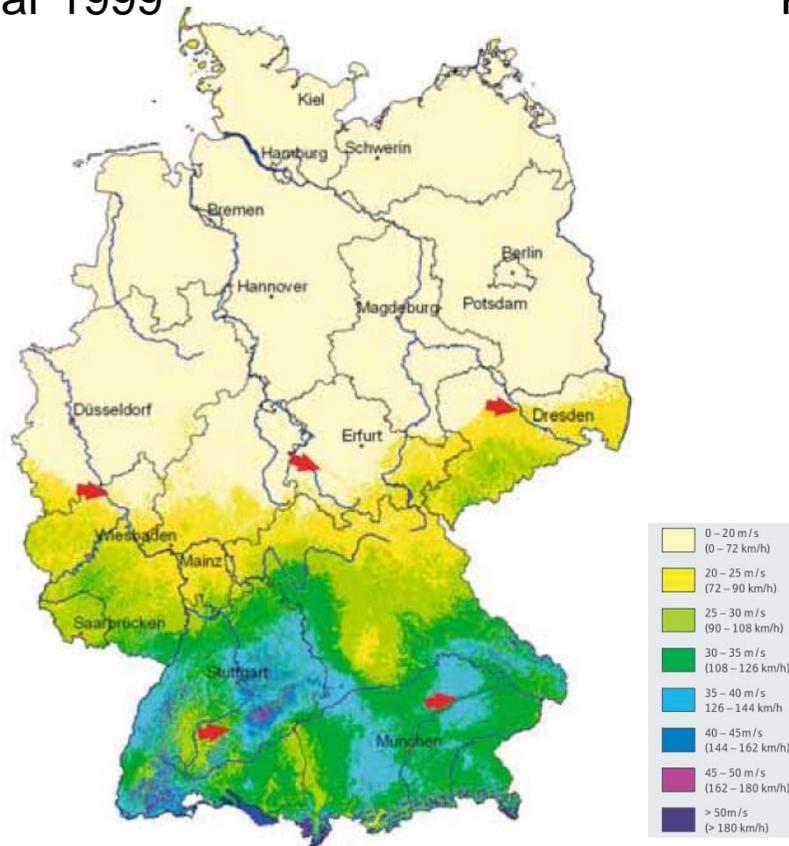
Deutschland



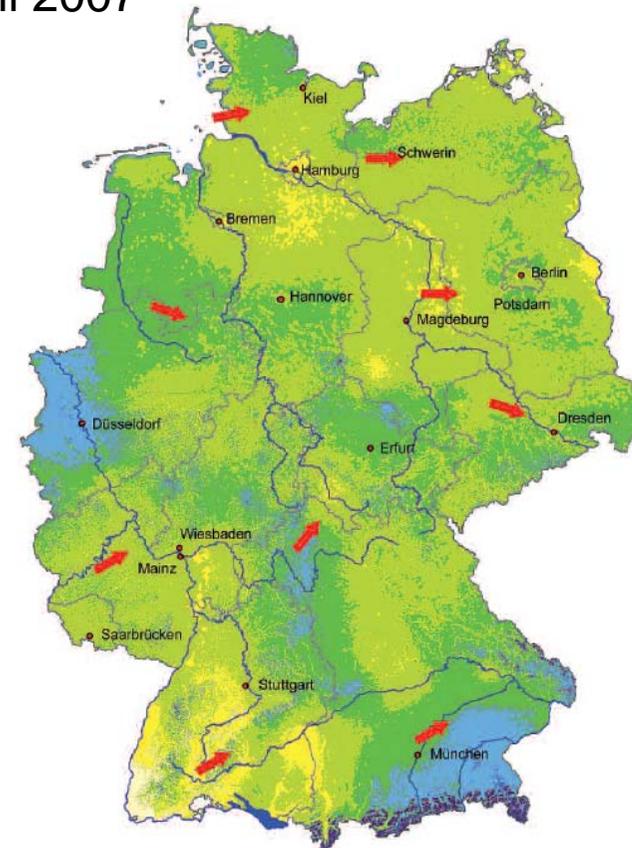
# Ausblick: Berücksichtigung räumliche Ausdehnung Stürme

- Kumulschaden durch Winterstürme bestimmt von:
  - Böengeschwindigkeit
  - räumliche Ausdehnung des Windfelds

