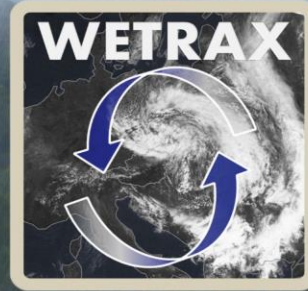


Weather Patterns, Cyclone Tracks, and Related Precipitation Extremes



WETRAX

Großflächige Starkniederschläge
im Klimawandel

Bezugsregion: südliches Mitteleuropa

Vorläufer-Projekt 2012-2015

www.zamg.ac.at/veranstaltungen/WETRAX_2015

Abschlussbericht in Geographica Augustana 19, 2015

WETRAX⁺



Folgeprojekt 2018-2021



Bayerisches
Landesamt
für Umwelt

 Bundesministerium
Nachhaltigkeit und Tourismus

Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz



Wichtigste Neuerungen gegenüber Vorläufer-Projekt:

- **Aktualisierter gegitterter Niederschlagsdatensatz** (zuvor nur bis 2006 verfügbar)
- **Kombinierte Zirkulationstyp-Zugbahnen-Klassifikation** (zuvor separat analysiert)
- **Optimierung von Zirkulationsklassifikationen auch hinsichtlich von Trockenperioden**
- **Ausweitung der Untersuchungen auf konvektive Starkniederschläge** (zuvor nur großflächige)
- **Entwicklung operationeller Warnprodukte mit Einschätzung des Risikopotentials für Starkniederschläge und anhaltende Trockenperioden**
- **Erweiterung um hydrologische Modellierung (TU Wien): Wettergenerator und stochastische Niederschlags-Abflussmodellierung**

Weitere Ziele:

- **Fallstudien ausgewählter Hochwasserereignisse und Trockenperioden aus dem Zeitraum 1850-1950**
- **Untersuchung von typinternen Änderungen, Persistenzen, Ereignis-Wiederholungen**
- **Exemplarische Anwendung der Tools auf einen ausgewählten Modell-Lauf für die Klimazukunft bis 2100**



Gegitterter Beobachtungsdatensatz Niederschlag

Parameter: Niederschlagssummen

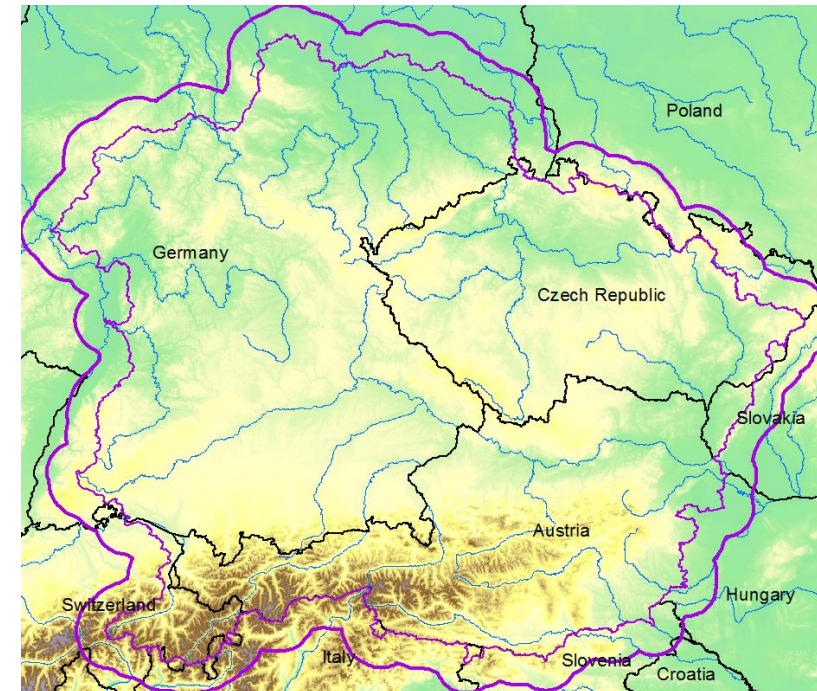
Zeitliche Auflösung: täglich

Räumliche Auflösung: 6 km x 6 km

Zeitraum: 01.01.1961 – 31.12.2017

Gebiet:

- Einzugsgebiet der Donau bei der Einmündung der March
- Einzugsgebiet der Elbe bei der Einmündung der Saale
- Einzugsgebiet des Main
- Einzugsgebiet von Werra und Fulda
- Einzugsgebiet der Lahn
- Einzugsgebiet des Neckar
- Einzugsgebiet des Bodensees
- übriges Gebiet Österreichs





Tägliche Niederschlagsfelder als Produkt monatlicher mittlerer Summen und täglicher Anomalien

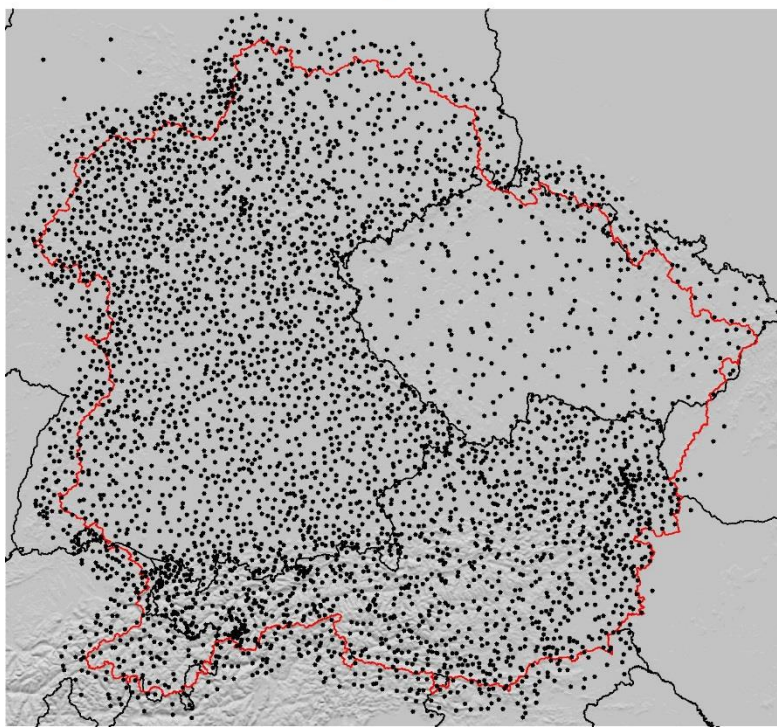
Mittlere monatliche Niederschlagssummen

- Dichtes Stationsnetz: alle Stationsdaten mit mind. 25 Jahren Messung
- „Kriging mit externer Drift“ als Interpolationsmethode

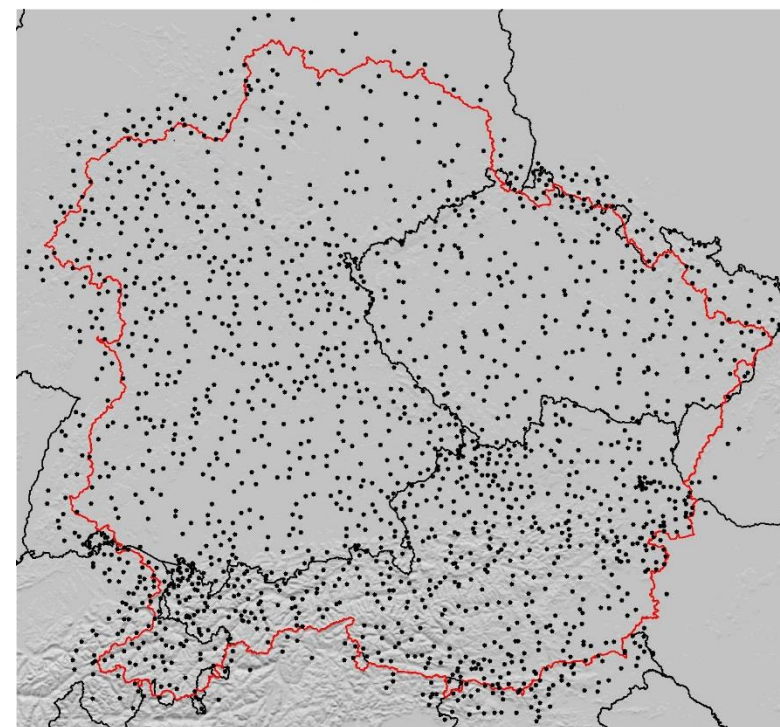
Relative tägliche Niederschlagsanomalien

- Zeitlich konsistentes Stationsnetz: nur Stationsdaten mit mind. 95% Datenabdeckung zw. 1961-2017
- SYMAP – Interpolationsalgorithmus mit Distanz- und Richtungsgewichtung

