

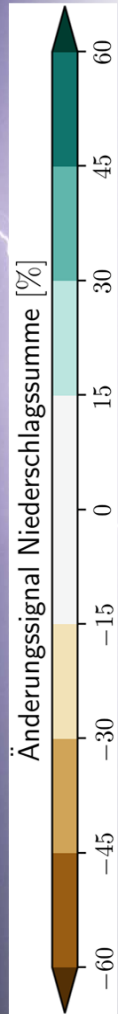
# Erfahrungen mit Klimasimulationen auf der Kilometer-Skala

*Dr. Kirsten Warrach-Sagi*

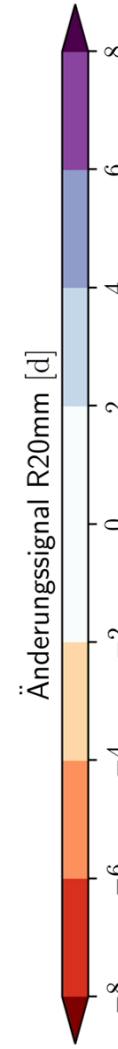
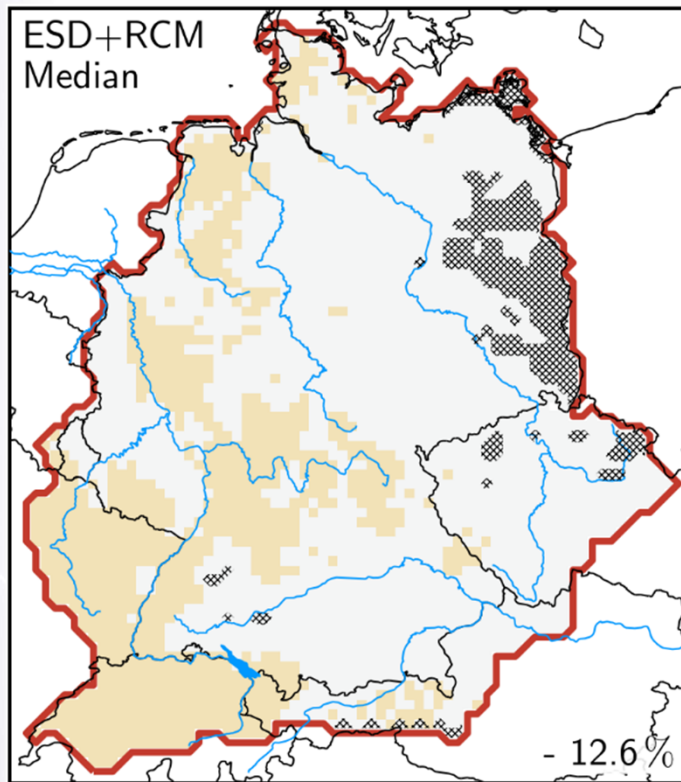
*Universität Hohenheim*

*Institut für Physik und Meteorologie*

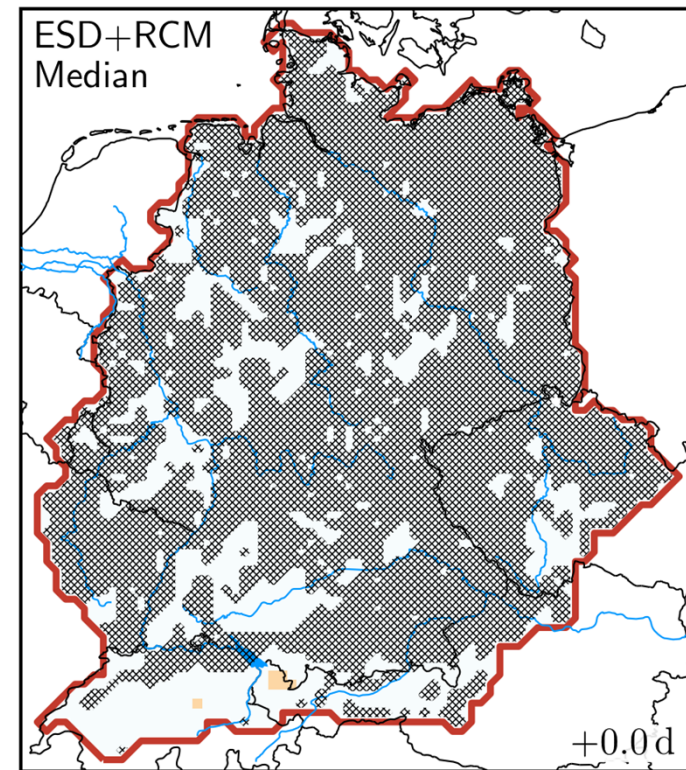
# Median der Änderung des Niederschlags im Sommer 2071-2100 im Vergleich zu 1971-2000



