



C1 – Veränderung großräumiger Starkniederschläge im Klimawandel:

SYNTHESE

Prof. J. Jacobeit und M. Hofstätter



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





Gliederung

1. Schlagzeilen Auswertung **Zugbahnanalyse (ZB) & Zirkulationstypen (ZT)**
2. Vergleich der **Niederschlagsänderungen** aus ZT & ZB
3. Wie hängen **ZT & ZB** zusammen?
4. Zusammenfassung **Unsicherheiten und Ausblick**



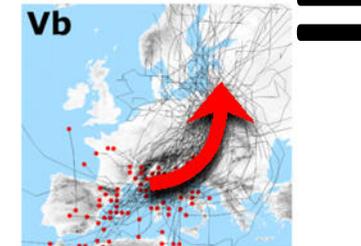
Zugbahnhäufigkeiten Beobachtungsperiode

- **ATL** (20%–25%), **TRZ** (25%–30%), **MED & X-S** (~30%)
- **Starke Tiefs: ATL 40%-50%**, POL 7%-10% und Vb 7%-13%.
- Starke Tiefdruckgebiete sind ein Winterphänomen! (ATL 46%, POL 69%)
- oder im Herbst/Winter (X-N 67%, CON 72%).
- Ganz **konträr** dazu : **stärksten Vb Tiefs im Sommer und Herbst** (77%)
- **Vb Tiefs: Einer der stärksten Systemen** neben ATL und POL **in Mitteleuropa!**

Starkniederschlagsrelevante Zugbahnen:

Stark relevant

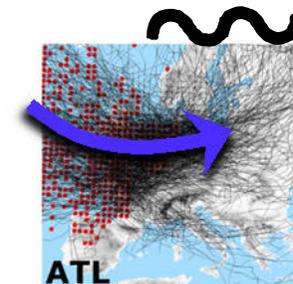
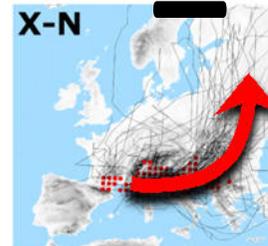
Vb Alle Regionen, besonders Süden und Osten
Im SO auch im Winter!



Mittlere Relevanz

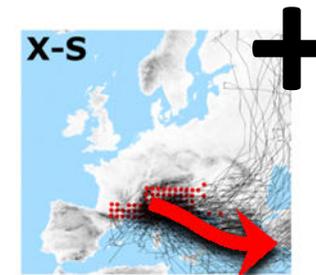
X-N alle Regionen, besonders in den östlichen

ATL Besonders in den Nordwestlichen Regionen (kürzere Ereignisdauer!)



CON Bodentiefs, östliche Regionen

X-S süd-östlichen Regionen



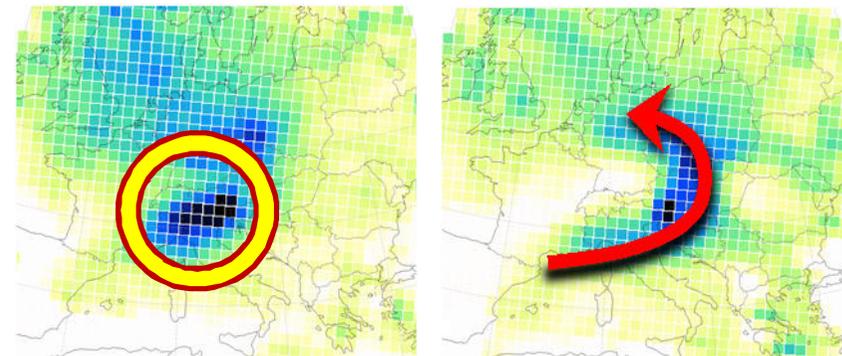
Ursachenforschung über extreme Ereignisse innerhalb eines Zugbahntyps:

Ein extremes Niederschlagsereignis wird durch die **Kombination** aus einem **starken** und nicht zu weit entferntem **Tief** verursacht. Grundvoraussetzung ist dabei ein hohes **Feuchte (Temperatur) -niveau**.

Staueffekte, die **Ereignisdauer**, **advective** und **konvektive Verstärkung** spielen vermutlich auch eine gewisse Rolle (regionsabhängig) → Offener FO-Bedarf

Eine hohe Anzahl von Zugbahnereignissen ist „begünstigend“ aber nicht notwendig für ein einzelnes extremes Ereignis!

Worst Case Szenario für Mitteleuropa: Cut Off Low über Mitteleuropa nahe dem Alpenraum und ein starkes Bodentief entlang der Vb-Zugbahn.





Veränderung der Zugbahnhäufigkeit in der Beobachtungsperiode ERA-40:

1. In der Vergangenheit hat sich die **Zugbahnhäufigkeit wenig verändert**.
2. Außer: Starke Zunahme im **Winterhalbjahr bei X-S** → Südosten, Balkan

ZUKUNFT:

1. **Abnahme** der Tiefdrucktätigkeit über Mitteleuropa von **-5% bis -20%**,
(auch starke Tiefs!)
 - Vor allem bei **ATL, Vb und TRZ. Vb speziell im SHJ**
 - Unsicherheiten groß (Änderungen unterschiedlich je nach Modell)



Veränderung Starkniederschlagsmengen Zukunft (Echam6):

- Klimasignale für den Niederschlag werden bis 2100 stärker und konsistenter.
- Das Emissionsszenario spielt eine untergeordnete Rolle.
- **Abnahme** der Mengen **-10% bis -30% im Sommer**
- **Zunahme** der Mengen **+5% bis +15% im Winter/Frühling**

- ABER: **Vb-Special Sommerhalbjahr**: Zunahme der Mengen **+5% bis +20% bei Vb**
Auch eine Zunahme der Häufigkeit!
- **Robust?** Alle Modelle Vb-Zunahme, aber Stärke der Änderung sehr unterschiedlich

Zusammenfassung Zirkulationstypen („Großwetterlagen“)

Starkniederschlagsrelevante Zirkulationstypen:

Frühjahr: südöstlich gerichtete Ausweitungen des subpolaren Tiefdrucks, Cut-off lows (unterschiedlich positioniert)

Sommer: Cut-off lows, Tröge, zyklonale Wellen

Herbst: zonale Zirkulationsmuster für Norden und Westen, meridionale Zirkulationsmuster für Süden, gemischte Zirkulationsmuster für Nordrand der Alpen

Winter: wie Herbst sowie Cut-off lows v.a. über Oberitalien

Rezente Häufigkeitsänderungen der starkniederschlagsrelevanten Zirkulationstypen:

nur vereinzelt signifikant (spiegelt sich aber in regionalen Starkniederschlagstrends!):

Frühjahr: Abnahme Cut-off low mit Relevanz für Süden
Zunahme südostwärts ausgreifender Tiefdruck subpolarer Breiten,
v.a. die nördlichen und westlichen Regionen betreffend

Sommer: Abnahme Cut-off low mit Relevanz für Nordosten (geringes Absolutniveau)

Herbst: Zunahme eines Trog-Musters mit Relevanz für Süden
Zunahme eines zonalen Musters, v.a. den westlichen Teil betreffend

Winter: Abnahme Troglage mit Relevanz für Süden
Zunahme zonale Muster, v.a. den Norden und Westen betreffend

v.a. Herbst verweist auf wesentliche Rolle typinterner Änderungen!