Stationsnetzwerk für Hintergrundfelder: ~ 4250 Stationen

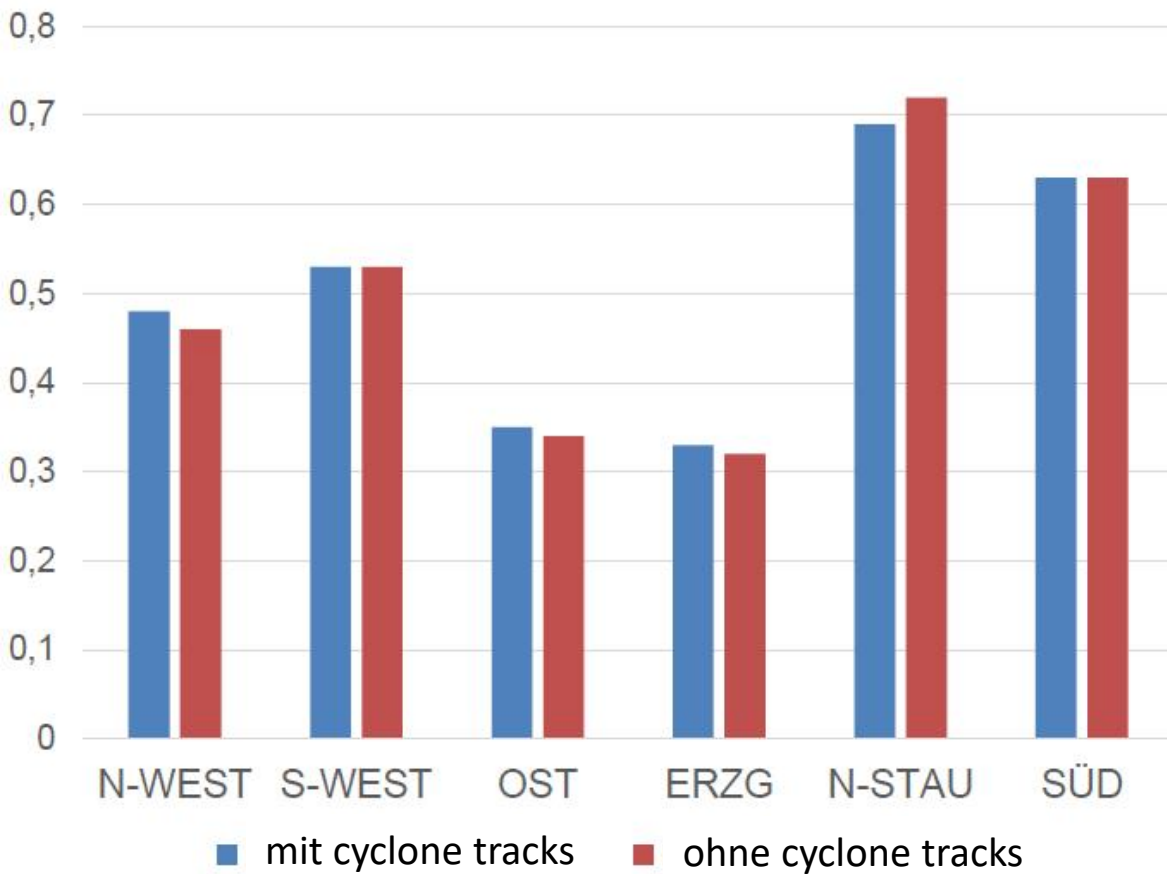


Stationsnetzwerk für tägliche Anomaliefelder: ~ 1750 Stationen



Zirkulationstyp-Klassifikation mit Zyklonenzugbahnen als Kovariate

Brier Skill Score Mittelwerte
der 5 Validierungsperioden



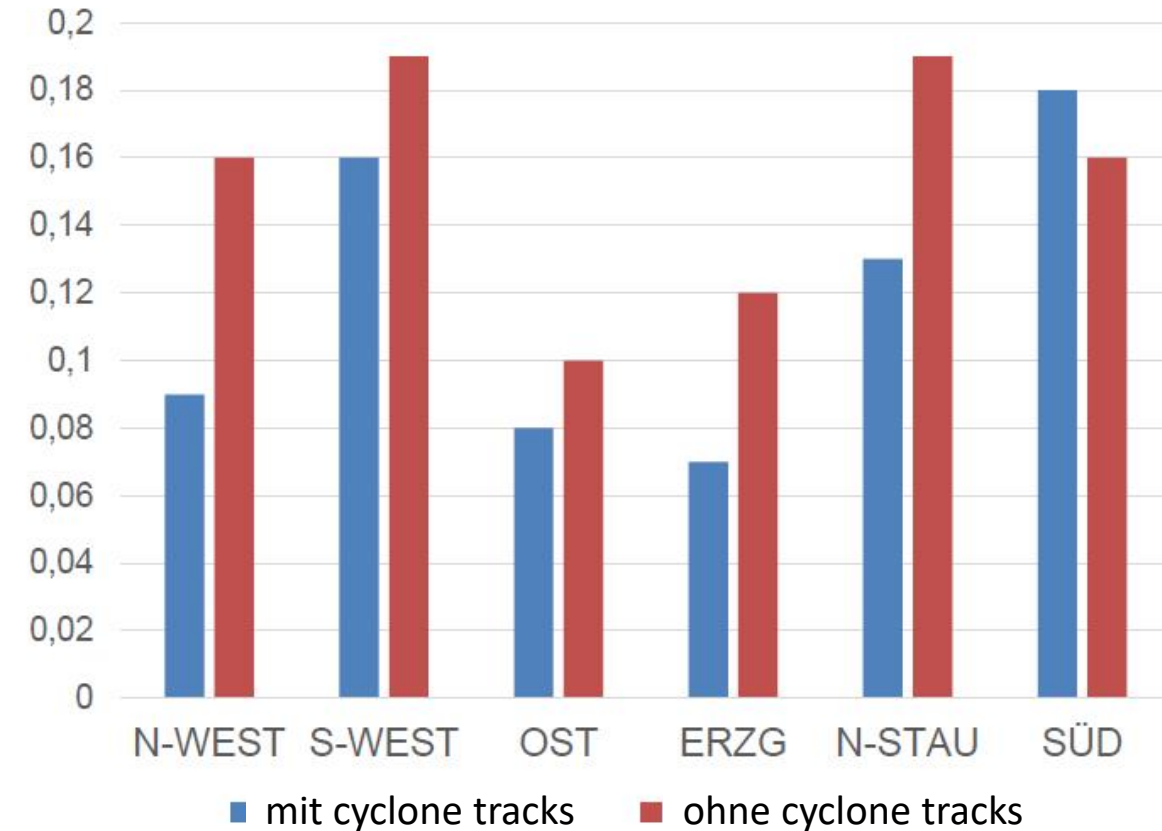
Validierungsperioden

- 1 (1959-1967)
- 2 (1968-1976)
- 3 (1977-1985)
- 4 (1986-1994)
- 5 (1995-2003)



Zirkulationstyp-Klassifikation mit Zyklonenzugbahnen als Kovariate

Brier Skill Score Spannweiten
der 5 Validierungsperioden



Validierungsperioden

- 1 (1959-1967)
- 2 (1968-1976)
- 3 (1977-1985)
- 4 (1986-1994)
- 5 (1995-2003)



Konvektiver Starkniederschlag als weitere Kovariate:

Differenzierung von täglichen Niederschlagstypen (flächig, konvektiv, gemischt)
auf Basis der Kovarianz der gegitterten Niederschlagsfelder

außerdem: Additive logistische Regressionen zwischen Prädiktoren (Instabilität, vertikale Windscherung)
und Wahrscheinlichkeit lokaler Starkregen

... wird weiterentwickelt

Tracking

Methodenvergleich

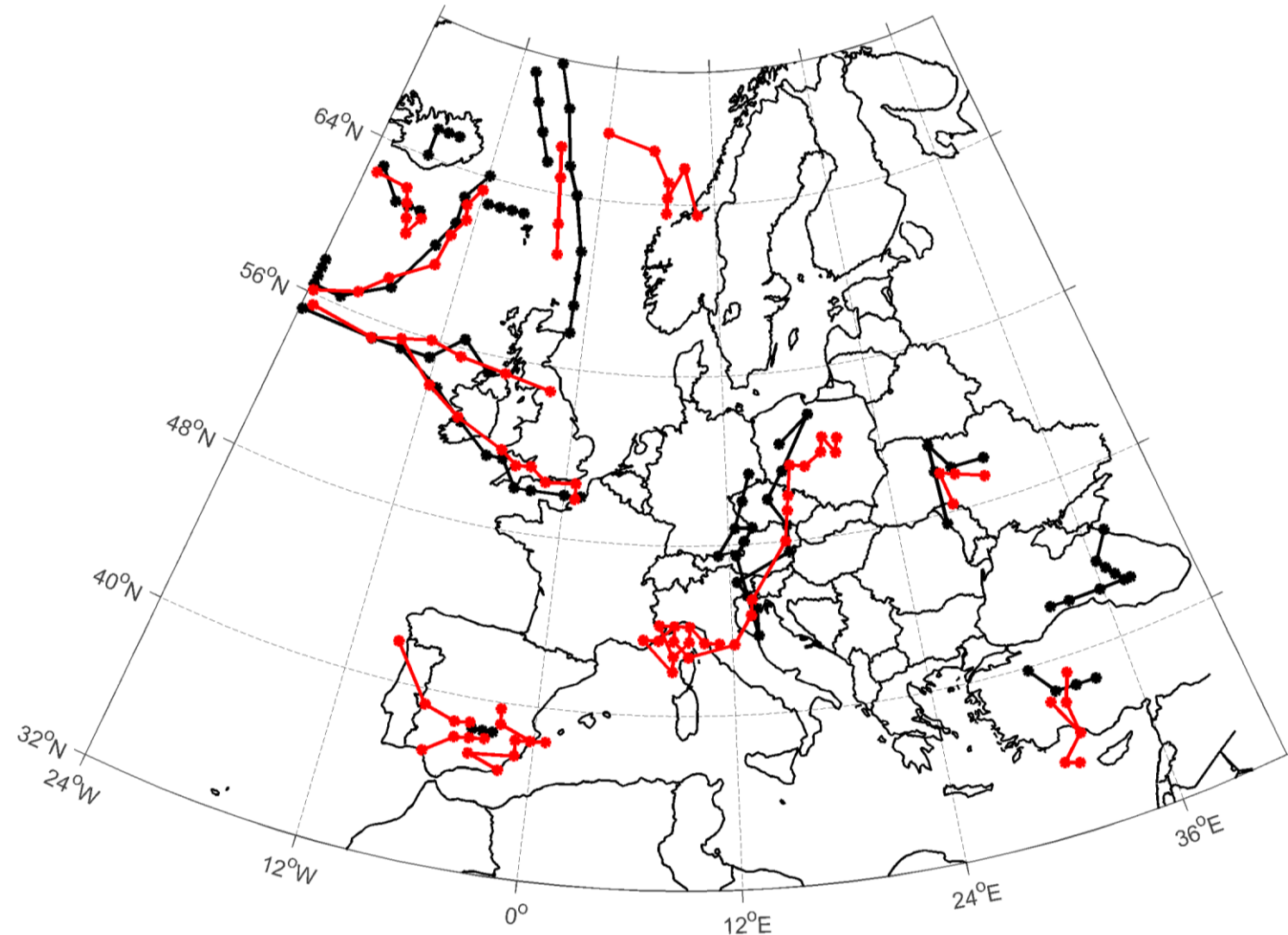
In WETRAX+ neu verwendete Trackingmethode im Vergleich zu jener im alten WETRAX (Hofstätter): Routine von H. Wernli und M. Sprenger, basierend auf der Methode von H. Wernli und C. Schwierz (2006)

Wernli und Schwierz	Hofstätter
Niveau: SLP (Tracking von Druckminima)	SLP, 700 hPa (Tracking von Druckminima)
Zeitschritte: 6 h	6 h
Abgeschlossene Tiefs	Abgeschlossene Tiefs und offene Wellen, Tröge
Track kann auf Grund der strikten Kriterien 1-2 Zeitschritte überspringen	Track überspringt keinen Zeitschritt
Lebensdauer eines Tiefs muss mindestens 24 h betragen	Lebensdauer eines Tiefs muss mindestens 24 h betragen

