
Die Entwicklung von trockenen Großwetterlagen mit Auswirkungen auf den süddeutschen Raum

KLIWA-Berichte


Heft 18



KLIWA

Klimaveränderung
und Wasserwirtschaft

Die Entwicklung von trockenen Großwetterlagen mit Auswirkungen auf den süddeutschen Raum



KLIWA-Berichte

Heft 18



KLIWA

Klimaveränderung
und Wasserwirtschaft

IMPRESSUM

Herausgeber	Arbeitskreis KLIWA LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Bayerisches Landesamt für Umwelt (BLfU), Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG), Deutscher Wetterdienst (DWD) www.kliwa.de
Herausgabedatum	April 2012
Bearbeitung	Prof. Dr. Hans J. Caspary Nikolaus-Lenau-Straße 7 76199 Karlsruhe
Redaktionelle Bearbeitung	Wolfgang Hennegriff LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Referat Hydrologie und Hochwasservorhersage
Druck	E&B Engelhardt und Bauer, 76135 Karlsruhe
Umwelthinweis	Druck auf Recyclingpapier Dieses Heft ist klimaneutral gedruckt
Bezug über	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 76231 Karlsruhe http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/6646/ Bayerisches Landesamt für Umwelt Hans-Högn-Straße 12 95030 Hof Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz Kaiser-Friedrich-Straße 7 55116 Mainz

Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit Zustimmung der Herausgeber unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	7
1. Problemstellung	9
2. Verwendetes Datenmaterial	15
2.1 Verwendete Beobachtungsdaten für Niederschlag und Abfluss	15
2.2 Verwendete Reanalysedaten	16
2.3 Daten verwendeter regionaler Klimamodelle	17
3. „Kritische“ Großwetterlagen, die in Südwestdeutschland Trocken-, Niedrigwasserperioden und Hitzewellen auslösen	19
3.1 Die Großwetterlagen Europas	19
3.2 Trocken- und Niedrigwasserperioden auslösende „kritische“ Großwetterlagen	19
3.3 Bodenluftdruckanomaliekarten der „kritischen“ Trocken-Großwetterlagen	24
3.4 Ergebnisse der Zeitreihenanalyse für die zusammengefassten „kritischen“ Trocken- Großwetterlagen für den Zeitraum 1881-2006	26
3.4.1 Ergebnisse für die zusammengefassten Trocken-GWL im Sommer	26
3.4.2 Ergebnisse für die kombinierten Trocken-GWL für die Vegetationsperioden	30
4. Objektive, auf Trocken- und Niedrigwasserperioden optimierte CP-Klassifikation	35
4.1 Datengrundlage und Methodik der objektiven CP-Klassifikation	35
4.1.1 Datengrundlage	35
4.1.2 Methodik der objektiven, auf Trockenperioden optimierten CP-Klassifikation	35
4.1.2.1 Grundzüge der auf Fuzzy-Regeln basierenden CP-Klassifikation	35
4.1.2.2 Niederschlagsbezogene Zielfunktionen	38
4.1.3 Gütemaße der objektiven CP-Klassifikation	39
4.1.4 Ergebnisse der objektiven CP-Klassifikation für Baden-Württemberg	41
4.2 Methodisches Vorgehen zur Auswahl der objektiv klassifizierten Trocken- und Niedrigwasserperioden auslösenden „kritischen“ NCAR-Trocken-CPs	43
4.2.1 CP-Statistiktabellen und Feuchteindex	44
4.2.2 Vergleich der Anomalien der NCAR-Trocken-CPs mit den Trocken-GWL	46
4.2.3 Feuchteindexkarten für die Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz	49
4.2.4 Historische Trocken- und Niedrigwasserperioden und zugehörige Trocken-CPs für die CP-Klassifikationen der Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz	51

4.3	Zeitreihenanalyse der „kritischen“ objektiv klassifizierten NCAR-Trocken-CPs	54
4.3.1	Ergebnisse der Zeitreihenanalyse für die gemeinsame CP-Klassifikation der Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz	54
4.3.1.1	Häufigkeiten und Persistenz der zusammengefassten NCAR-Trocken-CPs im Sommer für die gemeinsame CP-Klassifikation von BW, BY und RLP	54
4.3.1.2	Häufigkeiten und Persistenz der zusammengefassten NCAR-Trocken-CPs in den Vegetationsperioden für die gemeinsame CP-Klassifikation von BW, BY und RLP	56
4.3.2	Ergebnisse der Zeitreihenanalyse für die spezielle CP-Klassifikation für Baden-Württemberg	58
4.3.2.1	Häufigkeiten und Persistenz der zusammengefassten NCAR-Trocken-CPs im Sommer für die 18 CP-Klassifikation von Baden-Württemberg	58
4.3.2.2	Häufigkeiten und Persistenz der NCAR-Trocken-CPs in den Vegetationsperioden für die spezielle 18 CP-Klassifikation von Baden-Württemberg	62
4.3.3	Ergebnisse der Zeitreihenanalyse für die spezielle 20 CP-Klassifikation für Rheinland-Pfalz	63
4.3.3.1	Häufigkeiten und Persistenz der zusammengefassten NCAR-Trocken-CPs im Sommer für die 20 CP-Klassifikation von Rheinland-Pfalz	63
4.3.3.2	Häufigkeiten und Persistenz der NCAR-Trocken-CPs in den Vegetationsperioden für die spezielle 20 CP-Klassifikation von Rheinland-Pfalz	66
4.3.4	Ergebnisse der Zeitreihenanalyse für die spezielle 21 CP-Klassifikation für Bayern	67
4.3.4.1	Häufigkeiten und Persistenz der zusammengefassten NCAR-Trocken-CPs im Sommer für die 21 CP-Klassifikation von Bayern	67
4.3.4.2	Häufigkeiten und Persistenz der NCAR-Trocken-CPs in den Vegetationsperioden für die spezielle 21 CP-Klassifikation von Bayern	69
4.3.5	Zusammenfassende Ergebnisbewertung der Zeitreihenanalyse für die Trocken-CPs der verschiedenen objektiven NCAR-CP-Klassifikationen	71

5. Ergebnisse der Auswertung der regionalen Klimamodelle hinsichtlich Trocken-CPs

5.1	Datengrundlagen	73
5.1.1	Daten verwendeter regionaler Klimamodelle.....	73
5.1.2	IPCC-Emissionsszenario A1B	74
5.2	Vergleich der Ergebnisse der Trocken-CP aus den RCM-Kontrollläufen der gemeinsamen 17 CP-Klassifikation mit den ERA-40 Reanalysen.....	76
5.2.1	Ergebnisse für ERA-40 Reanalysen	76
5.2.2	Ergebnisse für REMO	77
5.2.3	Ergebnisse für RACMO	78
5.2.4	Ergebnisse für HadRM3	79
5.2.5	Bewertung der Ergebnisse für die RCM-Kontrollläufe	80

5.3	Ergebnisse der Zeitreihenanalyse der Trocken-CPs für die transienten RCM-A1B-Szenarien der gemeinsamen 17 CP-Klassifikation für BW, BY und RLP	81
5.3.1	Ergebnisse für REMO	81
5.3.1.1	Häufigkeiten und Persistenz der REMO-Trocken-CP im Sommer	81
5.3.1.2	Häufigkeiten und Persistenz der REMO-Trocken-CP in der Vegetationsperiode	81
5.3.2	Ergebnisse für RACMO2	83
5.3.2.1	Häufigkeiten und Persistenz der RACMO2-Trocken-CP im Sommer	83
5.3.2.2	Häufigkeiten und Persistenz der RACMO2-Trocken-CP in der Vegetationsperiode	85
5.3.3	Ergebnisbewertung für die REMO- und RACMO2-Trocken-CP	86
5.3.4	Ergebnisse für die 3 Ensembleläufe aus HadRM3	87
5.3.4.1	Häufigkeiten und Persistenz der HadRM3-Trocken-CP im Sommer	87
5.3.4.2	Häufigkeiten und Persistenz der HadRM3-Trocken-CP in der Vegetationszeit	89
5.3.4.3	Ergebnisbewertung der HadRM3-Trocken-CPs aus den 3 Ensembleläufen.....	91
5.4	Vergleich der Ergebnisse der Trocken-CP aus den RCM-Kontrollläufen der speziellen 21 CP-Klassifikation für Bayern mit den ERA-40 Reanalysen.....	92
5.4.1	Ergebnisse für ERA-40 Reanalysen für die 21 CP-Klassifikation.....	92
5.4.2	Ergebnisse für REMO	93
5.5	Ergebnisse der Zeitreihenanalyse der Trocken-CPs für die transienten RCM-A1B-Szenarien der speziellen 21 CP-Klassifikation für Bayern	94
5.5.1	Ergebnisse für REMO für die 21 CP-Klassifikation	94
5.5.1.1	Häufigkeiten und Persistenz der REMO-Trocken-CP im Sommer	94
5.5.1.2	Häufigkeiten und Persistenz der REMO-Trocken-CP in der Vegetationsperiode	96
5.5.2	Ergebnisse für die 3 Ensembleläufe aus HadRM3 für die 21 CP-Klassifikation	97
5.5.2.1	Häufigkeiten und Persistenz der HadRM3-Trocken-CP im Sommer	97
5.5.2.2	Häufigkeiten und Persistenz der HadRM3-Trocken-CP in der Vegetationsperiode	99
5.5.2.3	Ergebnisbewertung der HadRM3-Trocken-CPs aus den 3 Ensembleläufen der 21 CP-Klassifikation für Bayern.....	101
5.6	Zusammenfassende Bewertung der RCM-Ergebnisse für die Trocken-CPs	102
6.	Literatur	105

ANHANG I: CP-Statistiktabelle für die Gebietsniederschläge und Feuchteindizes der 4 CP-Klassifikationen für je 3 Einzugsgebiete der Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz 111

CP-Statistiken für die Gebietsniederschläge und den Feuchteindex der Sommerhalbjahre (Mai – Oktober) für die 17 CP umfassende gemeinsame objektive CP-Klassifikation für die Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz

Tab. 1: Pegel Schussen / Gerbertshaus und Murg / Bad Rotenfels	112
Tab. 2: Pegel Neckar / Plochingen und Nahe / Boos	113
Tab. 3: Pegel Kyll / Kordel und Ahr / Altenahr.....	114
Tab. 4: Pegel Fränkische Saale / Bad Kissingen und Pegnitz / Nürnberg.....	115
Tab. 5: Schwarzer Regen Pegel Sägmühle.....	116

CP-Statistiken für die Gebietsniederschläge und den Feuchteindex der Sommerhalbjahre (Mai – Oktober) 1958 – 2001 für die 18 CP umfassende spezielle objektive CP-Klassifikation des Landes Baden-Württemberg.

Tab. 6: Pegel Schussen / Gerbertshaus und Murg / Bad Rotenfels	117
Tab. 7: CP-Statistiken für die Gebietsniederschläge und den Feuchteindex der Sommerhalbjahre 01.05.1958 – 31.10.2001 für die speziellen objektiven CP-Klassifikation, oben: 18 CP für Baden-Württemberg für Neckar/Plochingen; unten: 20 CP für Rheinland-Pfalz für die Nahe /Pegel Boos.....	118
Tab. 8: CP-Statistiken für die Gebietsniederschläge und den Feuchteindex der Sommerhalbjahre 01.05.1958 – 31.10.2001 für die 20 CP umfassende spezielle objektive CP-Klassifikation des Landes Rheinland-Pfalz.	119
Tab. 9: CP-Statistiken für die Gebietsniederschläge und den Feuchteindex der Sommerhalbjahre 01.05.1958 – 31.10.2001 für die 21 CP umfassende spezielle objektive CP-Klassifikation des Freistaates Bayern für die Fränkische Saale am Pegel Bad Kissingen und die Pegnitz am Pegel Nürnberg.....	120
Tab. 10: CP-Statistiken für die Gebietsniederschläge und den Feuchteindex der Sommerhalbjahre 01.05.1958 – 31.10.2001 für die 21 CP umfassende spezielle objektive CP-Klassifikation des Freistaates Bayern für den Schwarzen Regen am Pegel Sägmühle.	121

ANHANG II: Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre (Mai – Okt.) 1958-2001 der NCAR-CPs für die 4 objektiven CP-Klassifikationen für die Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz 123

1. Anomalien und Feuchteindexkarten der 17 CP-Klassifikation für BW, BY u. RLP	124
2. Anomalien und Feuchteindexkarten der 18 CP-Klassifikation für Baden-Württemberg	133
3. Feuchteindexkarten der 21 CP-Klassifikation für Bayern	138
4. Feuchteindexkarten der speziellen 20 CP-Klassifikation für Rheinland-Pfalz.....	141

ANHANG III: Ausgewählte historische Trocken- und Niedrigwasserperioden in Südwestdeutschland auslösende Großwetterlagen und NCAR-CPs der 4 CP-Klassifikationen für die Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz 145

Tab. 1: Hitzewelle im Juli 2006 auslösende Großwetterlagen (GWL) und objektiv klassifizierte NCAR-CPs für die gemeinsame 17 CP-Klassifikation für alle 3 Bundesländer (all 17CP) und die speziellen Klassifikationen für Baden-Württemberg (BW 18CP), Bayern (BY 21CP) und Rheinland-Pfalz (RLP 20 CP)	147
Tab. 2: Trockenperiode im Juni und August 2003, Niedrigwasser und Hitzewelle im August 2003 in Südwestdeutschland auslösende Großwetterlagen (GWL) und objektiv klassifizierte NCAR-CPs für die gemeinsame CP-Klassifikation für alle 3 Bundesländer (all 17CP) und die speziellen Klassifikationen für Baden-Württemberg (BW 18CP), Bayern (BY 21CP) und Rheinland-Pfalz (RLP 20 CP)	148
Tab. 3: Trockenperiode im Sommer 1991 in Südwestdeutschland auslösende Großwetterlagen (GWL) und objektiv klassifizierte NCAR-CPs für die gemeinsame CP-Klassifikation für alle 3 Bundesländer (all 17CP) und die speziellen Klassifikationen für Baden-Württemberg (BW 18CP), Bayern (BY 21CP) und Rheinland-Pfalz (RLP 20 CP)	149
Tab. 4: Trockenperiode und Niedrigwasser im Sommer 1976 in Südwest- und Süddeutschland auslösende Großwetterlagen (GWL) und objektiv klassifizierte NCAR-CPs für die gemeinsame CP-Klassifikation für alle 3 Bundesländer (all 17CP) und die speziellen Klassifikationen für Baden-Württemberg (BW 18CP), Bayern (BY 21CP) und Rheinland-Pfalz (RLP 20 CP).....	150
Tab. 5: Trockenperiode und Niedrigwasser im Sommer 1947 in Südwestdeutschland auslösende Großwetterlagen (GWL) und objektiv klassifizierte NCAR-CPs für die gemeinsame CP-Klassifikation für alle 3 Bundesländer (all 17CP) und die speziellen Klassifikationen für Baden-Württemberg (BW 18CP), Bayern (BY 21CP) und Rheinland-Pfalz (RLP 20 CP).....	151
Tab. 6: Trockenperiode und Niedrigwasser im Sommer 1921 in Südwestdeutschland auslösende Großwetterlagen (GWL) und objektiv klassifizierte NCAR-CPs für die gemeinsame CP-Klassifikation für alle 3 Bundesländer (all 17CP)	152

Zusammenfassung

Anlass

In Süddeutschland kam es in den Sommermonaten des vergangenen Jahrzehnts wiederholt zu ungewöhnlichen Trockenperioden, die an zahlreichen Gewässern ausgeprägte Niedrigwasserabflüsse verursachten. Zudem waren diese Zeiträume mit außergewöhnlich hohen Lufttemperaturen verbunden, die zu einer starken Erwärmung von Oberflächengewässern geführt haben. Jüngste außergewöhnliche Extremereignisse waren der Sommer 2003 und Juli 2006. Während dieser Trockenperioden hat neben der geringen Wasserführung die bis auf ca. 28° C angestiegene Wassertemperatur dazu geführt, dass in Flüssen insbesondere Probleme mit der Kühlwasserversorgung von thermischen Kraftwerken auftraten.