Künftige Häufigkeitsänderungen der starkniederschlagsrelevanten Zirkulationstypen:

Generell: Zunahme zonaler Muster im Winter,
gleichbleibende oder abnehmende Häufigkeiten snr ZT im Sommer,
geringste Anzahl signifikanter Änderungen im Herbst

aber auch verbreitet Diskrepanzen bei einzelnen Zirkulationstypen
zwischen den verschiedenen globalen Klimamodellen

Güte der Klimamodelle hins. der atmosphärischen Zirkulation:

Die wichtigsten Variabilitätsmodi sind beobachtungsnah repräsentiert

Modellgüte der Regressionsmodelle zur Abschätzung von reg. Starkniederschlägen:

- höchste Modellgüte im Winter
- überdurchschnittliche Modellgüte für die Regionen Süd, N-Stau,
N-West und S-West (die letzten beiden nicht im Sommer)

Verbreitet Hinweise auf Instationaritäten in den statistischen Beziehungen!

Künftige Starkniederschlags-Projektionen:

Frühjahr:

va. Zunahmen in N-West und Erzgebirge für RCP8.5 in 2071-2100

Sommer:

2021-2050: (außer in N-West u. Mitte) Zunahmen v.a. für RCP8.5,
aber nicht bei EC-EARTH!

2071-2100: Abnahmen für RCP8.5 und meist auch A1B,
aber insignifikant bei EC-EARTH

beachte: nur gültig für großflächige Starkniederschläge!

Herbst:

keine signifikanten Änderungen

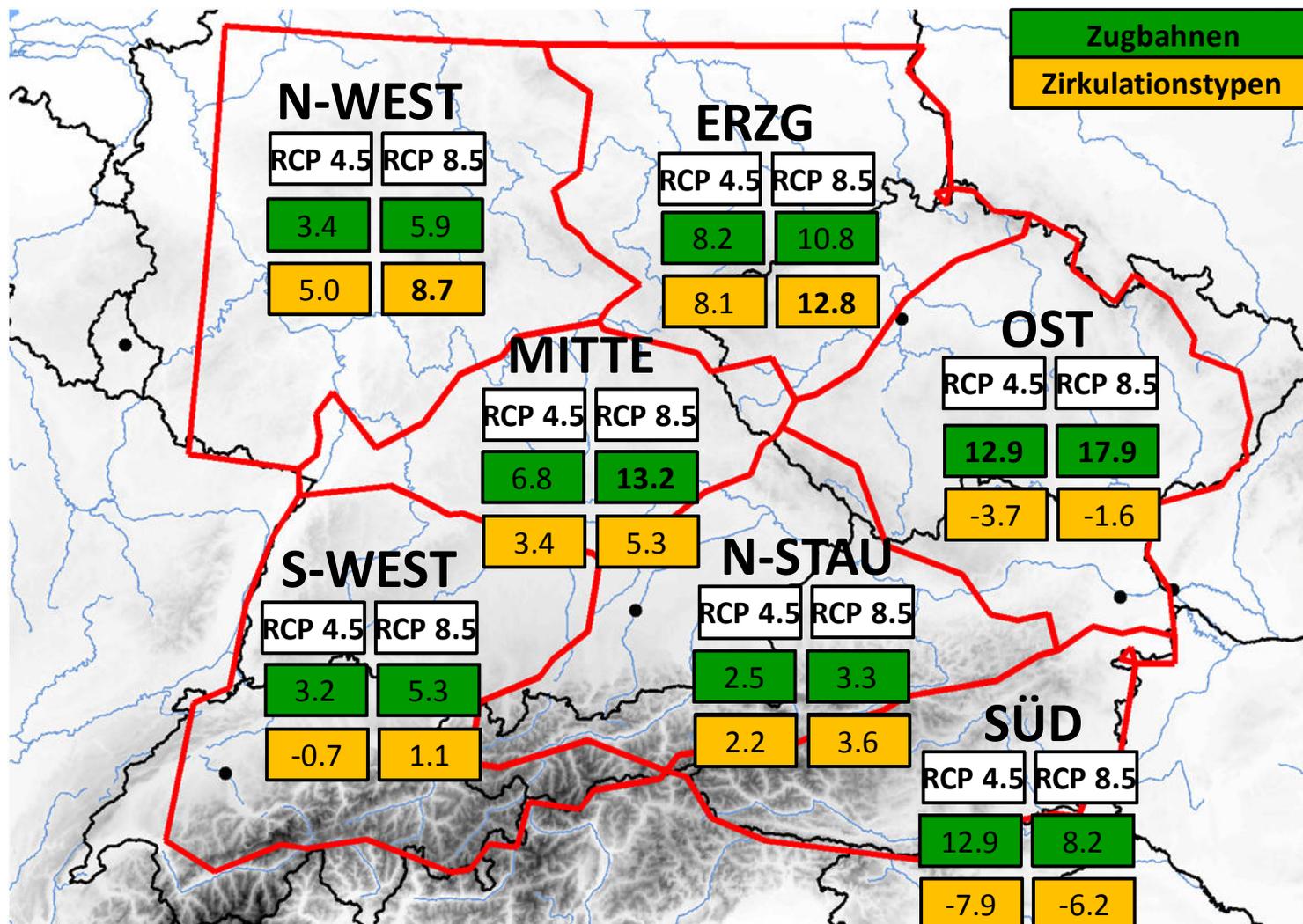
Winter:

Zunahmen in N-West, S-West, Erzg. und N-Stau für A1B v.a. in 2071-2100,
aber nicht bei ECHAM6 u. EC-EARTH!

Abnahmen v.a. in Ost bei EC-EARTH (ansonsten verbreitet, aber insignif.)

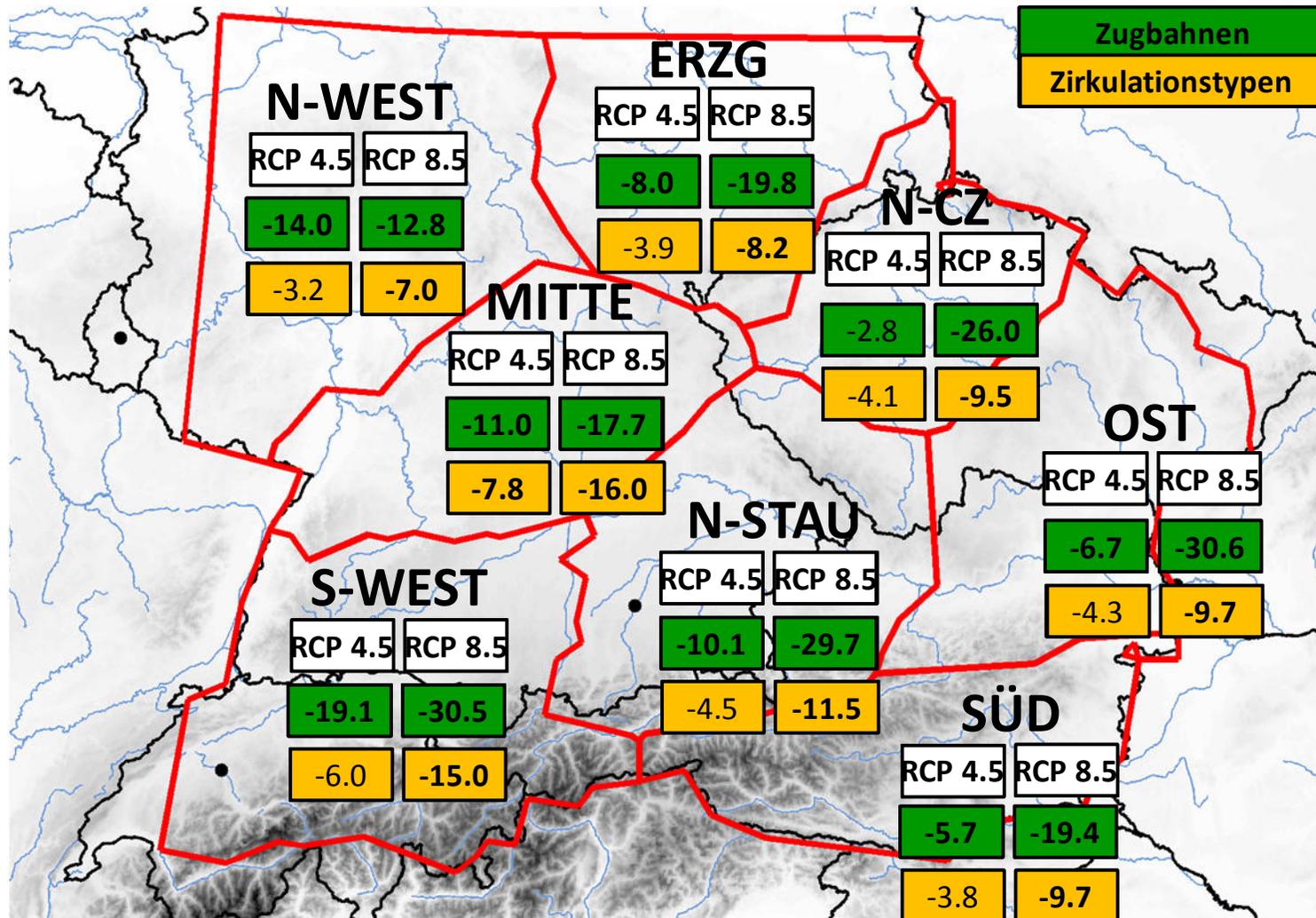
Vergleich der Ergebnisse aus Zirkulationstyp- und Zugbahn-Analyse