Tracking

Erste Vergleiche

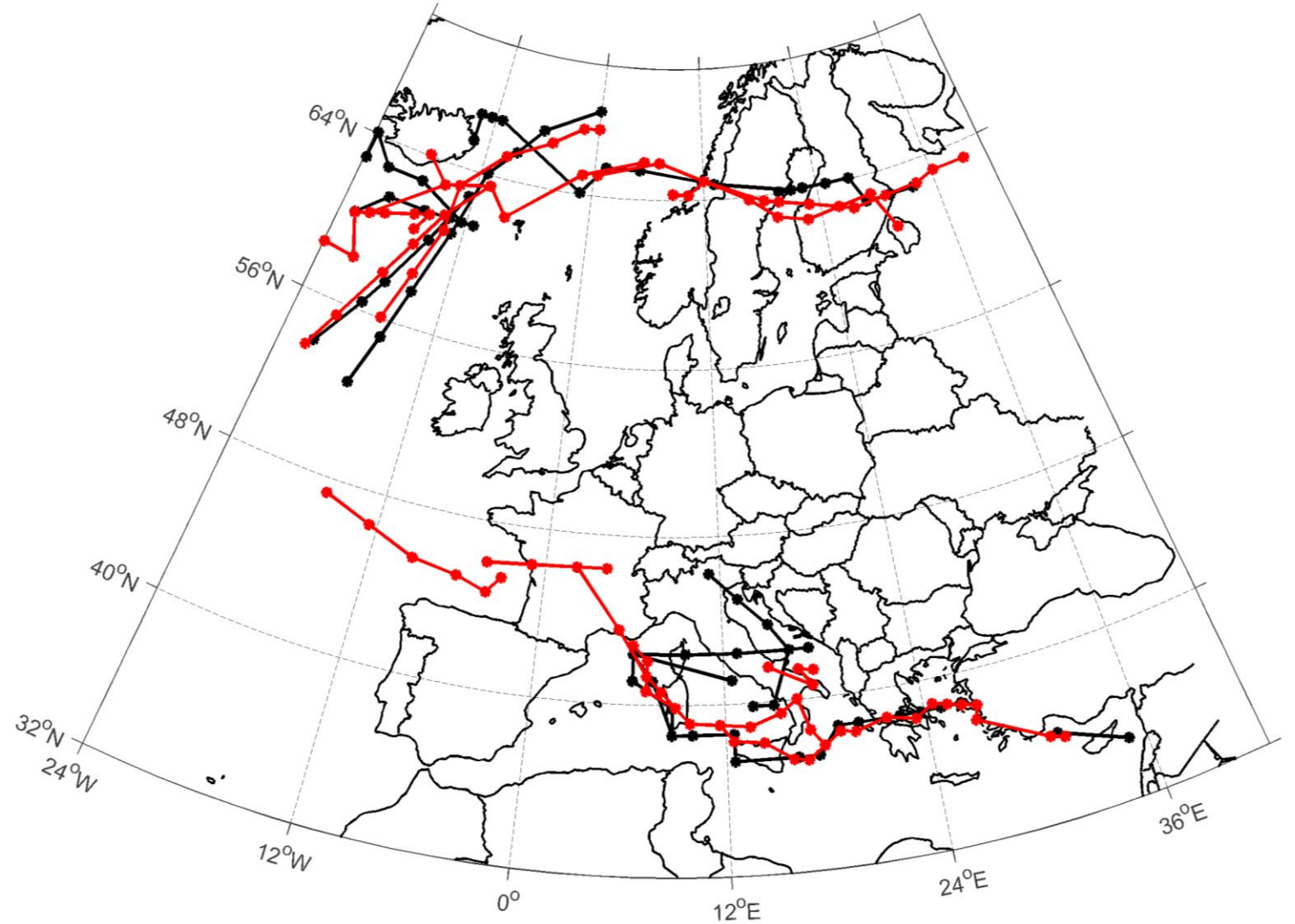
- **schwarz:** Methode Wernli und Schwierz;
- **rot:** Methode Hofstätter;
- grid resolution = 1.25°
- Bsp. **Sommer** (08.-14.08.2002)



Tracking

Erste Vergleiche

- **schwarz**: Methode Wernli und Schwierz;
- **rot**: Methode Hofstätter;
- grid resolution = 1.25°
- Bsp. **Winter** (10.-20.01.2002)

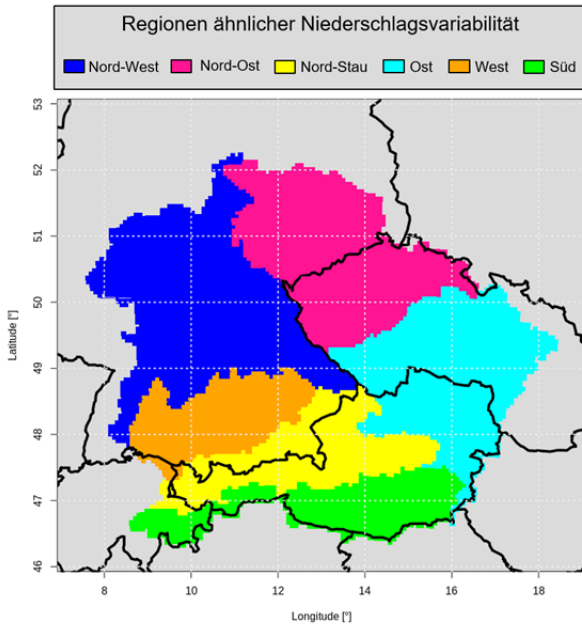


Zirkulationstyp-Klassifikationen

	Starkniederschlag	Trockenheit
Klassifikation	SANDRA (jew. 18 Typen): Simulated Annealing and Diversified Randomisation	
Konditionierung	auf 6 regionale Niederschlags-Reihen	
Variablen	MSLP, GPH 500hPa, OMEGA 700hPa, RHUM 700hPa	MSLP, RHUM 700hPa, U-Wind und V-Wind 700hPa, Temperatur
Relevante Zirkulationstypen	Alle Zirkulationstypen ZT, die an mind. 20% aller ZT-Tage in mind. 1 Region mit einem gewichteten Niederschlagsmittel über dem 95. Perzentil (1961-2017) verknüpft sind.	Alle Zirkulationstypen ZT, die an mind. 20% aller ZT-Tage in mind. 1 Region mit einem gewichteten Niederschlagsmittel unter dem 20. Perzentil (1961-2017) verknüpft sind.

Starkniederschlagsrelevante ZT, Bsp. Herbst

Prozentanteil der **Zirkulationstyp-Tage**, die in den Niederschlagsregionen mit Starkniederschlag verbunden sind (1961-2017)



Zirkulationsmuster

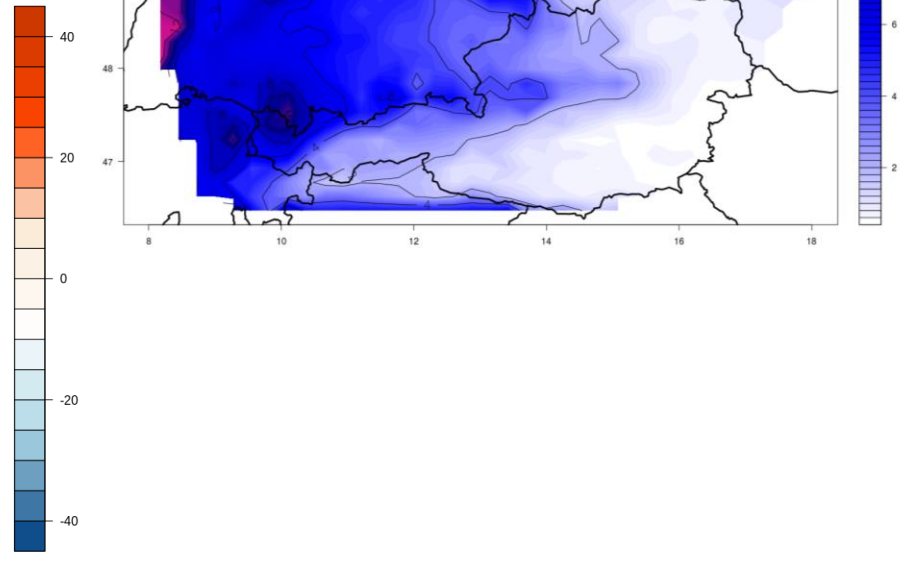
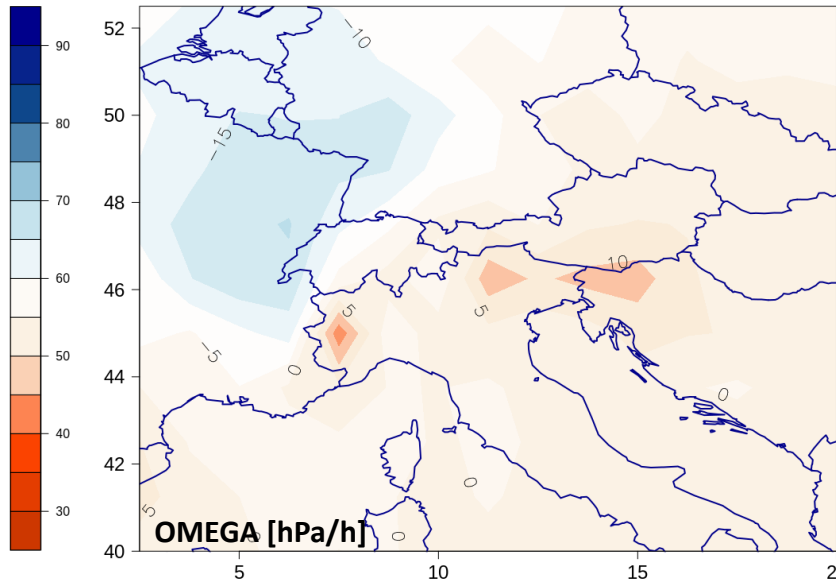
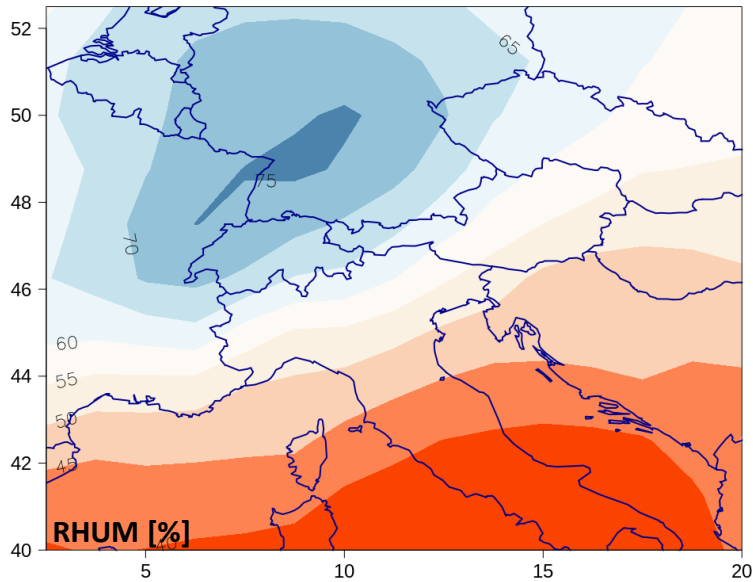
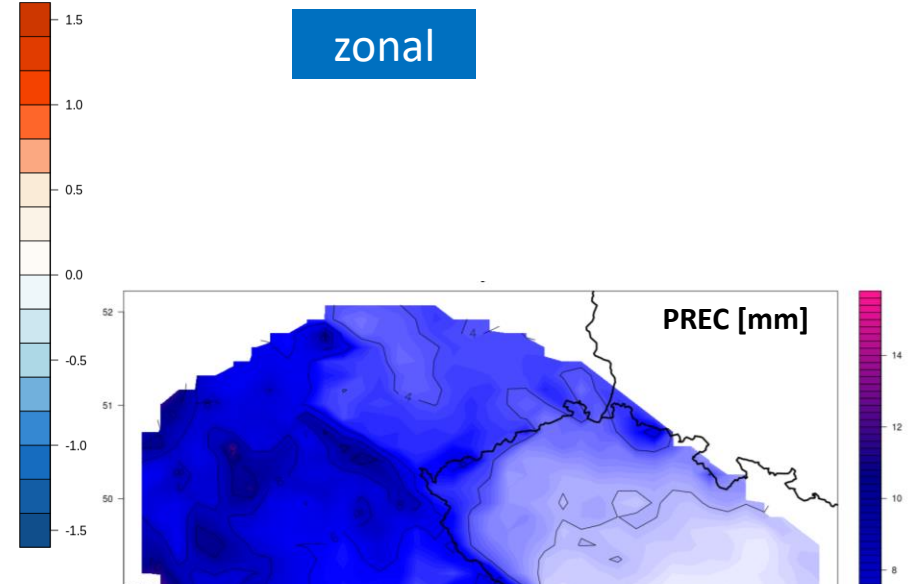
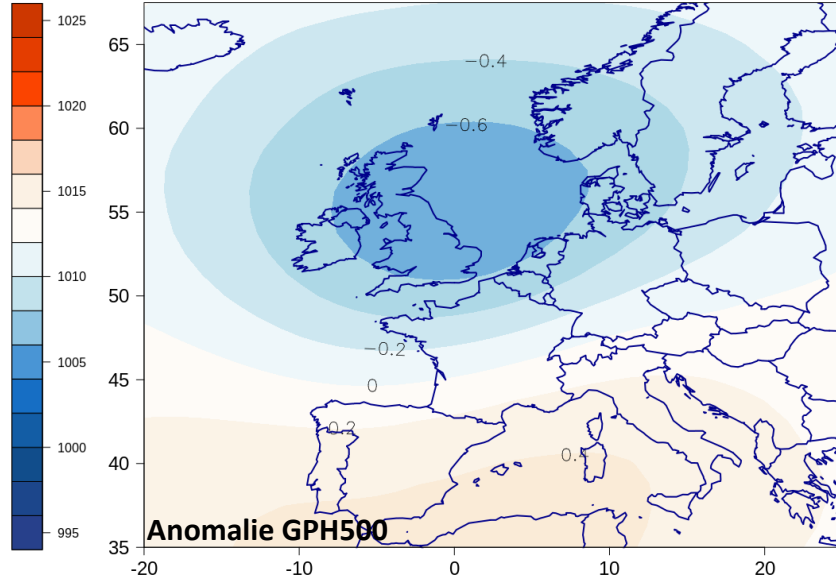
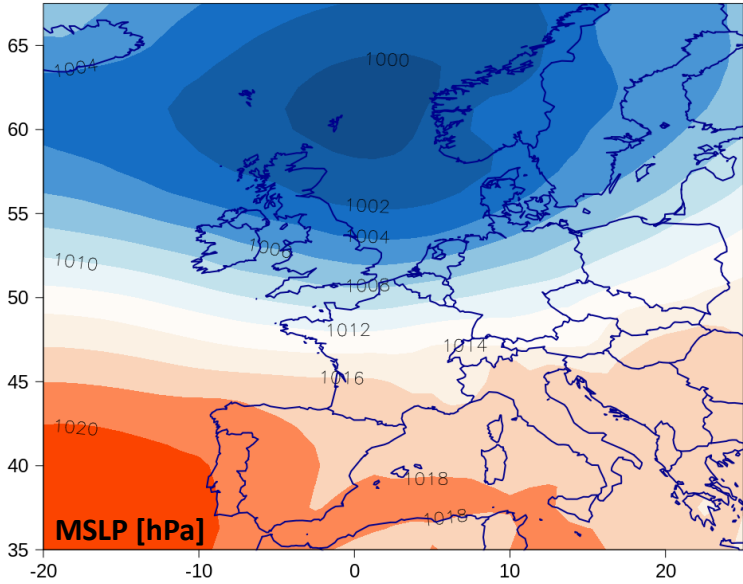
Z(onal)