Zielsetzung und Vorgehen zur Untersuchung der zukünftigen Entwicklung

In der vorliegenden Untersuchung wurde analysiert, inwieweit aktuelle, hochauflösende numerische regionale Klimamodelle dazu in der Lage sind, für den Sommer (Juni-August) bzw. die Vegetationsperiode (April-September) „kritische“ Zirkulationsmuster zu modellieren, die in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz in der Vergangenheit zu extremen Trockenperioden, Niedrigwasserzeiten und Hitzewellen geführt haben. Ferner sollte geprüft werden, ob und in welchem Umfang die „kritischen“ Trockenwetterlagen sich in Zukunft bei verschiedenen Klimamodellen mit fortschreitender Klimaänderung signifikant verändern.

Auswahl der Klimamodelle

Für die Behandlung der Fragestellungen wurden die Daten von drei hochauflösenden regionalen Klimamodellen für das transiente Emissionsszenario A1B des Zeitraumes 2001–2100 ausgewertet, die im Rahmen des EU-Projektes „Ensemble-based predictions of Climate Changes and their impacts“ ENSEMBLES (<http://ensembles-eu.metoffice.com>) berechnet worden waren. Es handelt sich um die regionalen Klimamodelle REMO des Max-Planck-Instituts für Meteorologie und RACMO2 des Royal Netherlands Meteorological Institute, die beide das globale Klimamodell ECHAM5 als Antrieb nutzen. Hinzu kommt ein Ensemble aus drei transienten Läufen des Regionalmodells HadRM3 des Hadley Centre for Climate Prediction and Research des britischen Wetterdienstes MET OFFICE mit dem Antrieb des Globalmodells HadCM3.

Ergebnisse

Die regionalen Klimamodelle REMO und RACMO2 zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Reanalysedaten, während HadRM3 für den Kontrolllauf einen leicht fallenden Trend bei den Häufigkeiten der Trockenwetterlagen aufweist. Die maximale Dauer der Trockenwetterlagen werden jedoch bei allen drei regionalen Klimamodellen leicht und die Häufigkeiten zum Teil deutlich unterschätzt.

Die vorliegende Untersuchung hat gezeigt, dass die Wahrscheinlichkeit eines trockenen, heißen Sommers oder einer extrem trockenen Vegetationsperiode in Süddeutschland im Vergleich zum Zeitraum vor den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts bereits um mehr als das Zweifache zugenommen hat. Damit konnte anhand objektiv klassifizierter großräumiger atmosphärischer Zirkulationsmuster nachgewiesen werden, dass in den Sommermonaten und in der



Vegetationsperiode in Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Bayern bereits seit ca. vier Jahrzehnten Trockenperioden gehäuft beobachtet worden sind.

Aus den Ergebnissen der transienten regionalen A1B-Szenarien/Projektionen für den Zeitraum 2001–2099 kann der Schluss gezogen werden, dass insbesondere in der 2. Hälfte des 21. Jahrhunderts mit einem deutlichen zusätzlichen Anstieg der Trocken- und Niedrigwasserperioden im Sommer in Süddeutschland gerechnet werden muss. Dieser Anstieg wird in Bayern vermutlich noch stärker sein als in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz. Für die Vegetationsperioden ist in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz nur mit einem leichten, in Bayern mit einem stärkeren Anstieg von Trocken – und Niedrigwasserperioden zu rechnen.

1. Problemstellung

In Südwestdeutschland kam es in den Sommern der vergangenen Jahre wiederholt zu extremen Trockenperioden, die an zahlreichen Gewässern zu Niedrigwasserabflüssen führten. Zudem waren diese Zeiträume mit außergewöhnlich hohen Lufttemperaturen verbunden, die zu einer extremen Aufheizung der Gewässer geführt haben. Jüngste Extremjahre waren der Juni und die erste Augushälfte 2003 sowie der Juli 2006. Neben der geringen Wasserführung hat insbesondere die bis auf ca. 28° C angestiegenen Wassertemperatur dazu geführt, dass an Neckar und selbst am Rhein Probleme mit der Kühlwasserversorgung der Kohle- und Kernkraftwerke auftraten. Die Niedrigwassersituation des Jahres 2003 ist für Baden-Württemberg in *LfU (2004)*, für Bayern in *(BLfW, 2004 u. 2005)* und für Rheinland-Pfalz in *(LfW, 2004)* jeweils gut dokumentiert. Umfangreiche Untersuchungen des Gebietsniederschlages im Zeitraum 1931–1997 durch den Deutschen Wetterdienstes (DWD) im Rahmen von KLIWA zeigen, dass im meteorologischen Sommer (JJA) die Häufigkeit von Tagen ohne Niederschlag in weiten Teilen von Baden-Württemberg und Bayern z. T. deutlich zugenommen und die Niederschlagssummen z. T. signifikant abgenommen haben (*Reich, KLIWA-Bericht 7, 2005*).

Im Auftrag des Landes Baden-Württemberg, vertreten durch die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), wurde im Rahmen des Werkvertrages (B.-Nr.: 4500007742/43) v. 06.12.2006 im Jahr 2007 anhand ausgewählter Trockenperioden, Niedrigwasserzeiten und Hitzewellen für Südwestdeutschland untersucht, welche großräumigen atmosphärischen Zirkulationsmuster (Großwetterlagen (GWL)) die Auslöser extremer Trockenperioden waren (*Caspary, 2008*). Diese „kritischen“ Trocken-GWL (TGWL) wurden erfasst und hinsichtlich signifikanter Veränderungen (Trends, Bruchpunkte) im Sommer (JJA) und in der Vegetationsperiode (April–Sept.) für die Zeitreihe 1881–2006 untersucht.

Die kombinierte Auswertung dieser Trockenperioden und der Großwetterlagen zeigte, dass die GWL „**Hochdruckbrücke Mitteleuropa**“ (**BM**) durch lang andauernde, zusammenhängende BM-Perioden an allen Trockenperioden im Sommer (JJA) bzw. in der Vegetationsperiode (April–Sept.) maßgeblich beteiligt war. Daneben spielt auch die GWL „**Hoch Nordmeer–Island, antizyklonal**“ (**HNa**) eine bedeutende Rolle. Weitere „kritische“, Trockenperioden in der Vegetationszeit (April–Sept.) und im Sommer verursachende GWL sind die antizyklonalen Ostlagen „Hoch Fennoskandien, antizyklonal“ (HFa) und „Hoch Nordmeer-Fennoskandien, antizyklonal“ (HNFa) sowie die „Nordostlage, antizyklonal“ (NEa) und die „Südostlage antizyklonal“ (SEa).

Zusammenfassend kann als wichtiges Ergebnis der Untersuchung von 2007 gefolgert werden, dass die „kritischen“, Trockenperioden auslösenden GWL-Kombinationen sowohl im Sommer (JJA) als auch in der Vegetationsperiode (April–Sept.) im Beobachtungszeitraum 1881–2006 hochsignifikant ansteigende Trends für die Häufigkeiten und die maximale Dauer zusammenhängender TGWL aufweisen. Die signifikanten **Bruchpunkte** liegen für die **Sommerzeitreihen (JJA) im Jahr 1968**, für die **Vegetationsperioden (April–Sept.) im Jahr 1985**. Die extremen Trockenjahre (1921, 1947, 1976, 1991 und 2003) lassen sich als „Peaks“ in den Zeitreihen der Häufigkeiten und maximalen Dauern direkt ablesen. Besonders deutlich erkennbar sind sie in den Scatterplots, in denen die max. Dauer zusammenhängender „kritischer“ Trocken-GWL als Funktion von deren Häufigkeit dargestellt ist. Hieraus folgt, dass **die Eintrittswahrscheinlichkeit eines trockenen, heißen Sommers (JJA) im Vergleich zum Zeitraum vor 1968 um den Faktor 15 und die Eintrittswahrscheinlichkeit einer extrem trockenen Vegetationsperiode (April–Sept.) und ausgeprägten Niedrigwasserjahres im Vergleich zum Zeitraum vor 1985 um den Faktor 5 angestiegen ist!**

Umfangreiche Untersuchungen im Projekt KLIWA (*Hennegriff et al., 2008*) ergaben mit Hilfe des Regionalmodells WETTREG auf der Basis des GCM ECHAM4 für das SERS-Szenario B2 für Baden-Württemberg im Vergleich des Zeitraumes 2021–2050 zum Zeitraum 1971–2000 eine



nahezu flächendeckende deutliche Abnahme der mittleren monatlichen Niedrigwasserwerte (MNQ_m) im Zeitraum Juli bis September sowie eine deutlich zunehmende Tendenz bei den zukünftig zu erwartenden Niedrigwasserperioden.

Im Auftrag des Landes Baden-Württemberg, vertreten durch die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) wird im Rahmen des Werkvertrages (B.-Nr.: 4500044735/43) v. 17.11.2008 untersucht, inwieweit aktuelle, hochauflösende numerische regionale Klimamodelle (RCMs) dazu in der Lage sind, für den Sommer (JJA) bzw. die Vegetationsperioden (April-Sept.) „kritische“ Zirkulationsmuster zu modellieren, die in Südwestdeutschland in der Vergangenheit zu extremen Trockenperioden, Niedrigwasserzeiten und Hitzewellen geführt haben. Ferner soll geprüft werden, ob und in welchem Umfang die „kritischen“ Trockenwetter-CPs sich in Zukunft bei verschiedenen Klimamodellen mit fortschreitender Klimaänderung signifikant verändern. Hierzu sollen transienten Klimamodellläufe mit 3 verschiedenen, hochauflösenden (25 x 25 km) regionalen Klimamodellen (RCM), die von zwei unterschiedlichen Globalmodellen (GCMs) angetrieben werden unter Annahme des SERS-Emissionsszenario A1B (*IPCC, 2000*) für die transienten Läufe des Zeitraumes 2001-2100 ausgewertet werden. Es handelt sich um die beiden regionalen Klimamodelle **REMO** des *Max-Planck-Instituts für Meteorologie (MPI)* in Hamburg und **RACMO2** des *Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI)*, die beide das Globalmodell ECHAM5 als Antrieb nutzen. Ferner um ein Ensemble aus 3 transienten Läufen des Regionalmodells **HadRM3** des *Hadley Centre for Climate Prediction and Research des UK Met Office* mit dem Antrieb des Globalmodells HadCM3. Die Modellläufe liegen in einer hohen Auflösung in einem Raster von 25 km x 25 km vor und wurden im Rahmen des EU-Projektes „Ensemble-based predictions of Climate Changes and their impacts (ENSEMBLES)“ berechnet. Der vorliegende Werkvertrag stellt somit eine Anknüpfung an den Werkvertrag (B.-Nr.: 4500007742/43) v. 06.12.2006 dar.

Damit auch Klimamodelldaten hinsichtlich „kritischer“ Trockenwetter-CPs untersucht werden können, ist eine automatisierte, objektive Klassifikation der Wetterlagen erforderlich. Hierzu soll das von Prof. Bárdossy entwickelte Modell der objektiven CP-Klassifikation auf der Grundlage von täglichen Bodenluftdruckdaten (SLP = Sea Level Pressure) aus NCAR-Reanalysen für den Zeitraum 1900 - 2007 weiterentwickelt werden.

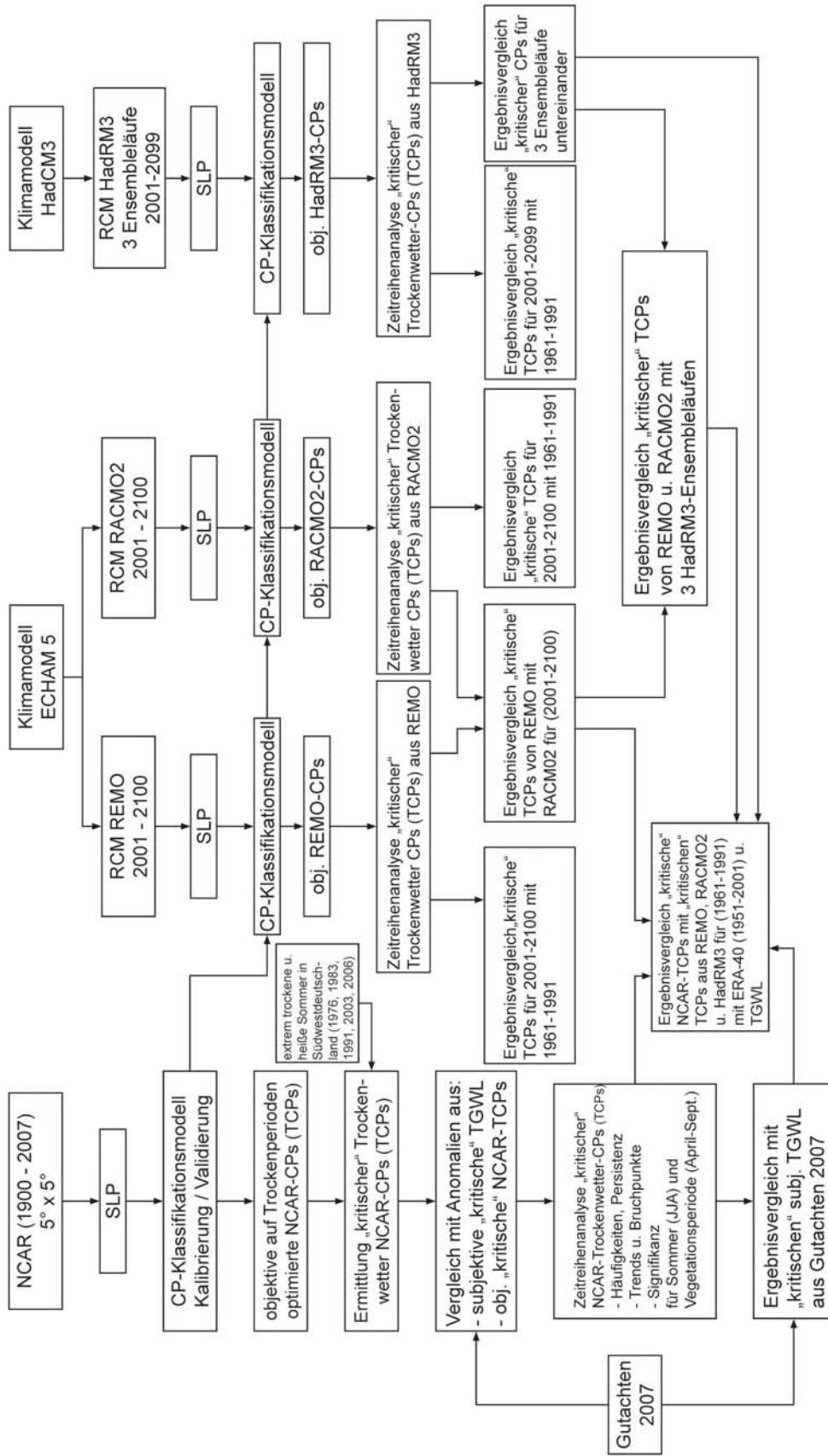


Abb. 1.1: Strukturdiagramm zur Analyse „kritischer“ Trocken- und Niedrigwasserperioden in Südwestdeutschland auslösender, objektiv klassifizierter Trocken-CPs (TCP) auf der Basis von NCAR-Reanalysen (1900–2007) und 5 transienter RCM-A1B-Klimaszenarien mit REMO (2001–2100), RACMO2 (2001–2100) und einem Ensemble aus 3 Läufen mit HadRM3 (2001–2099).