2071-2100, Frühling

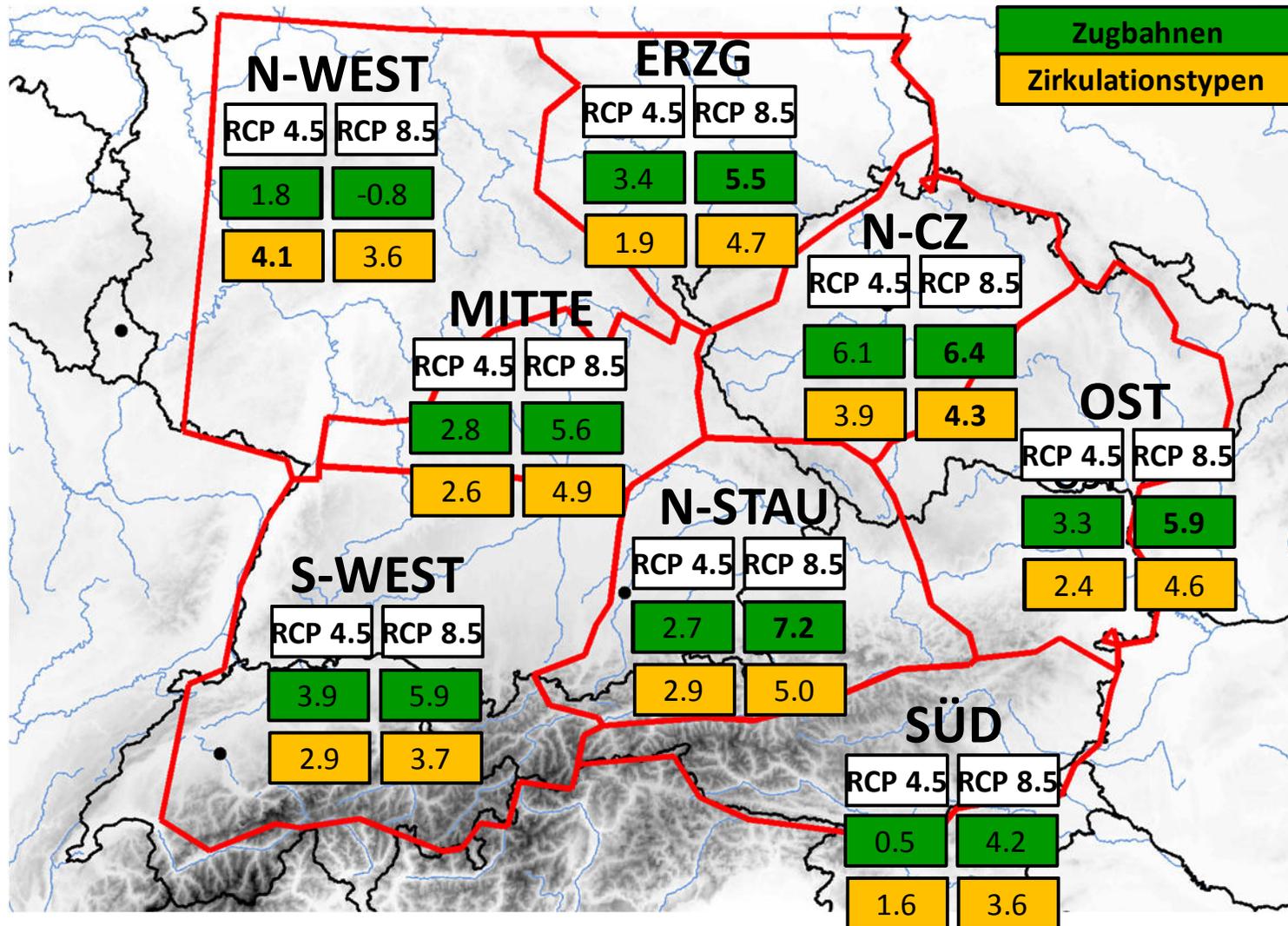


Vergleich der prozentualen Veränderungen regionaler Starkniederschlagssummen gegenüber 1971-2000 aus Zugbahn-Analyse (grün) und Zirkulationstyp-Analyse (gelb), basierend auf dem ECHAM6-Ensemble-Mittel für die Szenarien RCP 4.5 und RCP 8.5 in verschiedenen Zeiträumen u. Jahreszeiten. Signifikante Änderungen(0.05-Niveau): Fettdruck