Lothar 1999



Kyrrill 2007



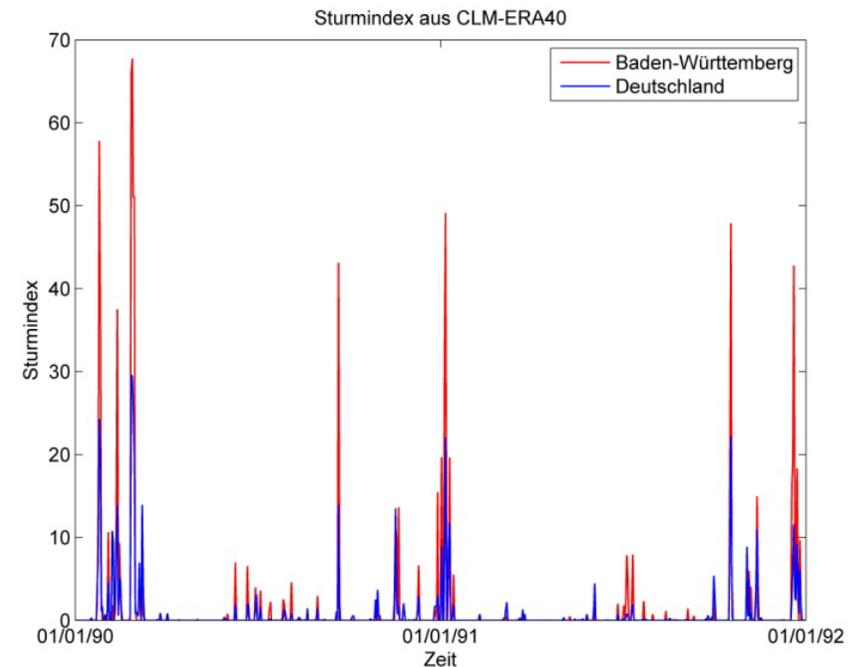
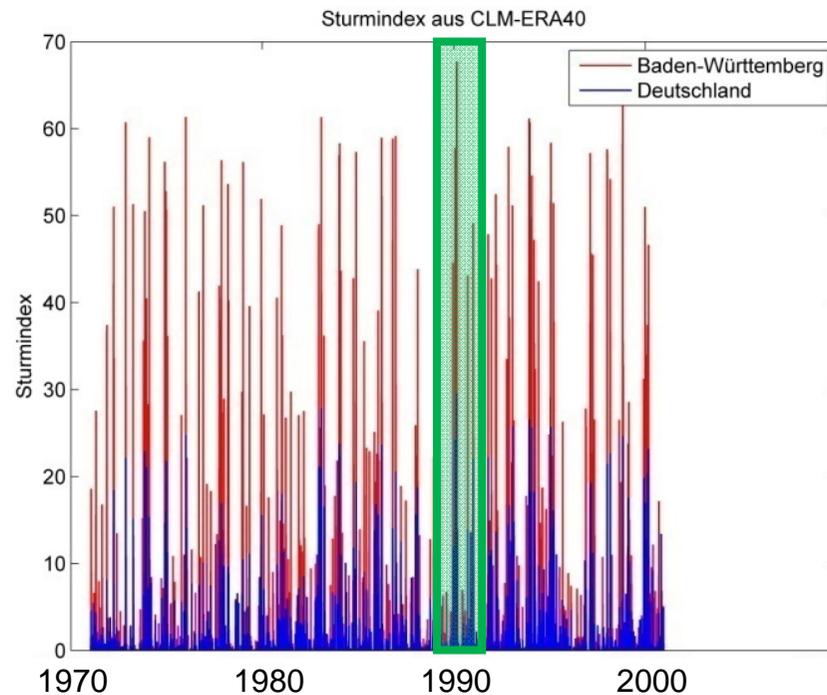
(Deutsche Rück, 1999, 2007)

# Ausblick: Berücksichtigung räumliche Ausdehnung Stürme

- Sturmindices: räumliche Integration Perzentile Windgeschwindigkeit, normiert mit Sturmklimatologie

- z.B.  $Sfq95(t) = \sum_{x,y \in \Delta_\delta} \mathbb{1}_{\{>1\}} \left( \frac{w(x,y,t)}{q95(x,y)} \right) \cdot \kappa(x,y) \frac{w(x,y,t)}{q95(x,y)}$

$$\mathbb{1}_{\{>1\}} = \begin{cases} 1 : \left( \frac{w(x,y,t)}{q95(x,y)} \right) > 1 \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases}$$