Die geplanten Untersuchungen sind in dem in Abb. 1.1 dargestellten Strukturdiagramm veranschaulicht. Sie sollen folgende Fragen beantworteten:

Fragen zu Beobachtungsdaten:

1. Wie können die Trockenwetter auslösenden Wetterlagen (TCPs) objektiv klassifiziert werden?
2. Gibt es „kritische“ objektiv klassifizierte NCAR-CPs, die überdurchschnittlich häufig extreme Trockenperioden mit Niedrigwasser und Hitzewellen in Südwestdeutschland (Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Bayern) auslösen?
3. Wie sehen die Anomalien der subjektiv und objektiv klassifizierten „kritischen“ TCPs aus?
4. Zeigen die Zeitreihen der objektiv klassifizierten „kritischen“ Trockenwetter-CPs hinsichtlich ihrer Häufigkeiten und Persistenzen im meteorologischen Sommer (JJA) und in der Vegetationsperiode (April–Sept.) systematische, signifikante Veränderungen (Trends, Bruchpunkte)?
5. Stimmen diese Veränderungen mit den im Werkvertrag (B.-Nr.: 4500007742/43) im Jahr 2007 gewonnenen Ergebnissen für die Zeitreihen der „kritischen“ Trockenwetter-Großwetterlagen (TGWL) überein?

Fragen zu Klimamodelldaten:

6. Zeigen die Zeitreihen der objektiv klassifizierten „kritischen“ Trockenwetter-CPs (TCPs) der 5 RCM-Klimamodellläufe hinsichtlich ihrer Häufigkeiten und Persistenzen im meteorologischen Sommer (JJA) und in der Vegetationsperiode systematische, signifikante Veränderungen (Trends, Bruchpunkte)?
7. Entsprechen die Häufigkeiten der „kritischen“ TCPs aus den Klimamodellläufen den Häufigkeiten der „kritischen“ NCAR-CPs aus dem Beobachtungszeitraum 1900-2007?
8. Wie unterscheiden sich die RCM-Klimamodellläufe von REMO und RACMO2 hinsichtlich Häufigkeiten und Persistenzen der „kritischen“ TCPs für die Sommer (JJA) und Vegetationsperioden voneinander?
9. Wie unterscheiden sich die 3 HadRM3-Ensemble-Szenarioläufe hinsichtlich der Häufigkeiten und Persistenzen der „kritischen“ TCPs voneinander?
10. Welche systematischen Veränderungen zeigen die „kritischen“ TCPs für den Zeitraum 2021–2050 bzw. 2071–2100 im Vergleich zum Zeitraum 1961-1990?

Zur Lösung der o. g. Problemstellung und Beantwortung der Fragen wird folgende Vorgehensweise gewählt.

1. Objektive, auf Trockenwetter optimierte CP-Klassifikation für den Zeitraum 1960–Juli 2006

- 1.1 Auf der Grundlage von gerasterter Bodenluftdruckdaten ($5^\circ \times 5^\circ$) aus NCAR-Reanalysen soll für den Zeitraum 01.01.1900–31.12.2007 eine objektive CP-Klassifikation durchgeführt werden. Hierbei soll das von Prof. Bárdossy im Rahmen des EU-Forschungsprojektes „ENSEMBLES“ entwickelte Klassifikationsmodell eingesetzt werden, wobei die CP-Optimierung so erfolgt, dass Zirkulationsmuster hinsichtlich anhaltend trockener CPs optimiert werden. Um spezifische Besonderheiten der Trockenperioden der Untersuchungsregionen der Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz zu erkennen, soll die Trocken-CP-Klassifikation anhand

von Gebietsniederschlägen und Niedrigwasserabflüssen ausgewählter Einzugsgebiete während des hydrologischen Sommerhalbjahres (Mai–Okt.) optimiert werden. Hierdurch wird eine automatisierte, objektive CP-Klassifikation erreicht, die auch auf Klimamodelldaten angewandt werden kann. In der geplanten Untersuchung soll das vorhandene Verfahren weiterentwickelt und auf den Zeitraum 1900–2007 angewandt werden, damit auch die jüngste Trocken- und Hitzeperiode des Juli 2006 noch erfasst wird.

2. Erfassung und Analyse der „kritischen“ objektiven Trockenwetter-CPs für die Sommer und Vegetationsperioden des Beobachtungszeitraumes 1900–2006

- 2.1 Ermittlung „kritischer“, längere Trockenperioden im meteorologischen Sommer (JJA) und in den Vegetationsperioden (April–Sept.) auslösende NCAR-Trocken-CPs (TCP) unter Verwendung der Daten aus Ziffer 1.
- 2.2 Vergleich der Anomaliekarten des Bodenluftdruckes der „kritischen“ subjektiven TGWL und objektiven TCPs hinsichtlich eventuell vorhandener Ähnlichkeiten.
- 2.3 Zeitreihenanalyse der Häufigkeiten und Persistenz der objektiv (1900–2007) klassifizierten „kritischen“ TCPs hinsichtlich systematischer, signifikanter Veränderungen (Trend, Bruchpunkte).
- 2.4 Vergleich der Ergebnisse für die objektiven TCPs mit den im Werkvertrag (B.-Nr.: 4500007742/43) im Jahr 2007 gewonnenen Ergebnissen für die Zeitreihen der „kritischen“ Trockenwetter-Großwetterlagen (TGWL).

3. Objektive Trocken-CP-Klassifikation für die Klimamodellläufe

- 3.1 Objektive Klassifikation der Trocken-CPs für die Kontrollläufe (1961–1991) und transienten RCM-Klimamodellläufe der Modelle REMO (2001–2100), RACMO2 (2001–2100) und die 3 Ensembleläufe von HadRM3 (2001–2099).

4. Analyse der „kritischen“ objektiv klassifizierten Trockenwetter-CPs der transienten RCM-Klimamodellläufe für die Sommer und Vegetationsperioden des Zeitraumes 2001–2100

Zeitreihenanalyse der objektiv klassifizierten „kritischen“ Trocken-CPs sowohl für die beiden transienten RCM-Läufe von REMO und RACMO2 als auch die 3 HadRM3-Ensembleläufe.

- 4.1 Vergleich der Häufigkeiten der „kritischen“ TCPs aus den Klimamodellläufen mit den Häufigkeiten der „kritischen“ NCEP-CPs und den „kritischen“ Trocken-GWL aus dem Beobachtungszeitraum 1951–2001?
- 4.2 Vergleich der RCM-Klimamodellläufe von REMO und RACMO2 hinsichtlich Häufigkeiten und Persistenzen der „kritischen“ TCPs für die Sommer (JJA) und Vegetationsperioden.
- 4.3 Vergleich der Ergebnisse der 3 HadRM3-Ensemble-Szenarioläufe hinsichtlich der Häufigkeiten und Persistenzen der „kritischen“ TCPs untereinander. Hieraus kann die Variabilität eines RCM abgeschätzt werden.
- 4.4 Zentraler Bestandteil der Analyse der 5 transienten RCM-Klimamodellläufe ist die Untersuchung sowohl der Häufigkeiten als auch die Persistenz der „kritischen“ TCPs hinsichtlich signifikanter Änderungen (Trends, Bruchpunkte). Der Ergebnisvergleich der „kritischen“ TCPs des Zeitraumes 1961–1990 und des Zeitraumes 2021–2050 bzw. 2071–2100 gibt Hinweise darauf, mit welchen Veränderungen der „kritischen“ Trocken-



CPs im Sommer (JJA) und in den Vegetationsperioden (April–Sept.) in Zukunft zu rechnen ist und wie sich infolgedessen das Risiko von Trocken- und Niedrigwasserperioden in der Untersuchungsregion verändern wird. Zudem kann der Einfluss unterschiedlicher RCMs und GCMs auf die Ergebnisse abgeschätzt werden.

- 5. Erstellen eines Gutachtenberichtes mit Darstellung und Bewertung der Ergebnisse insbesondere auf Trockenperioden und Niedrigwasserzeiten.**
- 6. Präsentation der Ergebnisse im Rahmen eines LUBW- bzw. KLIWA Symposiums in Form eines Vortrages.**

Unterauftragnehmer

Die Leistungen zu der o. g. Ziffer 1 und 3 sowie die zugehörige Dokumentation und Beschreibung der Ergebnisse im Gutachtenbericht (Ziffer 5) werden vom Institut für Wasserbau (IWS) der Universität Stuttgart, vertreten durch Prof. Dr.-Ing. Bárdossy als Unterauftragnehmer erbracht.

2. Verwendetes Datenmaterial

2.1 Verwendete Beobachtungsdaten für Niederschlag und Abfluss

Die Landesanstalt für Umweltschutz, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) und das Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG) stellten für ihr Bundesland jeweils die Abflusszeitreihen (Tagesmittelwerte) für 3 ausgewählte Einzugsgebiete zur Verfügung. Die Einzugsgebiete und die verfügbaren Messzeiträume sind in Tab. 2.1 aufgelistet.

Bundesland	Gewässer	Pegel	Einzugsgebietsfläche A_E [km ²]	Zeitraum der verfügbaren Abflussdaten
Baden-Württemberg	Murg	Rotenfels	466	01.11.1917–31.12.2007
	Neckar	Plochingen	3.995	01.11.1918–31.12.2008
	Schussen	Gerbertshaus	782	01.11.1919–21.11.2007
	Σ		5.243	14,7 % der Landesfläche
Bayern	Fränkische Saale	Bad Kissingen	1.576	01.11.1929–31.12.2008
	Pegnitz	Nürnberg	1.198	01.11.1910–31.12.2007
	Schwarzer Regen	Sägmühle	839	01.11.1975–01.04.2008
	Σ		3.613	5,1 % der Landesfläche
Rheinland-Pfalz	Nahe	Boos	2.830	01.11.1951–31.12.2007
	Kyll	Kordel	819	01.11.1967–31.12.2007
	Ahr	Altenahr	748	01.12.1945–31.12.2007
	Σ		4.397	22,1 % der Landesfläche

Tab. 2.1: Kenndaten der verwendeten Einzugsgebiete und Abflusszeitreihen.

Die Einzugsgebiete wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- die Pegel sollten über eine möglichst lange Beobachtungsdauer verfügen;
- die Abflussmessungen sollten insbesondere im Niedrigwasserbereich von guter Qualität sein
- Die Einzugsgebiete sollten nach Möglichkeit weitgehend frei von Einflüssen sein, die den Niedrigwasserabfluss beeinflussen. Hierzu zählen z.B. Überleitungen aus anderen Einzugsgebieten, Maßnahmen zur Niedrigwasseranreicherung sowie Abläufe aus größeren Kläranlagen
- Die Pegel sollten Einzugsgebietsflächen von ca. 1.000 km² aufweisen;
- die Einzugsgebiete sollten in verschiedenen Regionen der jeweiligen Bundesländer liegen. Hierbei wurde das Voralpengebiet Bayerns wegen der hier gültigen, von den übrigen Gebieten abweichenden Abflusscharakteristik, ausgeklammert.

Neben den Tagesmittelwerten der Abflüsse wurden auch die Reihen der zugehörigen jährlichen Niedrigwasserabflüsse und die zugehörigen Auszüge aus den neuesten Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbüchern übermittelt. Zur kartographischen Darstellung der Einzugsgebiete in GIS-Systemen und der erforderlichen Gebietsniederschlagsermittlung für die Pegel-einzugsgebiete wurden die Einzugsgebietsgrenzen digital zur Verfügung gestellt.

In die vorliegende Untersuchung gingen zudem umfangreiche Niederschlagsinformationen ein. Für die 3 Bundesländer wurde die in Tab. 2.2 zusammengestellte Anzahl von Niederschlagsstationen



für den Messzeitraum 1958–2001 verwendet. Die Niederschlagsdaten lagen als Tageswerte bereits beim Institut für Wasserbau (IWS) der Universität Stuttgart vor. Die Zulässigkeit der Datennutzung wurde vom Auftraggeber im Rahmen des Werkvertrages v. 17.11.2008 und des Angebotes v. 15.10.2008 sichergestellt.

Bundesland	verwendete N-Stationen	Landesfläche A [km ²]	Stationsdichte [km ² /Station]
Baden-Württemberg	294	35.751	121,6
Bayern	740	70.551	95,3
Rheinland-Pfalz	222	19.853	89,4

Tab. 2.2: Anzahl der für die jeweiligen Bundesländer verwendeten Niederschlagsstationen.

Zudem wurde der im Rahmen des EU-Forschungsprojektes „*Ensemble-based predictions of Climate Changes and their impacts (ENSEMBLES)*“ unter dem Research Theme 5 (RT5) ermittelte Datensatz verwendet. Es handelt sich hierbei um einen hochauflösenden Datensatz von Tageswerten im Raster von 25 km x 25 km für den Zeitraum 1950–2006. Als Parameter stehen Niederschlag, mittlere, minimale und maximale Tagestemperatur zur Verfügung. Die Daten wurden aus einer großen Zahl von Beobachtungsstationen aus ganz Europa auf ein Raster von 25 x 25 km für die Landflächen in Europa interpoliert. Sie sind beim *Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)* in De Bilt in Holland archiviert und können von der KNMI-Webseite heruntergeladen werden. In *Haylock et al. (2008)* sind der RT5 Datensatz, die verwendeten Stationen, die Prüfung der Datenqualität, die Interpolationsmethoden, Fehleranalysen und die Quantifizierung der Unsicherheiten ausführlich beschrieben.

2.2 Verwendete Reanalysedaten

Die Untersuchungen im Rahmen des Werkvertrages (B.-Nr.: 4500007742/43) v. 06.12.2006 konzentrierten sich auf die Auswertung der vom Deutschen Wetterdienst (DWD) täglich klassifizierten „Großwetterlagen Europas“ für den Zeitraum 01.01.1881–30.09.2006. Auf die GWL-Zeitreihe wird auch in dieser Untersuchung Bezug genommen. Als Datengrundlage für die objektive CP-Klassifikation dienten die täglichen Reanalysen des mittleren Bodenluftdruckes (Mean Sea Level Pressure = MSLP) für den Zeitraum 01.01.1900–31.12.2007 des *National Center for Atmospheric Research (NCAR)* in Boulder/Colorado, die in einem Raster von 5° x 5° vorliegen. Wegen fehlender Bodenluftdruckmesswerte weist die Messreihe im Zeitraum Dezember 1944– Dezember 1945 eine Lücke auf. Abweichend vom Angebot wurden die NCAR-Daten gewählt, da sie mit 108 Jahren eine wesentlich längere Zeitreihe als die Reanalysen des *National Center for Environmental Prediction (NCEP)* abdecken. Die NCEP-Zeitreihe hat zwar mit 2,5° x 2,5° eine höhere räumliche Auflösung, umfasst dafür jedoch nur den Zeitraum von 1960–1990. Für den längeren Zeitraum der NCAR-Zeitreihe ist der Nachweis möglicher Veränderungen (Trends, Bruchpunkte) wesentlich einfacher und zuverlässiger möglich.

Zudem werden auch die täglichen mittleren Bodenluftdruckdaten aus den Reanalysen des *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)* in Reading/UK aus dem **ERA-40** Projekt verwandt, die in einem Raster von 2,5° x 2,5° für den Zeitraum ab Mitte 1957–2001 vorliegen und in dieser Untersuchung für das Fenster 35°N bis 65°N und 15°W bis 40°E und den Zeitraum 1958–2001 genutzt werden. Die Daten sind auf der Webseite (<http://www.ecmwf.int/research/era/do/get/era-40>) von ECMWF frei zum Download verfügbar. Das ERA-40 Projekt ist in *ECMWF (2004)* ausführlich beschrieben.

2.3 Daten verwendeter regionaler Klimamodelle

Die Modellläufe der regionalen Klimamodelle (RCM) wurden im Rahmen des EU-Projektes ENSEMBLES berechnet. Die zugehörigen Datensätze sind als Bestandteil von ENSEMBLES im Data Centre des *Dänischen Meteorologischen Institutes (DMI)* in Kopenhagen archiviert und stehen für Anwender zum Download zur Verfügung. In der vorliegenden Untersuchung wurden Daten von 3 RCMs aus den in [Tab. 2.3](#) zusammengestellten Modellläufen verwendet. Es handelt sich um die beiden RCM **REMO** des *Max-Planck-Instituts für Meteorologie (MPI)* in Hamburg und **RACMO2** des *Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)* in De Bilt, die beide das globale Klimamodell (GCM) ECHAM5 als Antrieb nutzen. Sowie um das RCM **HadRM3** des *Hadley Centre for Climate Prediction and Research des UK Met Office* mit dem Antrieb des Globalmodells HadCM3. Für HadRM3 steht ein Ensemble aus 3 Läufen mit normaler, hoher und niedriger Sensitivität zur Verfügung. Bei allen verwendeten Modellläufen handelt es sich um die höchste verfügbare räumliche Auflösung von 25 km x 25 km im Fenster 31°N bis 65°N und 4°W bis 25°E.