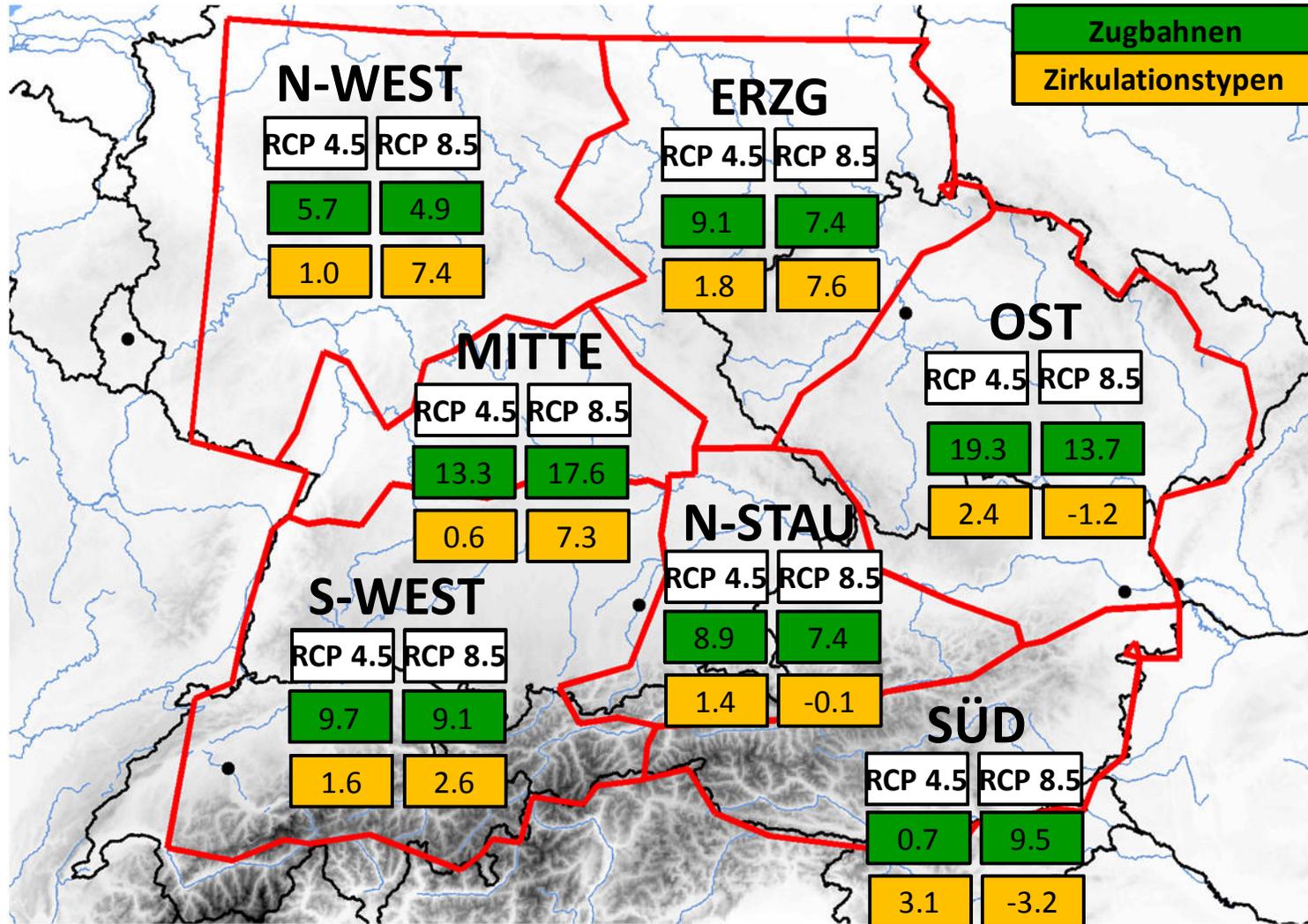
2071-2100, Sommer



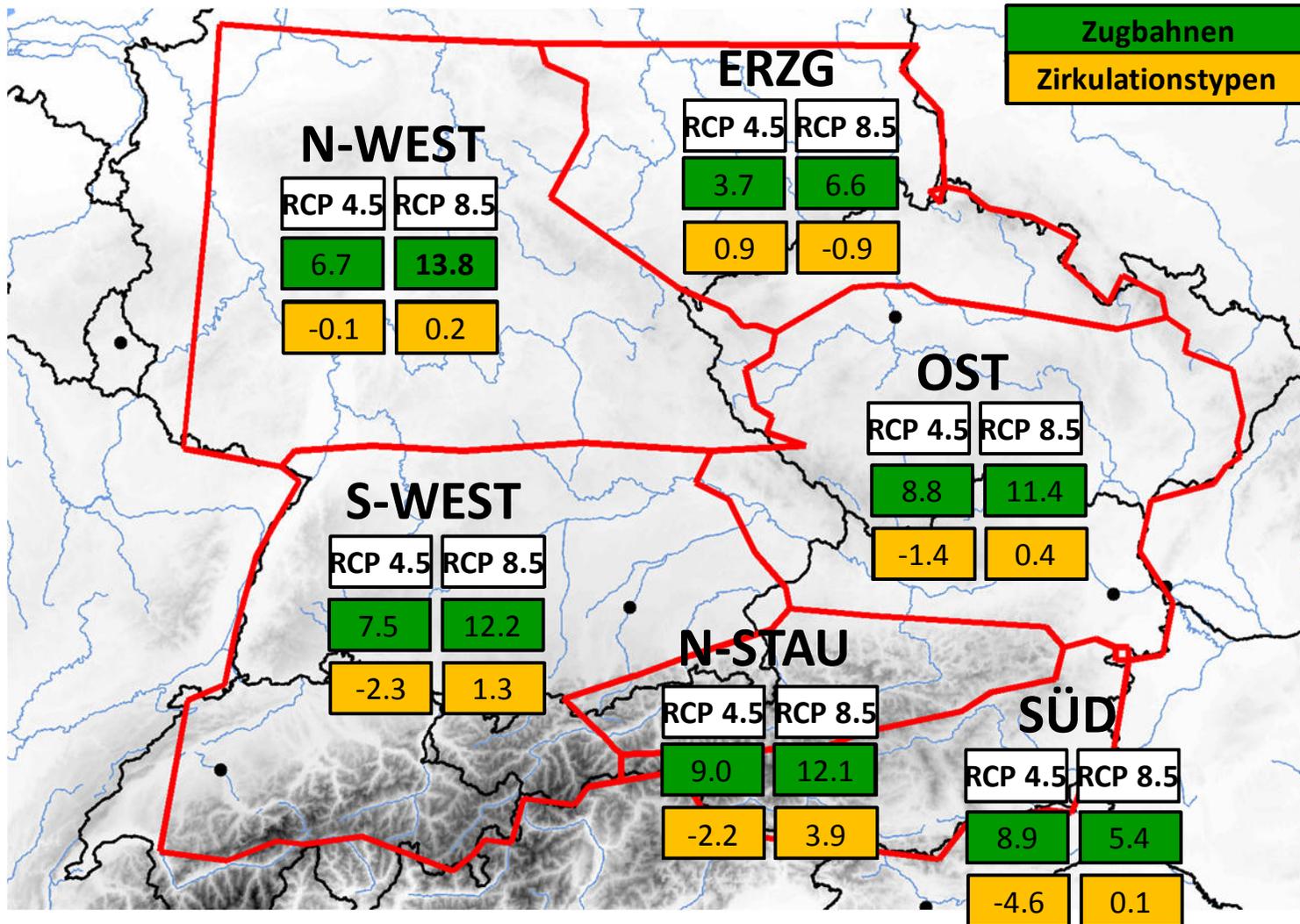
2021-2050, Jahr



2021-2050, Herbst



2071-2100, Winter



ECHAM6, RCP 4.5 Zeitraum 2021-2050								
Region	N-West	Mitte	S-West	N-Stau	ERZG	N-CZ	OST	SÜD
Winter	Blue	----	Grey	Grey	Blue	----	Grey	Grey
Frühling	Grey	Blue	Grey	Blue	Blue	----	Blue	Blue
Sommer	Grey	Red	Red	Grey	Grey	Blue	Red	Grey
Herbst	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	----	Blue	Blue
Jahr	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue



ECHAM6, RCP 4.5 Zeitraum 2071-2100								
Region	N-West	Mitte	S-West	N-Stau	ERZG	N-CZ	OST	SÜD
Winter	Grey	----	Grey	Grey	Blue	----	Grey	Grey
Frühling	Blue	Blue	Grey	Blue	Blue	----	Grey	Grey
Sommer	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Herbst	Blue	Blue	Grey	Grey	Grey	----	Grey	Grey
Jahr	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Blue	Grey	Grey

Generalisierter Vergleich der Veränderungen regionaler Starkniederschlagssummen gegenüber 1971-2000 aus Zugbahn-Analyse (ZB) und Zirkulationstyp-Analyse (ZT), basierend auf dem ECHAM6-Ensemble-Mittel für das Szenario RCP 4.5.

