



# B2 – Veränderung großräumiger Starkniederschläge im Klimawandel: NIEDERSCHLAG - Zirkulationstypen

*Universität Augsburg: M. Homann, J. Jacobeit, C. Beck und A. Philipp*



MINISTERIUM  
FÜR EIN  
LEBENSWEERTES  
ÖSTERREICH



Universität  
Augsburg  
University



ZAMG



Bundesanstalt für  
Gewässerkunde



Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt und Verbraucherschutz



Bayerisches Landesamt für  
Umwelt



Deutscher Wetterdienst  
Wetter und Klima aus einer Hand



# Niederschlagsmodellierung – multiples, lineares Regressionsmodell

## Indikatoren zur Beurteilung von „Starkniederschlag“

Statistische Modellierung **regionaler, monatlicher Werte:**

- a) Anzahl der Tage mit Starkniederschlag (**Starkniederschlagshäufigkeit**)
- b) Anteil der monatlichen Niederschlagssummen, die durch Starkniederschläge verursacht sind (**Starkniederschlagssummen**)

Definition **Starkniederschlag:**

Überschreitungen des **95%-Perzentils** der täglichen Gebietsniederschlagssummen (1951-2006)

## Ableitung der Starkniederschlagsindikatoren anhand von Zirkulationstyp- (ZT) Häufigkeiten

⇒ **schrittweise multiple Regression**

⇒ dabei: Prädiktoren (unabhängige Einflussgrößen): **monatliche Aufttrittshäufigkeiten der ZT**  
Prädiktand (abhängige Zielgröße): **Monatswerte der Starkniederschlagsindikatoren**

=> Nur Prädiktoren werden selektiert, welche die Modellgüte verbessern

Separate Modelle für Frühjahr (MAM), Sommer (JJA), Herbst (SON) und Winter (DJF)

# Niederschlagsmodellierung – multiples, lineares Regressionsmodell

Wie gut wird der Starkniederschlag abgebildet?

=> **Kreuzvalidierung**

## Vorgehensweise:

1. **Aufstellung Regressionsmodelle** (Jahreszeiten- und regionenspezifisch) Zeitraum 1951-2006, NCEP-Reanalyse
2. **Validierung Regressionsmodelle**: 5 Modelle, unterschiedl. Kalibrierungs- und Validierungszeiträume.  
Beurteilung z.B. durch erklärte Varianz.
3. **Anwendung der Regressionsmodelle** (1951-2006) auf die Modelldaten (ECHAM6, ECHAM5, EC-EARTH)

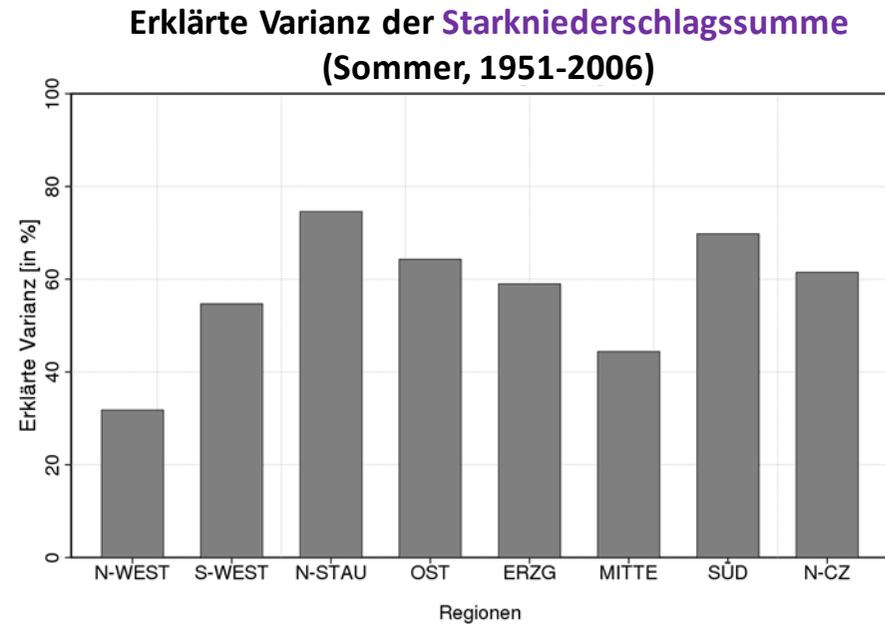
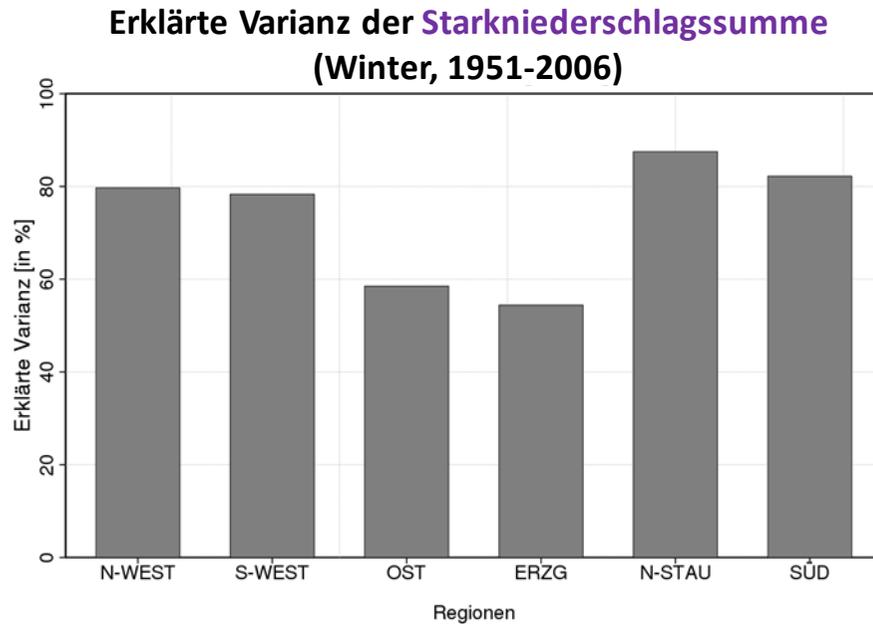
Tabelle: Zur Kreuzvalidierung verwendete Kalibrierungs- und Validierungszeiträume

Kalibrierungs-/ Validierungsschritt	Kalibrierung	Validierung
1	1961-2000	1951-1960
2	1951-60 + 1971-2000	1961-1970
3	1951-70 + 1981-2000	1971-1980
4	1951-80 + 1991-2000	1981-1990
5	1951- 1990	1991-2000

# Niederschlagsmodellierung – multiples, lineares Regressionsmodell

## 1. Aufstellung Regressionsmodelle (1951-2006)

⇒ 3-7 Prädiktoren/Modell, starkniederschlagsrelevante Zirkulationstypen



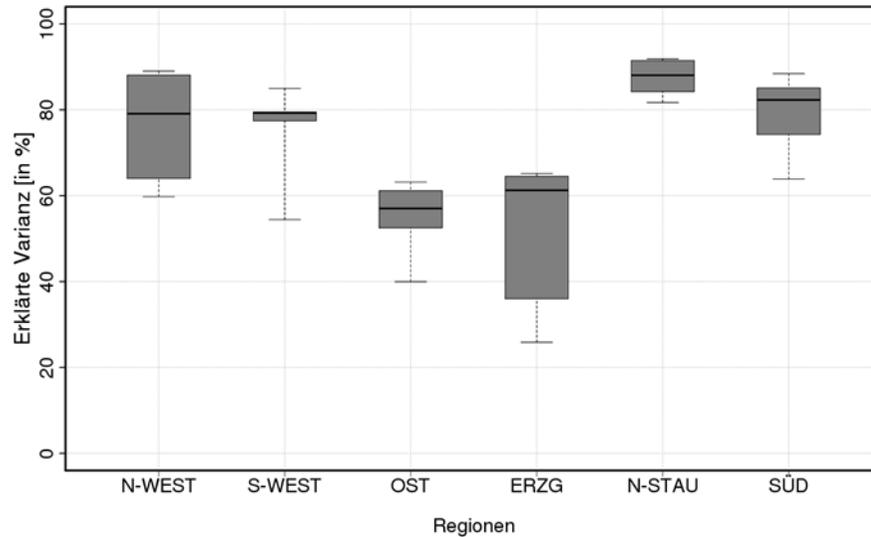
- Regionale und jahreszeitliche Unterschiede
- Übergangsjahreszeiten liegen im Betrag der  $eV$ 's zwischen Winter und Sommer
- Starkniederschlagshäufigkeiten mit ähnlichen Werten der Modellgüte
- Anwendung des „Gesamtmodells“ auch auf die späteren Modelldaten

# Niederschlagsmodellierung – multiples, lineares Regressionsmodell

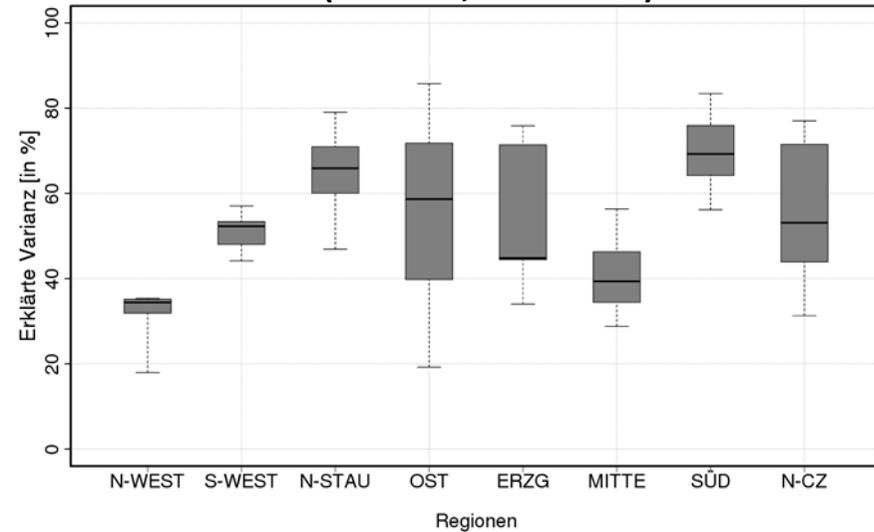
## 2. Validierung Regressionsmodelle

⇒ Insgesamt **5 Modelle**, aufgrund 5 unterschiedlicher Kalibrierungs- und Validierungszeiträume

Erklärte Varianz der **Starkniederschlagssumme**  
(Winter, 1951-2006)



Erklärte Varianz der **Starkniederschlagssumme**  
(Sommer, 1951-2006)



- Regionale und jahreszeitliche Unterschiede (höchste Modellgüte im Winter)
- Übergangsjahreszeiten liegen im Betrag der  $eV$ 's zwischen Winter und Sommer
- Starkniederschlagshäufigkeiten mit ähnlichen Werten der Modellgüte
- Hinweis auf zeitliche Instationaritäten der Prädiktor-Prädiktand-Beziehung v.a. im Sommer

# Niederschlagsmodellierung – multiples, lineares Regressionsmodell

## 3. Anwendung der Regressionsmodelle (1951-2006) auf die Modelldaten

### ⇒ **Bestimmung von Zirkulationstypen für die Klimamodelldaten**

Zuordnung der täglichen atmosphärischen Felder aus dem Klimamodell zu den Zentroiden der Zirkulationstypen aus Beobachtung aufgrund der minimalen euklidischen Distanz

### ⇒ **Erstellung der Prädiktorvariablen**

monatliche Auftrittshäufigkeiten der Zirkulationstypen in den Klimamodelldaten;