Regionales Klimamodell (RCM)	Kontroll-lauf	GCM-Antrieb	transientes A1B- Szenario
REMO	1960 - 1991	ECHAM5	2001–2100
RACMO2	1960 - 1991	ECHAM5	2001–2100
HadRM3	1960 - 1991	HadCM3	
normal sensitivity		HadCM3	2001–2099
high sensitivity		HadCM3	2001–2099
low sensitivity		HadCM3	2001–2099

Tab. 2.3: Verwendete RCM-Modellläufe.

Gemäß [Tab. 2.3](#) wurden für die vorliegende Untersuchung bei allen 3 RCMs die Kontrollläufe des Zeitraumes 1961–1991 herangezogen, deren Ergebnisse hinsichtlich des Niederschlages mit dem aus Stationsbeobachtungsdaten ermittelten RT5 Datensatz verglichen werden können. Den Schwerpunkt bildet jedoch die Verwendung der MSLP-Daten (Mean Sea Level Pressure = mittlerer Bodenluftdruck) und der Niederschläge für die transienten Modellläufe von 2001–2100 für REMO und RACMO2 sowie 2001–2099 für das Ensemble der 3 HadRM3-Läufe. Zusätzlich sei erwähnt, dass die transienten Modellläufe von REMO und RACMO die korrekten Kalenderjahre mit 365 Tagen pro Jahr bzw. 366 Tagen in Schaltjahren beinhalten. Das HadRM3 hat dagegen Jahre mit 12 Monaten à 30 Tagen und damit einheitlich 360 Tage pro Jahr. Alle verwendeten GCM und RCMs beruhen auf dem **SRES-Emissionszenario A1B**, das in [Abschnitt 5.1.2](#) näher beschrieben wird.

3. „Kritische“ Großwetterlagen, die in Südwestdeutschland Trocken-, Niedrigwasserperioden und Hitzewellen auslösen

In diesem Abschnitt werden die wesentlichen Ergebnisse des Gutachtenberichtes vom August 2007 (*Caspary, 2007*) hinsichtlich der „kritischen“ Großwetterlagen, die in der Vergangenheit in Südwestdeutschland ausgeprägte Trocken- und Niedrigwasserperioden im Sommer bzw. in der Vegetationszeit ausgelöst haben, dargestellt. Der Abschnitt stellt somit eine Anbindung an den Werkvertrag (B.-Nr.: 4500007742/43) v. 06.12.2006 dar.

3.1 Die Großwetterlagen Europas

Atmosphärische Zirkulationsmuster wurden erstmals von *Baur et al. (1944)* für Mitteleuropa in so genannte „Großwetterlagen Europas“ klassifiziert. Sie beschreiben das atmosphärische Strömungsverhalten über dem Nordatlantik und Europa in einem Fenster über der Nordhalbkugel von Grönland bis zum Ural (40°W–60°O) und vom Nordpol bis zur Sahara (30°N–80°N). Hierbei ist eine Großwetterlage (GWL) definiert als die mittlere Luftdruckverteilung eines Großraumes, mindestens von der Größe Europas, während eines mehrtägigen Zeitraumes, in welchem gewisse Züge aufeinander folgender Wetterlagen gleich bleiben. Merkmale bestimmter GWL sind die geographische Lage der Steuerungszentren (Hoch- und Tiefdruckgebiete) und die Lage und Erstreckung von Frontalzonen. Zudem wird in zyklonale und antizyklonale Verhältnisse unterschieden. Auf diese Weise wurden für Europa 29 verschiedene GWL definiert, die in *Hess & Brezowsky (1969)* detailliert beschrieben und katalogisiert sind. 1993 wurde der Katalog von *Gerstengarbe & Werner (1993)* nochmals bis 1992 aktualisiert. Die Großwetterlagen Europas liegen für den langen Zeitraum von 1881 bis heute vor. Sie werden vom Deutschen Wetterdienst (DWD) klassifiziert und monatlich veröffentlicht. Für den Zeitraum ab 01.01.2002 können die GWL auch im Internet auf der DWD-Webseite kostenfrei abgerufen werden.

Gemäß [Tab. 3.1](#) werden 3 Zirkulationsformen (zonal, meridional und gemischt) unterschieden. Mit Ausnahme der zonalen Zirkulationen setzen sich alle Zirkulationsformen aus mehreren Großwettertypen zusammen, die sich wiederum in mehrere Großwetterlagen untergliedern.

3.2 Trocken- u. Niedrigwasserperioden auslösende „kritische“ Großwetterlagen

Um die für das Auftreten von Trockenperioden, Hitzewellen und Niedrigwasser verantwortlichen und damit „kritischen“ Großwetterlagen herauszufinden, wurden in *Caspary (2007)* zunächst die Hitzewelle und Trockenperiode des Juni und August 2003 und des Juli 2006 analysiert. In diesem Zusammenhang wurden einige z.T. umfangreiche Studien der gewässerkundlichen Dienststellen der Bundesländer Baden-Württemberg (*LfU, 2004*), Bayern (*BLfW, 2004 u. 2005*) und Rheinland-Pfalz (*LfW RP, 2004*), der Bundesanstalt für Gewässerkunde (*BfG, 2004, 2006*), (*Belz, 2005*), (*Engel et al., 2006*), des Deutschen Wetterdienstes (*DWD, 2003*) von Hochschulen (*Koehler et al., 2007*) und der Versicherungswirtschaft (*Münchener Rück, 2004*) ausgewertet.

Die Niedrigwasserabflüsse des Rheineinzugsgebietes im 20. Jahrhundert werden in *Belz (2005)* anschaulich beschrieben. Neben dem **Trockensommer 1976** werden hierin auch die Niedrigwasserjahre **1947** und **1921** aufgezeigt. Für die Trockenperiode 1976 liegt auch eine umfangreiche Studie des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (*BLfW, 1979*) vor.



Großwettertyp		Großwetterlage		Abkürzung
Zonale Zirkulationsform				
West	W	1.	Westlage, antizyklonal	Wa
		2.	Westlage, zyklonal	Wz
		3.	Südliche Westlage	Ws
		4.	Winkelförmige Westlage	wW
Gemischte Zirkulationsform				
Südwest	SW	5.	Südwestlage, antizyklonal	SWa
		6.	Südwestlage, zyklonal	SWz
Nordwest	NW	7.	Nordwestlage, antizyklonal	NWa
		8.	Nordwestlage, zyklonal	NWz
Hoch Mitteleuropa	HM	9.	Hoch über Mitteleuropa	HM
		10.	Hochdruckbrücke Mitteleuropa	BM
Tief Mitteleuropa	TM	11.	Tief Mitteleuropa	TM
Meridionale Zirkulationsform				
Nord	N	12.	Nordlage, antizyklonal	Na
		13.	Nordlage, zyklonal	Nz
		14.	Hoch Nordmeer-Island, antizyklonal	HNa
		15.	Hoch Nordmeer-Island, zyklonal	HNz
		16.	Hoch Britische Inseln	HB
		17.	Trog Mitteleuropa	TrM
		Nordost	NE	18.
19.	Nordostlage, zyklonal			NEz
Ost	E	20.	Hoch Fennoskandien, antizyklonal	HFa
		21.	Hoch Fennoskandien, zyklonal	HFz
		22.	Hoch Nordmeer-Fennoskandien, antizyklonal	HNFa
		23.	Hoch Nordmeer-Fennoskandien, zyklonal	HNFz
Südost	SE	24.	Südostlage, antizyklonal	SEa
		25.	Südostlage, zyklonal	SEz
Süd	S	26.	Südlage, antizyklonal	Sa
		27.	Südlage, zyklonal	Sz
		28.	Tief Britische Inseln	TB
		29.	Trog Westeuropa	TrW

Tab. 3.1: Großwettertypen und Großwetterlagen Europas, nach (Hess & Brezowsky, 1969).

In Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz verursachte auch die lange Trockenperiode des Sommers **1991** eine ausgeprägte Niedrigwassersituation an zahlreichen Gewässern, die in *LfU* (1992) gut dokumentiert ist. Hiernach war in vielen Regionen Baden-Württembergs der Zeitraum 25.07.–23.08.1991 fast niederschlagsfrei. Im August 1991 fielen mit 19 mm nur 19 % der im langjährigen Mittel zu erwartenden Niederschläge (*LfU*, 1992). Das Wetteramt Freiburg registrierte für Freiburg mit 11,8 mm den geringsten Wert für einen August seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1869. Die Dreisam bei Freiburg fiel vollständig trocken (*BNN*, 31.08.1991). Nach Angaben des DWD waren auch Rheinland-Pfalz, das Saarland und Hessen von der Trockenheit des Sommers 1991 besonders betroffen. Aus den o.g. Gründen wurden in *Caspary* (2007) neben den Trockenperioden und Hitzewellen 2003 und 2006 auch die Sommer 1991, 1976, 1947 und 1921 für eine weitere Auswertung herangezogen. Auch die vorliegende Untersuchung konzentriert sich auf diese Trockenjahre.

Abb.3.1 zeigt die Bodenluftdruckkarte der Hitzeperiode für den Zeitraum 22.07.–13.08.2003. Dabei kennzeichnet die linke Bodenluftdruckkarte die Großwetterlage „Hochdruckbrücke Mitteleuropa“ (**BM**) des Zeitraumes 22.07.–04.08.2003. Hieran schloss sich die GWL „Hoch Nordmeer–Island, antizyklonal“ (**HNa**) an. Diese BM- und HNa-Periode hat mit ihrer Trockenheit, extrem hohen Temperaturen die Hitzewelle und Niedrigwasserperiode des Sommers 2003 verursacht. An zahlreichen Flüssen Süd- und Südwestdeutschlands kam es verbreitet zu Niedrigwasser. Neben der geringen Wasserführung hat die bis auf ca. 28 °C ansteigende Wassertemperatur dazu geführt, dass an Neckar und selbst am Rhein Probleme mit der Kühlwasserversorgung der Kohle- und Kernkraftwerke auftraten. So musste z.B. das AKW Obrigheim abgeschaltet und das AKW Neckarwestheim in seiner Leistung stark gedrosselt werden. Im Süden und Westen Deutschlands wurden nach *DWD* (2003) elftägig Temperaturen von 35–40 °C gemessen. Der Rekord trat in Karlsruhe am 09.08. und 13.08.2003 mit jeweils 40,2 °C auf. Es handelte sich im Juni und August 2003 um historische Höchstwerte seit 1779. Dabei lag die Monatsmitteltemperatur des Juni (23,0 °C) und August 2003 (24,3 °C) um jeweils 5,5 °C über dem Mittelwert von 1961-1990. Die Trockenperiode und Hitzewelle des Sommers 2003 wurde durch die extrem lange Dauer der zusammenhängenden kritischen GWL BM und HNa von 23 Tagen im Zeitraum 22.07.–13.08.2003. ausgelöst.

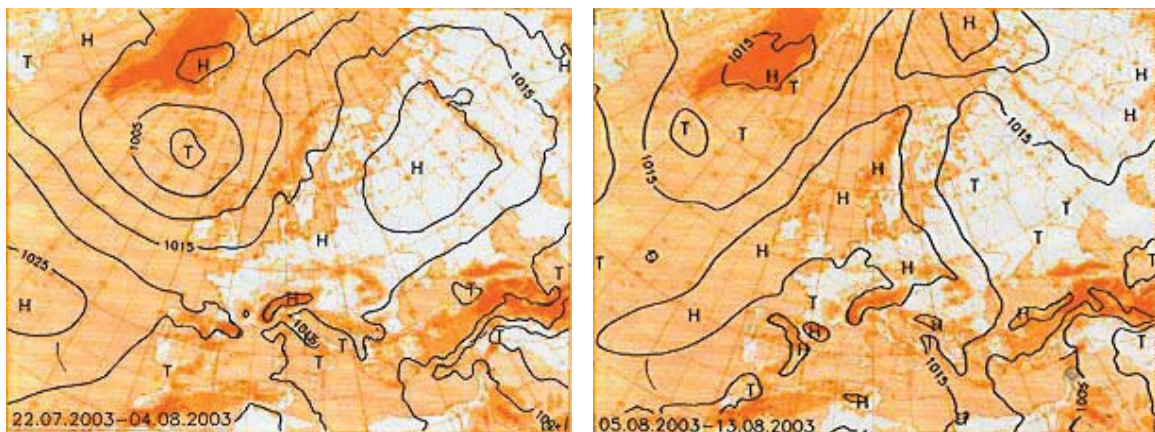


Abb. 3.1: Bodenluftdruckkarte der Großwetterlage „Hochdruckbrücke Mitteleuropa“ (BM) (linkes Bild) des Zeitraumes 22.07.–04.08.2003 sowie „Hoch Nordmeer–Island, antizyklonal“ (HNa) des Zeitraumes 05.–13.08.2003 (rechtes Bild), nach (*DWD*, 2003).



Die ausgeprägte Niedrigwassersituation des Jahres 2003 ist für Baden-Württemberg in *LfU (2004)*, für Bayern in (*BLfW, 2004 u. 2005*) und für Rheinland-Pfalz in (*LfW, 2004*) jeweils gut dokumentiert. Die Großwetterlagen des Sommers 2003 sind in Tab. 3.2 zusammen mit den jeweiligen Datumsangaben aufgelistet. Die GWL des Juli 2006 sind in Tab. 1 des Anhanges III dargestellt. Aus Tab. 3.2 sowie Tab. 2 des Anhanges III wird deutlich, dass die Zeiträume mit extremen Temperaturanomalien vornehmlich von den Großwetterlagen „Hochdruckbrücke Mitteleuropa“ (BM) und „Hoch Nordmeer–Island, antizyklonal“ (HNa) ausgelöst wurden. Die GWL BM und HNa sind somit als „kritische“, Hitzewellen auslösende GWL einzustufen.

Datum	GWL	Datum	GWL	Bemerkungen
27.05.2003	HM	14.07.2003	HFa	
28.05.2003	HM	15.07.2003	HFa	
29.05.2003	HM	16.07.2003	HFa	
30.05.2003	HM	17.07.2003	HFa	
31.05.2003	HM	18.07.2003	TrW	
01.06.2003	HM	19.07.2003	TrW	
02.06.2003	HM	20.07.2003	TrW	
03.06.2003	HM	21.07.2003	TrW	
04.06.2003	HM	22.07.2003	BM	
05.06.2003	SWa	23.07.2003	BM	
06.06.2003	SWa	24.07.2003	BM	
07.06.2003	SWa	25.07.2003	BM	
08.06.2003	SWa	26.07.2003	BM	
09.06.2003	SWa	27.07.2003	BM	
10.06.2003	SWa	28.07.2003	BM	
11.06.2003	SWa	29.07.2003	BM	
12.06.2003	BM	30.07.2003	BM	
13.06.2003	BM	31.07.2003	BM	
14.06.2003	BM	01.08.2003	BM	
15.06.2003	BM	02.08.2003	BM	
16.06.2003	BM	03.08.2003	BM	
17.06.2003	BM	04.08.2003	BM	
18.06.2003	Wa	05.08.2003	HNa	
19.06.2003	Wa	06.08.2003	HNa	
20.06.2003	Wa	07.08.2003	HNa	
21.06.2003	Wa	08.08.2003	HNa	
22.06.2003	Wa	09.08.2003	HNa	KA 40,2°C
23.06.2003	Wa	10.08.2003	HNa	
24.06.2003	Wa	11.08.2003	HNa	
25.06.2003	HNa	12.08.2003	HNa	
26.06.2003	HNa	13.08.2003	HNa	KA 40,2°C
27.06.2003	HNa	14.08.2003	NWa	
28.06.2003	HNa	15.08.2003	NWa	
29.06.2003	HNa	16.08.2003	NWa	
30.06.2003	HNa	17.08.2003	NWa	
01.07.2003	TM	18.08.2003	Ü	
02.07.2003	TM	19.08.2003	Wa	
03.07.2003	TM	20.08.2003	Wa	
04.07.2003	TM	21.08.2003	Wa	
05.07.2003	TM	22.08.2003	Wa	
06.07.2003	NWa	23.08.2003	Wa	
07.07.2003	NWa	24.08.2003	Nz	
08.07.2003	NWa	25.08.2003	Nz	
09.07.2003	NWa	26.08.2003	Nz	
10.07.2003	NWa	27.08.2003	Nz	
11.07.2003	NWa	28.08.2003	Nz	
12.07.2003	NWa	29.08.2003	TrM	
13.07.2003	NWa	30.08.2003	TrM	
		31.08.2003	TrM	

Tab. 3.2: Trockenperiode im **Juni** und **August 2003**, Niedrigwasserzeit und Hitzewelle im August 2003 in Baden-Württemberg auslösende Großwetterlagen (GWL). Abkürzungen der GWL vgl. Tab. 3.1.