ECHAM6, RCP 8.5 Zeitraum 2021-2050								
Region	N-West	Mitte	S-West	N-Stau	ERZG	N-CZ	OST	SÜD
Winter	Abnahme ZB+ZT	-----	Zunahme ZB+ZT	Zunahme ZB+ZT	Abnahme ZB+ZT	-----	uneinheitlich	uneinheitlich
Frühling	Zunahme ZB+ZT	Zunahme ZB+ZT	uneinheitlich	Zunahme ZB+ZT	Zunahme ZB+ZT	-----	Zunahme ZB+ZT	uneinheitlich
Sommer	Abnahme ZB+ZT	Zunahme ZB+ZT	uneinheitlich	Zunahme ZB+ZT	uneinheitlich	uneinheitlich	uneinheitlich	Zunahme ZB+ZT
Herbst	Zunahme ZB+ZT	Zunahme ZB+ZT	Zunahme ZB+ZT	uneinheitlich	Zunahme ZB+ZT	-----	uneinheitlich	uneinheitlich
Jahr	uneinheitlich	Zunahme ZB+ZT						



ECHAM6, RCP 8.5 Zeitraum 2071-2100								
Region	N-West	Mitte	S-West	N-Stau	ERZG	N-CZ	OST	SÜD
Winter	Zunahme ZB+ZT	-----	Zunahme ZB+ZT	Zunahme ZB+ZT	uneinheitlich	-----	Zunahme ZB+ZT	Zunahme ZB+ZT
Frühling	Zunahme ZB+ZT	-----	uneinheitlich	uneinheitlich				
Sommer	Abnahme ZB+ZT							
Herbst	uneinheitlich	Zunahme ZB+ZT	uneinheitlich	uneinheitlich	uneinheitlich	-----	uneinheitlich	uneinheitlich
Jahr	Zunahme ZB+ZT	uneinheitlich						

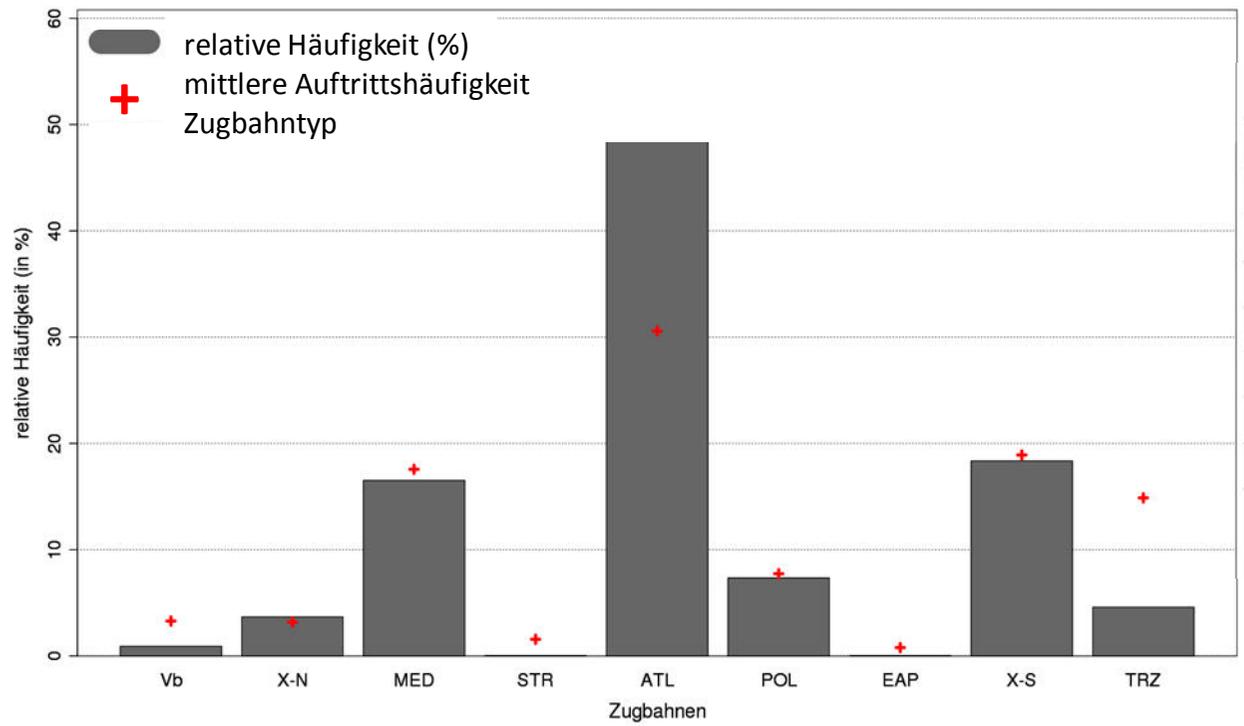
Generalisierter Vergleich der Veränderungen regionaler Starkniederschlagssummen gegenüber 1971-2000 aus Zugbahn-Analyse (ZB) und Zirkulationstyp-Analyse (ZT), basierend auf dem ECHAM6-Ensemble-Mittel für das Szenario RCP 8.5.

Diskrepanzen in den Abschätzungen aus Zugbahnanalyse und Zirkulationstypanalyse wachsen meist zum späteren Zeitraum

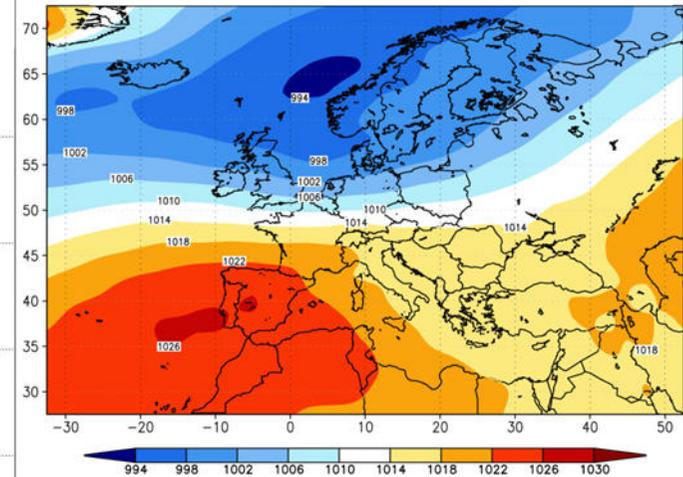
größte Übereinstimmungen bei Starkniederschlagsänderungen:

- Abnahme im Sommer 2071-2100
- Zunahme im Gesamtjahr 2021-2050 (nur teilweise signifikant)
- Zunahme im Herbst 2021-2050 (nur RCP4.5, insignifikant)
- Zunahme im Winter 2071-2100 (nur RCP8.5, kaum signifikant)
- Frühling überwiegend mit Zunahmen (nur z.T. signifikant)