## Niederschlagssumme



## Anzahl der Tage mit mehr als 20 mm

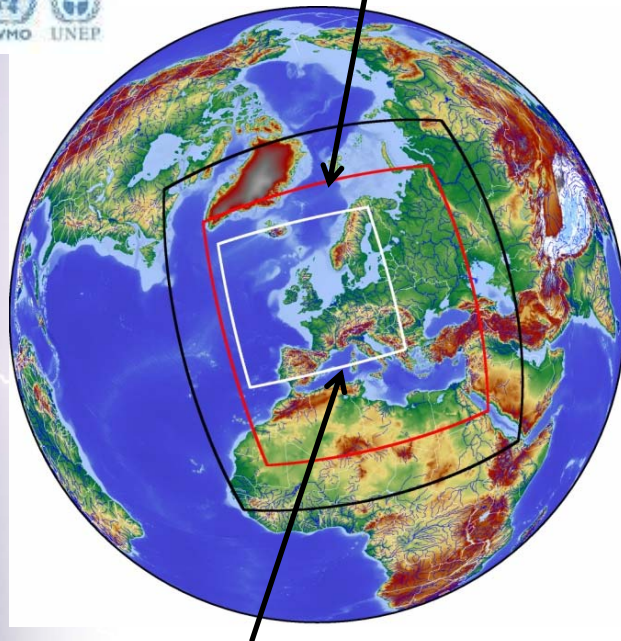


# Auflösungen der Modellsimulationen

**WCRP**  
World Climate Research Programme

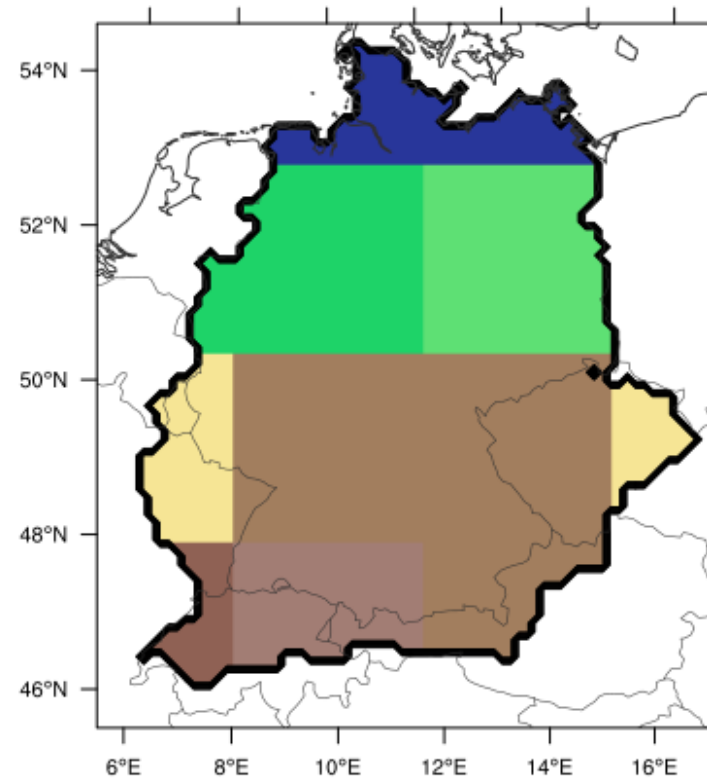
**IPCC**  
INTERGOVERNMENTAL  
PANEL ON  
CLIMATE CHANGE  
WMO UNEP

**EURO-CORDEX**  
(~12km, 50 km)



**Konvektionserlaubende Simulation**  
(~ 3km, Sommer 2007)

dx ~ 250 km



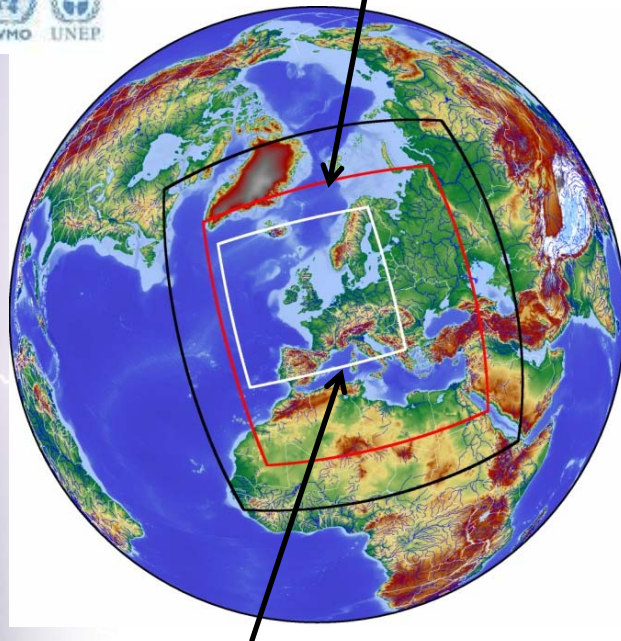
1 50 150 350 700 1100 1600 2200

**Geländehöhe in m**

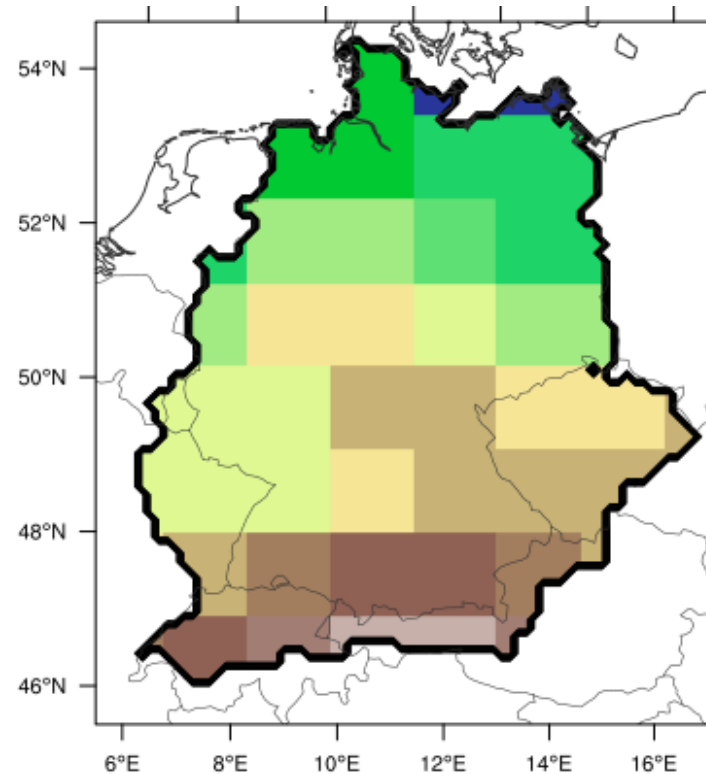
# Auflösungen der Modellsimulationen



**EURO-CORDEX**  
(~12km, 50 km)



**dx ~ 125 km**



1 50 150 350 700 1100 1600 2200

**Geländehöhe in m**

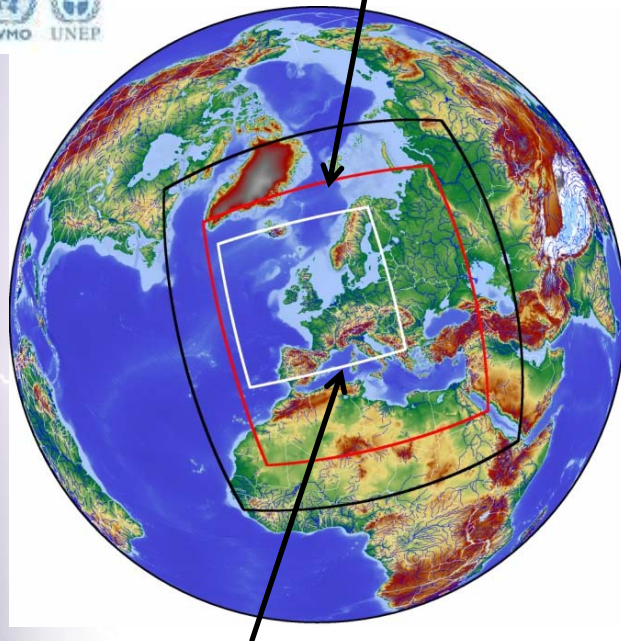
**Konvektionserlaubende Simulation**  
(~ 3km, Sommer 2007)

# Auflösungen der Modellsimulationen

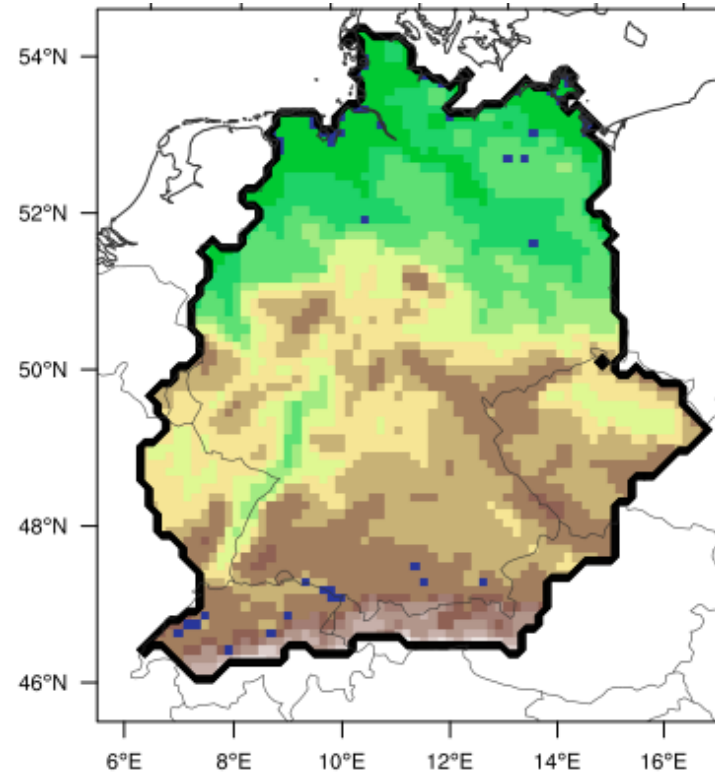
**WCRP**  
World Climate Research Programme