Der trockene Sommer 2003 hat auch zu einem ausgeprägten Niedrigwasser geführt. In Abb. 3.2 und Abb. 3.3 sind die Abflussganglinien des Rheins für die Pegel Maxau und Köln für das Jahr

2003 (rote Linie) zusammen mit den Ganglinien der Niedrigwasserjahre 1921, 1934, 1947 und 1976 dargestellt (Belz, 2005). Es wird deutlich, dass die Trockenheit im Sommer Jahr 2003 besonders in den Monaten Juli bis September auch im Vergleich zu historischen Niedrigwasserperioden zu extremen Niedrigwasserabflüssen führte.

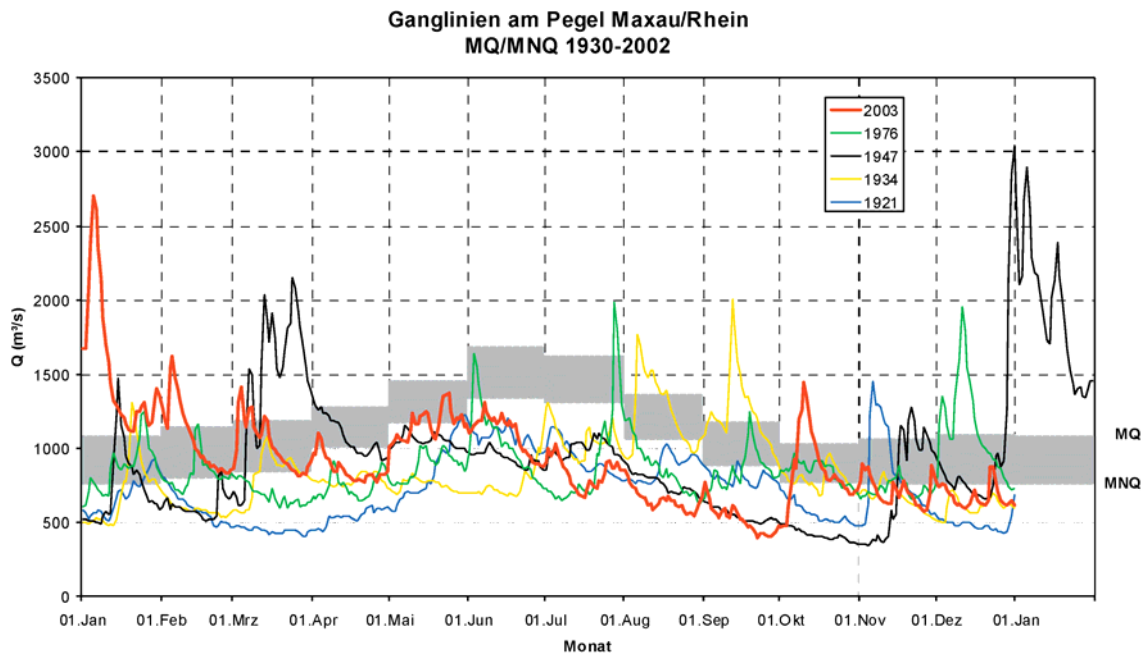


Abb. 3.2: Abflussganglinien des **Rheins** am **Pegel Maxau** für die Niedrigwasserjahre 1921, 1934, 1947, 1976 und 2003. Grau hinterlegt: monatliche MQ und MNQ-Werte des Zeitraumes 1930-2002, nach Belz (2005).

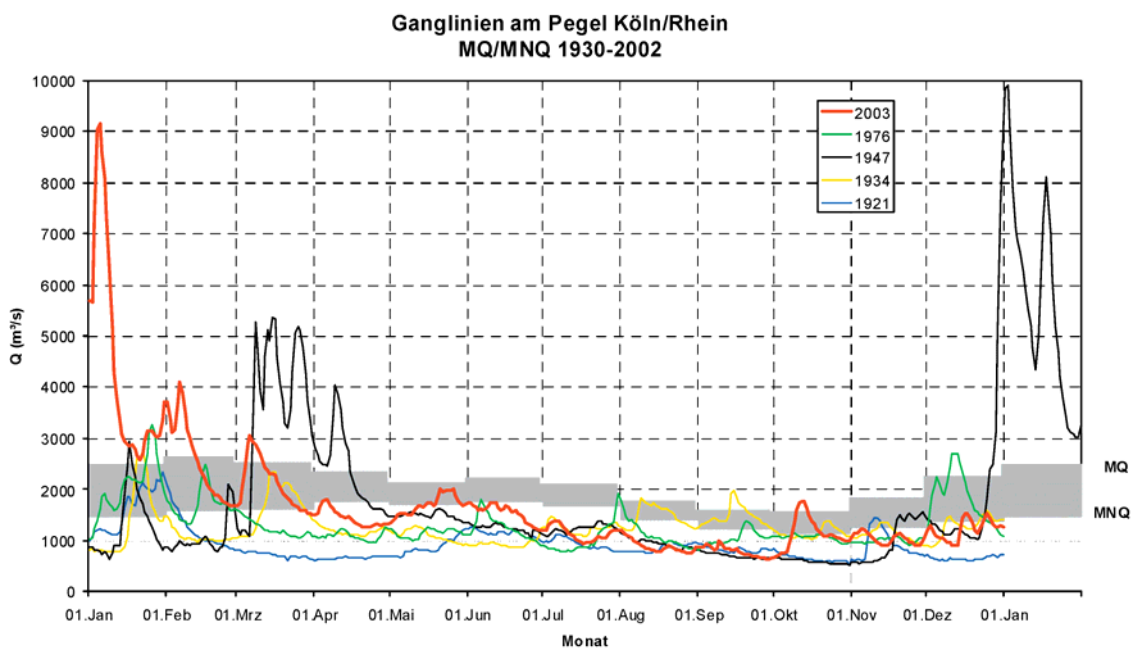


Abb. 3.3: Abflussganglinien des **Rheins** am **Pegel Köln** für die Niedrigwasserjahre 1921, 1934, 1947, 1976 und 2003. Grau hinterlegt: monatliche MQ und MNQ-Werte des Zeitraumes 1930-2002, nach Belz (2005).



In Tab. 1 bis Tab. 6 des Anhanges III sind die Sommer 2006, 2003, 1991, 1976, 1947 und 1921 jeweils mit den täglichen GWL dargestellt. Hierbei sind die Wetterlagen, die vornehmlich für die Trocken- und Niedrigwasserperioden sowie Hitzewellen verantwortlich waren farblich hervorgehoben. Tab. 3.3 zeigt das Ergebnis der Auswertung.

Zeitraum	GWL Kombination
Juni - Juli 2006	BM + SEa
Juni - August 2003	BM + HNa
Juli - Sept. 1991	BM + HFa
Juni - Sept. 1976	BM + HNa + HFa + HNFa + NEa
Juni - Sept. 1947	BM + NEa + HFa
April - Sept. 1921	BM + HNa + HFa + NEa

Tab. 3.3: Trocken- und Niedrigwasserperioden sowie Hitzewellen im Sommer bzw. in der Vegetationsperiode auslösenden Großwetterlagenkombinationen. Abkürzungen der GWL vgl. Tab. 3.1; nach *Caspary (2007)*.

Es fällt auf, dass die GWL „**Hochdruckbrücke Mitteleuropa**“ (**BM**) an allen Trockenperioden maßgeblich beteiligt ist. Daneben spielt auch die GWL „**Hoch Nordmeer–Island, antizyklonal**“ (**HNa**) eine bedeutende Rolle. Weitere „kritische“, Trockenperioden in der Vegetationszeit (April–September) und Hitzewellen im Sommer verursachende GWL sind die Ostlagen „**Hoch Fennoskandien, antizyklonal**“ (**HFa**) und „**Hoch Nordmeer-Fennoskandien, antizyklonal**“ (**HNFa**) sowie die „**Nordostlage, antizyklonal**“ (**NEa**) und die „**Südostlage antizyklonal**“ (**SEa**). Im Folgenden werden die Anomalien der „kritischen“ GWL dargestellt.

3.3 Bodenluftdruckanomaliekarten der „kritischen“ Trocken-Großwetterlagen

Als Grundlage für die Erstellung der Anomaliekarten des Bodenluftdruckes dienten im Gutachten 2003 (*Caspary, 2003*) die NCAR-Reanalysen des Zeitraumes 1899–2001. Diese liegen in einem Raster von $5^\circ \times 5^\circ$ vor. Die nachfolgend dargestellten Anomalien der „kritischen“ GWL BM, HNa, NEa, HFa, HNFa und SEa wurden für den Zeitraum 1980–1989 ermittelt. Hierbei wurde die Anomalie wie folgt berechnet:

- in jedem Rasterpunkt j wird der Mittelwert μ_j und die Standardabweichung σ_j des Bodenluftdruckes für den Untersuchungszeitraum berechnet.
- für jede Großwetterlage (GWL) wird über alle Tage, an denen diese GWL aufgetreten ist, der Mittelwert des Bodenluftdruckes μ_{GWL} an jedem Rasterpunkt berechnet.
- von dem Mittelwert aus Schritt b) wird der Mittelwert aus Schritt a) subtrahiert und durch die Standardabweichung σ dividiert. Die Anomalie A_j für jeden Rasterpunkt j ergibt sich somit nach Gl. (3.1).

$$A_j = \frac{\mu_{GWLj} - \mu_j}{\sigma_j} \quad (3.1)$$

- Die für die Rasterpunkte ermittelten Anomalien werden schließlich in einer Karte in Form von Isolinien dargestellt.

In den Abb. 3.4 - 3.7 sind die Anomalien der „kritischen“ GWL BM, HNa, HFa, HNFa, NEa und SEa dargestellt. Hierbei entsprechen die blau gezeichneten negativen Anomalien Regionen mit geringem Luftdruck. Die roten Linien kennzeichnen positive Anomalien und damit Regionen mit hohem Luftdruck.

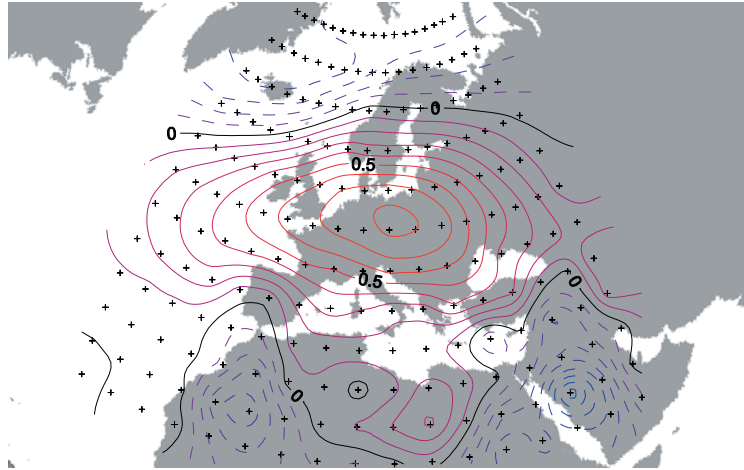


Abb. 3.4: Anomaliekarte der „kritischen“ Großwetterlage „Hochdruckbrücke Mitteleuropa“ (BM).

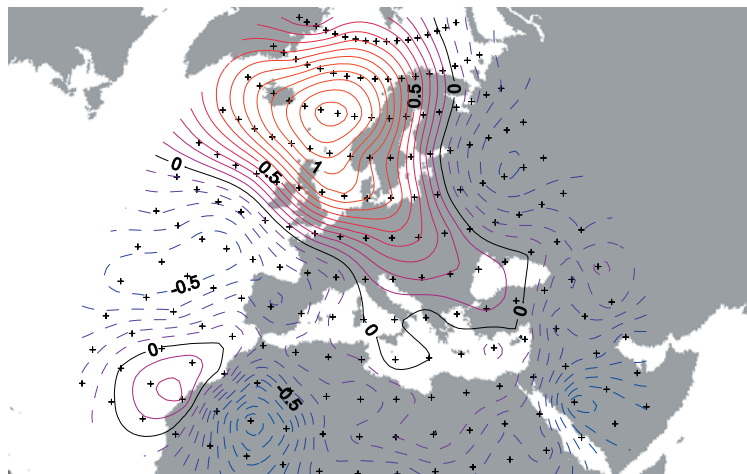


Abb. 3.5: Anomaliekarte der Großwetterlage „Hoch Nordmeer–Island, antizyklonal“ (HNa).

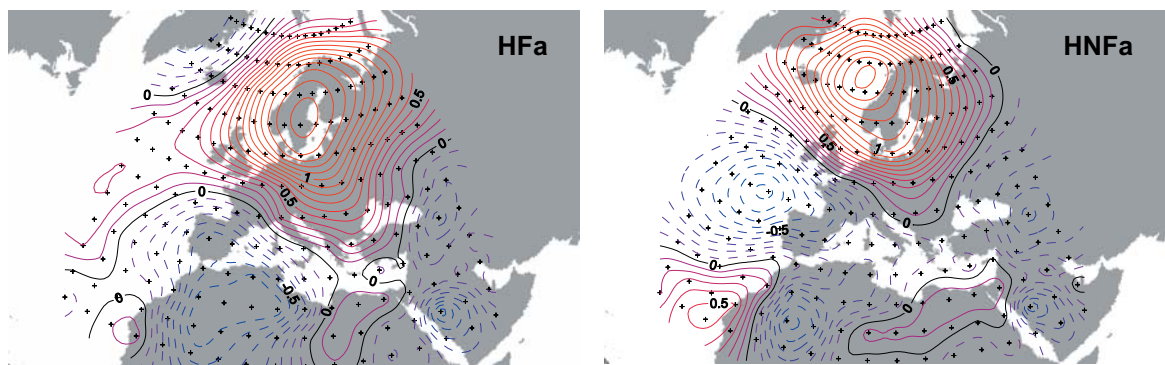


Abb. 3.6: Anomaliekarten der kritischen Großwetterlagen „Hoch Fennoskandien, antizyklonal“ (HFa) und „Hoch Nordmeer-Fennoskandien, antizyklonal“ (HNFa), nach Caspary (2007).