### ⇒ **Modellierung der Prädiktandenwerte**

Starkniederschlagsindizes: Starkniederschlagshäufigkeiten und –summen

# Niederschlagsmodellierung – multiples, lineares Regressionsmodell

## 3. Anwendung der Regressionsmodelle (1951-2006) auf die Modelldaten

- ⇒ **Schwerpunkt ECHAM6**: aktuellstes Modell, 3 Realisationen; ECHAM5 und EC-EARTH als Vergleichsmodelle
- ⇒ Ergebnisdarstellung als „**Ensemble mean**“ aller 3 Realisationen

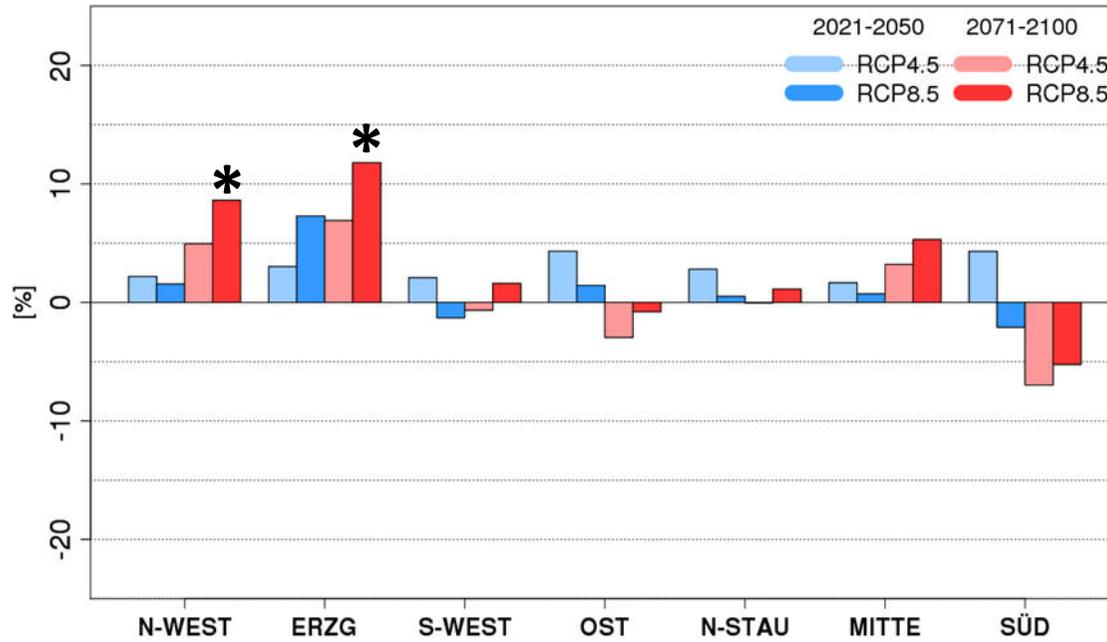
Tabelle: Übersicht des Referenzzeitraums sowie der Projektionszeiträume der Szenarien RCP4.5 sowie RCP8.5 des ECHAM6 Modells.

1971-2000	Historical 1,2,3		
2021-2050		RCP 4.5 1,2,3	RCP8.5 1,2,3
2071-2100		RCP 4.5 1,2,3	RCP 8.5 1,2,3

- ⇒ **prozentualen Änderungen** der regionalen **Starkniederschlagshäufigkeiten/-summen** der Projektions-Zeiträumen 2021-2050 und 2071-2100 (zwei Szenarien) gegenüber 1971-2000
- ⇒ Signifikante Veränderungen werden mit \* gekennzeichnet
- Berechnung von Konfidenzintervallen der prozentualen Änderungen

# Zirkulationstypen und Niederschlagsmodellierung – ECHAM6

Starkniederschlagshäufigkeiten % Veränderungen (Frühling)

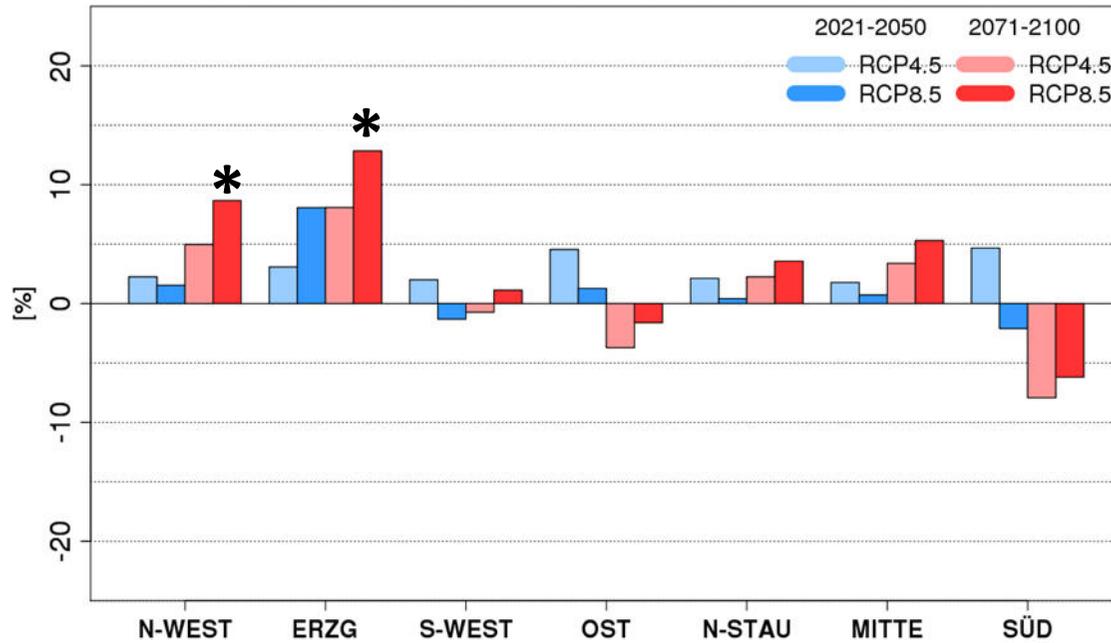


- Zunahme nördliche Regionen (bis +12%)
- Abnahme „SÜD“ (bis -7%)



# Zirkulationstypen und Niederschlagsmodellierung – ECHAM6

Starkniederschlagssummen % Veränderungen (Frühling)

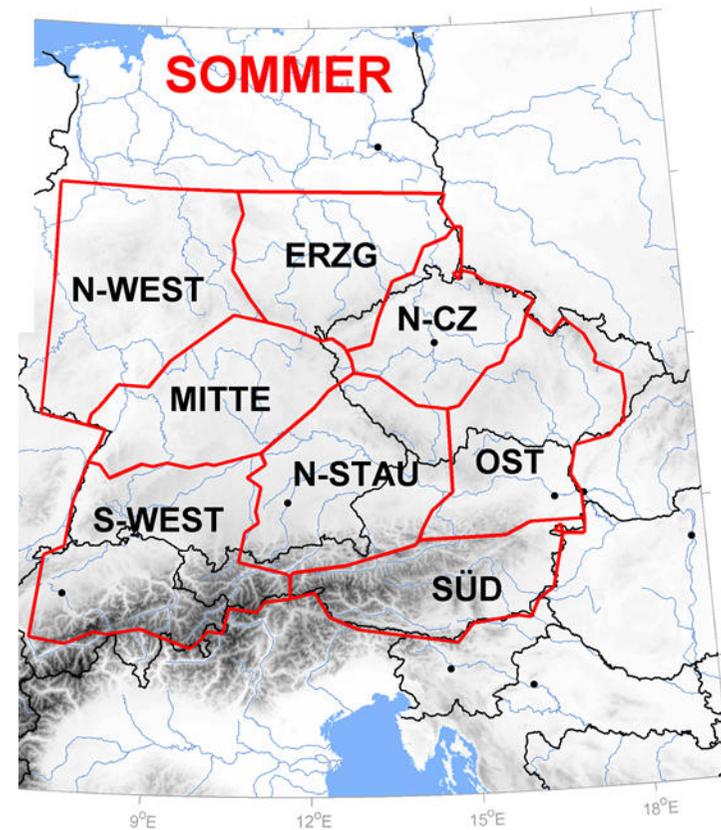
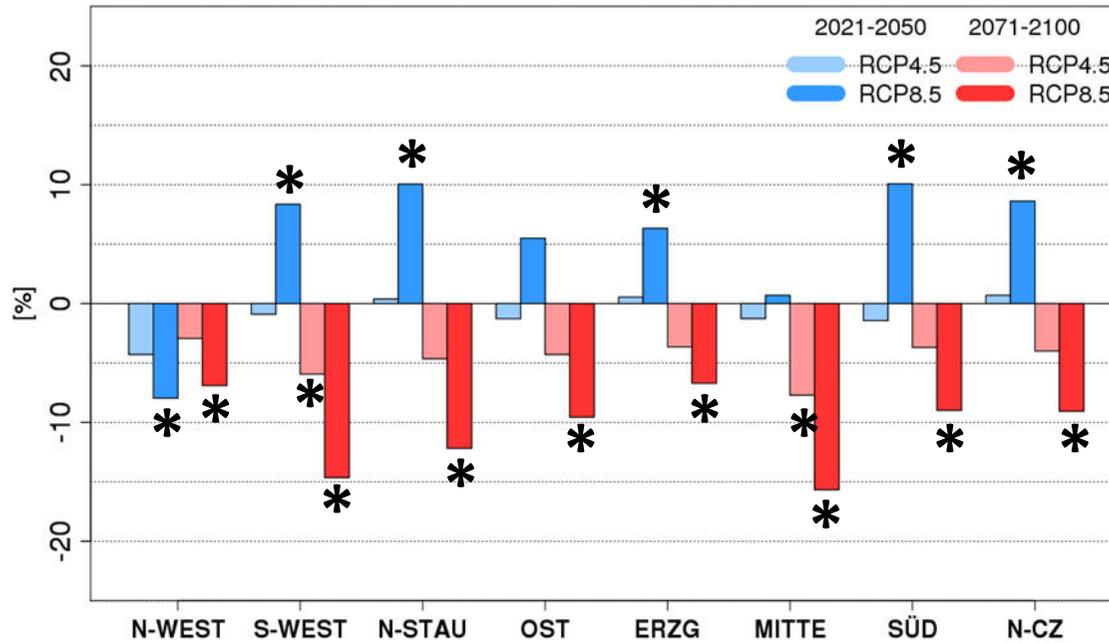


- Zunahme nördliche Regionen (bis +13%)
- Abnahme „SÜD“ (bis -8%)