**IPCC**  
INTERGOVERNMENTAL  
PANEL ON  
CLIMATE CHANGE

**EURO-CORDEX**  
(~12km, 50 km)



$dx \sim 12 \text{ km}$



1    50    150    350    700    1100    1600    2200

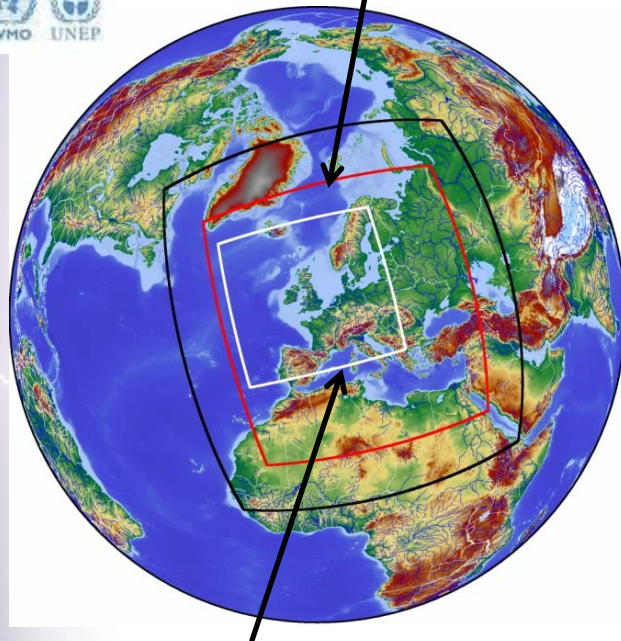
Geländehöhe in m

**Konvektionserlaubende Simulation**  
(~ 3km, Sommer 2007)

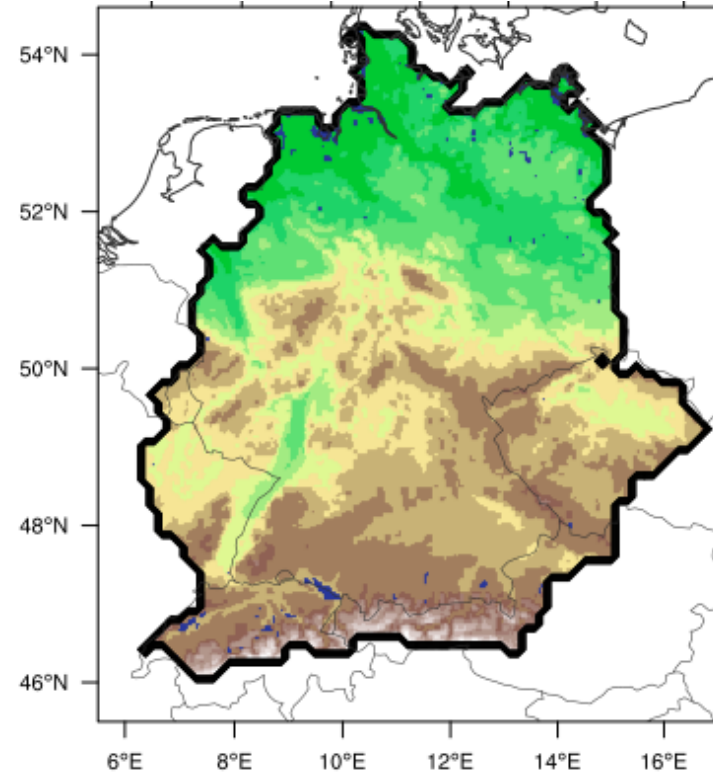
# Auflösungen der Modellsimulationen

**WCRP**  
World Climate Research Programme

**IPCC**  
INTERGOVERNMENTAL  
PANEL ON  
CLIMATE CHANGE  