G(emischt)

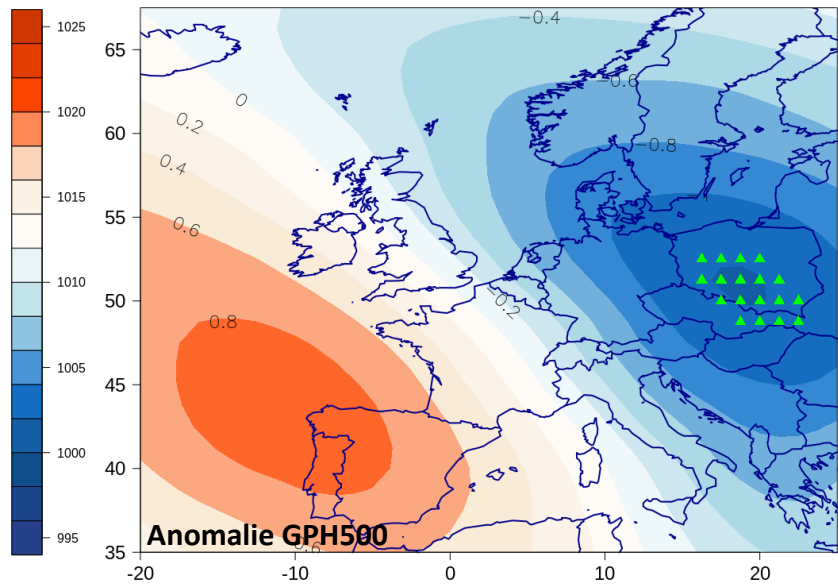
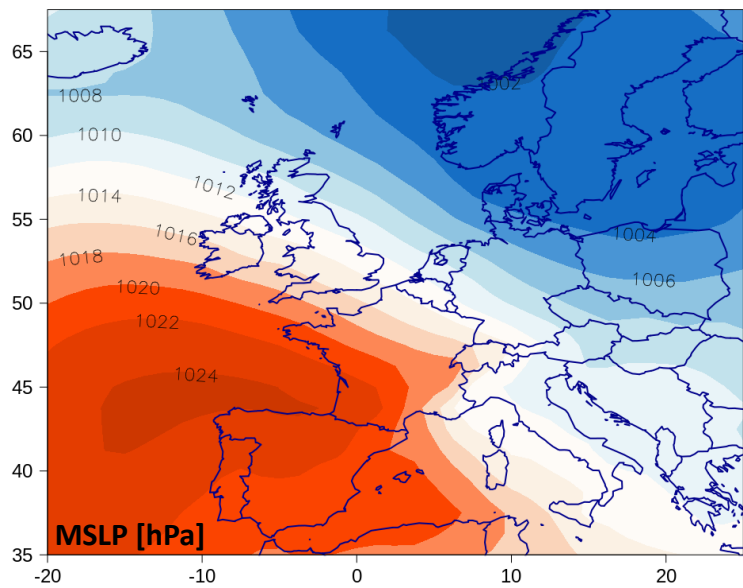
M(eridional)

	Nord-West	Ost	Nord-Ost	Nord-Stau	Süd	West
ZT 1 G	10.87	14.49	11.59	63.04	0	25.36
ZT 2 M	22.45	45.92	40.82	55.1	52.04	50
ZT 3 Z	26.3	0	10.71	0	0	9.09
ZT 4	1.89	19.5	9.43	0	0.63	3.14
ZT 5 Z	83.33	23.68	63.16	18.42	0	57.02
ZT 6	0	14.81	5.76	1.65	0	0.82
ZT 7	0	0	0.66	0	0	0
ZT 8	0	2.35	2.75	0	0	0
ZT 9 M	5.94	19.8	6.93	16.83	100	8.91
ZT 10 G	55.88	55.88	32.35	100	20.59	82.35
ZT 11 M	10.81	81.08	32.43	89.19	100	64.86
ZT 12	0	0	0	0	0	0
ZT 13	0	0	0	0	0	0
ZT 14	0	0	0	0	0	0
ZT 15	0	1.24	2.07	0	0	0
ZT 16	0	0.15	0.76	0	0	0
ZT 17	0	0	0.22	0	0	0
ZT 18 M	2.63	5.7	4.39	0.44	23.68	2.63

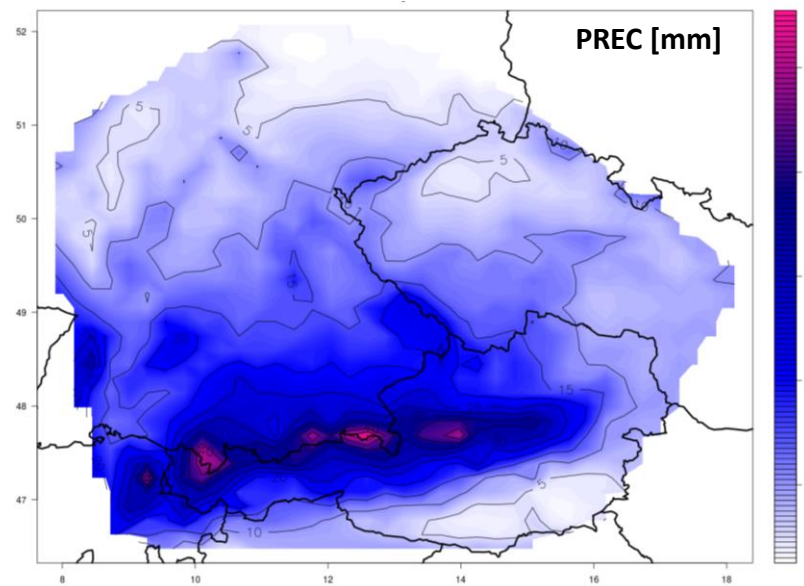
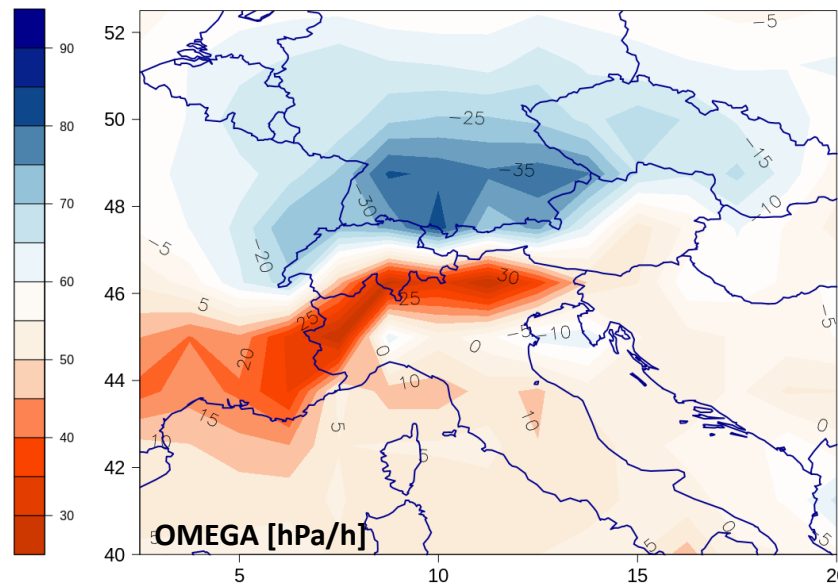
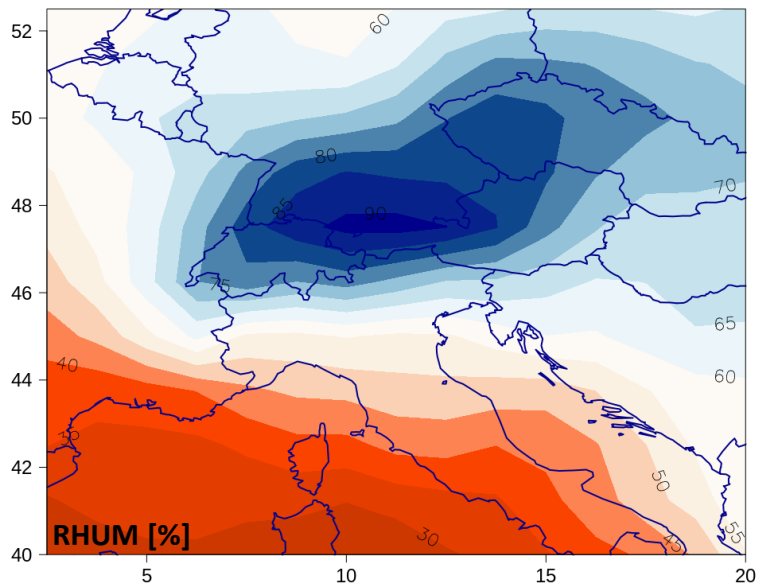
SNR - Zirkulationstyp 3 - Herbst