# Zirkulationstypen und Niederschlagsmodellierung – ECHAM6

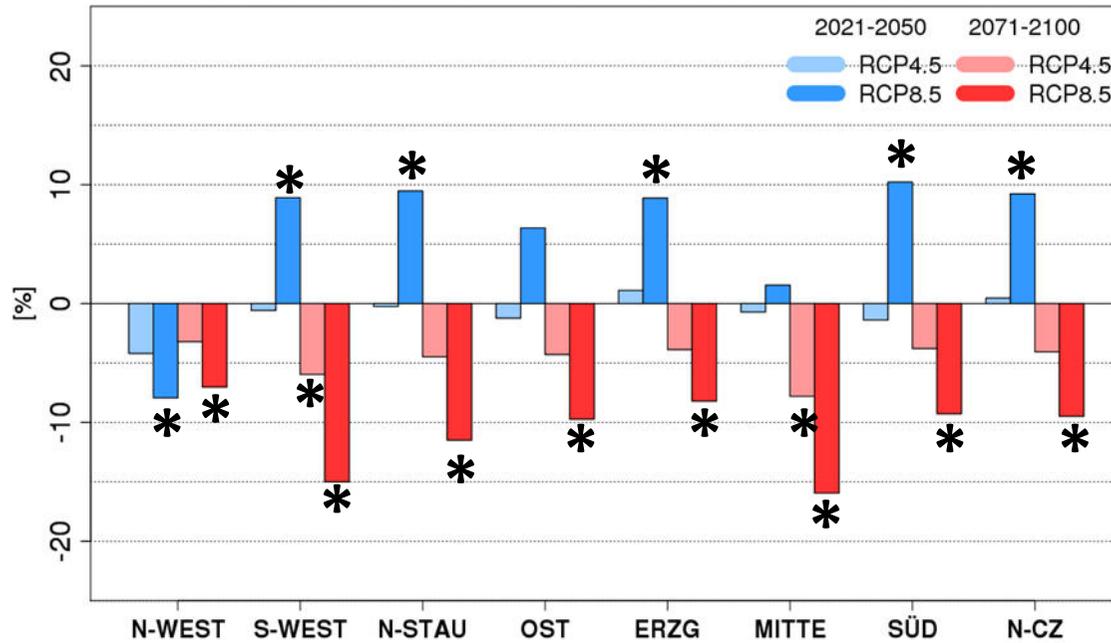
## Starkniederschlagshäufigkeiten % Veränderungen (Sommer)



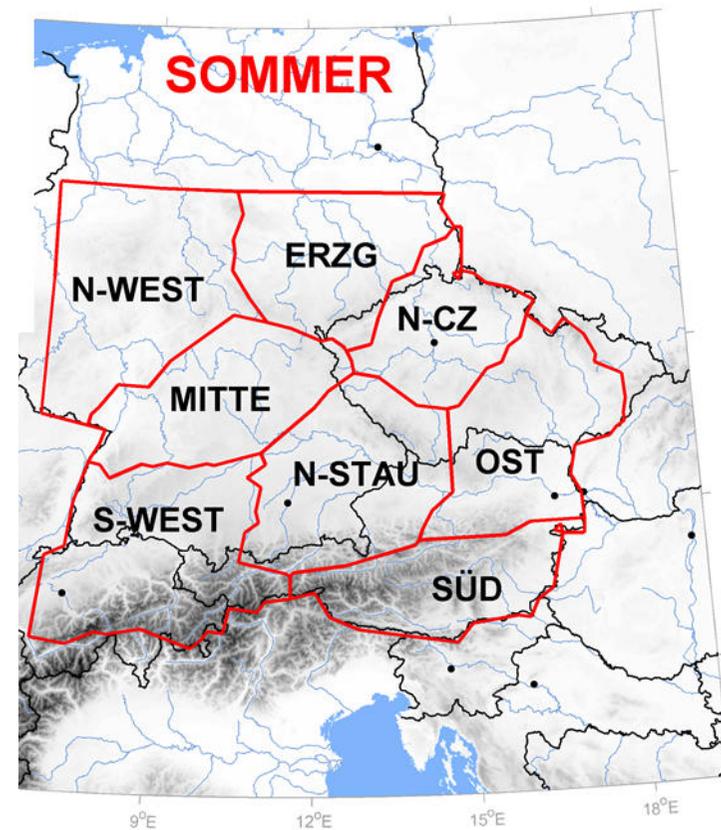
- 2021-2050 überwiegend Zunahme bei RCP8.5 (bis +10%)
- Abnahmen 2071-2100 (bis -16%) insb. bei RCP8.5

# Zirkulationstypen und Niederschlagsmodellierung – ECHAM6

Starkniederschlagssummen % Veränderungen (Sommer)

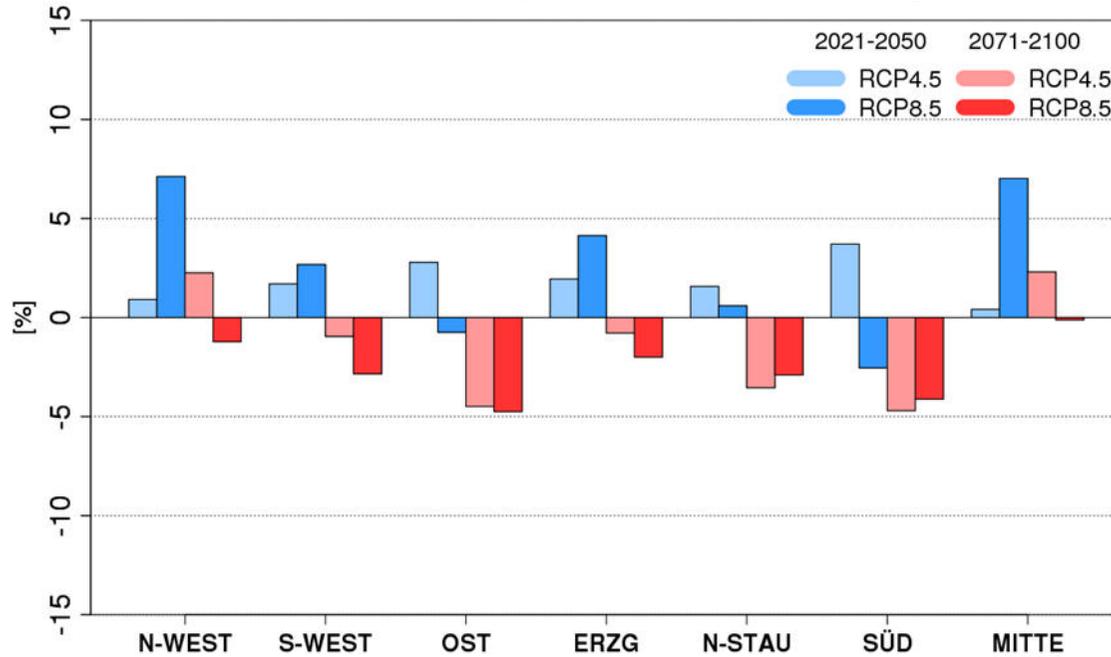


- 2021-2050 überwiegend Zunahme bei RCP8.5 (bis +10%)
- Abnahmen 2071-2100 (bis -16%) insb. bei RCP8.5

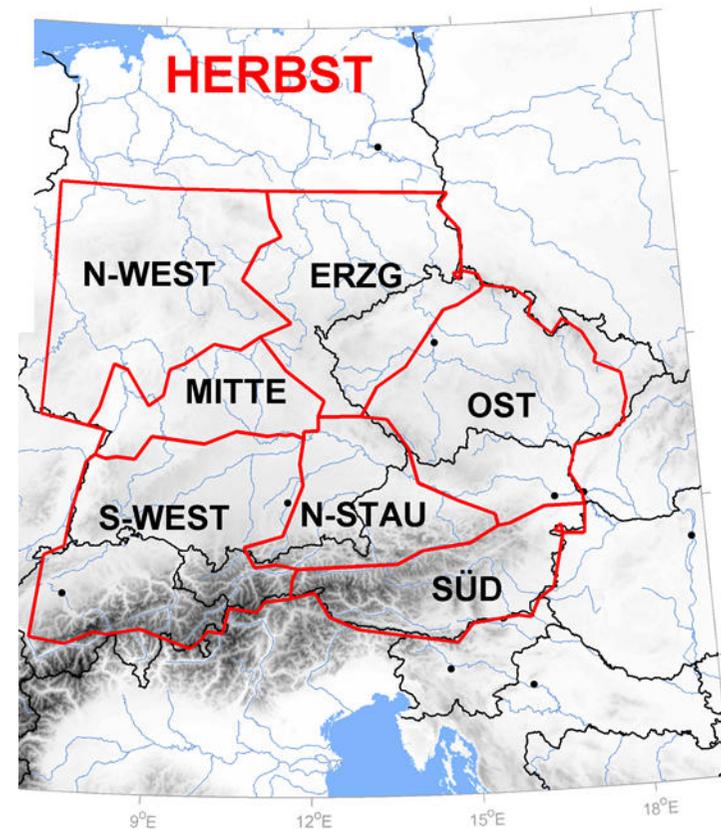


# Zirkulationstypen und Niederschlagsmodellierung – ECHAM6

Starkniederschlagshäufigkeiten % Veränderungen (Herbst)

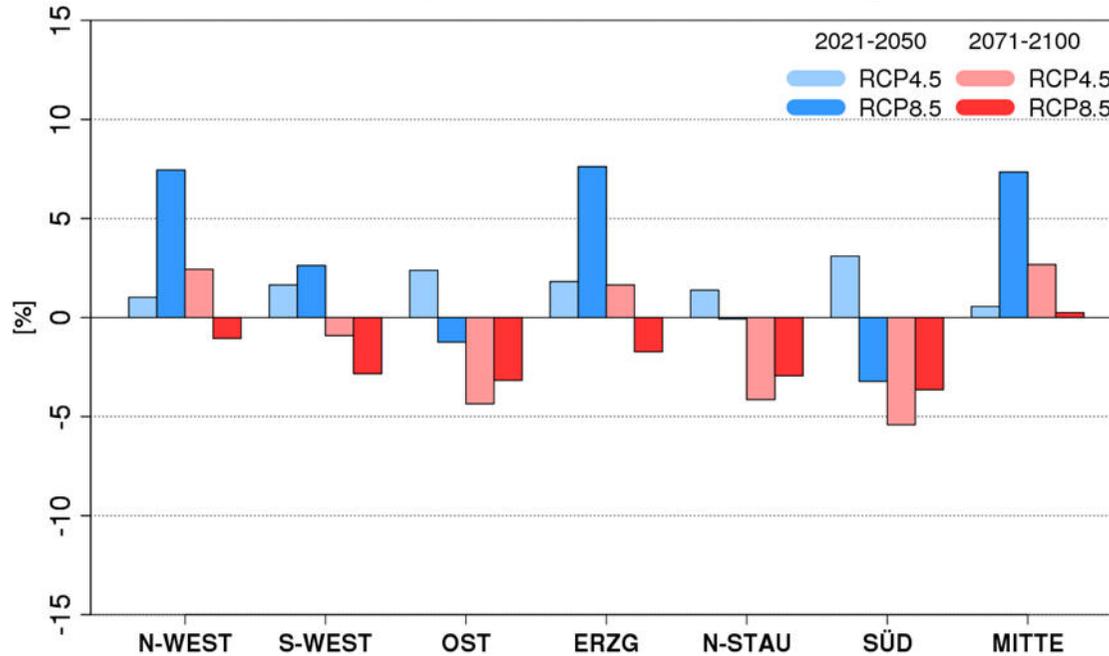


- keine signifikanten Veränderungen
- 2021-2050, RCP8.5 leichte Zunahme (bis 7%)
- zumeist leichte Abnahmen 2071-2100 (bis -5%)



# Zirkulationstypen und Niederschlagsmodellierung – ECHAM6

Starkniederschlagssummen % Veränderungen (Herbst)