**EURO-CORDEX**  
(~12km, 50 km)



$dx \sim 3 \text{ km}$

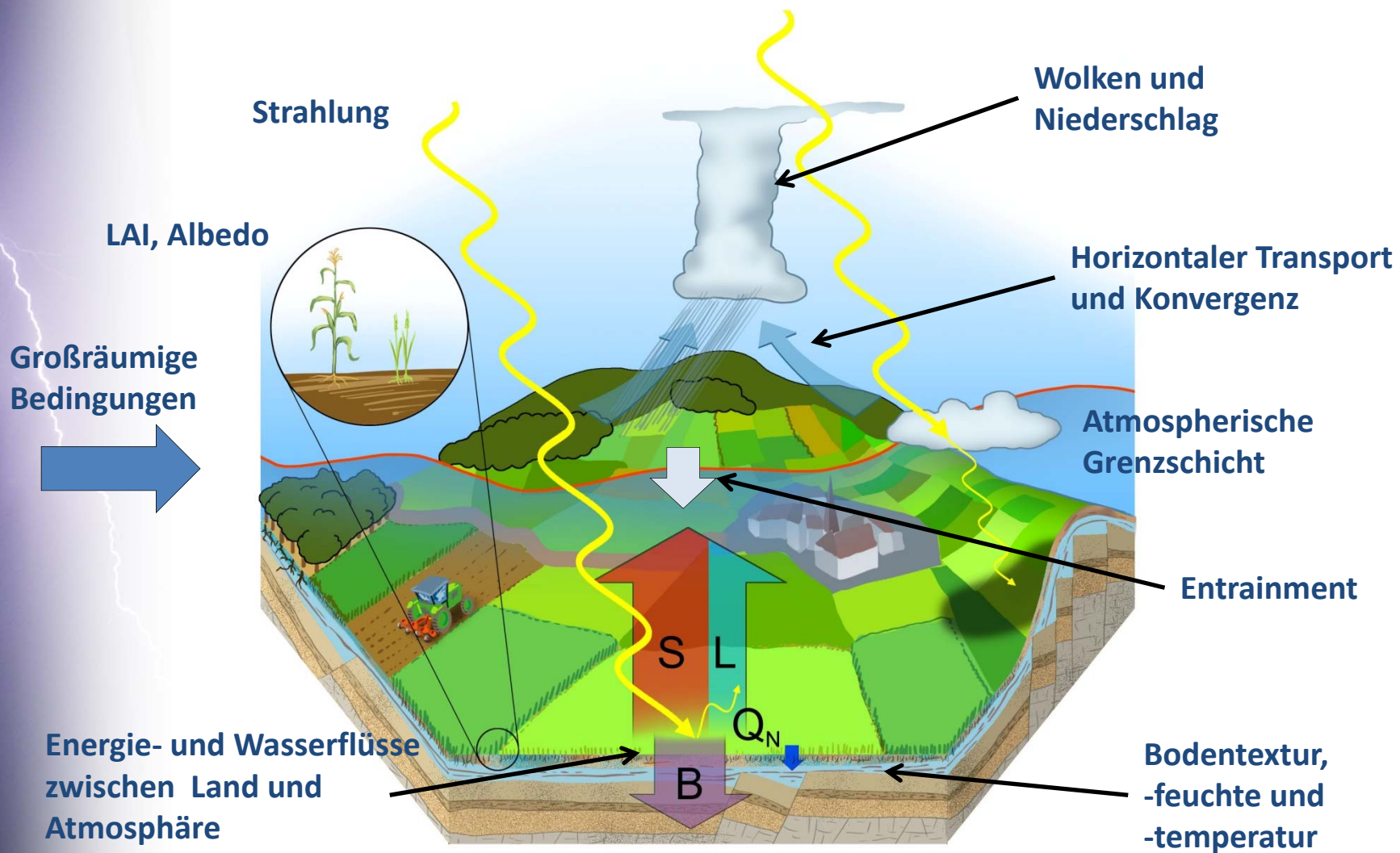


1 50 150 350 700 1100 1600 2200

Geländehöhe in m

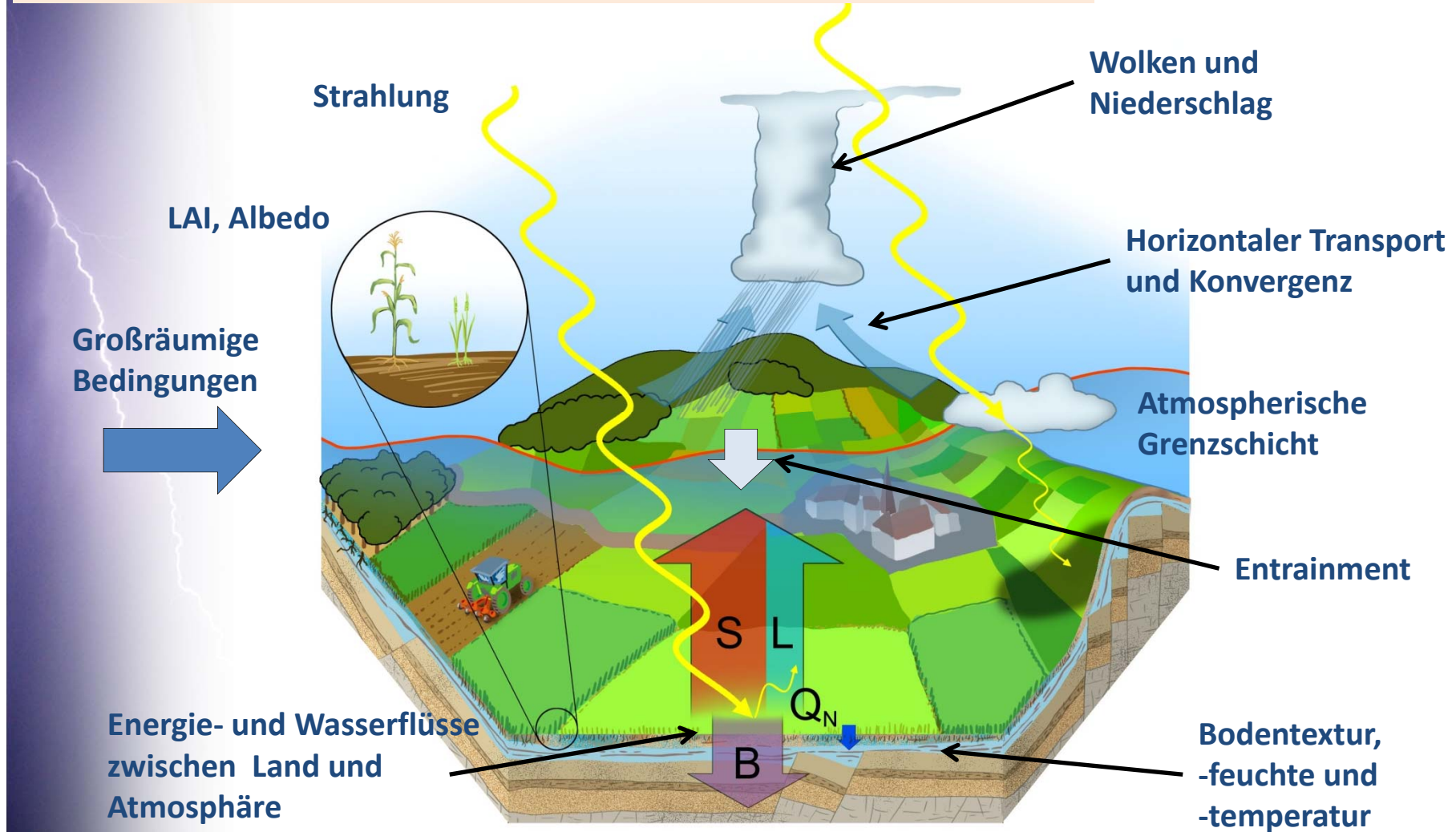
**Konvektionserlaubende Simulation**  
(~ 3km, Sommer 2007)

# Das Land-Atmosphärensystem



© Inst. f. Physik u. Meteorologie, Universität Hohenheim

# Die Wechselwirkungen im Boden-Land-Atmosphärensystem inklusive anthropogener Einflüsse bestimmen die Wasser-, Energie- und Stoffflüsse.