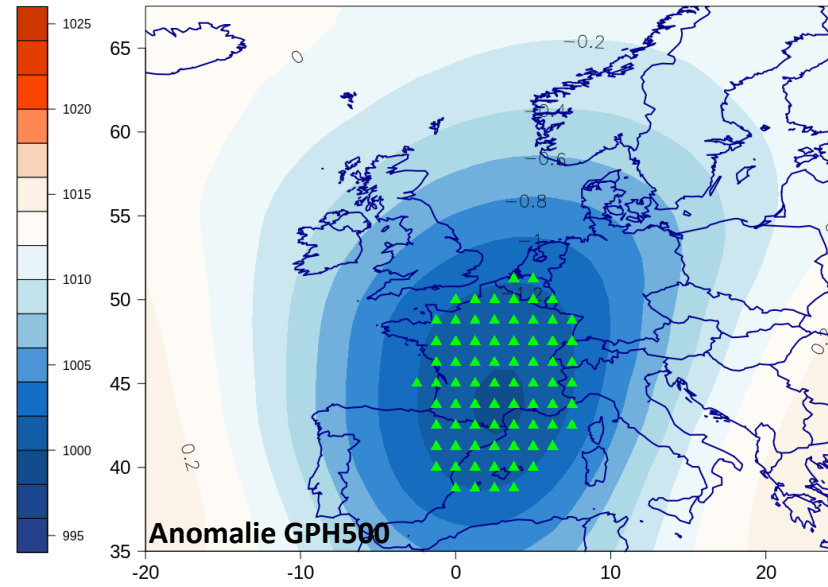
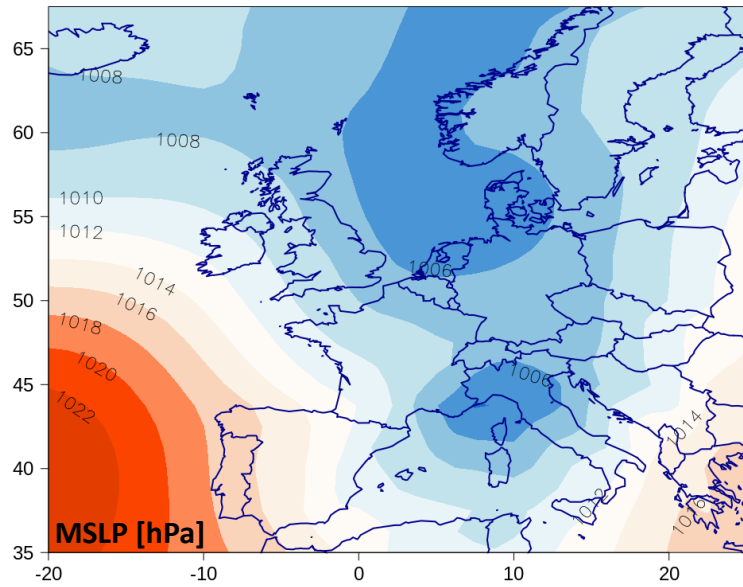
SNR - Zirkulationstyp 10 - Herbst



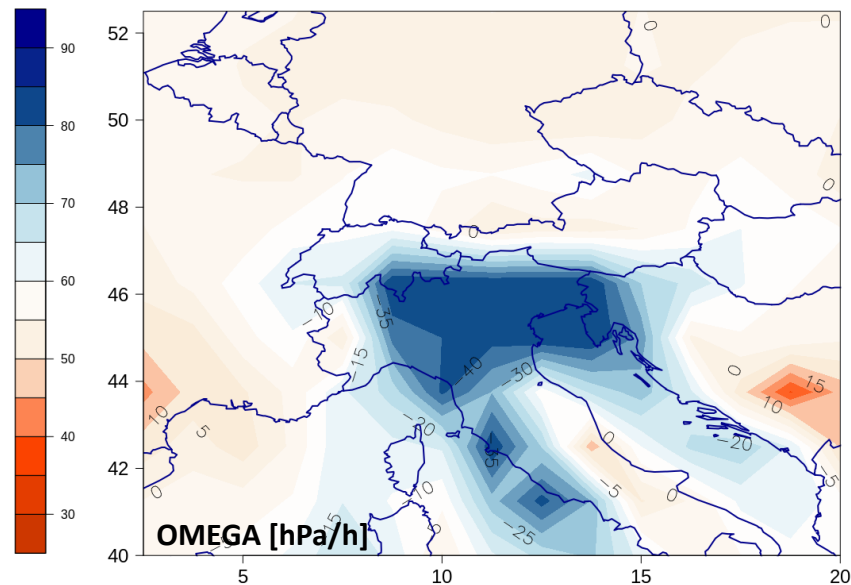
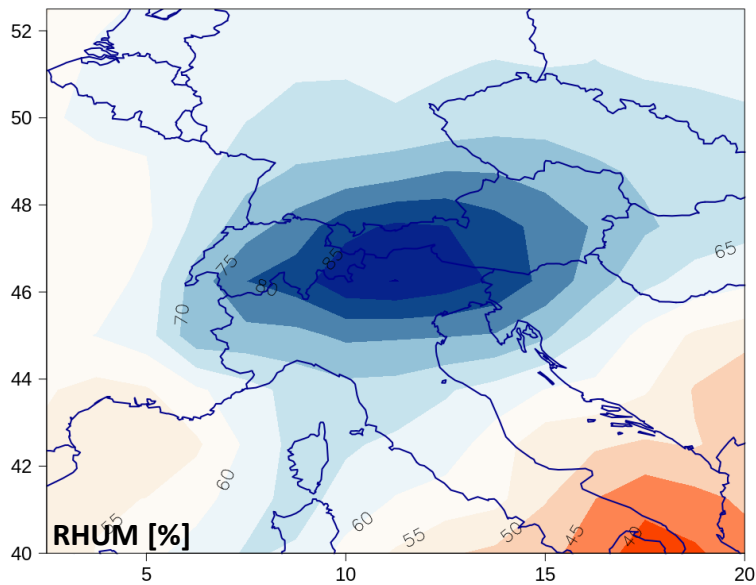
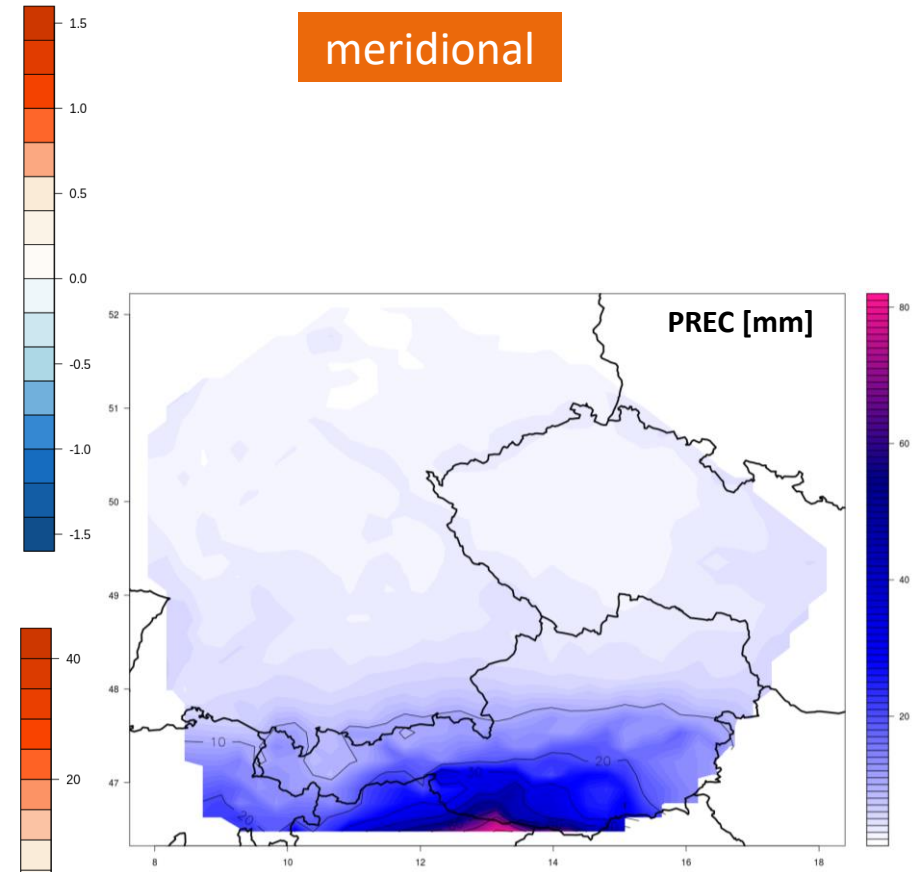
gemischt