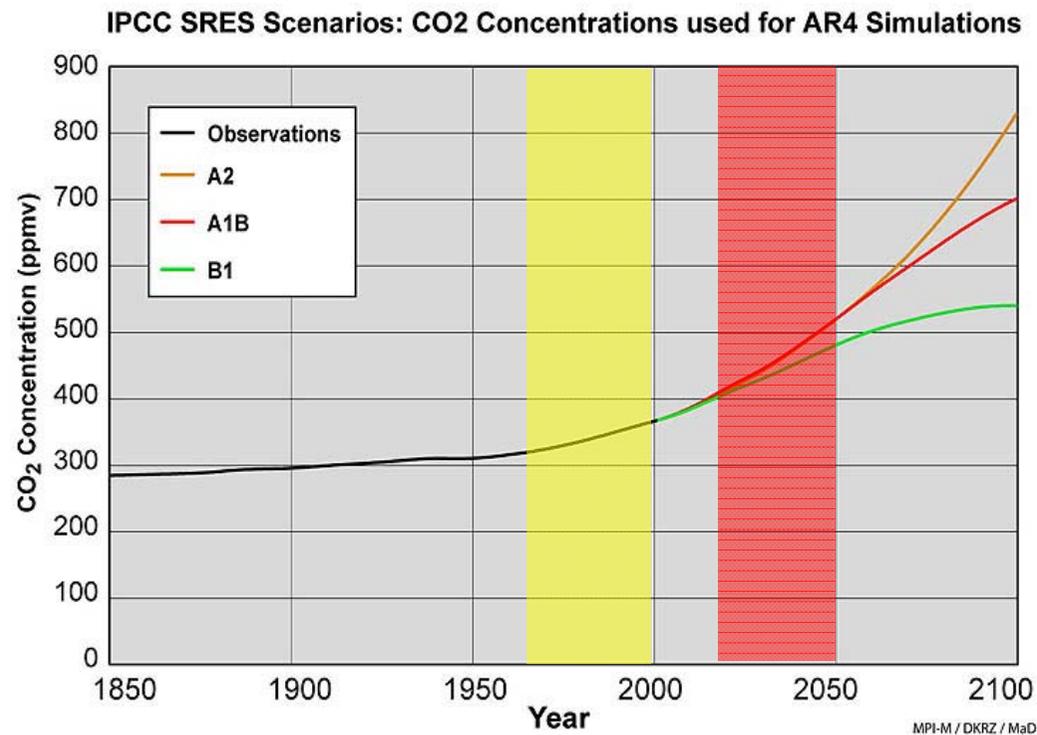
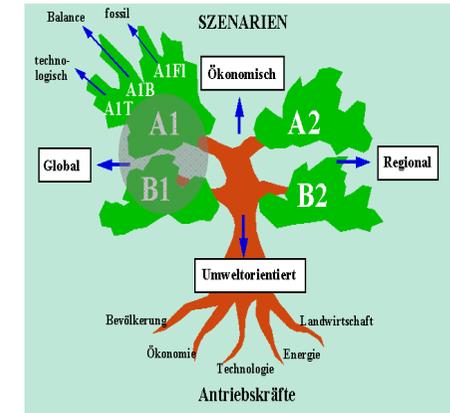
# Schlussfolgerungen und Ausblick

- Regionale Klimamodellierung notwendig für „realistische“ Wiedergabe von Extremereignissen; nicht enthalten in Globalmodell
- Ergebnisse sind sensitiv auf zugrunde liegender Statistik: Verteilungsfunktion und Parameterschätzverfahren
- Starke, aber systematische Unterschätzung der Windgeschwindigkeiten durch alle regionalen Klimamodelle
- Bisheriges Ergebnis der geringen Änderung des Sturmklimas in Baden-Württemberg (REMO) wird durch weitere Klimaprojektionen bestätigt
- Zukunft:
  - Berücksichtigung der räumlichen Ausdehnung der Sturmereignisse
  - Detektion und Analyse der Zugbahnen / Zyklinendichte
  - hoch auflösende Simulationen: verbesserte Wiedergabe Orografie???