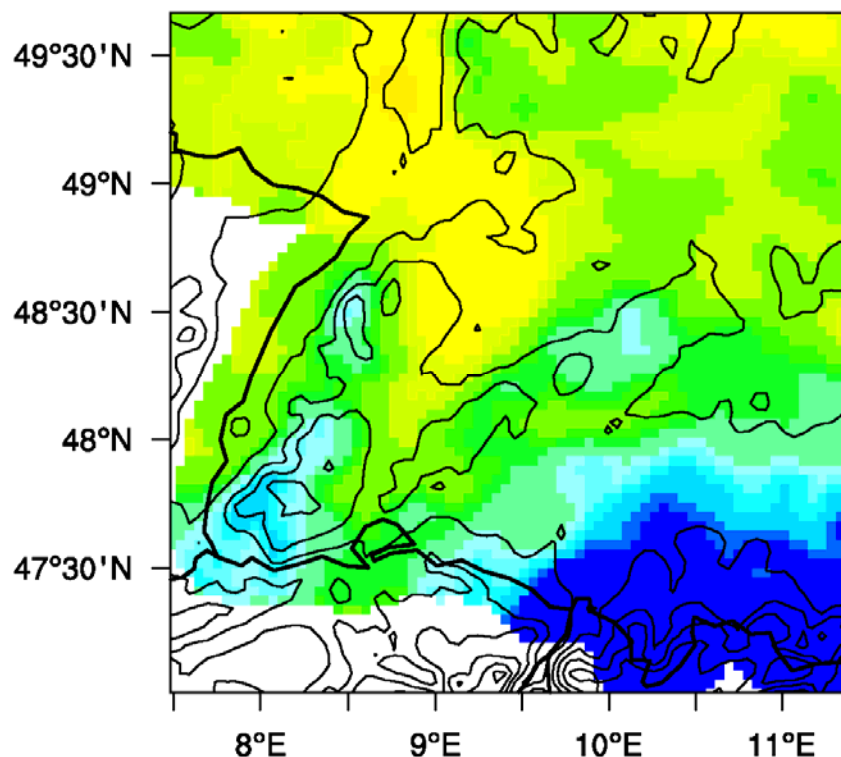


© Inst. f. Physik u. Meteorologie, Universität Hohenheim

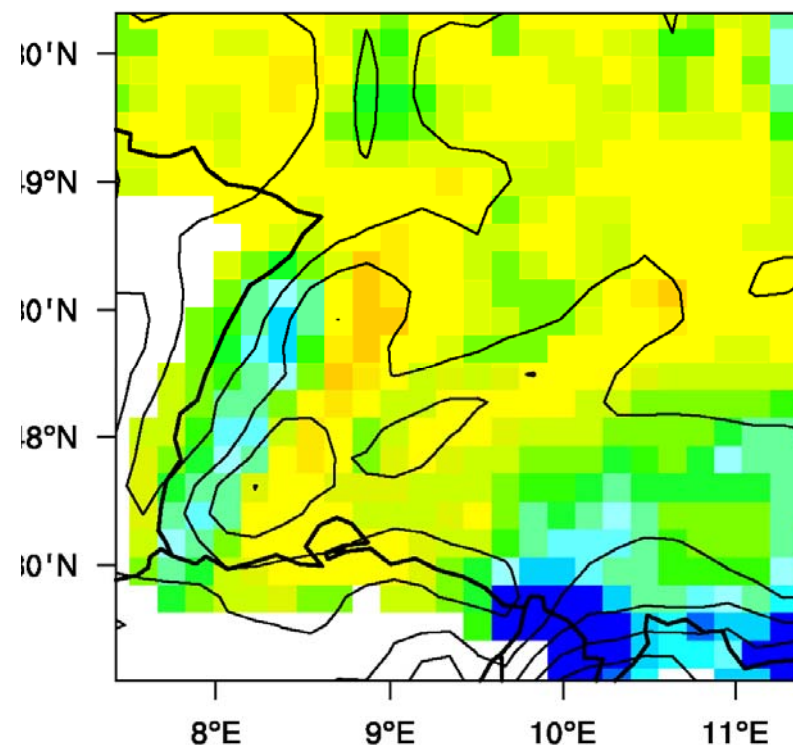


# Niederschlag [mm/Tag] im Sommer 2007 in SW-Deutschland

Beobachtung (REGNIE, 4km)



WRF-Simulation ( 12km )

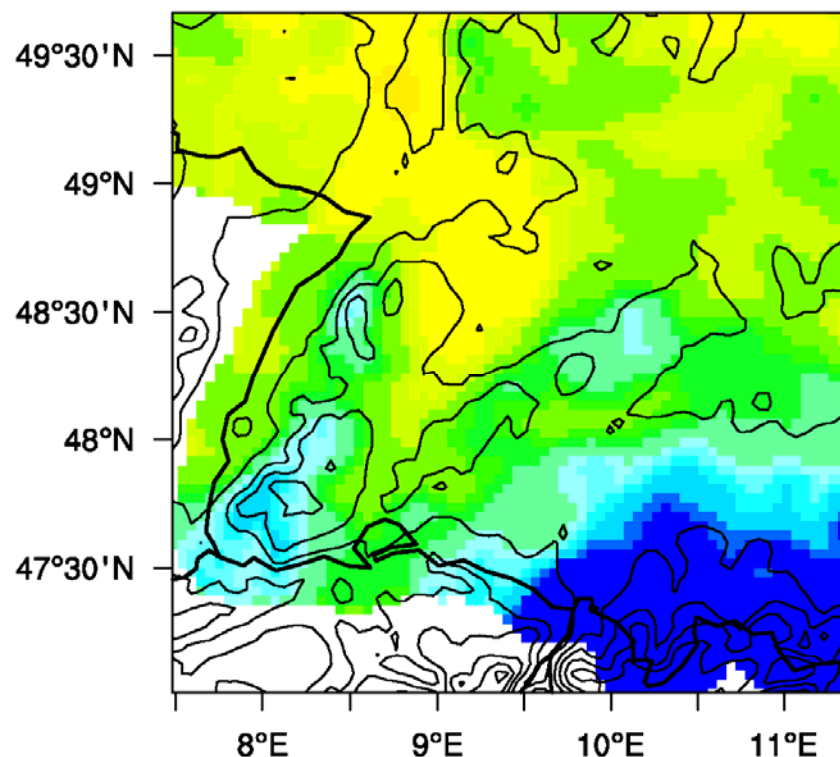


Die Auflösung behebt den Luv-Lee-Effekt, aber andere Problemquellen bleiben oder verstärken sich.

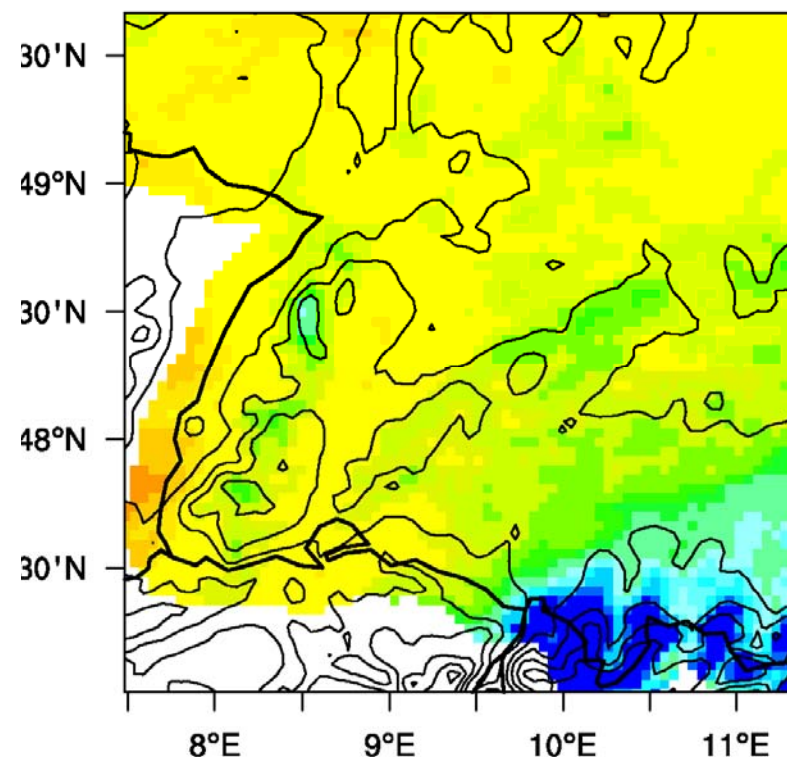
DFG Forschergruppe 1695: Warrach-Sagi et al., *Climate Dynamics*, 2013

# Niederschlag [mm/Tag] im Sommer 2007 in SW-Deutschland

Beobachtung (REGNIE, 4km)



WRF-Simulation (4km)



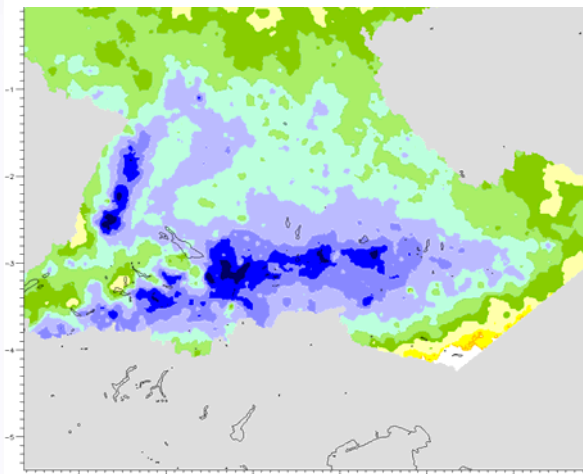
Die Auflösung behebt den Luv-Lee-Effekt, aber andere Problemquellen bleiben oder verstärken sich.