SNR - Zirkulationstyp 9 - Herbst

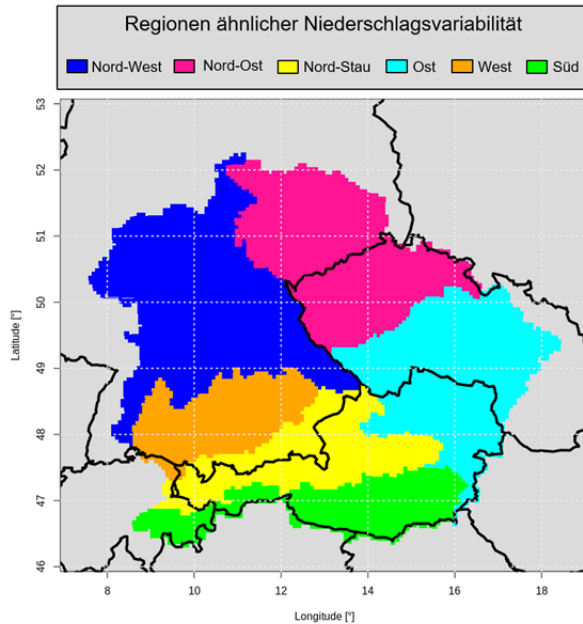


meridional



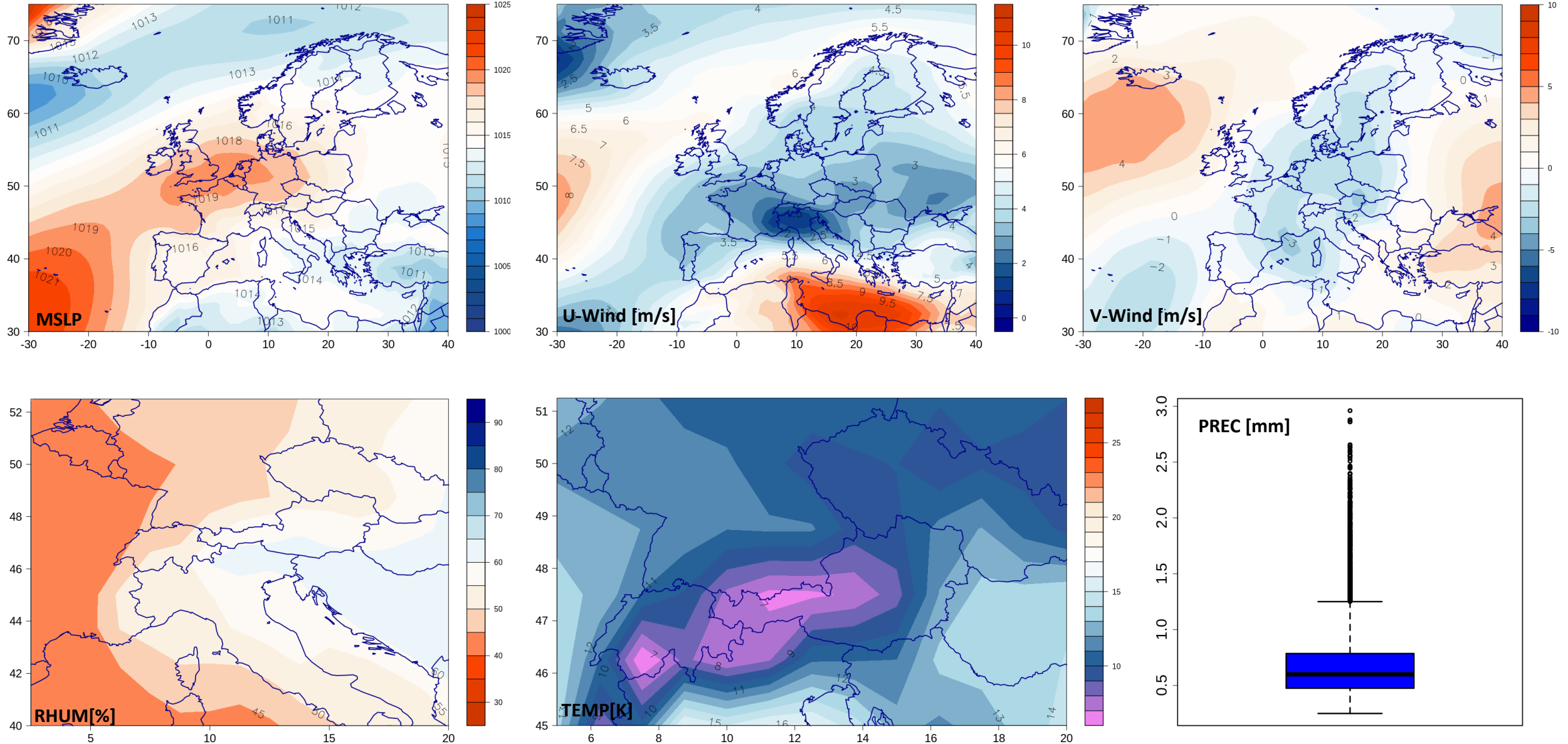
Trockenheitsrelevante ZT, Bsp. Apr-Sep

Prozentanteil der **Zirkulationstyp-Tage**, die in den Niederschlagsregionen mit Trockenheit verbunden sind (1961-2017)

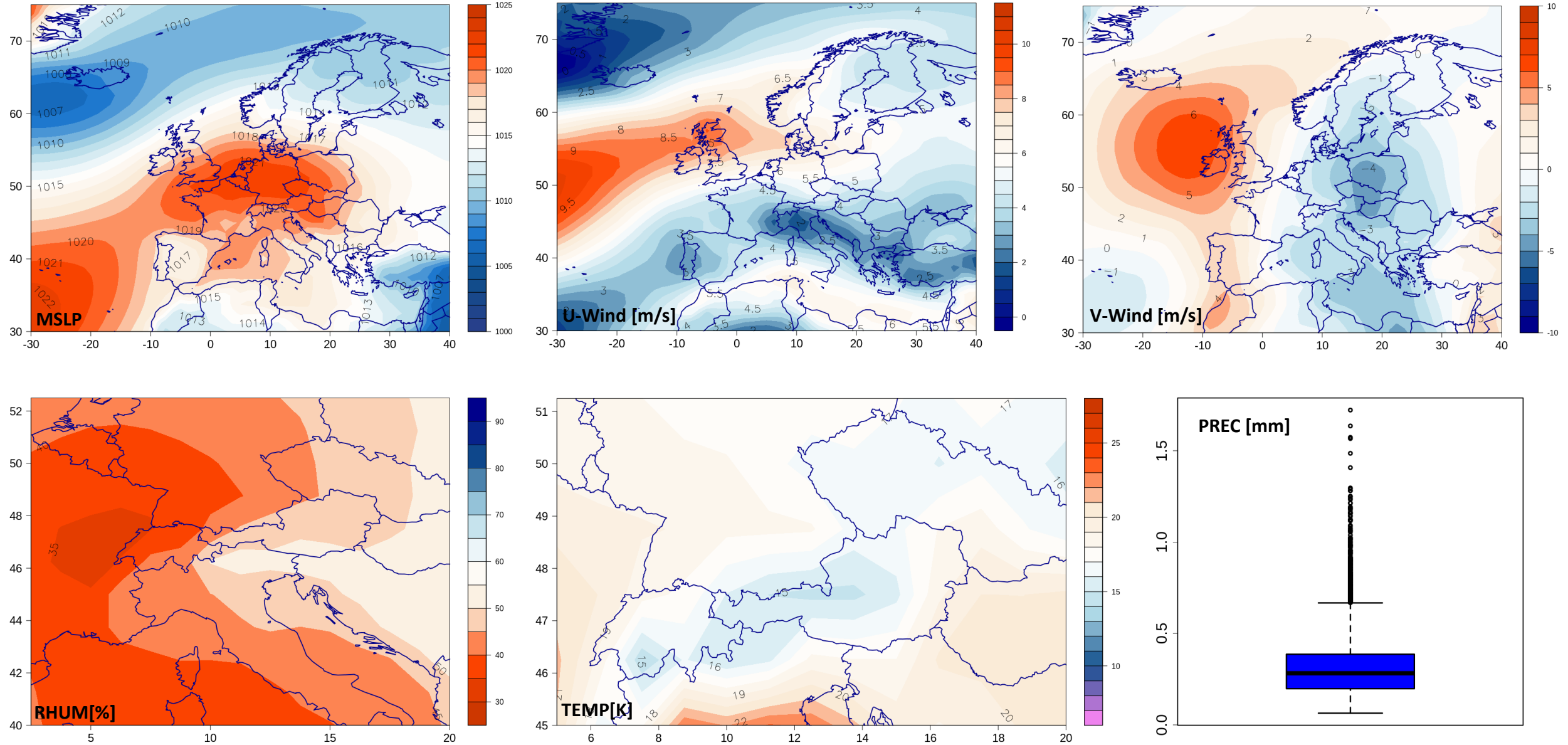


	Nord-West	Ost	Nord-Ost	Nord-Stau	Süd	West
ZT 1	0	2.17	1.21	0	0.48	0
ZT 2	0.32	0.96	1.6	0.64	0.64	0.32
ZT 3	8.89	21.85	18.61	21.76	13.98	5.74
ZT 4	0	0	0	0	0	0
ZT 5	0	0.2	0.2	0	0	0
ZT 6	4.07	1.83	8.55	0	0	0.81
ZT 7	0	0	0	0	0	0
ZT 8	3.54	1.86	6.11	0	0.8	1.06
ZT 9	0	0	0	0	1.03	0
ZT 10	0	0	0	0	0	0
ZT 11	0.69	0.69	3.45	0	0	0
ZT 12	27.97	22.74	22.85	24.7	29.05	17.19
ZT 13	0.32	0	0.95	0	0	0
ZT 14	34.56	43.4	38.17	33.98	31.75	17.8
ZT 15	0	6.41	0.67	2.53	6.58	0
ZT 16	45.7	36.91	38.95	42.02	46.06	28.12
ZT 17	0.82	0	0.82	0	1.23	0
ZT 18	0	0	0	0	0	0