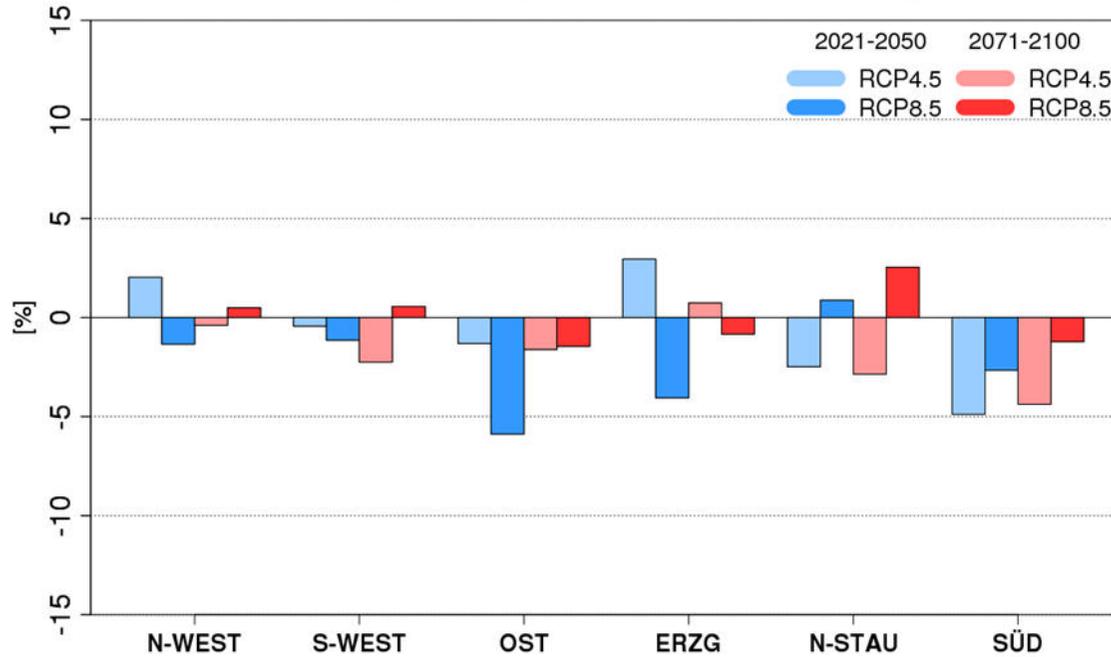


- keine signifikanten Veränderungen
- 2021-2050, RCP8.5 leichte Zunahme (bis 8%)
- Region „ERZG“: höhere Zunahme als bei Häufigkeit
- zumeist leichte Abnahmen 2071-2100 (bis -6%)
- Ähnliche Trends im Herbst, wie im Sommer



# Zirkulationstypen und Niederschlagsmodellierung – ECHAM6

Starkniederschlagshäufigkeiten % Veränderungen (Winter)

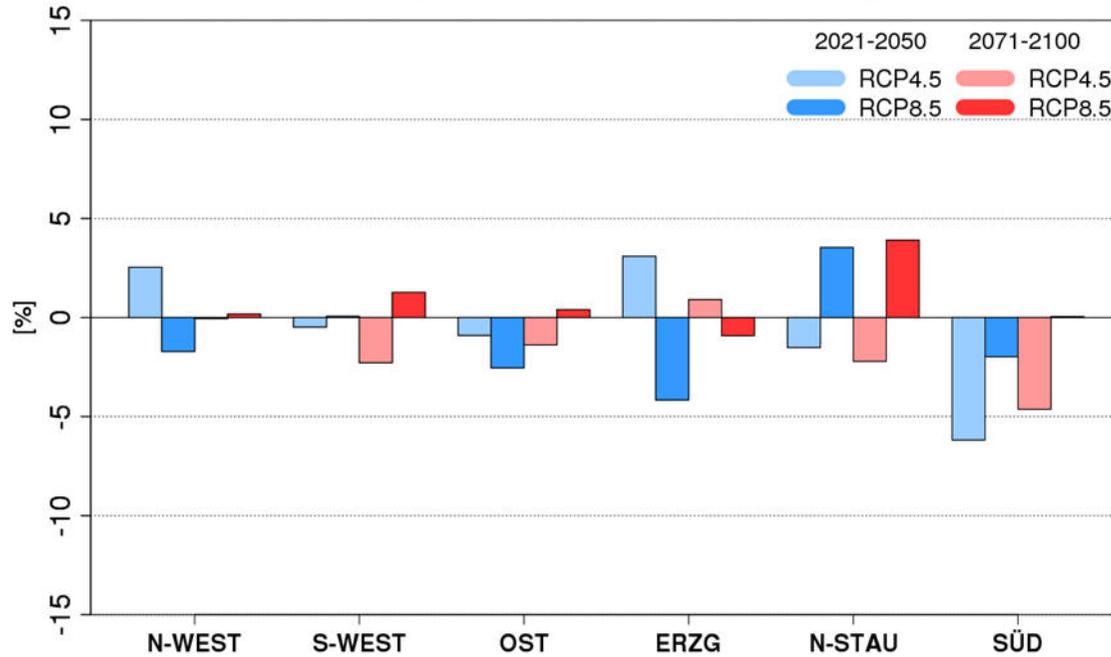


- keine signifikanten Veränderungen
- überwiegend leichte Abnahmen (bis -6%)



# Zirkulationstypen und Niederschlagsmodellierung – ECHAM6

Starkniederschlagssummen % Veränderungen (Winter)



- keine signifikanten Veränderungen
- überwiegend leichte Abnahmen (bis -6%)
- Region N-STAU: Zunahme bei RCP8.5
- Region SÜD: deutlichste Abnahmen



# Zirkulationstypen und Niederschlagsmodellierung – ECHAM6 im Vergleich mit ECHAM5 und EC-EARTH

## 3. Anwendung der Regressionsmodelle (1951-2006) auf die Modelldaten

⇒ nur Starkniederschlagssummen

Tabelle: Überblick aller verwendeten Modelle.

Zeitscheibe	Modellszenario
1971 bis 2000	ECHAM6 Historical Run 1 bis 3 ECHAM5 20C Run 1 und 3 EC-Earth Historical Run 1
2021 bis 2050	ECHAM6 RCP4.5 Run 1 bis 3 ECHAM6 RCP8.5 Run 1 bis 3 ECHAM5 A1B Run 1 und 3 EC-Earth RCP 4.5 Run 1 EC-Earth RCP8.5 Run 1
2071 bis 2100	ECHAM6 RCP4.5 Run 1 bis 3 ECHAM6 RCP8.5 Run 1 bis 3 ECHAM5 A1B Run 1 und 3 EC-Earth RCP4.5 Run 1 EC-Earth RCP8.5 Run 1

# Prozentuale Änderungen der Starkniederschlagssummen

## Regressionsmodell **Frühling**

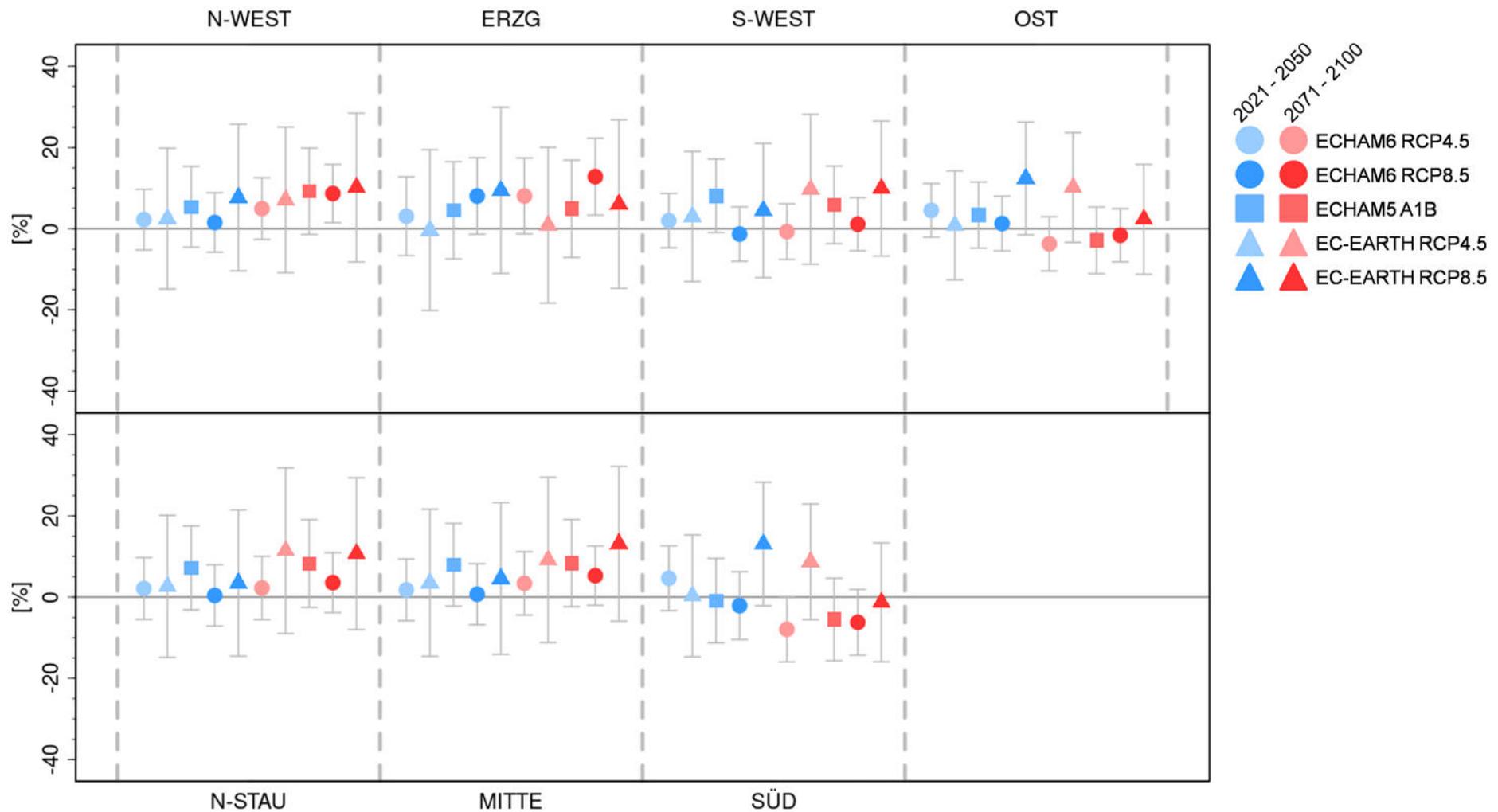


Abbildung: Prozentuale Änderungen der regionalen Starkniederschlagssummen in den Projektions-Zeiträumen 2021-2050 und 2071-2100 gegenüber 1971-2000 inklusive 95%-Konfidenzintervalle. Die Abschätzungen basieren auf einem Regressionsmodell und dem jeweiligen Ensemble-Mittel der in der Legende spezifizierten Modellsimulationen.