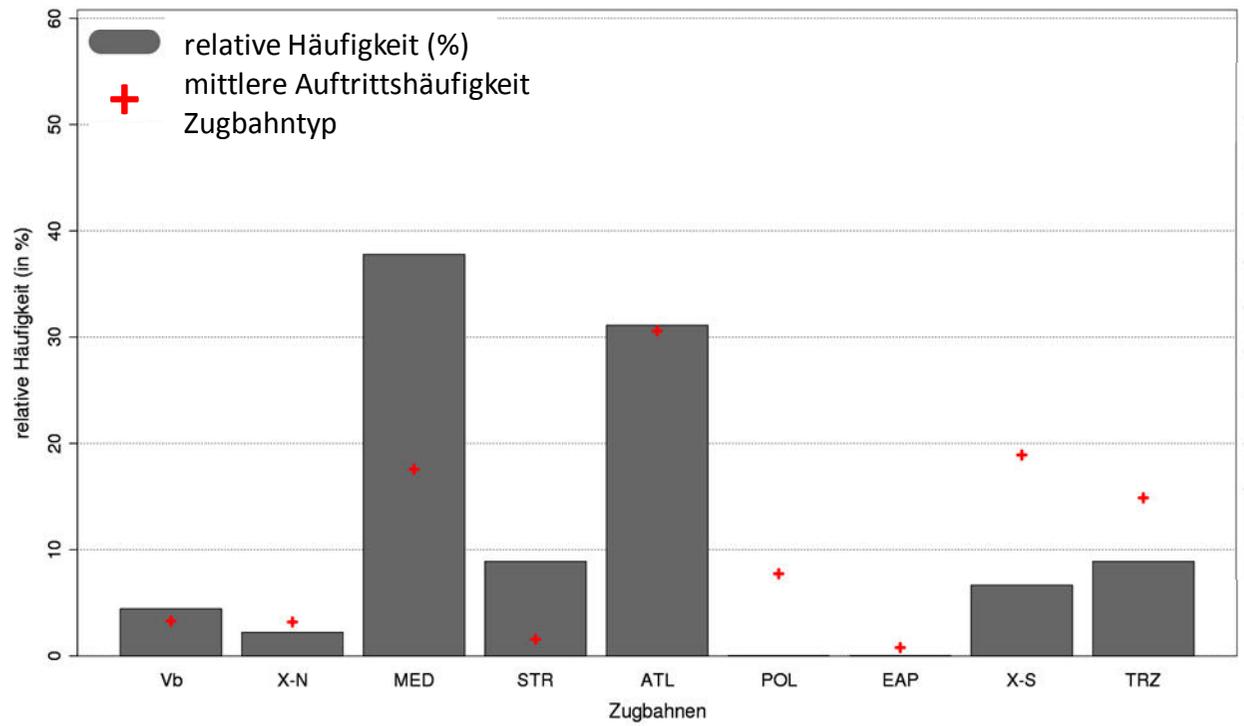
**Vergleich Zugbahntypen und
starkniederschlagsrelevante
Zirkulationstypen (ZT)**



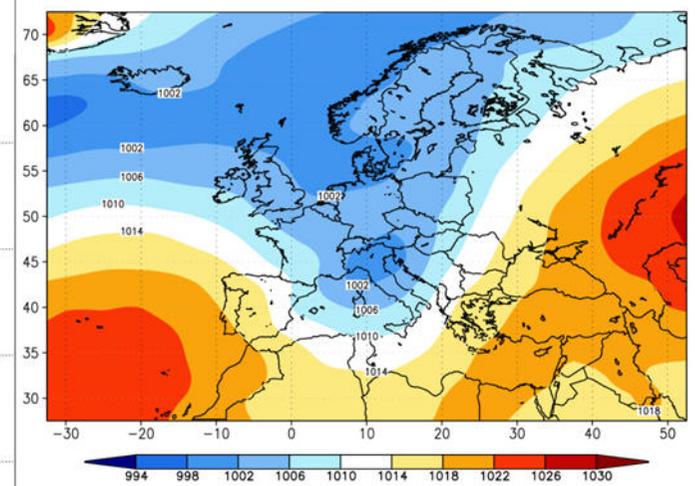
ZT 16 Winter (SLP)

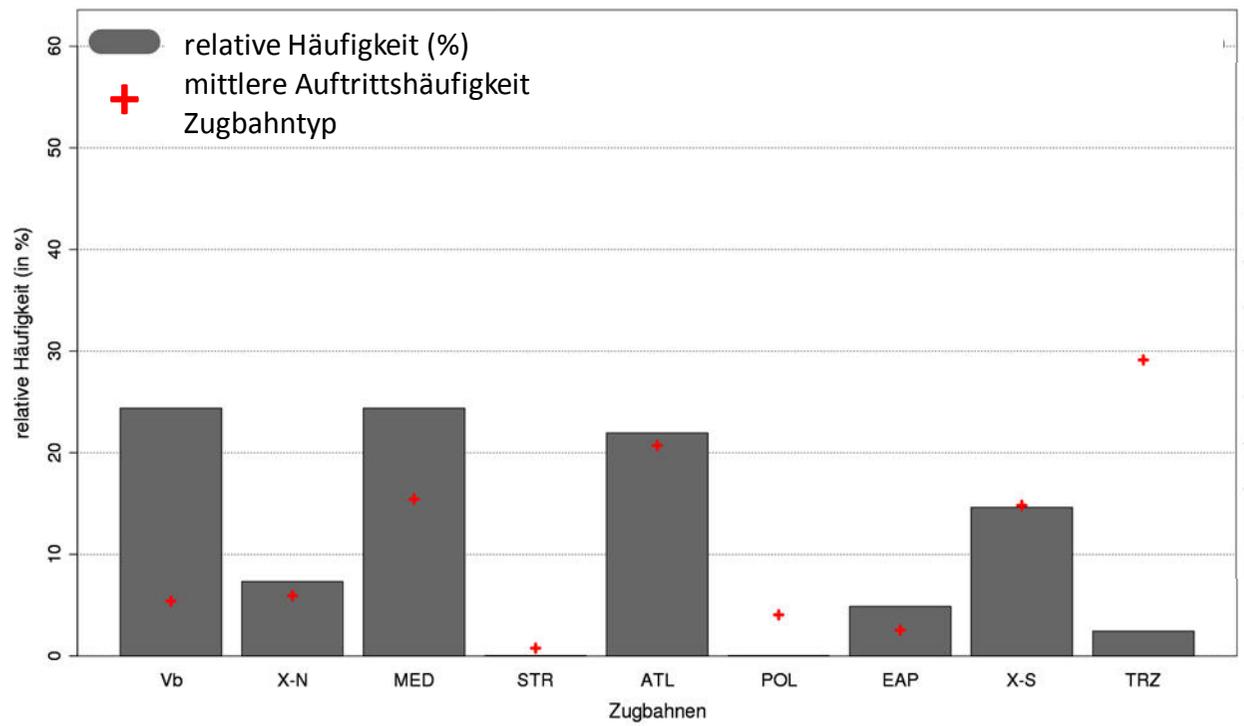


Häufigkeitsverteilung der Zugbahntypen für die starkniederschlagsrelevanten Zirkulationstypen