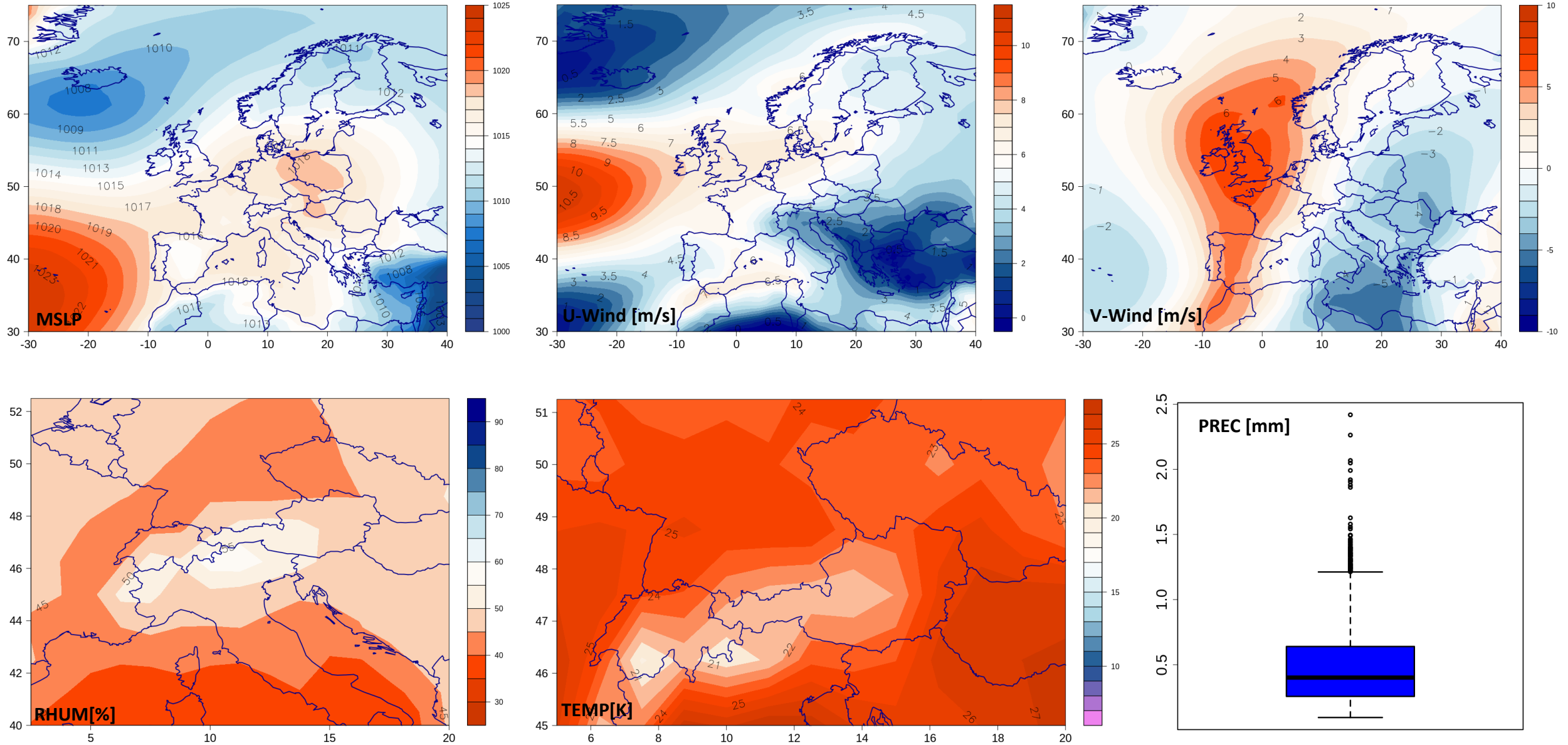
DRY - Zirkulationstyp 12 – Apr-Sep



DRY - Zirkulationstyp 16 – Apr-Sep



DRY - Zirkulationstyp 14 – Apr-Sep





Niederschlag-Abfluss-Modelle für Donau und Drau

- Modelle der TU Wien sind grundsätzlich vorhanden,
- jedoch Adaptierung erforderlich
 - Inputdaten auf Basis der WETRAX+ Stationen
 - Rekalibrierung der Modellparameter erforderlich
- Stochastische Zeitreihen aus Wettergenerator

Basierend auf Modell von Bardossy und Plate (1992)

Stationsbasis

Tagesniederschläge

Modell TU Wien

Stationsbasis

24h und 6h-Niederschlagssummen

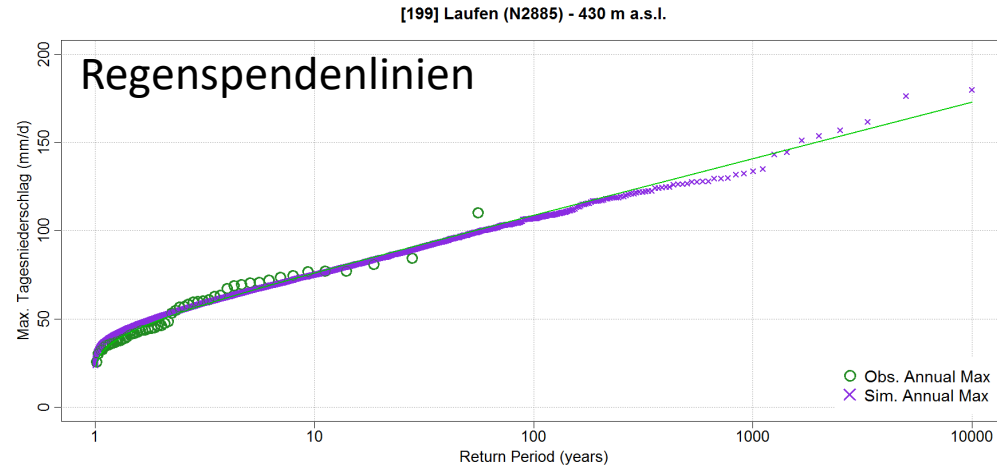
Disaggregation auf 1-h-Niederschläge

Vorteil: in kleineren Einzugsgebieten kann die
Charakteristik von hochwasserbildenden Niederschlägen
besser abgebildet werden

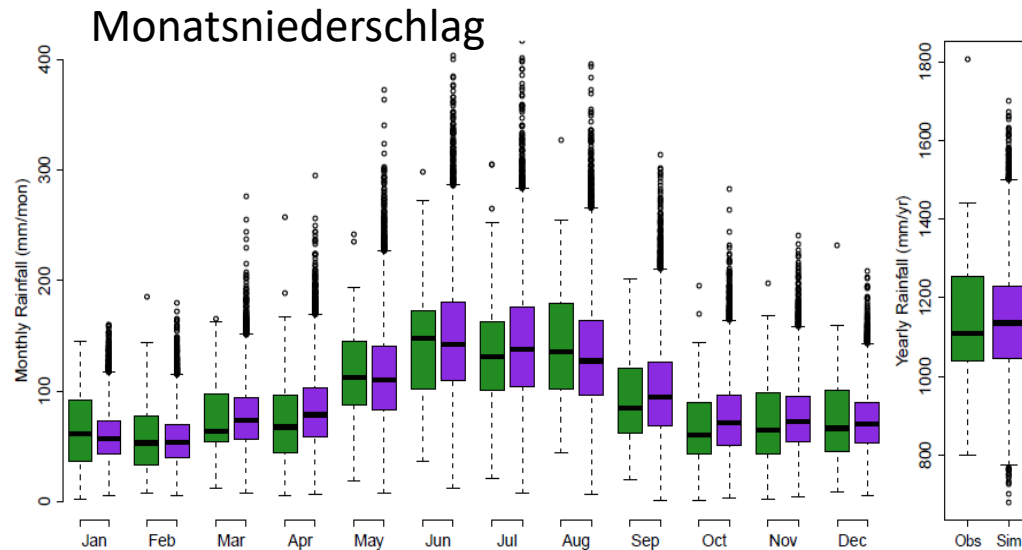
Bardossy, A., and E. J. Plate (1992), Space-time model for daily rainfall using atmospheric circulation patterns, Water Resour. Res., 28(5), 1247–1259, doi:10.1029/91WR02589.

Generierung von 10.000 Jahre langen Niederschlags- und Temperatur-Zeitreihen unter Berücksichtigung der kombinierten Zirkulationstyp-Zugbahnen-Klassifikation

Kalibrieren und Testen an Niederschlag-Stationen



Beobachtung
Simulation



Station Laufen (Berchtesgadner Land)

Modellschema:

konzeptionelles, kontinuierliches

Wasserbilanzmodell

(Blöschl et al., 2007)

→ Schneemodul

→ Bodenfeuchtemodul

→ Abfluss am Hang und im Gerinne *(Szolgay, 2004)*

Zeitliche Auflösung

→ 1 Stunde

Räumliche Auflösung

→ Raster 5x5 km (Donau)

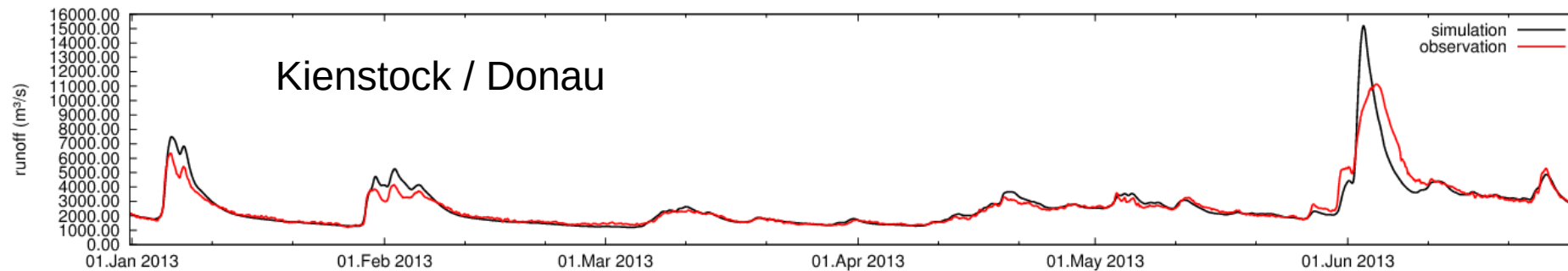
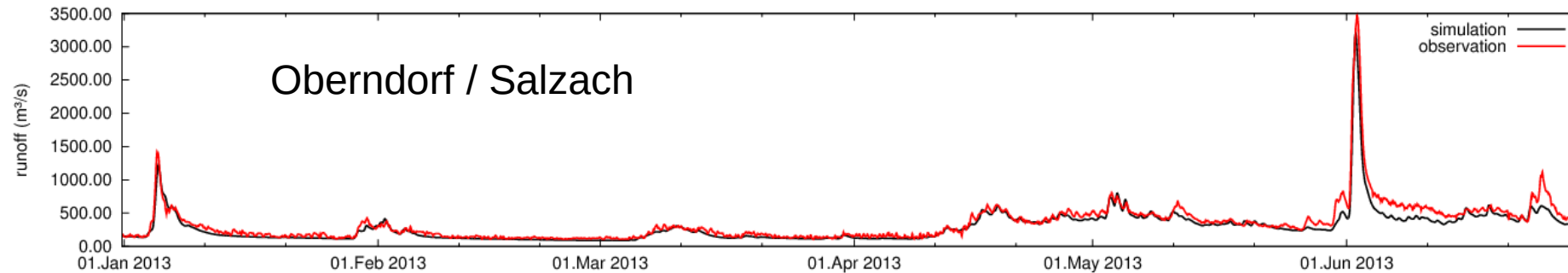
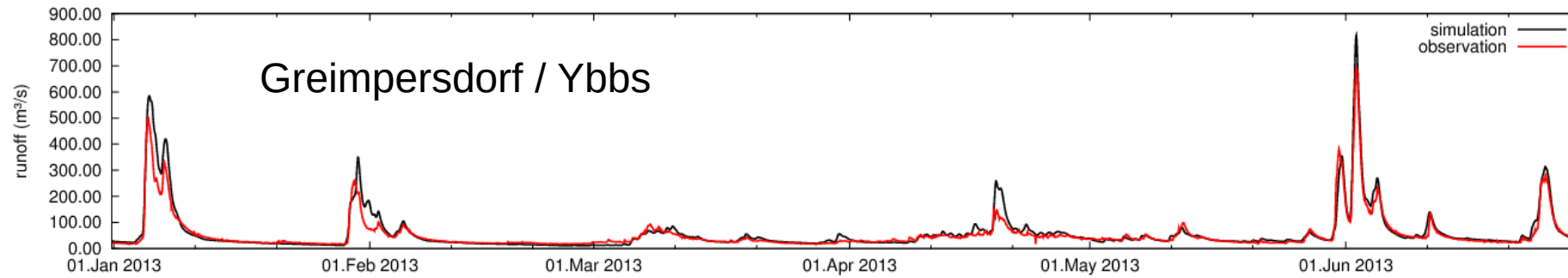
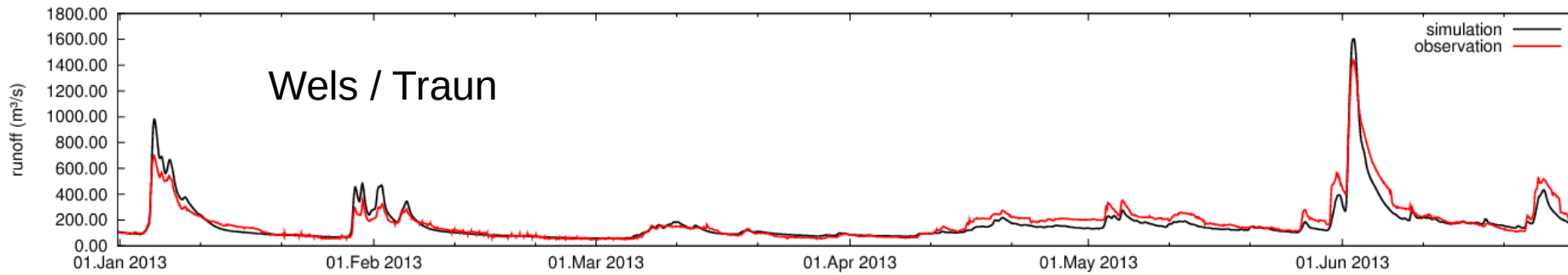
→ Raster 1x1 km (Drau)