# Prozentuale Änderung der Starkniederschlagssummen

## Regressionsmodell Sommer

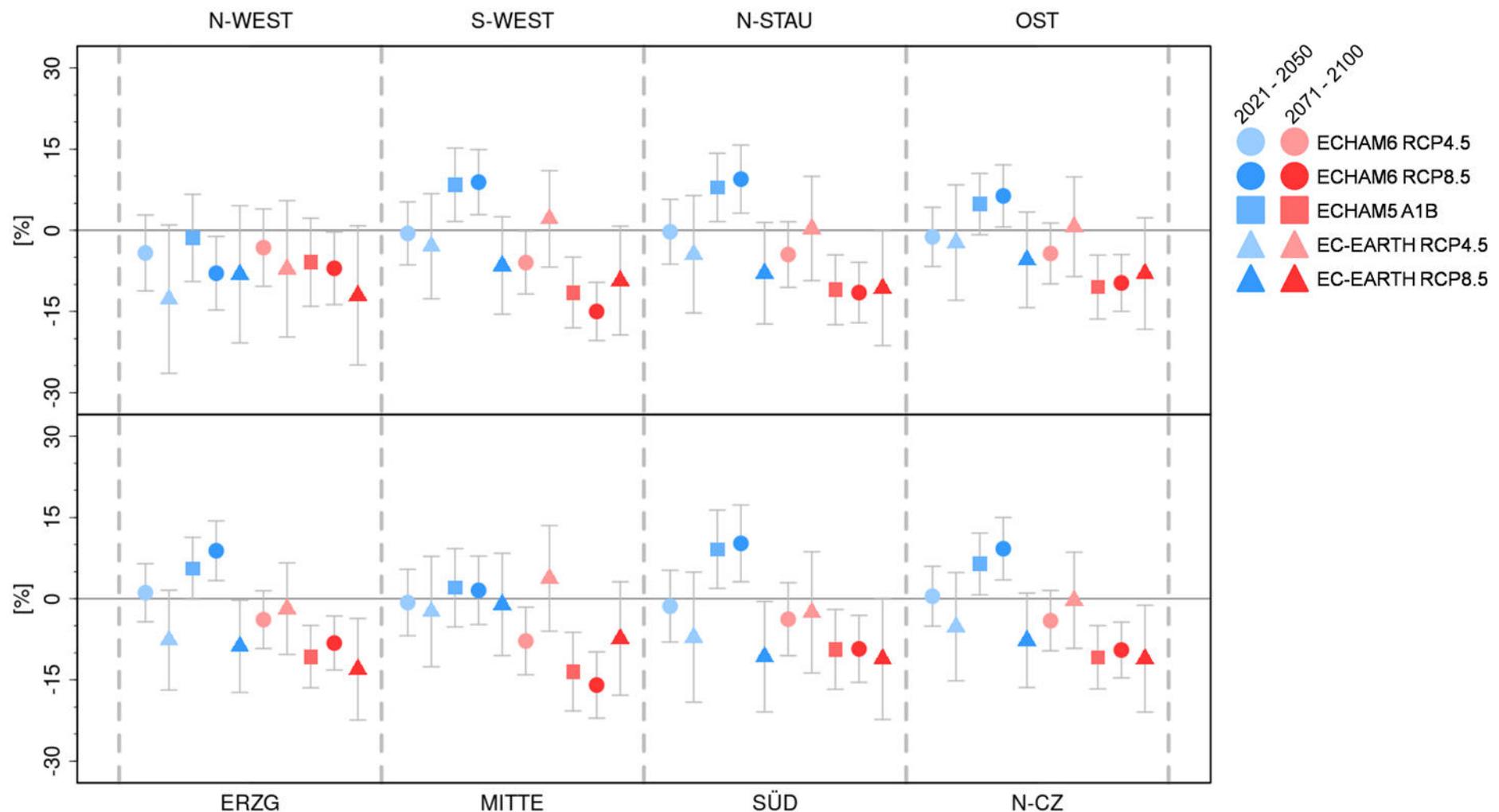


Abbildung: Prozentuale Änderungen der regionalen Starkniederschlagssummen in den Projektionszeiträumen 2021-2050 und 2071-2100 gegenüber 1971-2000 inklusive 95%-Konfidenzintervalle. Die Abschätzungen basieren auf einem Regressionsmodell und dem jeweiligen Ensemble-Mittel der in der Legende spezifizierten Modellsimulationen.

# Prozentuale Änderung der Starkniederschlagssummen

## Regressionsmodell **Herbst**

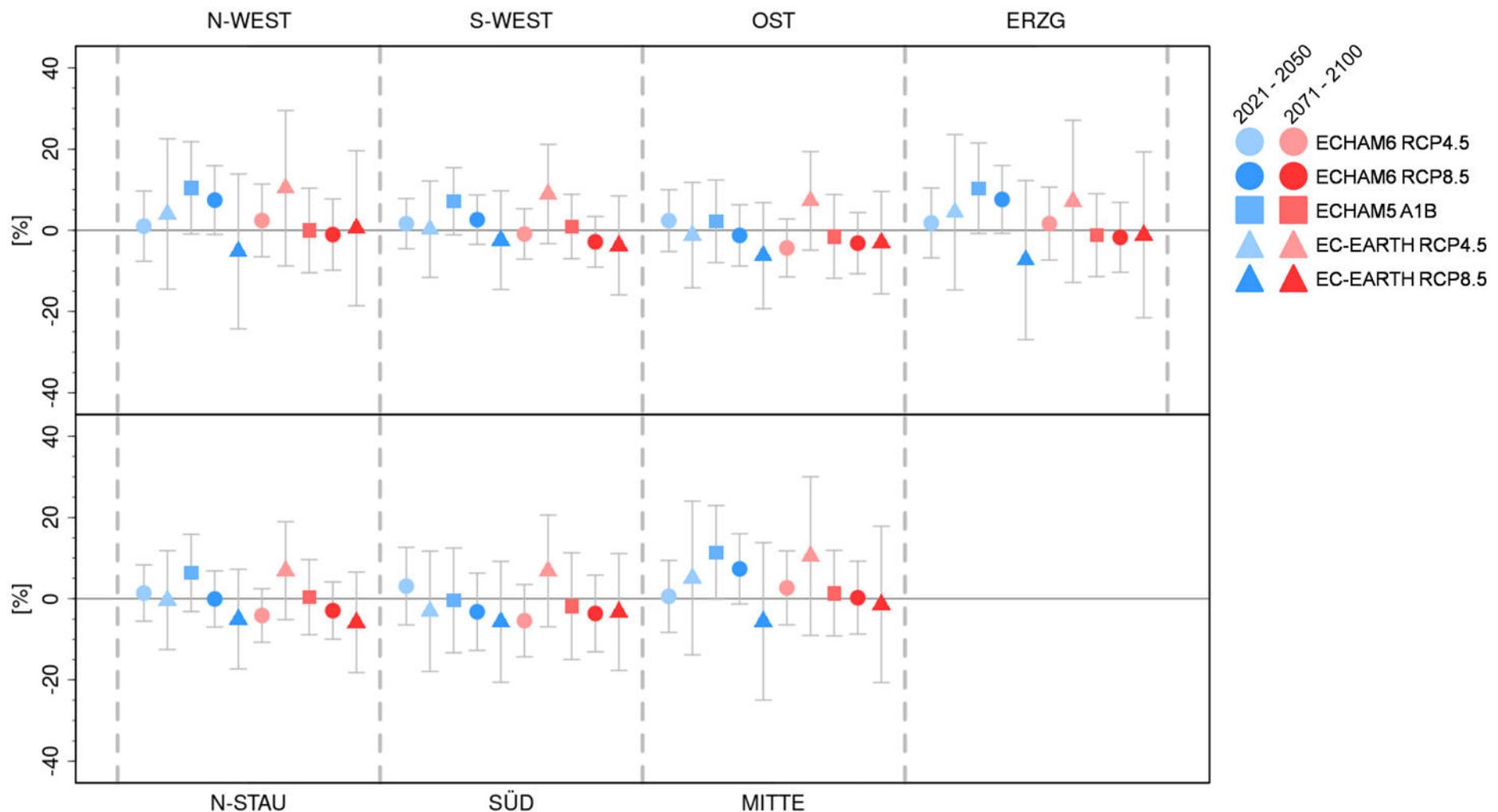


Abbildung: Prozentuale Änderungen der regionalen Starkniederschlagssummen in den Projektionszeiträumen 2021-2050 und 2071-2100 gegenüber 1971-2000 inklusive 95%-Konfidenzintervalle. Die Abschätzungen basieren auf einem Regressionsmodell und dem jeweiligen Ensemble-Mittel der in der Legende spezifizierten Modellsimulationen.

# Prozentuale Änderung der Starkniederschlagssummen

## Regressionsmodell Winter

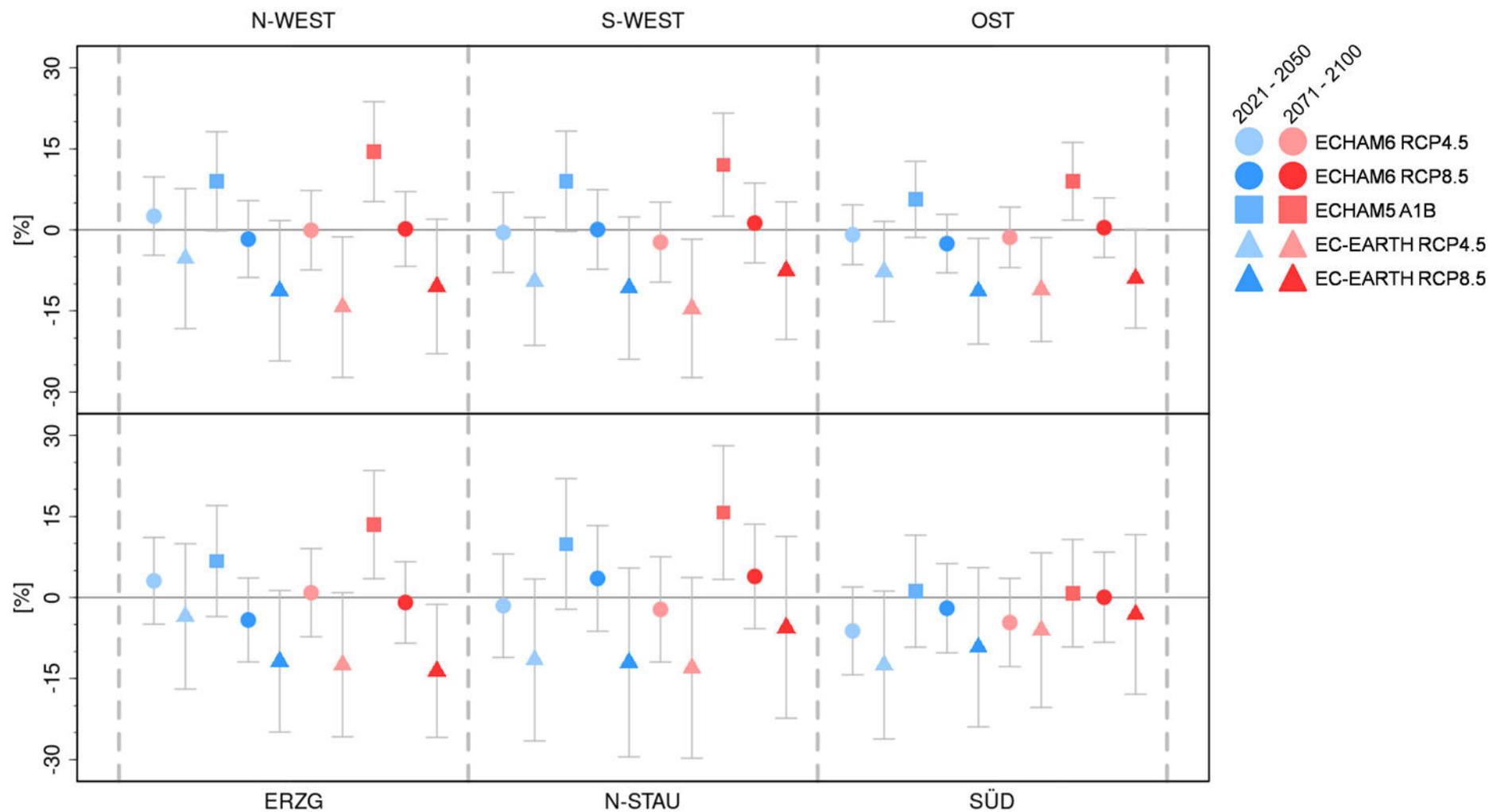


Abbildung: Prozentuale Änderungen der regionalen Starkniederschlagssummen in den Projektions-Zeiträumen 2021-2050 und 2071-2100 gegenüber 1971-2000 inklusive 95%-Konfidenzintervalle. Die Abschätzungen basieren auf einem Regressionsmodell und dem jeweiligen Ensemble-Mittel der in der Legende spezifizierten Modellsimulationen.