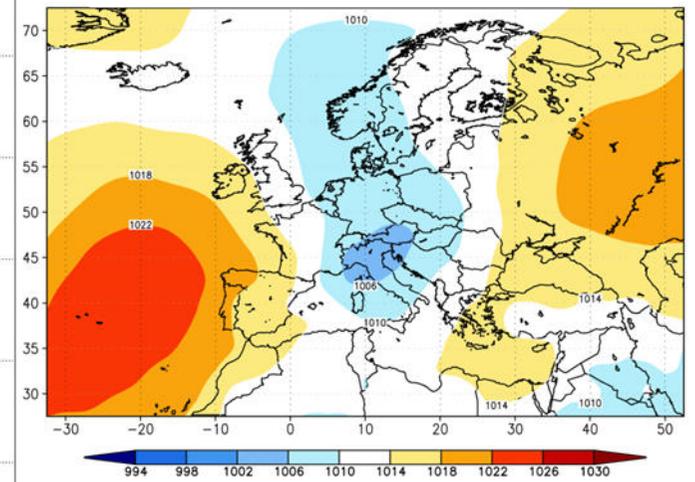


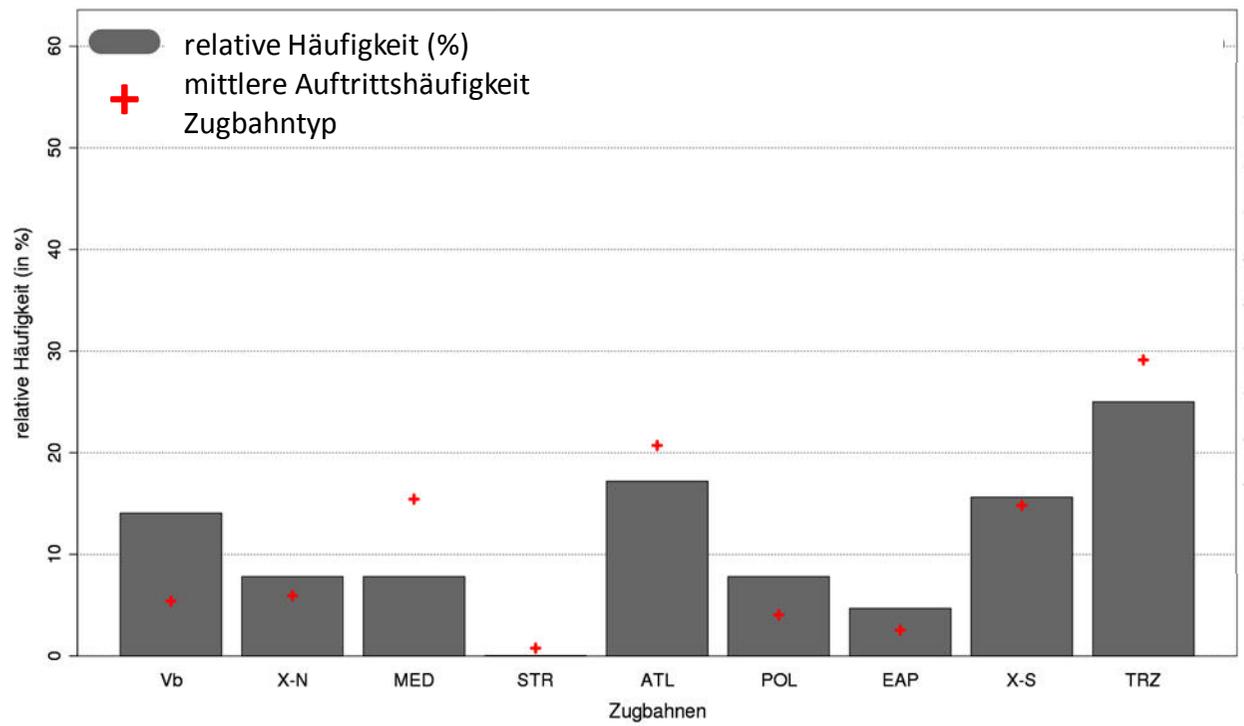
ZT 11 Winter (SLP)



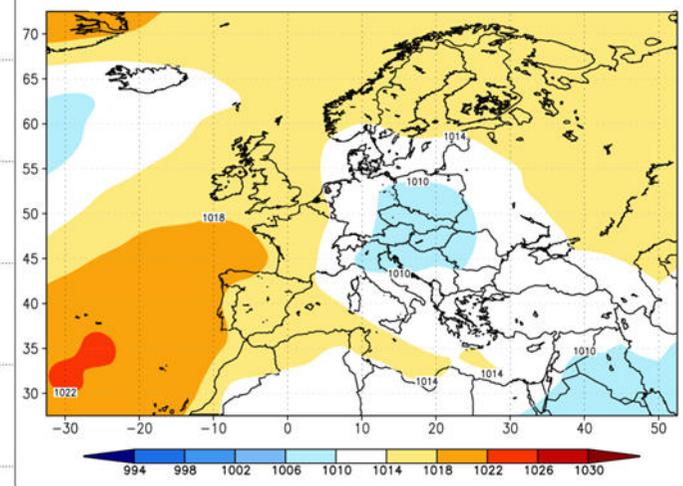


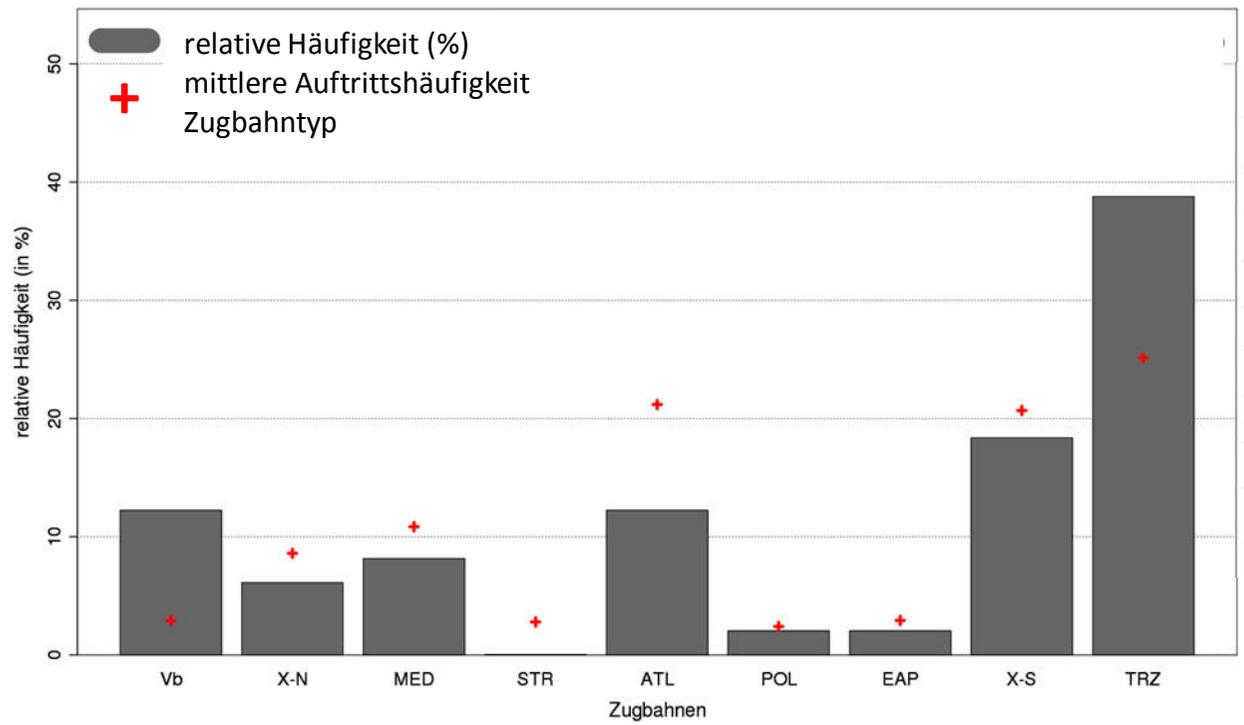
ZT 11 Frühling (SLP)