DFG Forschergruppe 1695: Warrach-Sagi et al., *Climate Dynamics*, 2013

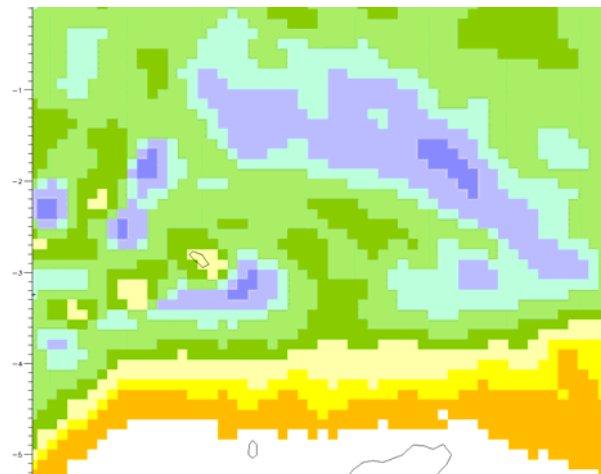
# Niederschlag am 19. März 2002 in Süddeutschland

Episodensimulation eines Extremereignisses  
Hochwasserepisode vom 14.-25. März 2002

Beobachtung (HYRAS, 1km)



CCLM-Simulation (12,5km)



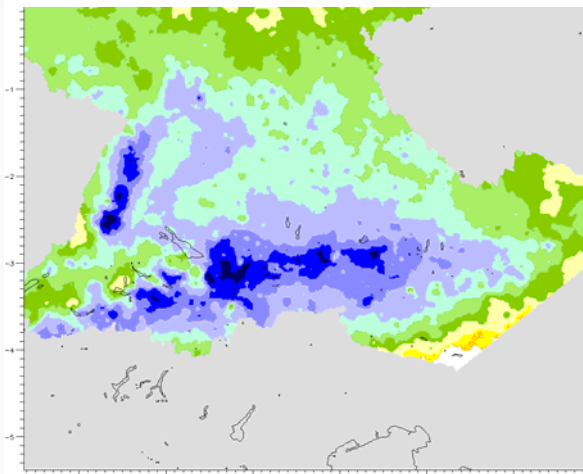
0 0.1 1 5 10 20 30 50 70 100 mm/Tag

*Dieses Beispiel aus ReKliEs-De,  
12,5 km: aus 1989-2008 mit Antrieb aus ERA-Interim  
1.2 km: Antrieb aus CCLM Lauf ab 14.3.2002*

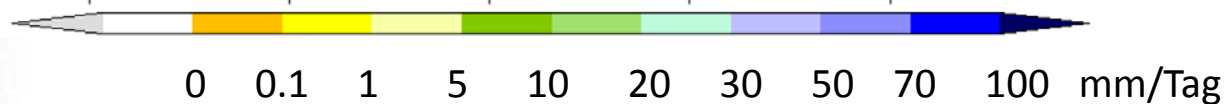
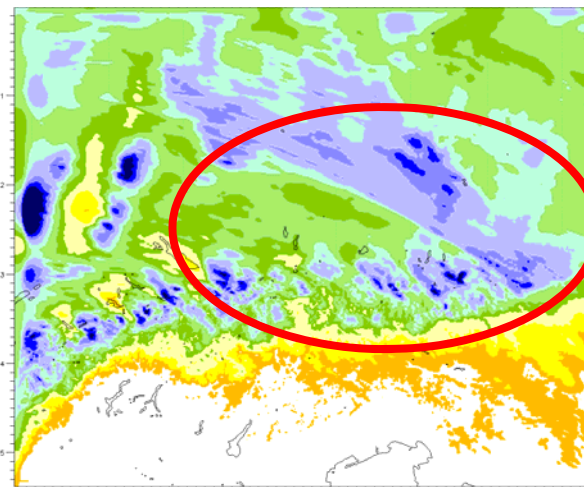
# Niederschlag am 19. März 2002 in Süddeutschland

Episodensimulation eines Extremereignisses  
Hochwasserepisode vom 14.-25. März 2002

Beobachtung (HYRAS, 1km)



CCLM-Simulation ( 1,2 km)

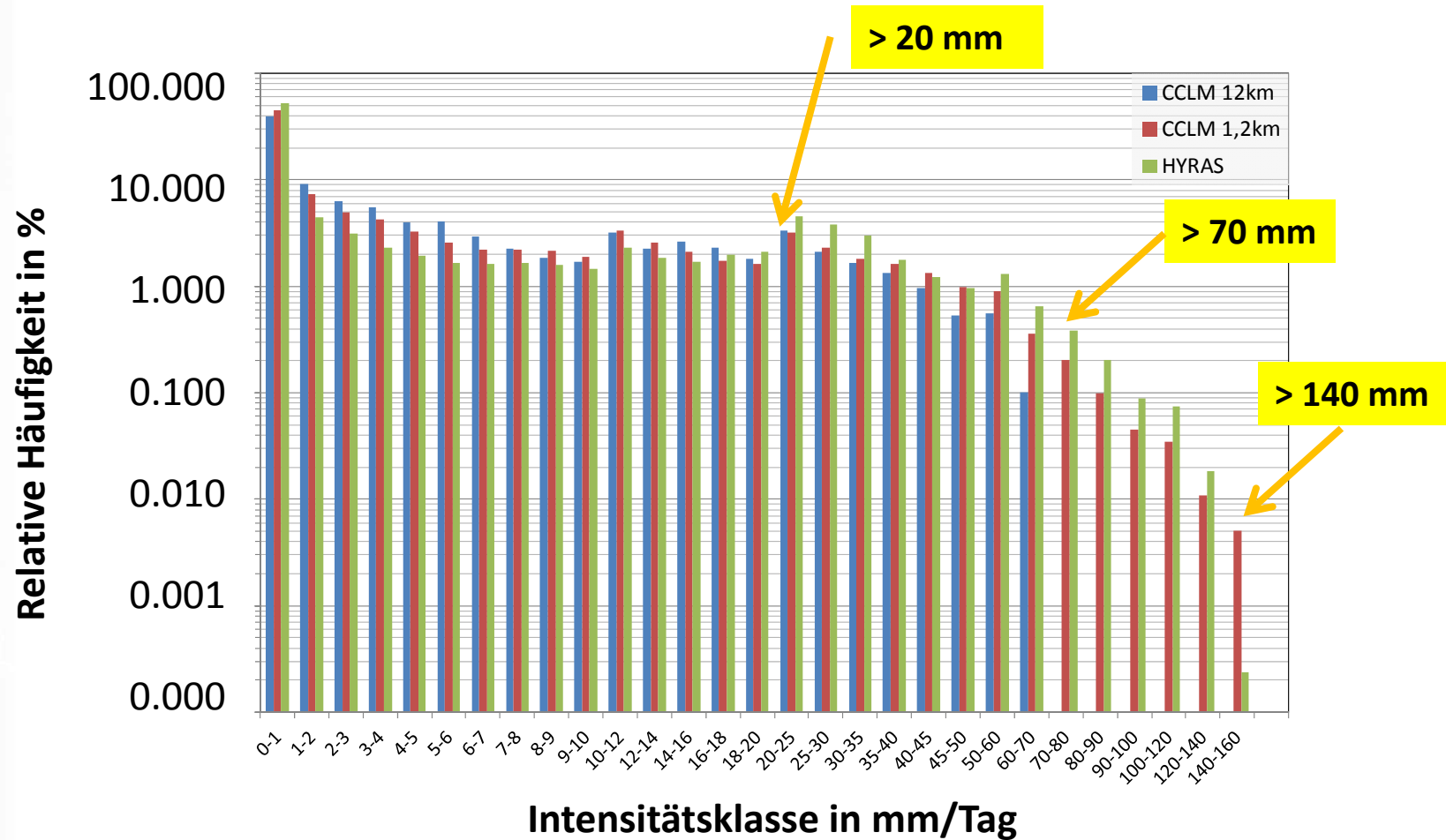


*Dieses Beispiel aus ReKliEs-De,  
12,5 km: aus 1989-2008 mit Antrieb aus ERA-Interim  
1.2 km: Antrieb aus CCLM Lauf ab 14.3.2002*