# Numerische und Statistische Unsicherheiten mit ECHAM6

## - Beurteilung

### Unsicherheiten bezüglich...

- **Verschiedene GCM-Modelle**
- **Szenarien-Annahmen**
- **Projektionszeiträumen**
- **A) Realisationen (= numerische Unsicherheiten)**  
 Realisationen der numerischen Klimamodelle mit unterschiedlichen Anfangsbedingungen  
 = interne Modellvariabilität  
 Quantifizierung Spannweite der Resultate aus den Ensemble members (bei ECHAM6: drei)
- **B) Regressionsmodell (= statistische Unsicherheiten)**  
 Statistische Unsicherheiten beruhen auf dem regressionsanalytischen Ansatz. Quantifizierung anhand mehrerer statistischer Modelle unterschiedlicher Kalibrierungszeiträume

5 Modelle auf ECHAM6 anwenden...

Kalibrierungs-/ Validierungsschritt	Kalibrierung	Validierung
1	1961-2000	1951-1960
2	1951-60+1971-2000	1961-1970
3	1951-70+1981-2000	1971-1980
4	1951-80+1991-2000	1981-1990
5	1951-1990	1991-2000

# Numerische und Statistische Unsicherheiten mit ECHAM6 - Beurteilung

Unsicherheiten **Starkniederschlagshäufigkeiten**, Region **N-Stau Sommer**

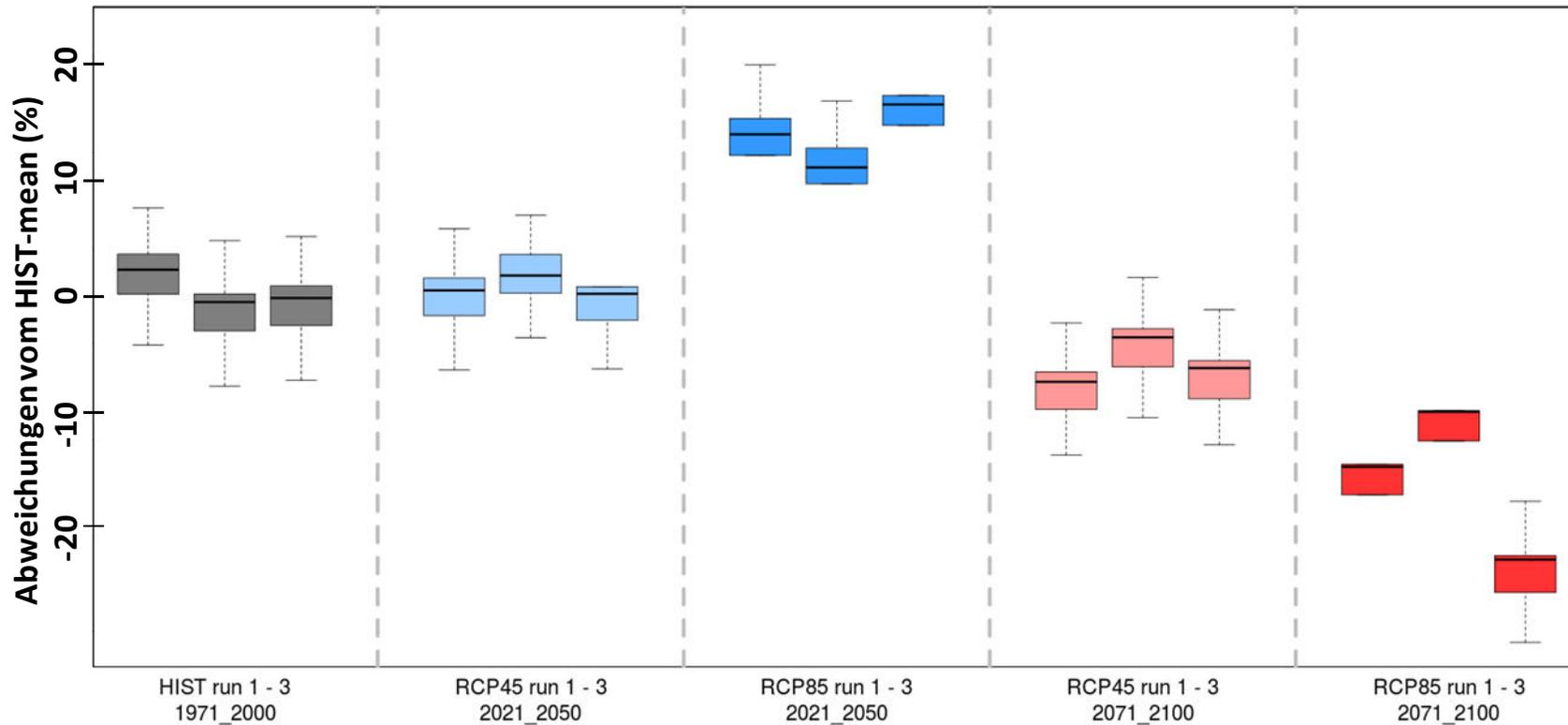


Abbildung: Unsicherheits-Spannbreiten für Starkniederschlagshäufigkeiten. Dargestellt werden sowohl die numerischen als auch die statistischen Unsicherheiten

# Numerische und Statistische Unsicherheiten mit ECHAM6 - Beurteilung

Unsicherheiten **Starkniederschlagssummen**, Region **N-Stau Sommer**

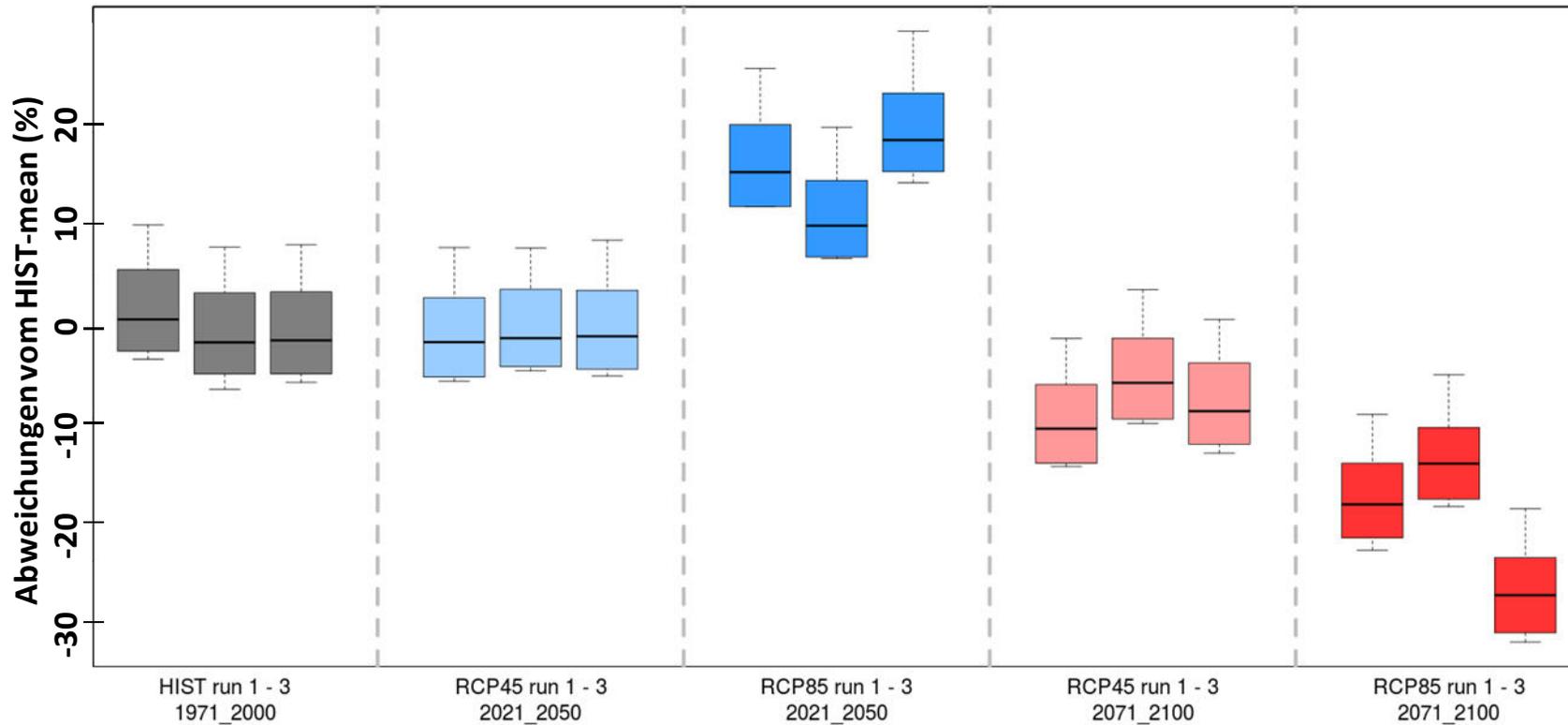


Abbildung: Unsicherheits-Spannbreiten für Starkniederschlagssummen. Dargestellt werden sowohl die numerischen als auch die statistischen Unsicherheiten.