Unter Verwendung der Wettergenerator-Daten

Generierung von 10.000 Jahre langen simulierten Abflussganglinien

mit der Beurteilungsmöglichkeit, wie sich Zirkulationstypen und Zugbahnen auf die Hochwasserwahrscheinlichkeiten auswirken

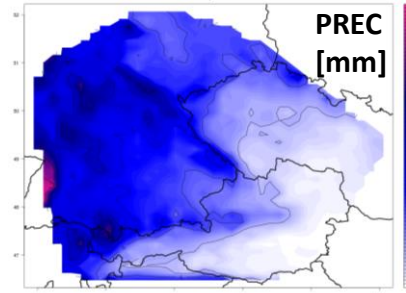
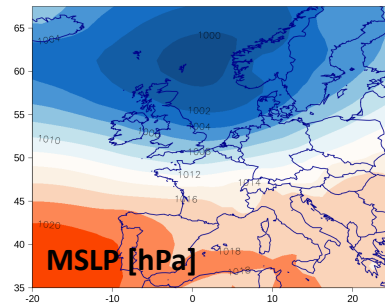
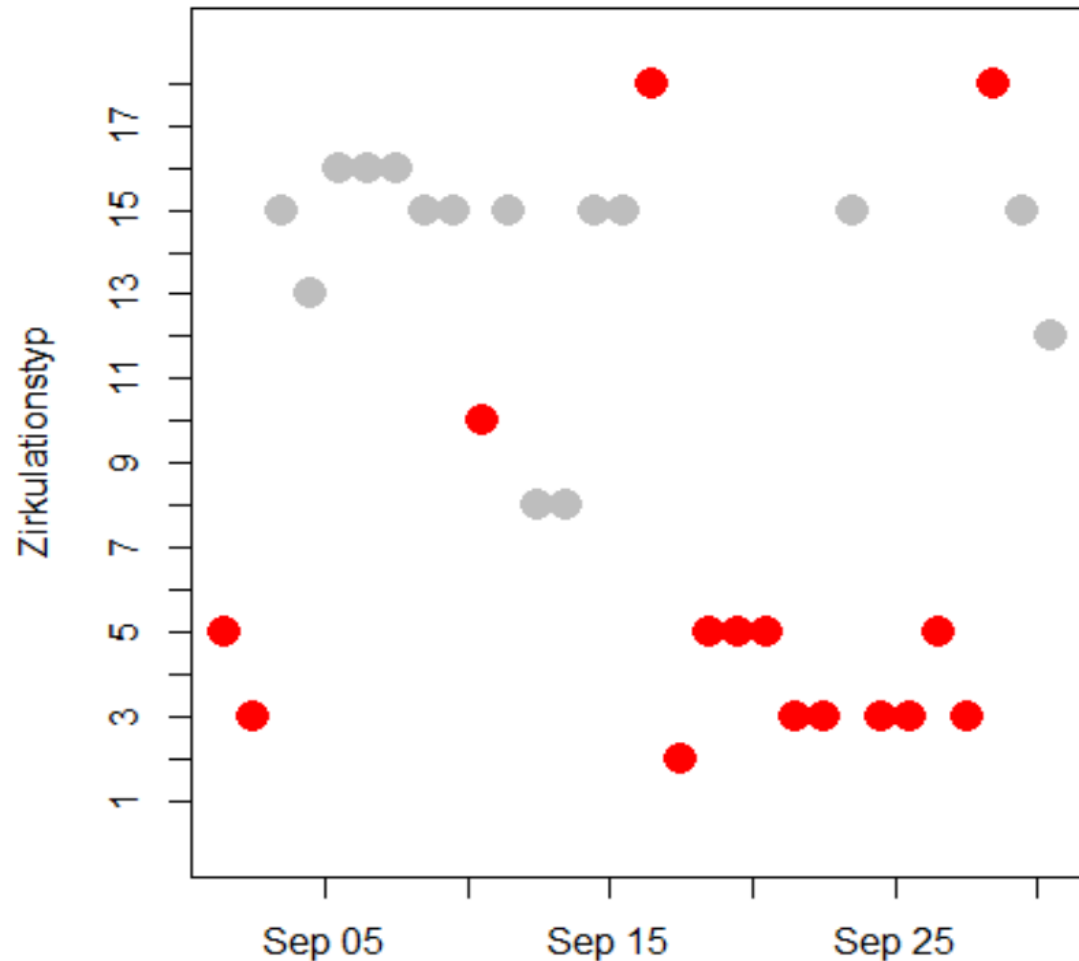
Rekalibrierung (Donau – Modell)



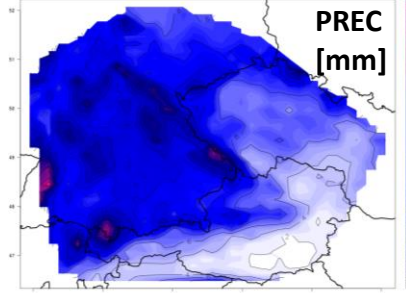
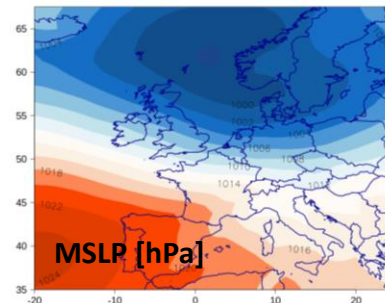
Historische Hochwasserereignisse Mitteleuropa ab 1850

Bsp. Hochwasser September 1899

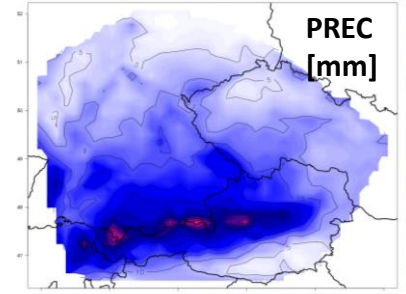
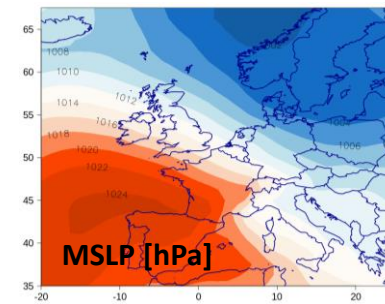
Verteilung der Zirkulationstypen



ZT 3



ZT 5



ZT 10

Typinterne Änderungen der starkniederschlagsrelevanten ZT

ZT-spezifische **Trendanalyse** der klassifizierten Variablen **MSLP**, **GPH 500hPa**, **OMEGA 700hPa**, **RHUM 700hPa**:

Minimum, Maximum, Mittel und Differenz (Mann-Kendall-Test, signifikante Änderungen ($\alpha=0.05$) sind farblich hervorgehoben)

Herbst

rZT		MSLP			GPH			OMEGA			RHUM	
	min / max	mean	diff	min / max	mean	diff	min / max	mean	diff	min / max	mean	diff
1 NW	o/-	o	o	o/+	o	o	o/o	o	o	o/o	-	o
2 Vb	o/o	o	o	o/o	o	o	o/o	o	o	o/o	o	+
3 Wa	o/o	o	o	o/+	o	o	o/o	o	o	-/o	-	+
5 Wz	o/o	o	o	o/o	o	o	+/o	o	o	o/o	-	o
9 Vb	o/o	o	o	o/o	o	o	o/o	o	o	o/o	o	o
10 NW	o/o	o	o	o/o	o	o	o/o	o	o	o/o	o	o
11 Vb	o/o	o	o	o/o	o	o	o/o	o	o	o/o	o	o
18 Tr-ME Vb	o/o	o	o	o/o	o	o	o/o	o	o	o/o	o	o

Typinterne Änderungen der trockenheitsrelevanten ZT

ZT-spezifische **Trendanalyse** der klassifizierten Variablen **MSLP, RHUM 700hPa, Temp, U-Wind und V-Wind 700hPa**:
Minimum, Maximum, Mittel und Differenz (Mann-Kendall-Test, signifikante Änderungen ($\alpha=0.05$) sind farblich hervorgehoben)

Apr-Sep

rZT		MSLP			RHUM			TEMP			U-Wind			V-Wind	
	min/max	mean	diff	min / max	mean	diff	min / max	mean	diff	min / max	mean	diff	min / max	mean	diff
3 SW	o/o	o	o	-/o	-	+	o/o	+	o	+/o	-	-	o/o	o	o
12 H-Gb	o/o	o	+	-/-	-	+	o/+	o	+	+/o	o	o	+/o	o	o
14 H-Oeur	o/-	o	o	-/o	-	+	+/+	+	+	+/o	-	-	+/o	o	-
16 H-ME	-/o	o	+	-/o	-	+	-/o	-	o	+/o	-	o	o/+	+	+

Ausblick:

- **Weiterer Einsatz der neuen Tools (Zugbahnen-Klassifikation, konvektive Niederschläge, N-A-Modellierung)**
- **operationelle Warnprodukte für Starkniederschläge und anhaltende Trockenperioden**
- **Historische Fallstudien**
- **Exemplarische Zukunftsprojektionen**