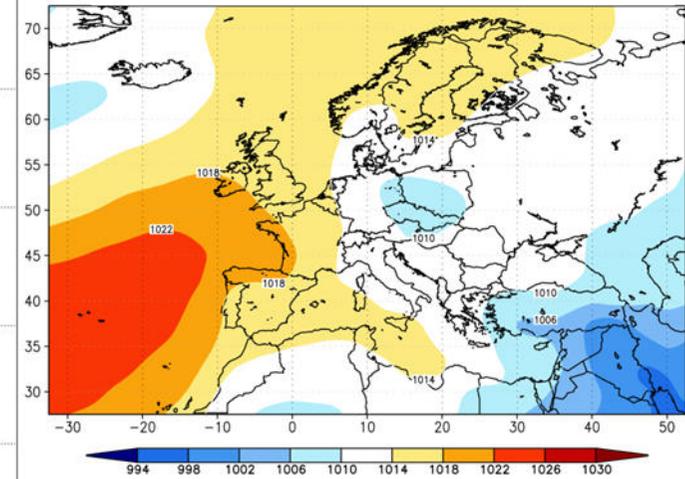


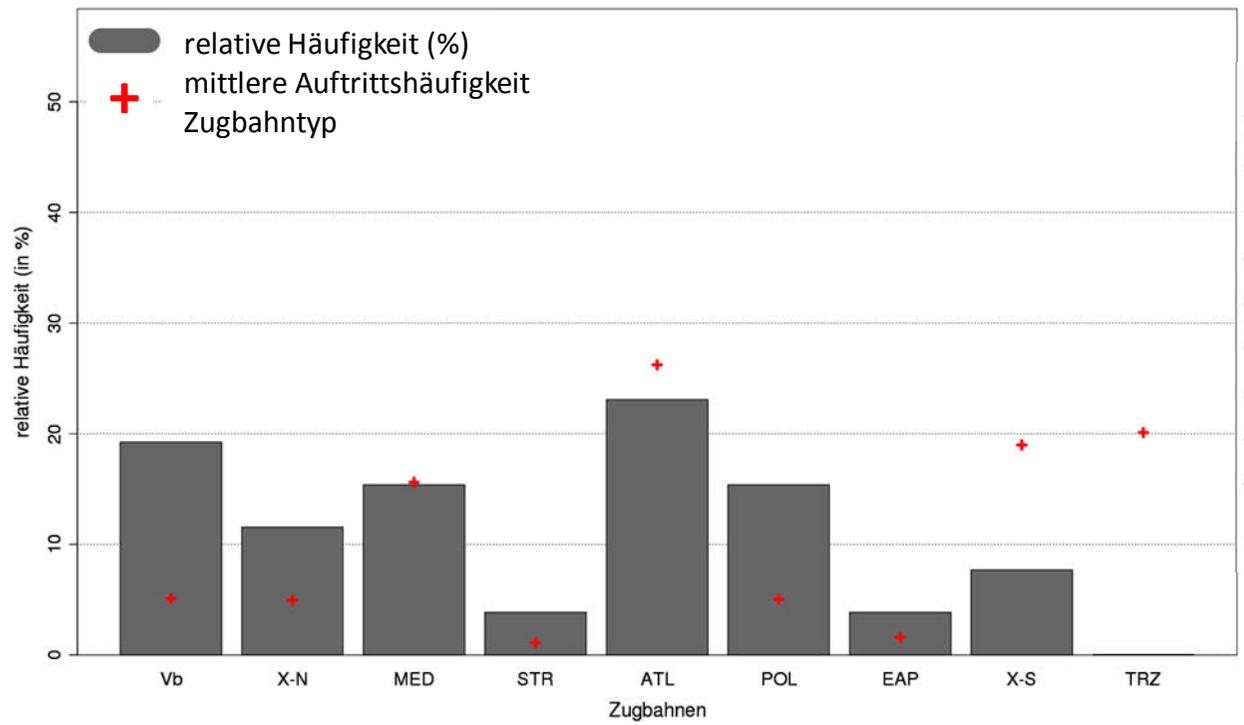
ZT 16 Frühling (SLP)



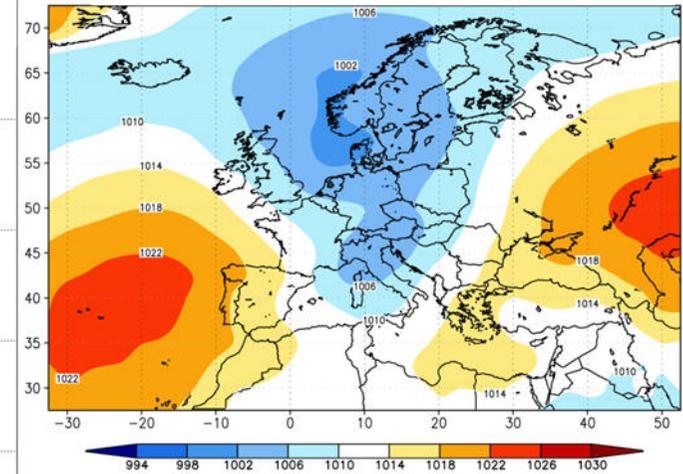


ZT 1 Sommer (SLP)





ZT 18 Herbst (SLP)





Unsicherheiten Ausblick



Unsicherheiten Abschätzung Starkniederschlagsmengen:

- Die **Niederschlagsmengen** werden vom Regression Modell systematisch **unterschätzt** (-5% bis -15%), Güte im Sommer höher als im Winter.
- Es ist **kein eindeutig zu bevorzugendes Klimamodell** auszumachen.
- Es zeigen sich **systematische Abhängigkeiten von der Region**, diese rühren jedoch nicht von den Modellen sondern von anderen Einflussgrößen her (Zugbahnen, Eingangsvariablen zur Niederschlagsmodellierung).
- Ergebnisse (Niederschlagsänderungen) mit Echem6 am robustesten aufgrund der Anzahl der verwendeten Läufe.



Unsicherheiten Abschätzung Starkniederschlagsmengen:

- **Unsicherheiten ZT/ZB unterscheiden sich** (z.B. Winter +/-), **trotzdem** finden sich **ähnliche Ergebnisse**.
- Verbreitet Hinweise auf **Instationaritäten** in den statistischen Beziehungen (typinterne Veränderungen oder Variabilität).
- Unterschiede in den **Ergebnissen zwischen den Klimamodellen**, Szenarien und Zeitperioden sind meist nicht systematisch, aber tendenziell sind die Änderungen 2021-2050 schwächer/gegenläufig zu 2071-2100 (stärksten Änderungen, teils signifikant) und RCP8.5



Schwächen:

- **Annahme der Stationarität** der aus der Vergangenheit abgeleiteten statistischen Modelle über die Zeit.
- Schwäche der globalen Klimamodelle in der Simulation der **Verweildauer** eines Tiefs über Mitteleuropa.
- **Keine Berücksichtigung** von konvektiven und advektiven **Prozessen** sowie von orographischer Verstärkung in der Niederschlagsmodellierung.
- Keine Berücksichtigung der **Abfolge von ähnlichen Zirkulationsmustern** hinsichtlich Niederschlag und Bodenfeuchte.



Stärken:

- Erstmalige **Kombination** zweier grundlegend unterschiedlicher, **methodischer Ansätze** zur Beantwortung einer **gemeinsamen Fragestellung**.
- Berücksichtigung von **Gebieten mit ähnlicher Niederschlagsvariabilität**.
- Unterscheidung von **Zugbahntypen** mit unterschiedlicher Niederschlagsrelevanz.
- Identifikation und Berücksichtigung von **snr Zirkulationsmustern** über Europa.



1- Erweiterung der Fragestellung

- Untersuchungsgebietes auf **Osteuropa** (Zugbahn X-S !)
- Problematik von **Niedrigwasser**

2- Methodik

- **Instationaritäten** in den Beziehungen zwischen großräumigen Prozessen und lokalen Auswirkungen.
- Analytische **Zusammenführung** der unterschiedlichen Methodik (z.B. Zugbahnen als Kovariaten der Zirkulationsklassifikation).

3- Stärkere Prozessorientierung

- Berücksichtigung **typinterner Charakteristika** (z.B. Intensität von Tiefdruckgebieten, Luftfeuchte, Persistenz der relevanten Zirkulationsmuster, vertikale Stabilität).
- **Abfolge von Ereignissen** (Bodenfeuchte)
- Berücksichtigung von **konvektiven und advektiven Prozessen**.

4- Substanziell längere Analyse-Zeiträume

- Bessere **Extremwertstatistik**.
- Wie extrem könnten großflächige Niederschlagsereignisse werden - **gibt es nach oben eine Grenze** oder nicht?

5- Regionalmodelle (CORDEX,2015)

- Wie verändern sich die Ergebnisse bei der Verwendung regionaler Klimamodelle?
- Vergleich der Ergebnisse mit den Niederschlagssimulationen aus Regionalmodellen.



Vielen Dank für Ihr Interesse!



MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWERTES
ÖSTERREICH



Universität
Augsburg
University



ZAMG



bfg Bundesanstalt für
Gewässerkunde



Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz



Bayerisches Landesamt für
Umwelt



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