# Numerische und Statistische Unsicherheiten mit ECHAM6 - Beurteilung

Unsicherheiten **Starkniederschlagshäufigkeiten**, Region **N-Stau** **Winter**

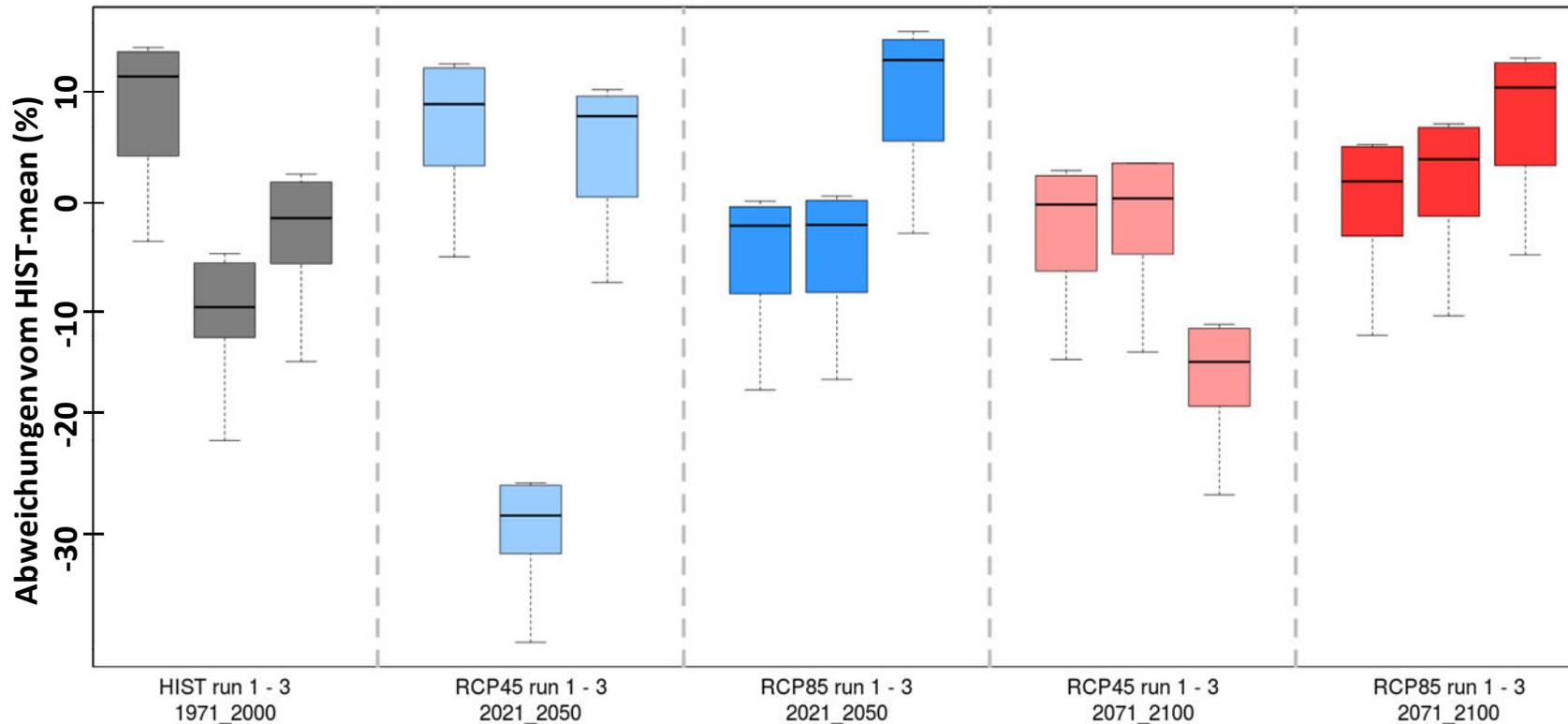


Abbildung: Unsicherheits-Spannbreiten für Starkniederschlagshäufigkeiten. Dargestellt werden sowohl die numerischen als auch die statistischen Unsicherheiten.

# Numerische und Statistische Unsicherheiten mit ECHAM6 - Beurteilung

Unsicherheiten **Starkniederschlagssummen**, Region **N-Stau Winter**

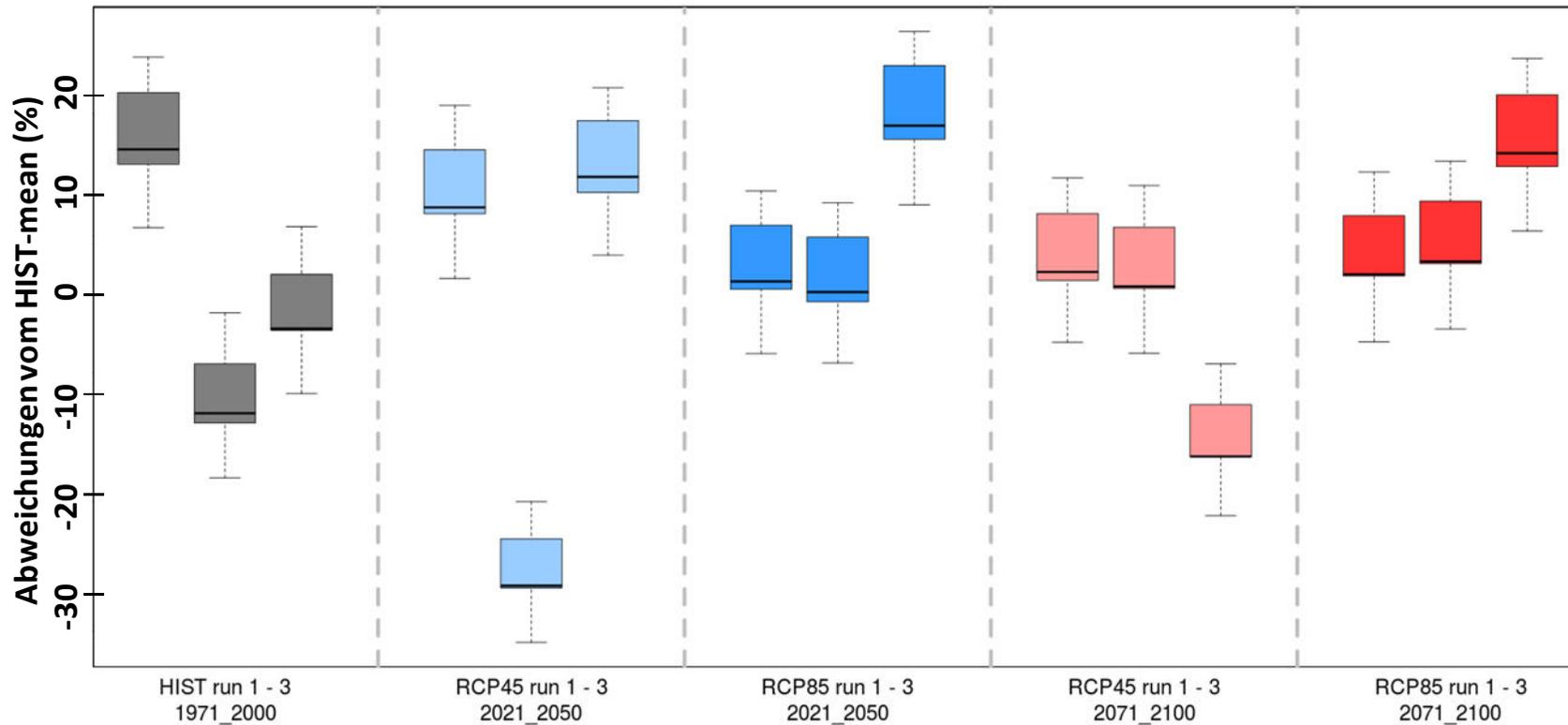


Abbildung: Unsicherheits-Spannbreiten für Starkniederschlagssummen. Dargestellt werden sowohl die numerischen als auch die statistischen Unsicherheiten.

# Numerische und Statistische Unsicherheiten mit ECHAM6 - Beurteilung

Unsicherheiten **Starkniederschlagshäufigkeiten**, Region **Ost Sommer**

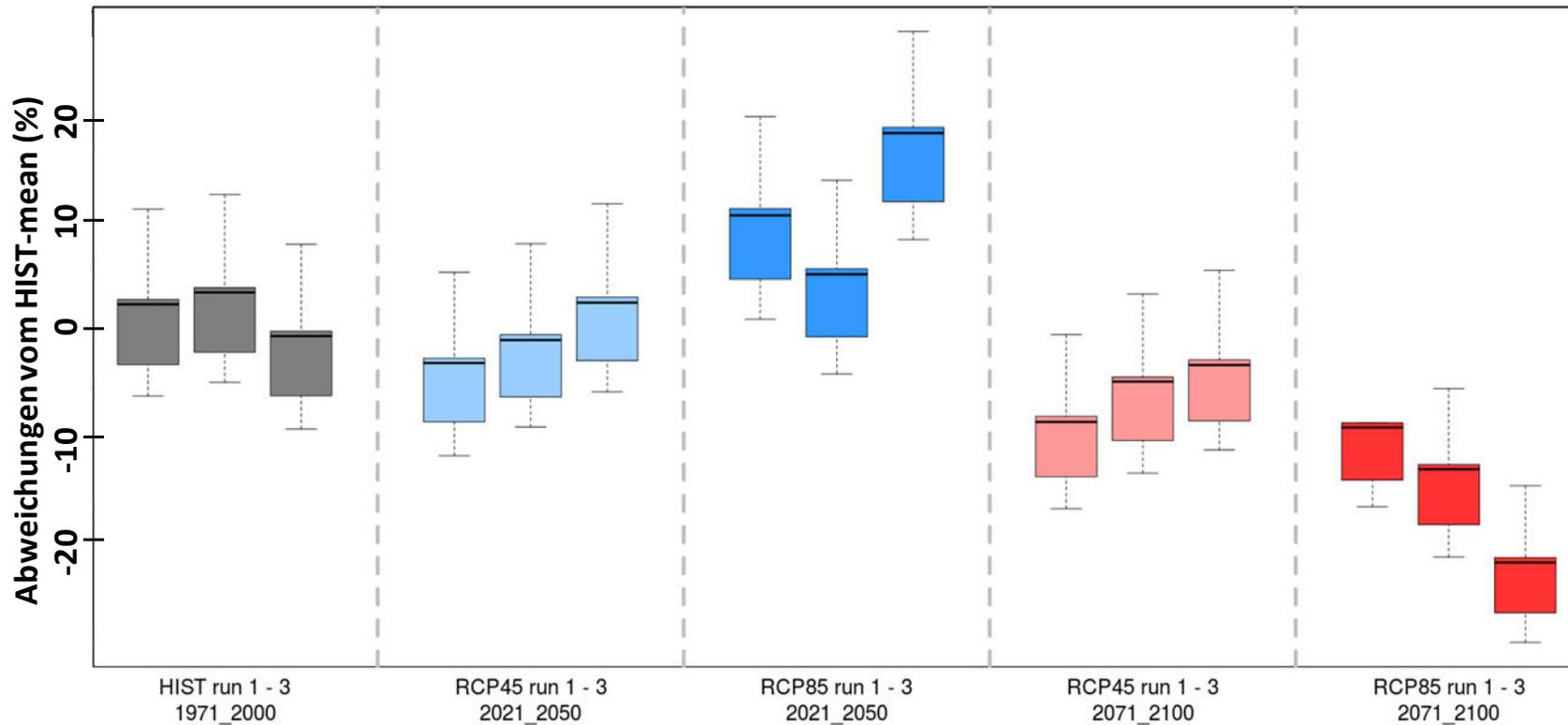


Abbildung: Unsicherheits-Spannbreiten für Starkniederschlagshäufigkeiten. Dargestellt werden sowohl die numerischen als auch die statistischen Unsicherheiten.