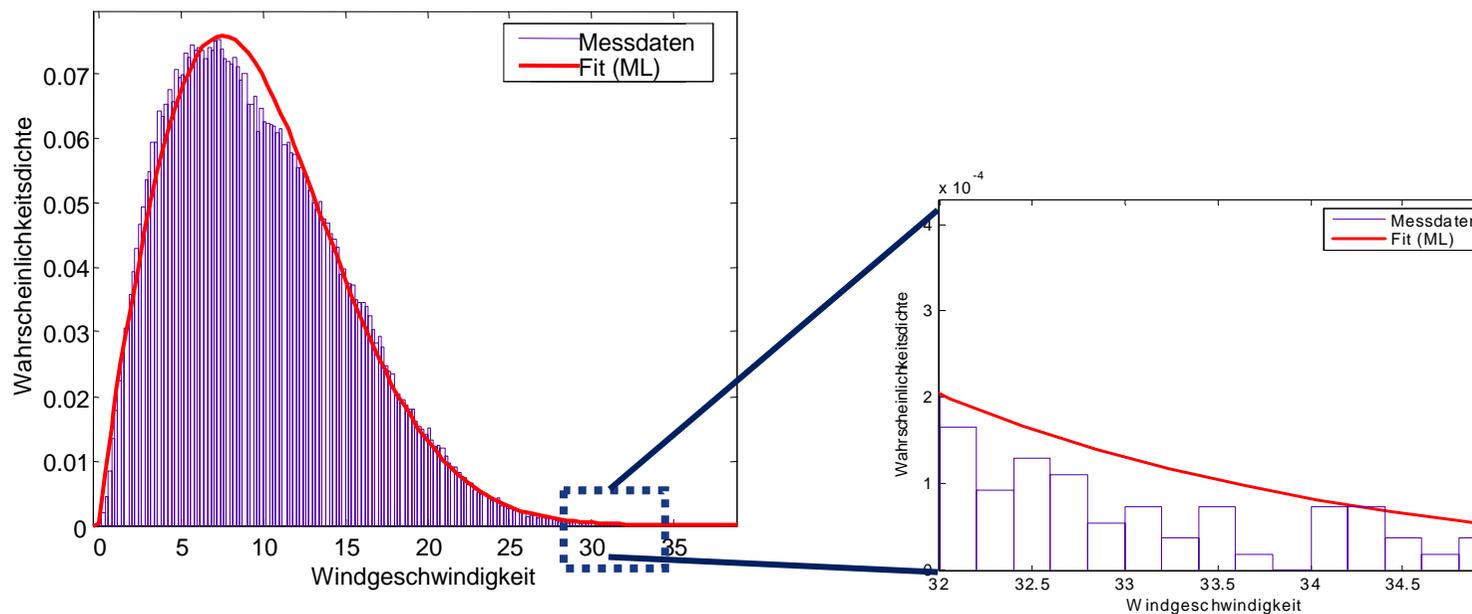
# Klimaprojektionen SRES / ECHAM-5 / REMO

- Emissionsszenario IPCC-SRES: A1B
- Zeiträume: 1971-2000 (C20) sowie 2021-2050 (A1B)



# Statistische Beschreibung der Windgeschwindigkeit

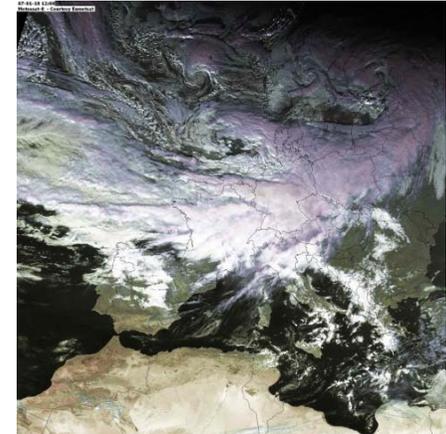
- Schätzung extremwertstatistischen Verteilungsfunktion für jeden Gitterpunkt
  - ⇒ Windgeschwindigkeit als Funktion der Wiederkehrperiode (RL)
    - Auswahl der zu berücksichtigenden Ereignisse
    - Auswahl einer geeigneten extremwertstatistischen Verteilungsfunktion
    - Schätzung der freien Parameter



# Ziele und offene Fragestellungen

## Ziele

- ✘ Quantifizierung der gegenwärtigen und zukünftigen Sturmgefährdung durch regionale Klimaprojektionen
- ✘ Evaluierung/Anpassung der Modellergebnisse
- ✘ In wie weit können hoch aufgelöste Simulationen die (veränderte) Schadensanfälligkeit von Wäldern wiedergeben?



## Fragen

- ✘ Wie hängen die Ergebnisse von der Statistik ab?
- ✘ Wodurch resultieren starke räumliche Gradienten?
- ✘ Wie robust sind die Aussagen aus den Klimaprojektionen?
- ✘ Wie können Sturmfelder charakterisiert werden?