# Intensitätsverteilung der Tagesniederschläge

14.-25. März 2002

Donau-Einzugsgebiet bis zum Pegel Achleiten bei Passau



Die Simulation mit 3 bzw. 10-fach höherer Auflösung

- **verändert nicht den Gesamteintrag** im Einzugsgebiet
- verbessert die **räumliche Struktur**
- verbessert die **Intensitätsverteilung** der Tagesniederschläge

Die Ergebnisse repräsentieren aber jeweils

- nur einen **Einzelfall** und nur mit **einem Modell**
- **keine** klimatologischen Verhältnisse
- ein kleines, **begrenzttes Modellgebiet**
- **angetrieben mit Reanalysen** über ein gröberes Regionalmodell

## Nachteile

Mind. 10-fache Rechenzeit

Mehr Ein- und Ausgabedaten

Parameterisierungen wurden für andere Skalen entwickelt  
=> Anpassung nötig

Gebirge/Täler steiler =>  
Entwicklungsarbeit für Turbulenz  
und Strahlungstransport (vor  
allem unterhalb von 2km)

Im Bereich von 1.5 km bis 500 m  
Auflösung kommt man in eine  
„Grauzone“ der Modelle:  
Prozesse werden gleichzeitig  
skalig und subskalig gerechnet

Verfügbarkeit von Eingangs- und  
Evaluierungsdaten

Randwertproblematik bleibt

## Vorteile

Feinere Orographie

Land-Wasserverteilung  
(Küstenlinien, Inseln)

Numerische Erfassung starker  
Gradienten der Dynamik und  
Temperatur, Konvergenzlinien,  
Heterogenität der Landschaft

Verzicht auf  
Konvektionsparameterisierung

Räumliche Struktur (z.B.  
Niederschläge)

Verteilungsfunktionen enthalten  
stärkere Extrema

Bessere Tagesgänge

## Nachteile

- Mind. 10-fache Rechenzeit
- Mehr Ein- und Ausgabedaten
- Parameterisierungen wurden für andere Skalen entwickelt => Anpassung nötig
- Gebirge/Täler steiler => Entwicklungsarbeit für Turbulenz und Strahlungstransport, allem unterhalb der Gitterweite
- Im Bereich der Gitterweite: Auflösung „Grauzonen“ (z.B. Wolkenprozesse) sind subskalig und schwer zu parametrisieren
- Verfügbare Rechenleistung und Evaluierungskosten sind begrenzt
- Randwertproblematik bleibt

## Vorteile

- Feinere Orographie
- Land-See-Gradienten
- Stärkerer vertikaler Austausch
- Verbesserte parametrisierung
- Realistischere vertikale Struktur (z.B. Wolken, Niederschläge)
- Verteilungsfunktionen enthalten stärkere Extrema
- Bessere Tagesgänge

**In der Zukunft durch Forschung und Entwicklung lösbar => und es lohnt sich**



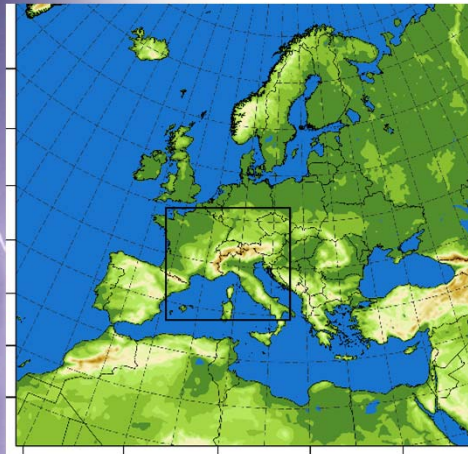
# Nov. 2016: Flagship Pilot Study CPCM

Eine Pilotstudie für konvektionserlaubende

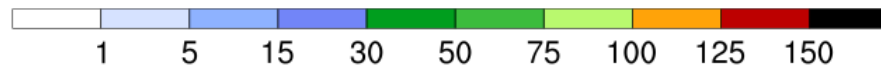
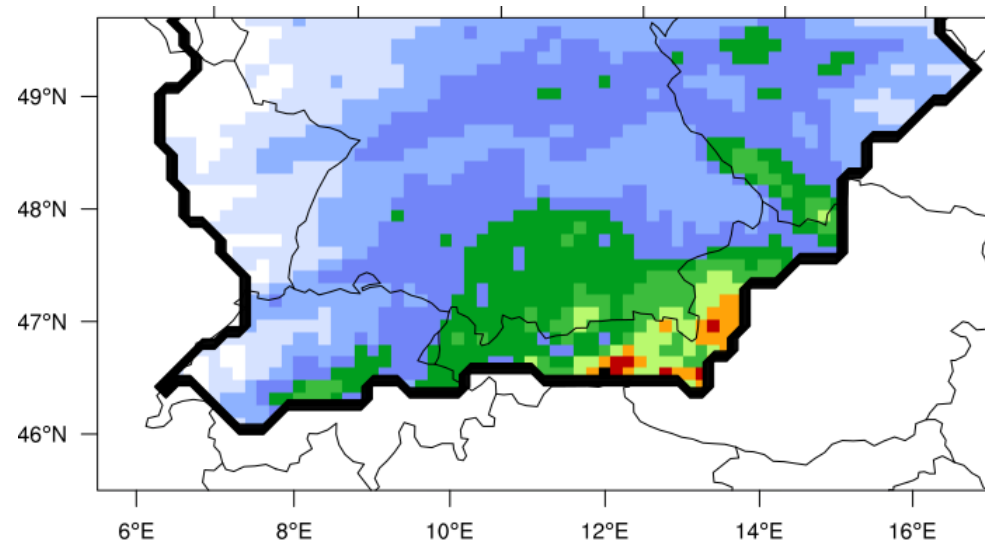
Klimamodellsimulationen im Rahmen von EURO-CORDEX



ReKliEs-De  
Regionale Klimaprojektionen Ensemble  
für Deutschland



Testbeispiel: WRF-UHOH, 12 km



Niederschlag in mm 22.-25. Juni 2009

**1 Tag benötigt am HLRS ~ 45 Minuten**

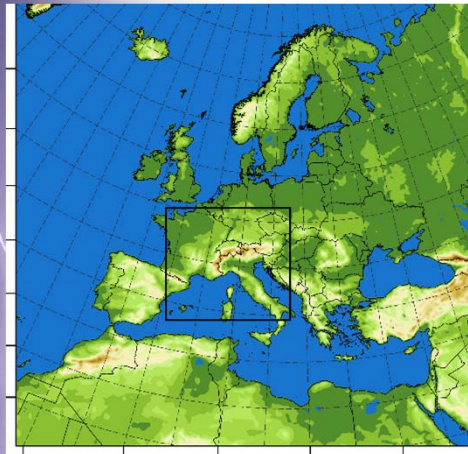
Phase 1 (2016-2018): ab jetzt  
1999-2009/14