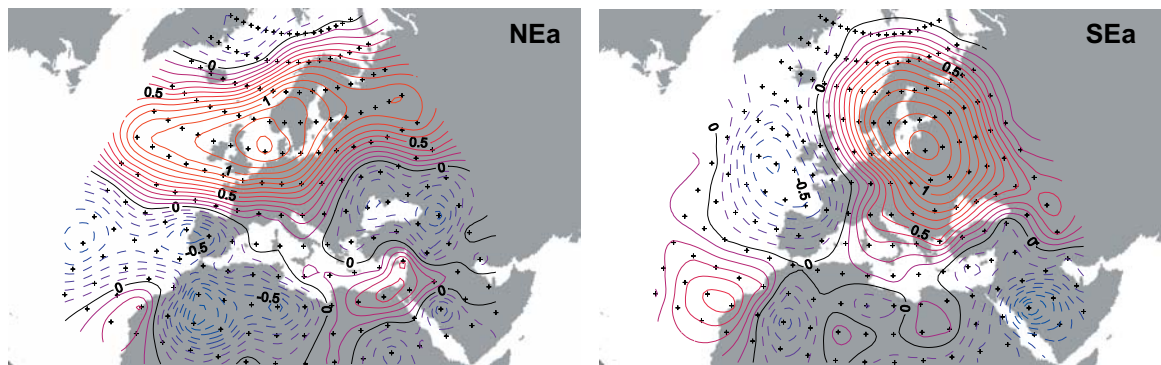


Abb. 3.7: Anomaliekarten der kritischen Großwetterlagen „Nordostlage, antizyklonal“ (NEa) und „Südostlage, antizyklonal“ (SEa); nach Caspary (2007).

3.4 Ergebnisse der Zeitreihenanalyse für die zusammengefassten „kritischen“ Trocken-Großwetterlagen für den Zeitraum 1881–2006

3.4.1 Ergebnisse für die zusammengefassten Trocken-GWL im Sommer

In Caspary (2007) wurden die Zeitreihen der „kritischen“ Großwetterlage „Hochdruckbrücke Mitteleuropa“ (BM) sowie die kombinierten „kritischen“ GWL (BM+HNa) hinsichtlich systematischer Veränderungen (Trend, Bruchpunkte) im Messzeitraum 1881–2006 analysiert. Eine umfangreiche Analyse der Zeitreihen der Großwetterlagen Europas wurde bereits von Bárdossy & Caspary (1990) für den Zeitraum 1881–1989 durchgeführt. In Abschnitt 3.2 wurde gezeigt, dass in den vergangenen Jahrzehnten Trockenperioden, Niedrigwasserzeiten und Hitzewellen häufig durch eine Kombination weniger GWL verursacht wurden. Neben den bereits ausführlich analysierten „kritischen“ GWL „Hochdruckbrücke Mitteleuropa“ (BM) und „Hoch Nordmeer-Island, antizyklonal“ (HNa) spielen auch die GWL „Nordostlage, antizyklonal“ (NEa), „Hoch Fennoskandien, antizyklonal“ (HFa), „Hoch Nordmeer-Fennoskandien, antizyklonal“ (HNFa) und „Südostlage, antizyklonal“ (SEa) eine bedeutende Rolle. Aus diesem Grund wurde in Caspary (2007) die Zeitreihe der „kritischen“ Wetterlagenkombination (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa), die nachfolgend als „**Trocken-GWL**“ bezeichnet wird, hinsichtlich systematischer Veränderungen (Trend, Bruchpunkte) im Sommer (Juni–August) sowie für die Vegetationszeiten (April–September) des Messzeitraumes 1881–2006 analysiert. In Abb. 3.8 sind die Häufigkeiten der zusammengefassten Trocken-GWL (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa) und in Abb. 3.9 die zusammenhängenden maximalen (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa)-Perioden für die Sommer (Juni–August) des Zeitraumes 1881–2006 zusammen mit einer Ausgleichskurve in Form eines gleitenden Mittels über 11 Jahre dargestellt. Beide Zeitreihen zeigen einen auf dem 99%-Niveau statistisch hochsignifikanten ansteigenden Trend. Die Bruchpunktanalyse nach Pettitt (1979) liefert sowohl für die Häufigkeiten als auch für die zusammenhängenden maximalen (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa)-Dauern während der Sommer (Juni–August) einen übereinstimmenden Bruchpunkt für das Jahr 1968 auf dem 99 % Signifikanzniveau. In Abb. 3.9 fällt auf, dass die ausgeprägten Trocken- und Niedrigwasserjahre 1947, 1976, 1991 und 2003 als „Peaks“ aus der Zeitreihe direkt ablesbar sind.

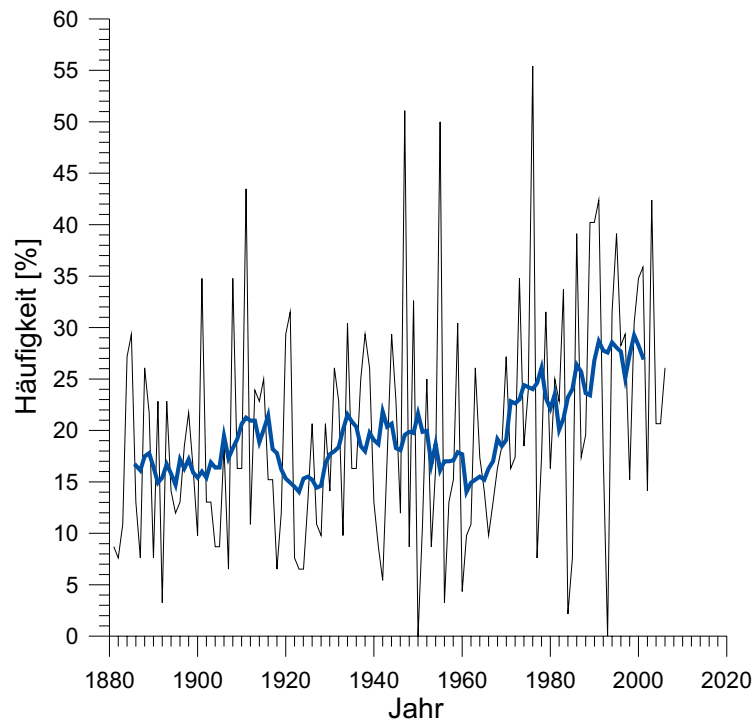


Abb. 3.8: Häufigkeiten der kombinierten Großwetterlagen „BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa“ im Sommer (Juni–August) des Zeitraumes 1881–2006. Ausgleichskurve: gleitendes Mittel über 11 Jahre. Abkürzungen zur Wetterlagendefinition vgl. Tab. 3.1; nach Caspary (2007).

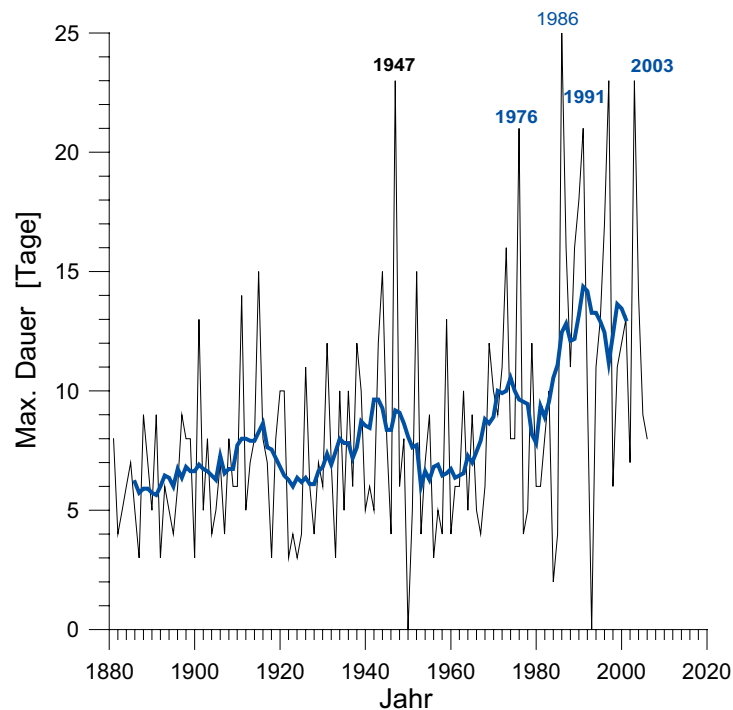


Abb. 3.9: Maximale Dauer zusammenhängender Perioden der kombinierten Großwetterlagen „BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa“ im Sommer (Juni–August) des Zeitraumes 1881–2006. Ausgleichskurve: gleitendes Mittel über 11 Jahre. Wetterlagendefinition vgl. Tab. 3.1; nach Caspary (2007).



Tab.3.4 zeigt eine statistische Auswertung der Häufigkeiten und der maximalen Dauer zusammenhängender Perioden der Kombination „kritischer“ GWL „BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa“ im Sommer (Juni–August) für verschiedene Zeiträume. Neben den Ergebnissen für den Gesamtzeitraum (1881–2006) ist eine getrennte Auswertung für die Zeit vor (1881–1968) und nach dem Bruchpunkt (1969–2006) vorgenommen worden. Hieraus wird deutlich, dass für die **Häufigkeiten die Maximalwerte (+ 8 %), die Mittelwerte (+ 46 %) der Median (+ 61 %) und die Variabilität, gemessen an der Standardabweichung (+ 21 %) in der Zeit nach dem Bruchpunkt 1969 stark zugenommen haben. Für die maximale Dauer zusammenhängender „BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa Perioden haben der Maximalwert um 9 %, der Mittelwert um 64 % und die Standardabweichung um 69 % sehr stark zugenommen.**

Häufigkeiten der zusammengefassten GWL (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa) im Sommer (Jun.-Aug.)				Veränderung 1969 - 2006 zu 1881 - 1968 [%]
Zeiträume	1881 - 2006	1881 - 1968	1969 - 2006	
Anzahl der Werte [-]	126	88	38	
Summe	2489,1	1528,3	960,9	
Minimum [%]	0	0	0	0,0%
Maximum [%]	55,4	51,1	55,4	8,5%
Mittelwert [%]	19,8	17,4	25,3	45,6%
Median [%]	17,4	15,22	24,46	60,7%
1. Quartile (25% Perzentilwert) [%]	10,9	9,8	17,4	77,8%
3. Quartile (75% Perzentilwert) [%]	26,1	23,4	34,8	48,8%
Standardabweichung [%]	11,3	10,0	12,1	20,7%
Variationskoeffizient [-]	0,570	0,578	0,479	-17,1%

Max. Dauer zusammenhängender GWL (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa) im Sommer (Jun.-Aug.)				Veränderung 1969 - 2006 zu 1881 - 1968 [%]
Zeiträume	1881 - 2006	1881 - 1968	1969 - 2006	
Anzahl der Werte [-]	126	88	38	
Summe [Tage]	1052	616	436	
Minimum [Tage]	0	0	0	0,0%
Maximum [Tage]	25	23	25	8,7%
Mittelwert [Tage]	8,4	7	11,5	64,3%
Median [Tage]	7	6	11	83,3%
1. Quartile (25% Perzentilwert) [Tage]	5	5	8	60,0%
3. Quartile (75% Perzentilwert) [Tage]	10	8,5	16	88,2%
Standardabweichung [Tage]	4,9	3,6	6,0	68,7%
Variationskoeffizient [-]	0,583	0,508	0,522	2,9%

Tab. 3.4: Statistische Auswertung der Häufigkeiten und der maximalen Dauer zusammenhängender Perioden der kombinierten „kritischen“ GWL „BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa“ im Sommer (Juni–August) für die Zeiträume vor und nach dem Bruchpunkt 1968, nach Caspary (2007).

In Abb. 3.10 werden Sommer mit großer Häufigkeit an kombinierten BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa-Wetterlagen ($f \geq 35\%$) und einer langen zusammenhängenden BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa -Periode ($T_{\max} \geq 15$ Tage) betrachtet. Es fällt sofort auf, dass die extremen Trockenperioden und Niedrigwasserjahre 1947, 1976, 1991 und 2003 alle im grau hinterlegten „kritischen“ Sektor, in der oberen rechten Ecke von Abb. 3.10 liegen. Während in den 88 Jahren des Zeitraumes 1881-1968 nur ein Sommer, das extreme Trockenjahr 1947, im grau hinterlegten „kritischen“ Sektor lag, entfallen 7 der letzten 38 Sommer und damit 18,4% auf den Zeitraum nach dem Bruchpunkt (1969–2006). Diese beinhalten die extremen Trockensommer und Hitzewellen der Jahre 1976, 1991 und 2003. Hieraus folgt, dass **die Eintrittswahrscheinlichkeit einen trockenen, heißen Sommer im „kritischen“ Sektor ($T_{\max} \geq 15$ Tage $\cap f \geq 35\%$) zu erhalten bereits heute im Vergleich zu dem Zeitraum vor dem Bruchpunkt um mehr als den Faktor 16 angestiegen ist!**

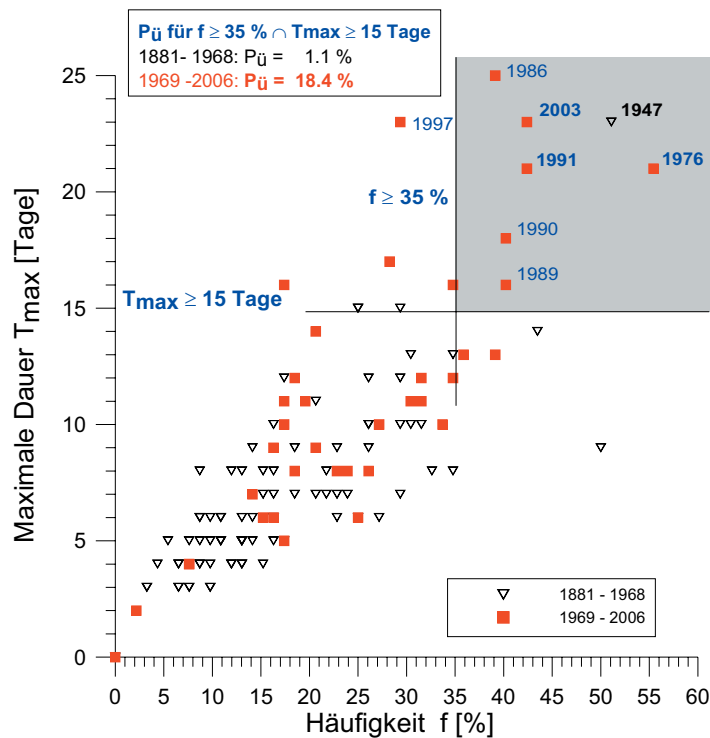


Abb. 3.10: Max. Dauer T_{max} zusammenhängender BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa-Perioden als Funktion der Häufigkeit f [%] für die Sommer (Juni–August) der Zeiträume 1881–1968 und 1969–2006 mit „kritischem“ Sektor ($T_{max} \geq 15$ Tage $\cap f \geq 35\%$); nach Caspary (2007).

In Tab. 3.5 sind die Ergebnisse der Bruchpunktanalysen sowohl hinsichtlich der Häufigkeiten als auch hinsichtlich der maximalen Dauer zusammenhängender Perioden mit „kritischen“ Großwetterlagen nochmals zusammengefasst. Hierin sind neben dem Sommer (Juni–August) auch die Ergebnisse für die Vegetationsperioden (April–September) enthalten. Die Zeitreihen zeigen für die GWL BM sowohl für die Häufigkeiten als auch die maximale Dauer zusammenhängender BM-Perioden für die Sommer (Juni–August) und die Vegetationsperioden (Mai–September) hochsignifikante Bruchpunkte (99 %-Niveau) im Jahr 1972.