# Numerische und Statistische Unsicherheiten mit ECHAM6 - Beurteilung

Unsicherheiten **Starkniederschlagssummen**, Region **Ost Sommer**

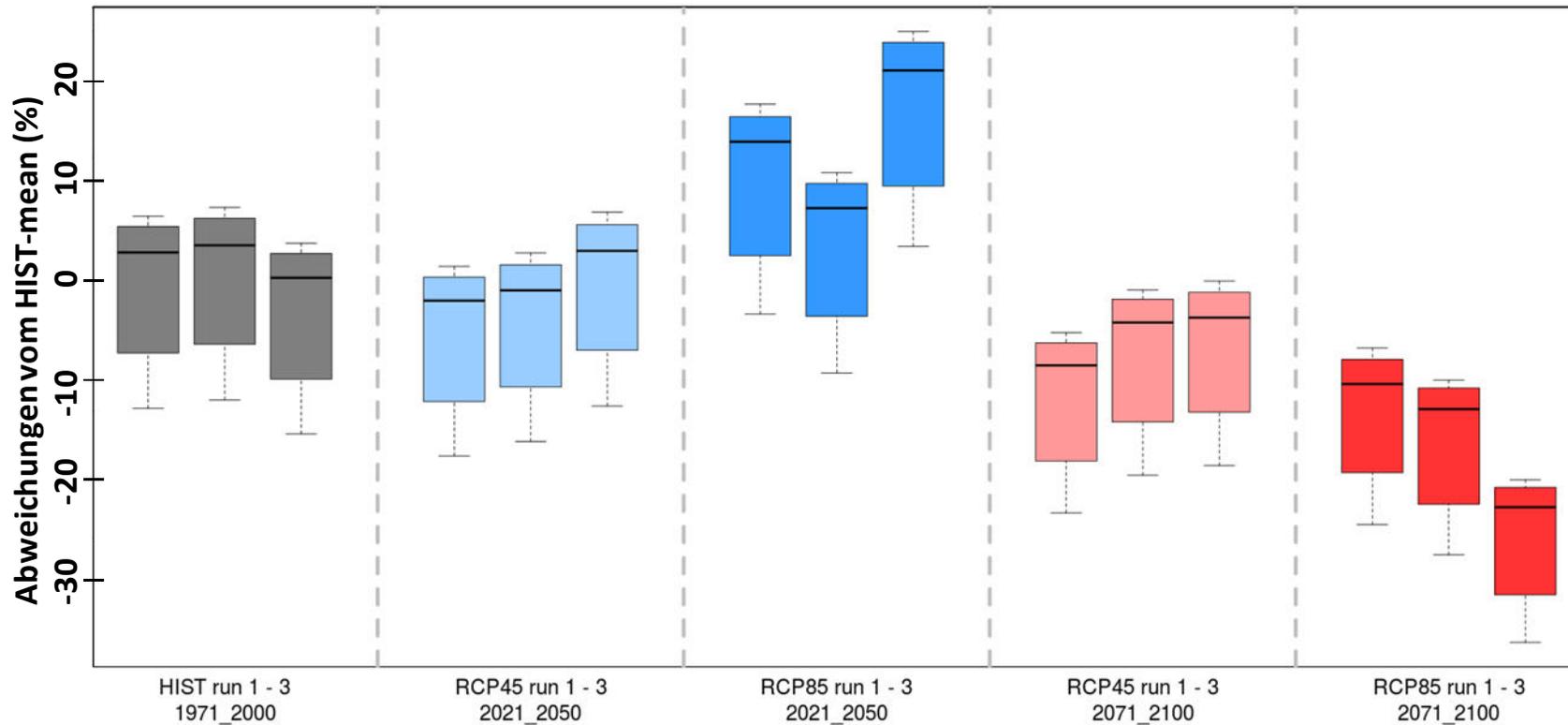


Abbildung: Unsicherheits-Spannbreiten für Starkniederschlagssummen. Dargestellt werden sowohl die numerischen als auch die statistischen Unsicherheiten.

# Numerische und Statistische Unsicherheiten mit ECHAM6 - Beurteilung

Unsicherheiten **Starkniederschlagshäufigkeiten**, Region **Ost Winter**

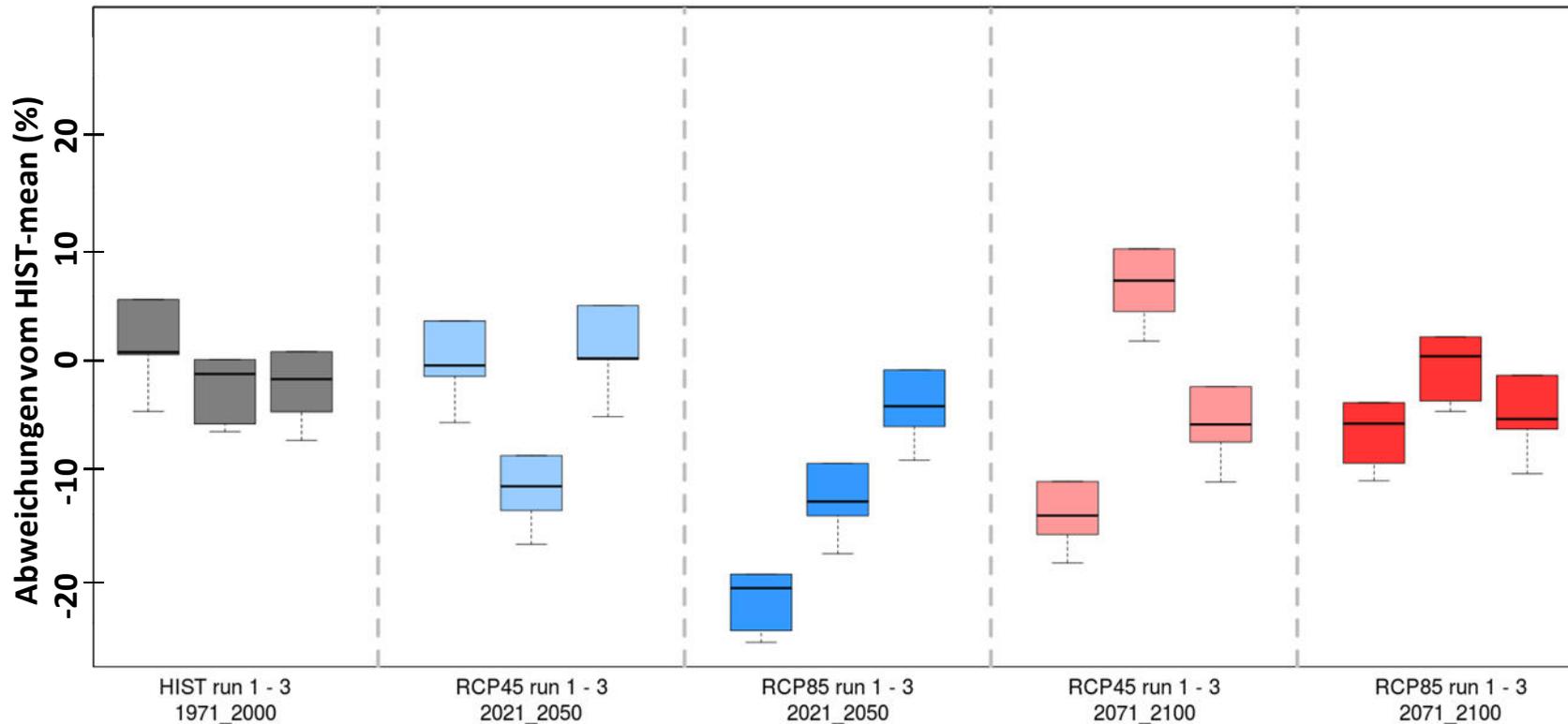


Abbildung: Unsicherheits-Spannbreiten für Starkniederschlagshäufigkeiten. Dargestellt werden sowohl die numerischen als auch die statistischen Unsicherheiten.

# Numerische und Statistische Unsicherheiten mit ECHAM6 - Beurteilung

Unsicherheiten **Starkniederschlagssummen**, Region **Ost** **Winter**

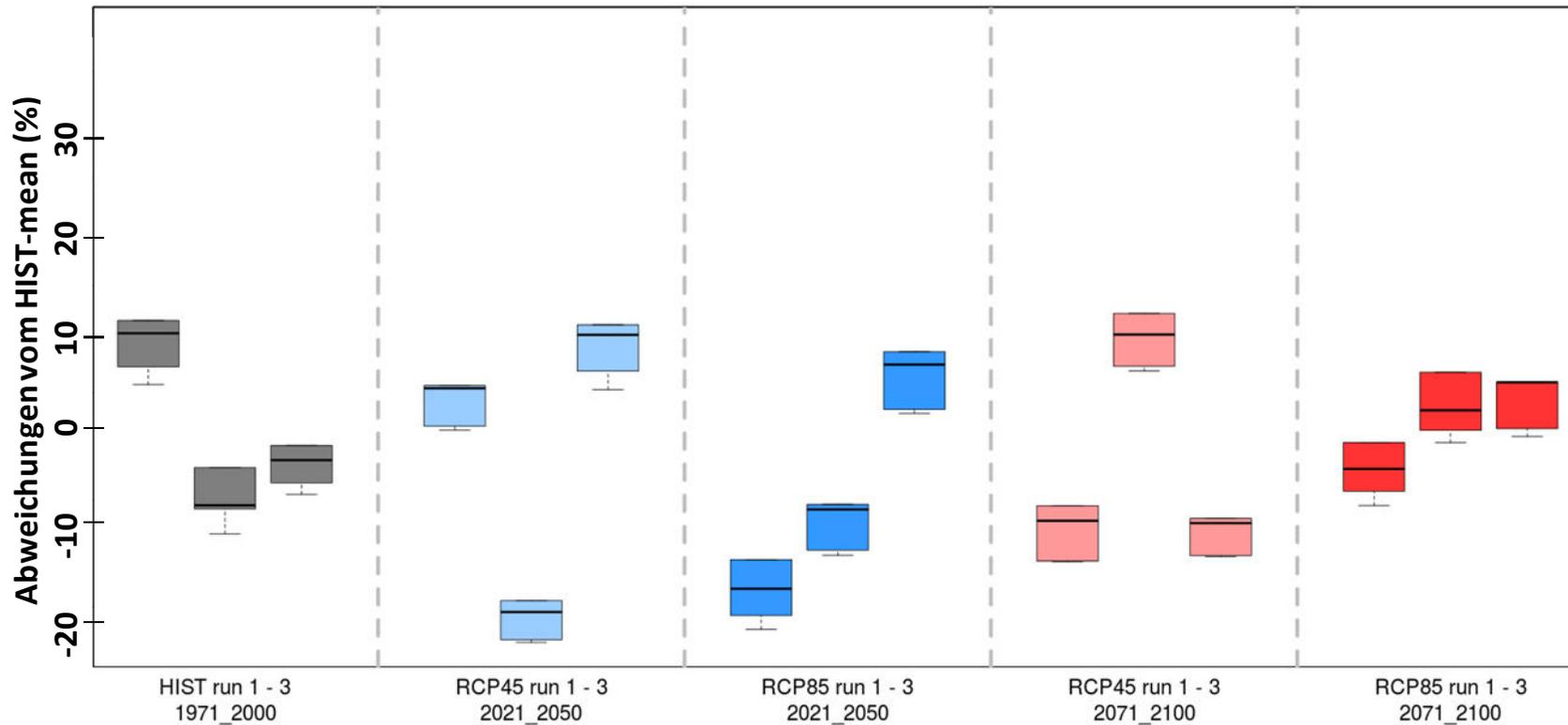


Abbildung: Unsicherheits-Spannbreiten für Starkniederschlagssummen. Dargestellt werden sowohl die numerischen als auch die statistischen Unsicherheiten.

# Numerische und Statistische Unsicherheiten mit ECHAM6

## - Beurteilung

- **Winter** (Frühling, Herbst): **geringere Spannweite der statistischen Abschätzungen** bei **Starkniederschlagshäufigkeit** ggü. der Spannweite bei den **numerischen**
- Bei **Starkniederschlagssummen**: regionenspezifisch zum Teil größere Spannweiten, als bei den Häufigkeiten
- **Sommer**: meist **geringere numerische Unsicherheiten als statistische** bei beiden Starkniederschlagsgrößen

# Im Überblick: Starkniederschlagsänderungen auf der Basis von Zirkulationstypen

- verbreitet Unterschiede zwischen Jahreszeiten und Regionen
- überwiegend keine signifikanten Änderungen

## Frühjahr

- vorwiegend **Zunahme Starkniederschläge (+2% bis +13%)**
- stärkere Zunahmen im späten Projektionszeitraum **2071-2100**
- z.T. signifikante Zunahmen: **NORDWEST, ERZGEBIRGE**

## Sommer

- deutlichste, oft signifikante Signale
- **2021-2050, RCP8.5: Zunahme Starkniederschläge (bis +10%)**
- **2071-2100, insb. RCP8.5: Reduzierung Starkniederschläge (-5% bis -16%)**

## Herbst

- keine signifikanten Änderungen
- leichte **Starkniederschlagszunahme 2021-2050**
- leichte **Starkniederschlagsabnahme 2071-2100**

## Winter

- uneinheitliche Änderungen
- verbreitete **Abnahme** von Starkniederschlägen, aber insignifikant
- z.T. auch signifikante **Zunahmen**