*Coppola et al., 2017, Climate Dyn., wird diese Woche eingereicht*

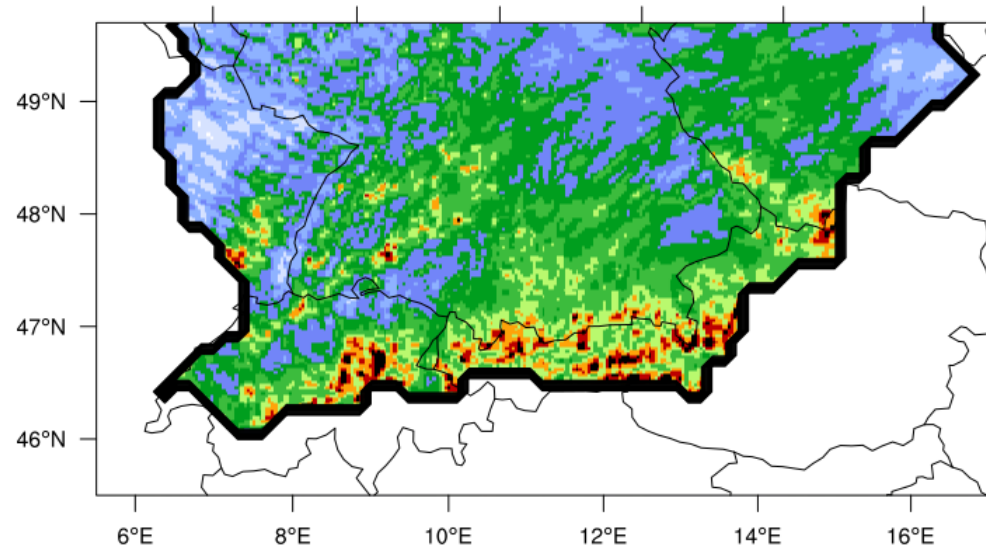
# Nov. 2016: Flagship Pilot Study CPCM

Eine Pilotstudie für konvektionserlaubende

Klimamodellsimulationen im Rahmen von EURO-CORDEX



Testbeispiel: WRF-UHOH, 3 km



Phase 1 (2016-2018): ab jetzt  
1999-2009/14

Niederschlag in mm 22.-25. Juni 2009

**1 Tag benötigt am HLRS ~ 45 Minuten**

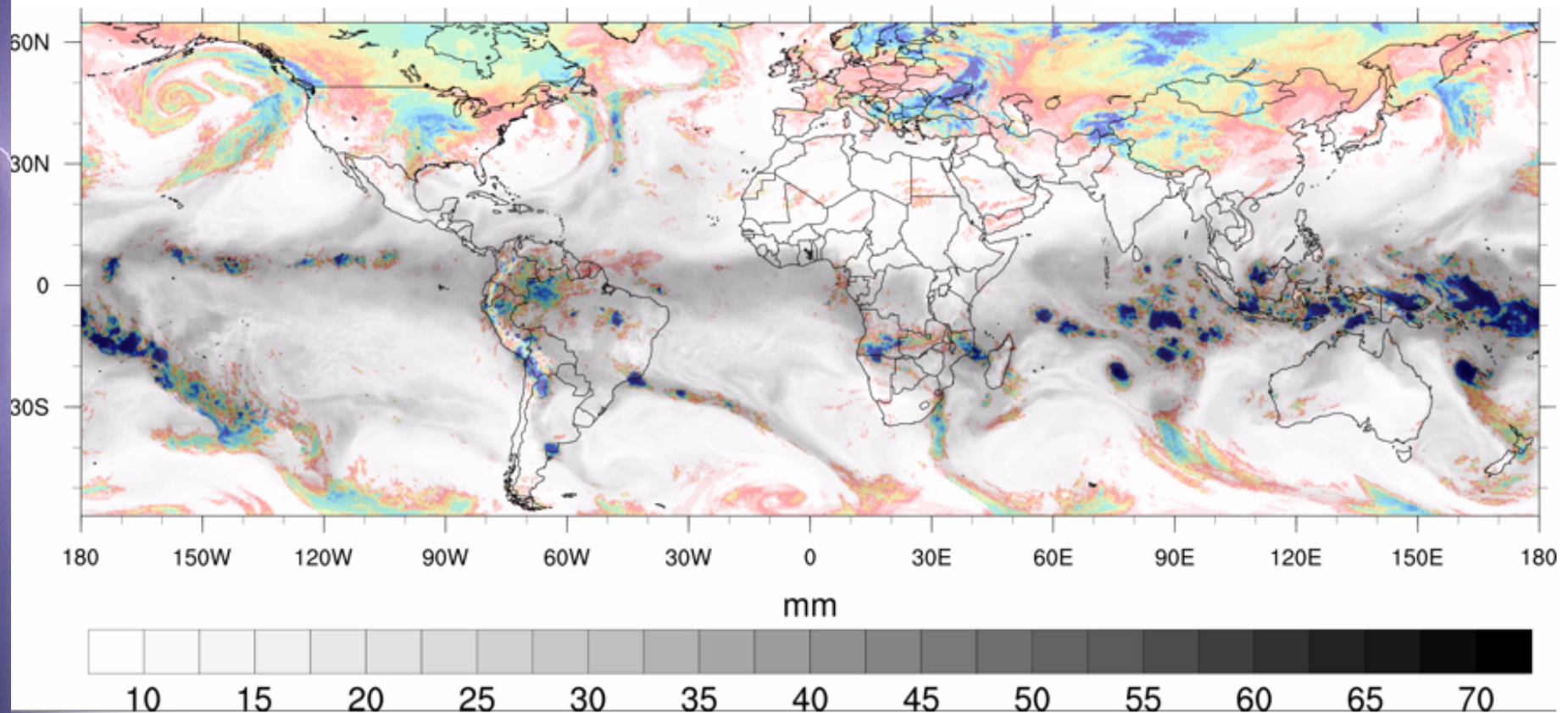
*Coppola et al., 2017, Climate Dyn., wird diese Woche eingereicht*

# Big Data: Februar-Juni 2015

## WRF – 3 km Auflösung

Wasserdampf der Atmosphäre in grau

Wolkenmächtigkeit farbig



100 000 cores  
10 Tage walltime  
220 TB Ausgabedaten

© Inst. f. Physik u. Meteorologie, Universität Hohenheim  
Thomas Schwitalla, Volker Wulfmeyer und Kirsten Warrach-Sagi  
Experiment nach Schwitalla et al., Geosc. Model Development, 2017

## Die Herausforderung

**Niederschlagstatistiken für die Zukunft in der Qualität heutiger Klimastatistiken**

## Klimasimulationen auf der km-Skala: ein Weg wurde begonnen

### Weiterentwicklung

**a) der Regionalen Klimamodelle für diese Skala**

**=> Beobachtungsdaten und Messkampagnen zur Entwicklung  
von der Parameterisierungen**

**b) Globalmodelle mit Zoom-Option (ICON, MPAS) oder globale Gürtel von  
Regionalmodellen zur Vermeidung einiger Randproblematiken**

**Voraussetzung ist der Zugang und die Infrastruktur der  
Höchstleistungsrechner**

# Die Herausforderung



## Niederschlagstatistiken für die Zukunft in der Qualität heutiger Klimastatistiken

**Nicht alle Ergebnisse werden sofort besser – manche „Verbesserung“ offenbart auch Modelldefizite, die in Angriff genommen werden müssen**

**Verbundprojekte und Modellensemble sind ein Schlüssel, die Herausforderung zu meistern**