GWL	Parameter	Jahreszeit	Messzeitraum	Bruchpunkt im Jahr	Testverfahren	Signifikanzniveau [%]
BM	Häufigkeiten	Juni - Aug.	1881-2006	1972	Pettitt, Cum. Sum	99%
BM	max. Dauer	Juni - Aug.	1881-2006	1972	Pettitt, Cum. Sum	99%
BM	Häufigkeiten	April - Sept.	1881-2006	1972	Cum. Sum	99%
BM	max. Dauer	April - Sept.	1881-2006	1974	Pettitt, Cum. Sum	99%
BM + HNa	Häufigkeiten	Juni - Aug.	1881-2006	1972	Pettitt, Cum. Sum	99%
BM + HNa	max. Dauer	Juni - Aug.	1881-2006	1972	Pettitt, Cum. Sum	95%
BM+HNa+NEa	Häufigkeiten	Juni - Aug.	1881-2006	1968	Pettitt	99%
+HFa + HNFa + SEa	max. Dauer	Juni - Aug.	1881-2006	1968	Pettitt, Cum. Sum	99%
BM+HNa+NEa	Häufigkeiten	April - Sept.	1881-2006	1985	Pettitt, Cum. Sum	95%
+HFa + HNFa + SEa	max. Dauer	April - Sept.	1881-2006	1985	Pettitt, Cum. Sum, Worsley	99%
	45 Tagefenster	April - Sept.	1881-2006	1985	Pettitt, Cum. Sum, Worsley	99%

Tab. 3.5: Ergebnisse der Bruchpunktanalyse für die zusammengefassten „kritischen“ Trocken- GWL- perioden und Hitzewellen auslösenden Großwetterlagen; nach Caspary (2007).



3.4.2 Ergebnisse für die kombinierten Trocken-GWL für die Vegetationsperioden

In Abschnitt 3.4.1 wurde die Bedeutung der Kombination der Trocken-GWL (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa) für Trockenperioden und Hitzewellen im Sommer (JJA) gezeigt. Extreme Niedrigwasser und lange Dürreperioden mit großen Schäden für die Landwirtschaft werden auch durch extrem lang andauernde trockene Wetterlagen in der **Vegetationsperiode (April–September)** verursacht. Aus diesem Grund wird nachfolgend die Zeitreihe der zusammengefassten Trocken-GWL (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa) hinsichtlich systematischer Veränderungen (Trend, Bruchpunkte) in der Vegetationsperiode (April–September) des Messzeitraumes 1881–2006 analysiert. In Abb. 3.11 sind die Häufigkeiten und in Abb. 3.12 die maximalen Dauern zusammenhängender Perioden der Trocken-GWL (BM+HNa+NEa+ HFa+HNFa+SEa) für die Vegetationsperioden (April–September) des Zeitraumes 1881–2006 zusammen mit einer Ausgleichskurve in Form eines gleitenden Mittels über 11 Jahre dargestellt. Sehr aufschlussreich ist die nähere Betrachtung der einzelnen „Peaks“ in Abb. 3.11 und Abb. 3.12. Sie zeigen ein nahezu vollständiges Bild der extremen Trocken- und Niedrigwasserjahre der vergangenen Jahrzehnte wie 1921, 1947, 1959, 1976, 1991 und 2003. Analog zu Abb. 3.8 zeigen die Häufigkeiten der kombinierten Trocken-GWL (BM+HNa+ NEa+HFa+HNFa+SEa) und die maximalen Dauern für die Vegetationsperioden seit Mitte der 80iger Jahre einen starken Anstieg, der für die Häufigkeiten auf dem 95 %-Niveau und für die zusammenhängenden Dauern auf dem 99 %-Niveau statistisch signifikant ist. Eine weitergehende statistische Analyse zeigt sowohl für die **Häufigkeiten als auch die maximalen Dauern zusammenhängender Trocken-GWL (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa) einen übereinstimmenden Bruchpunkt im Jahr 1985**. Dieser ist für die Häufigkeiten auf dem 95 %-Niveau und für die maximalen Dauern auf dem 99 %-Niveau statistisch signifikant.

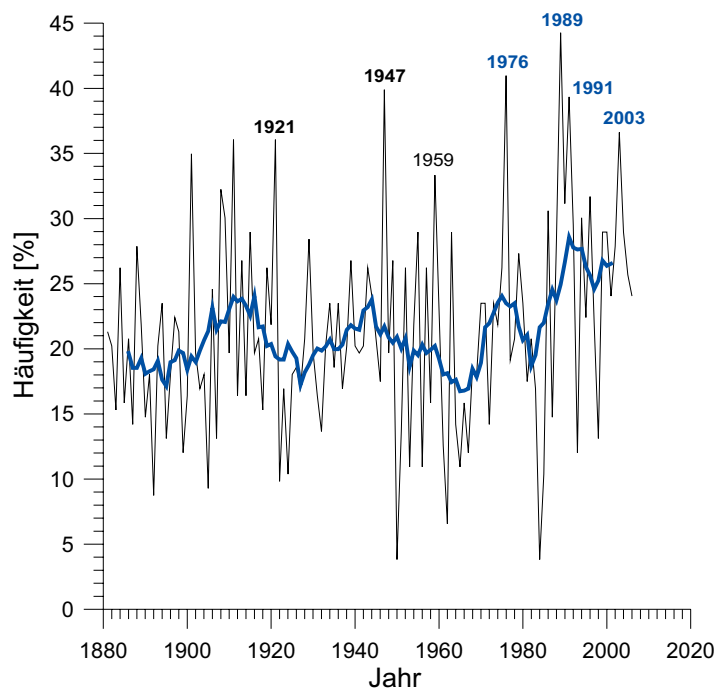


Abb. 3.11: Häufigkeiten der kombinierten Trocken-GWL (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa) in der Vegetationsperiode (April–September) des Zeitraumes 1881–2006. Ausgleichskurve: gleitendes Mittel über 11 Jahre. Wetterlagendefinition vgl. Tab. 3.1; nach Caspary (2007).

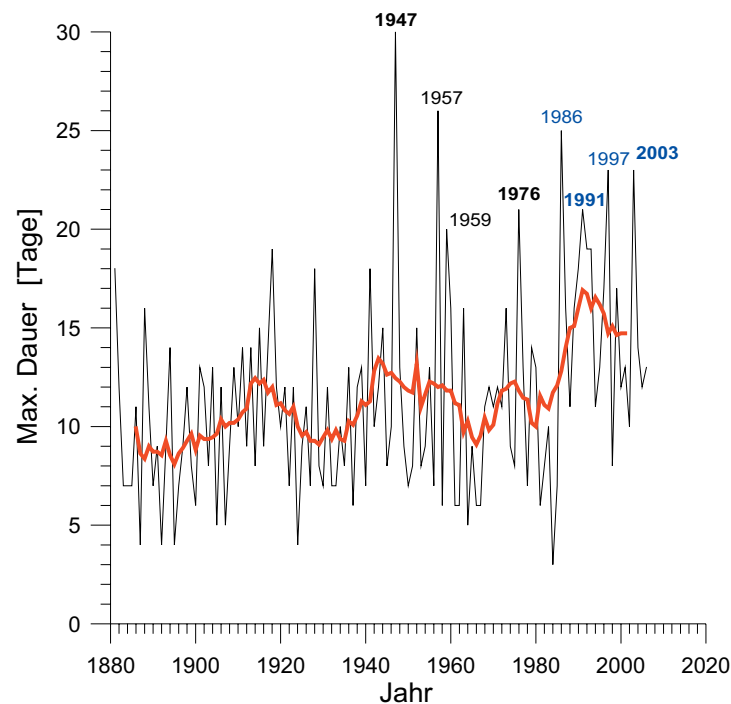


Abb. 3.12: Maximale Dauer zusammenhängender Perioden der kombinierten Trocken-GWL (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa) in der Vegetationsperiode (April–September) des Zeitraumes 1881–2006. Ausgleichskurve: gleitendes Mittel über 11 Jahre. Wetterlagendefinition vgl. Tab. 3.1; nach Caspary (2007).

Tab.3.6 zeigt eine statistische Auswertung der Häufigkeiten und der maximalen Dauer zusammenhängender Perioden der Kombination „kritischer“ Trocken-GWL „BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa“ für die Vegetationsperioden (April–September) verschiedener Zeiträume. Neben den Ergebnissen für den Gesamtzeitraum (1881–2006) ist eine getrennte Auswertung für die Zeit vor (1881–1985) und nach dem Bruchpunkt (1986–2006) vorgenommen worden. Hieraus wird deutlich, dass für die **Häufigkeiten** die Maximalwerte (+ 8 %) und die Variabilität, gemessen an der Standardabweichung (+ 12,5 %) nur geringfügig ansteigen, wohingegen die **Mittelwerte (+ 36 %) in der Zeit nach dem Bruchpunkt 1985 deutlich zugenommen haben. Für die maximale Dauer zusammenhängender Trocken-GWL-Perioden (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa) haben der Maximalwert um 9 %, der Mittelwert um 64 % und die Standardabweichung um 69 % sehr stark zugenommen.**

In [Abb. 3.13](#) werden Vegetationsperioden mit großer Häufigkeit an kombinierten Trocken-GWL (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa) ($f \geq 30\%$) und einer langen zusammenhängenden (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa) -Periode ($T_{\max} \geq 20$ Tage) betrachtet. Analog zu [Abb. 3.10](#) fällt auch hier sofort auf, dass die **Trocken- und Niedrigwasserjahre 1947, 1976, 1991 und 2003 alle im grau hinterlegten „kritischen“ Sektor**, in der oberen rechten Ecke von [Abb. 3.13](#) liegen. Während in den 105 Jahren des Zeitraumes 1881–1985 nur drei Vegetationsperioden, die Trockenjahre 1947, 1959 und 1976, im grau hinterlegten „kritischen“ Sektor liegen, entfallen 3 der letzten 21 und damit 14,3 % auf den Zeitraum nach dem Bruchpunkt (1986–2006). Diese beinhalten die extremen Trocken- und Niedrigwasserperioden der Jahre 1991 und 2003. Hieraus folgt, dass **die Eintrittswahrscheinlichkeit eine extrem trockene Vegetationszeit im „kritischen“ Sektor ($T_{\max} \geq 20$ Tage \cap $f \geq 30\%$) zu erhalten bereits heute im Vergleich zu dem Zeitraum vor dem Bruchpunkt um den Faktor 5 angestiegen ist!**



Häufigkeiten der zusammengefassten GWL (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa) in der Vegetationsperiode (April - Sept.)				Veränderung
Zeiträume	1881 - 2006	1881 - 1985	1986 - 2006	1986 - 2006 zu 1881 - 1985 [%]
Anzahl der Werte [-]	126	105	21	
Summe	2690,2	2115,8	574,3	
Minimum [%]	3,8	3,8	12,0	214,3%
Maximum [%]	44,3	41,0	44,3	8,0%
Mittelwert [%]	21,4	20,2	27,3	35,7%
Median [%]	20,8	19,7	29,0	47,2%
1. Quartile (25% Perzentilwert) [%]	16,4	15,8	23,6	49,1%
3. Quartile (75% Perzentilwert) [%]	26,2	23,5	30,7	30,8%
Standardabweichung [%]	7,7	7,0	7,93	12,5%
Variationskoeffizient [-]	0,358	0,350	0,290	-17,1%

Max. Dauer zusammenhängender GWL (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa) in der Vegetationsperiode (April - Sept.)				Veränderung
Zeiträume	1881 - 2006	1881 - 1985	1986 - 2006	1986 - 2006 zu 1881 - 1985 [%]
Anzahl der Werte [-]	126	105	21	
Summe [Tage]	1433	1102	331	
Minimum [Tage]	3	3	8	0,0%
Maximum [Tage]	30	30	25	-16,7%
Mittelwert [Tage]	11,4	10,5	15,8	50,5%
Median [Tage]	11	10	16	60,0%
1. Quartile (25% Perzentilwert) [Tage]	8	7	12	71,4%
3. Quartile (75% Perzentilwert) [Tage]	14	13	19	46,2%
Standardabweichung [Tage]	4,95	4,54	4,69	3,3%
Variationskoeffizient [-]	0,43543	0,43224	0,29751	-31,2%

Max. Dauer der GWL (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa) im gleitenden 45-Tagefenster in der Vegetationsperiode (April - Sept.)				Veränderung
Zeiträume	1881 - 2006	1881 - 1985	1986 - 2006	1986 - 2006 zu 1881 - 1985 [%]
Anzahl der Werte [-]	126	105	21	
Summe [Tage]	2441	1919	522	
Minimum [Tage]	5	5	13	0,0%
Maximum [Tage]	41	41	34	-17,1%
Mittelwert [Tage]	19,4	18,3	24,9	36,1%
Median [Tage]	19	18	24	33,3%
1. Quartile (25% Perzentilwert) [Tage]	14	13	22	69,2%
3. Quartile (75% Perzentilwert) [Tage]	24	23	28,3	23,0%
Standardabweichung [Tage]	6,5	6,3	5,0	-19,5%
Variationskoeffizient [-]	0,337	0,342	0,202	-40,8%

Tab. 3.6: Statistische Auswertung der Häufigkeiten, der maximalen Dauer zusammenhängender Perioden und der maximalen Dauer im gleitenden 45-Tagefenster der kombinierten „kritischen“ Trocken-GWL (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa) in der Vegetationsperiode (April–September) für die Zeiträume vor und nach dem Bruchpunkt 1985; nach Caspary (2007).

Zusätzlich wurde die maximale Dauer der „kritischen“ Trocken-GWL im gleitenden 45-Tagefenster für die Vegetationsperioden (April–September) des Zeitraumes 1881–2006 untersucht. Hierbei müssen die zugehörigen Zeiträume nicht zusammenhängen, sondern können durch Tage mit anderen GWL unterbrochen werden. Abb. 3.14 zeigt die zugehörige Zeitreihe. Analog zu Abb. 3.12 sind an den „Peaks“ auch hier die extremen Trockenjahre 1947, 1976, 1991 und 2003 deutlich ablesbar. Die Zeitreihe zeigt analog zu Abb. 3.12 einen auf dem 99%-Niveau statistisch hochsignifikanten ansteigenden Trend. Gemäß Tab. 3.6 liegt der hochsignifikante Bruchpunkt analog zu den zusammenhängenden maximalen Dauern der Trocken-GWL (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa) im Jahr 1985.

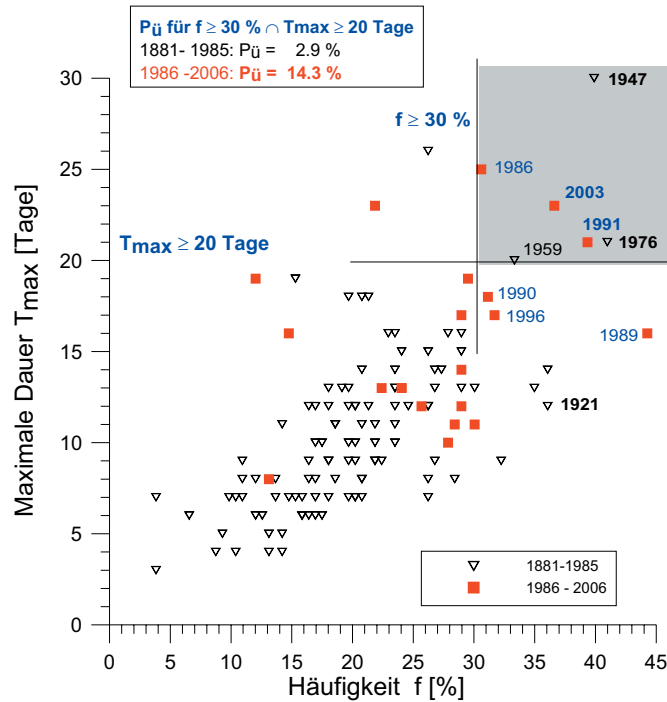


Abb. 3.13: Max. Dauer T_{\max} zusammenhängender Trocken-GWL-Perioden (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa) als Funktion der Häufigkeit f [%] für die Vegetationsperioden (April–September) der Zeiträume 1881–1985 und 1986–2006 mit „kritischem“ Sektor ($T_{\max} \geq 20$ Tage \cap $f \geq 30\%$); nach Caspary (2007).

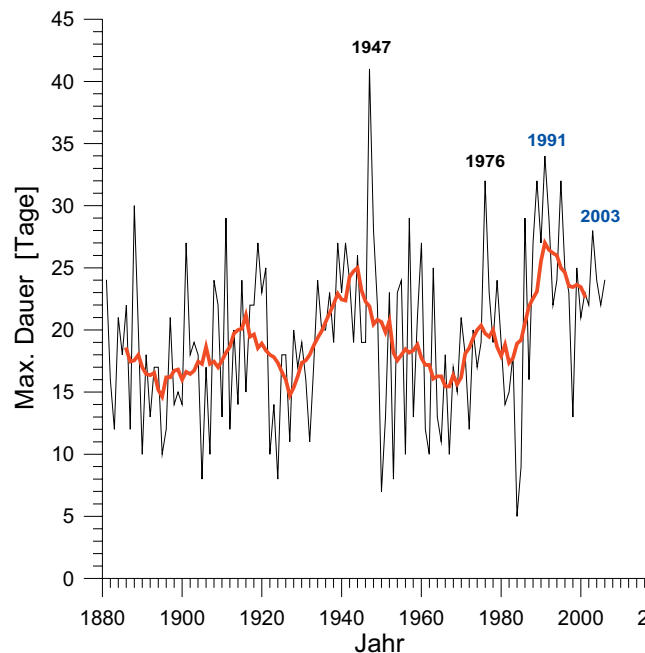


Abb. 3.14: Maximale Dauer der „kritischen“ Trocken-GWL (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa) im gleitenden 45-Tagefenster für die Vegetationsperioden (April–September) des Zeitraumes 1881–2006. Ausgleichskurve: gleitendes Mittel über 11 Jahre. Wetterlagendefinition vgl. Tab. 3.1; nach Caspary (2007).



Analog zu Abb. 3.13 werden in Abb. 3.15 die Vegetationsperioden mit großer Häufigkeit ($f \geq 30\%$) an kombinierten Trocken-GWL (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa) und die maximale Dauer dieser, nicht zusammenhängenden GWL im gleitenden 45-Tagefenster ($T_{\max} \geq 25$ Tage) in einem Scatterplot betrachtet. Analog zu Abb. 3.13 fällt auch hier sofort auf, dass die **Trocken- und Niedrigwasserjahre 1947, 1976, 1991 und 2003 alle im grau hinterlegten „kritischen“ Sektor**, in der oberen rechten Ecke von Abb. 3.29 liegen. Während in den 105 Jahren des Zeitraumes 1881–1985 nur fünf Vegetationsperioden mit den Trockenjahren 1921, 1947 und 1976, im grau hinterlegten „kritischen“ Sektor liegen, entfallen 6 der letzten 21 und damit 28,6 % auf den Zeitraum nach dem Bruchpunkt (1986–2006). Diese beinhalten die extremen Trocken- und Niedrigwasserperioden der Jahre 1991 und 2003. Hieraus folgt, dass **die Eintrittswahrscheinlichkeit eine extrem trockene Vegetationszeit im „kritischen“ Sektor ($T_{\max} \geq 25$ Tage $\cap f \geq 30\%$) zu erhalten bereits heute im Vergleich zu dem Zeitraum vor dem Bruchpunkt um nahezu den Faktor 6 angestiegen ist!**

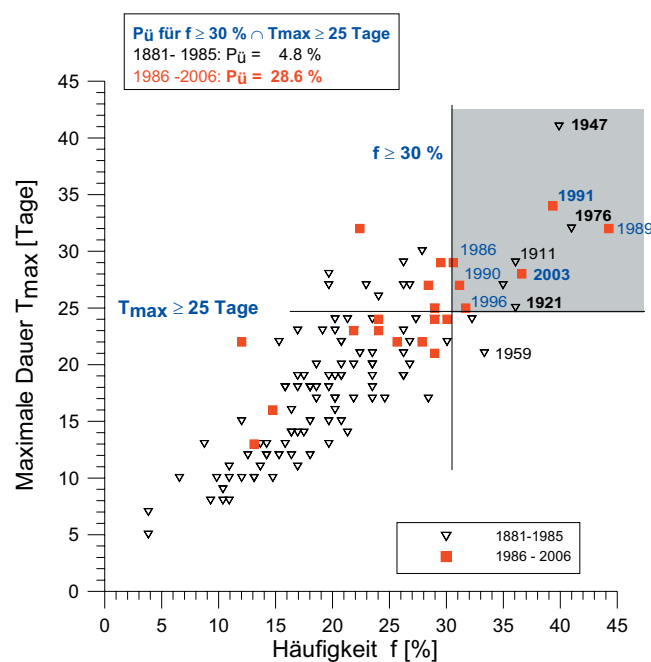


Abb. 3.15: Max. Dauer T_{\max} der „kritischen“ Trocken-GWL (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa) im gleitenden 45-Tagefenster als Funktion der Häufigkeit f [%] für die Vegetationsperioden (April–September) der Zeiträume 1881–1985 und 1986–2006 mit „kritischem“ Sektor ($T_{\max} \geq 25$ Tage $\cap f \geq 30\%$); nach Caspary (2007).

Zusammenfassend kann somit gefolgert werden, dass die „kritischen“, Trockenperioden auslösenden Trocken-GWL-Kombination (BM+HNa+NEa+HFa+HNFa+SEa) sowohl im Sommer (JJA) als auch in der Vegetationsperiode (April–September) hochsignifikant ansteigende Trends für die Häufigkeiten wie die maximale Dauer zusammenhängender Trocken-GWL aufweisen. Die signifikanten Bruchpunkte liegen für die Sommerzeitreihen (JJA) im Jahr 1968, für die Vegetationsperioden (April–September) im Jahr 1985. Die extremen Trockenjahre (1921, 1947, 1976, 1991 und 2003) lassen sich als „Peaks“ in den Zeitreihen der Häufigkeiten und maximalen Dauern direkt ablesen. Besonders deutlich erkennbar sind sie in den Scatterplots. **Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines trocken, heißen Sommers hat im Vergleich zum Zeitraum vor 1968 um den Faktor 15 zugenommen. Die Wahrscheinlichkeit einer extrem trockenen Vegetationsperiode und ausgeprägten Niedrigwasserjahres ist im Vergleich zum Zeitraum vor 1985 um den Faktor 5 angestiegen!**

4. Objektive, auf Trocken- und Niedrigwasserperioden optimierte CP-Klassifikation

4.1 Datengrundlage und Methodik der objektiven CP-Klassifikation

4.1.1 Datengrundlage

Damit auch Klimamodelldaten hinsichtlich „kritischer“ atmosphärischer Zirkulationsmuster (Circulation Pattern (CP)) untersucht werden können, ist zunächst eine automatisierte, objektive Klassifikation der Wetterlagen erforderlich. Als Datengrundlage dienen tägliche Reanalysen des mittleren Bodenluftdruckes (Mean Sea Level Pressure = MSLP) für den Zeitraum 01.01.1900–31.12.2007 des *National Center for Atmospheric Research (NCAR)* in Boulder/Colorado, die in einem Raster von $5^\circ \times 5^\circ$ vorliegen. Wegen fehlender Bodenluftdruckmesswerte weist die Messreihe im Zeitraum Dezember 1944–Dezember 1945 eine Lücke auf. Wie bereits in Abschnitt 2.2 ausgeführt, wurden abweichend vom Angebot die NCAR-Daten gewählt, da sie mit 108 Jahren eine wesentlich längere Zeitreihe als die Reanalysen des *National Center for Environmental Prediction (NCEP)* abdecken. Die NCEP-Zeitreihe hat zwar mit $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ eine höhere räumliche Auflösung, umfasst dafür jedoch nur den Zeitraum von 1960–1990. Für den längeren Zeitraum der NCAR-Zeitreihe ist der Nachweis möglicher Veränderungen (Trends, Bruchpunkte) wesentlich einfacher und zuverlässiger möglich. Aus den in einem Raster von $5^\circ \times 5^\circ$ global vorliegenden Daten wird ein „Europäisches Fenster“ für den Bereich 10° W bis 25° E und 30° N bis 70° N herangezogen. Die Optimierung der objektiven CP-Klassifikation erfolgte auf der Basis der täglichen NCAR-MSLP-Daten ($5^\circ \times 5^\circ$) und den täglichen Niederschlagsdaten für die Gesamtjahre des Zeitraumes 01.01.1985–31.12.1999. Hierbei wurden für jedes der Bundesländer Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Bayern jeweils 2 räumlich möglichst weit auseinander liegende Cluster von Niederschlagsstationen ausgewählt. Für Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz umfassen die Cluster jeweils 25 Stationen, für Bayern 30 Stationen. [Abb. 4.1.1](#) zeigt die verfügbaren und die zu Cluster zusammengefassten Niederschlagsstationen der einzelnen Bundesländer. Die CP-Klassifikation erfolgte durch Prof. Bárdossy vom Institut für Wasserbau (IWS) der Universität Stuttgart mit Hilfe des im Rahmen des EU-Forschungsprojektes *“Ensemble-based predictions of Climate Changes and their impacts (ENSEMBLES)”* entwickelten Klassifikationsmodells, das für die vorliegende Untersuchung wesentlich weiterentwickelt wurde. Es wurden 4 verschiedene CP-Klassifikationen erstellt, die die besonderen hydrometeorologischen Bedingungen der 3 Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz erfassen sollen. Die gemeinsame CP-Klassifikation, die für alle 3 Länder gültig ist, umfasst 17 CPs. Die speziell für Baden-Württemberg optimierte Klassifikation ergab 18 CPs, für Rheinland-Pfalz 20 CPs und für Bayern 21 CPs. Zur Berechnung der CP-Anomalien wurden die 12 Uhr-Werte des Bodenluftdruckes aus den MSLP-Daten der NCAR-Reanalysen verwandt.

4.1.2 Methodik der objektiven, auf Trockenperioden optimierten CP-Klassifikation

4.1.2.1 Grundzüge der auf Fuzzy-Regeln basierenden CP-Klassifikation

Der nachfolgende Abschnitt wurde teilweise aus den Gutachten 2005 und 2007 (*Caspary, 2005, 2007*) übernommen, da bereits für diese Untersuchungen eine objektive CP-Klassifikation mit Hilfe von MSLP-Reanalysedaten durchgeführt wurde. Die mittlere Luftdruckverteilung über dem Nordatlantik und dem europäischen Raum ist bestimmend für unser Wettergeschehen. Traditionell konzentriert sich die synoptische Meteorologie auf die absolute Topographie von Flächen



gleichen Druckes, d.h. deren Höhe über dem Meeresspiegel. Vor allem die Topographie des 500 hPa und 700 hPa Niveaus sowie der Bodenluftdruck bestimmen die Nordatlantische Zirkulation, d.h. die Strömungen der Luft sowie die Zugrichtung von Zyklonen und Frontalsystemen. Daher bilden Reanalysen der täglichen Höhen bestimmter Druckniveaus eine wesentliche Datengrundlage für die Fuzzy-Regel basierte Wetterlagenklassifikation, die auf dem Konzept unscharfer Mengen beruht (Bárdossy & Duckstein, 1995). Im Rahmen der CP-Klassifikation werden tägliche standardisierte Druckanomalien $g(u_k, t)$ betrachtet, d.h. die normierte Abweichung der Druckhöhe $h(u_k, t)$ vom langjährigen Mittelwert h . Dabei werden die Anomalien analog zu Abschnitt 3.3 mit Gl. (3.1) berechnet.

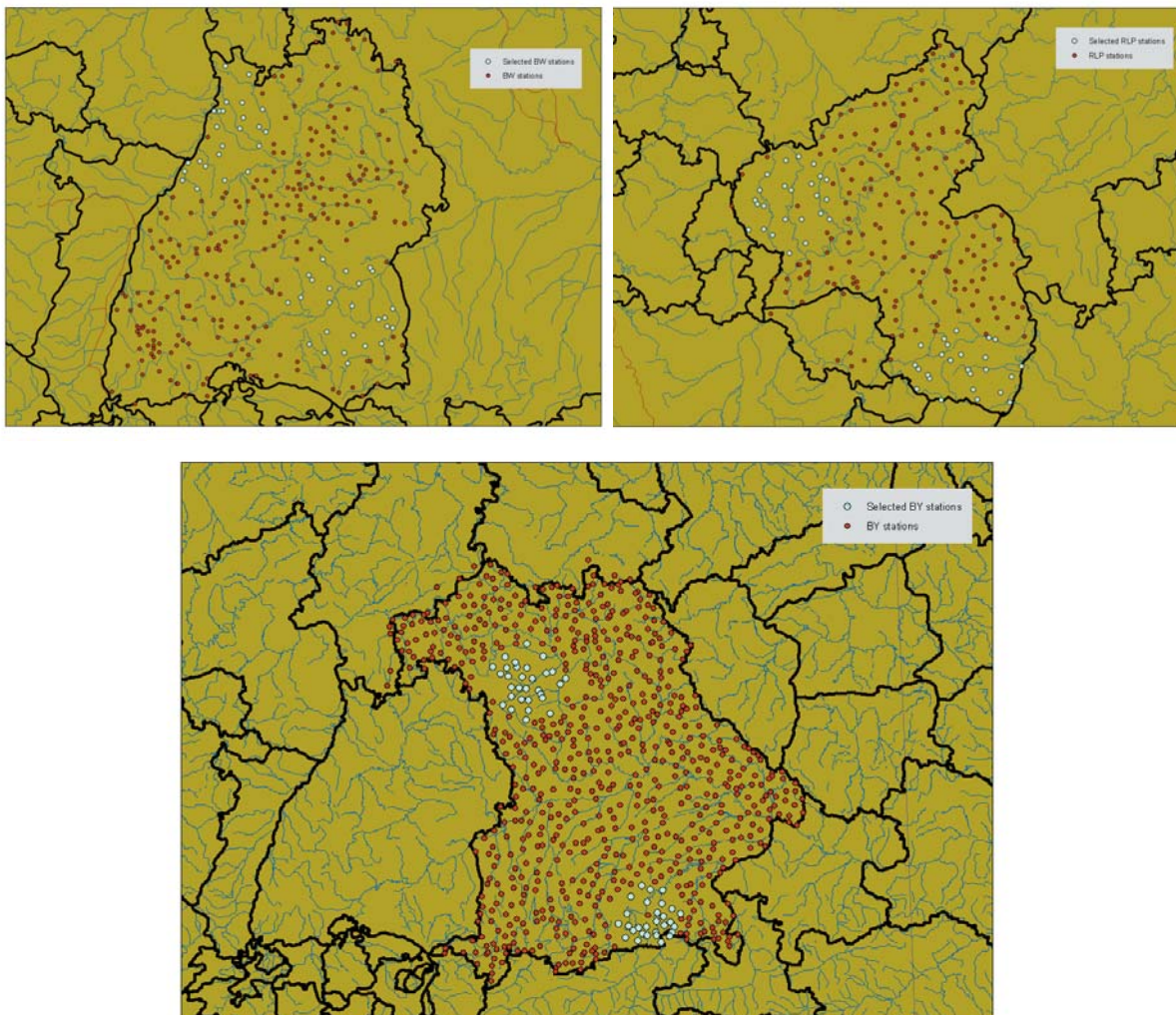


Abb. 4.1.1: Übersichtskarten der Bundesländer Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Bayern mit den verfügbaren Niederschlagsstationen und den jeweils zu Clustern zusammengefassten Niederschlagsstationen (helle Punkte), die bei der jeweiligen objektiven CP-Klassifikation verwendet wurden.

Die zu einer Wetterlage gehörigen Fuzzy-Regeln sind eine unscharfe Beschreibung eines typischen Druckmusters, welche die Position und Art der Druckanomalien anhand der folgenden Kategorien charakterisiert:

- sehr niedrige Werte ($i = 1$)
- niedrige Werte ($i = 2$)
- hohe Werte ($i = 3$)
- sehr hohe Werte ($i = 4$)
- Werte, die keinen Einfluss auf das Ergebnis haben ($i = 5$)

Für jeden CP werden etwa 20 charakteristische Rasterpunkte ausgesucht, denen die Werte 1 bis 4 zugeordnet werden. Jedem Tag wird ein CP zugeordnet, wobei die Zuordnung durch den Vergleich der Anomalien mit den Regeln erfolgt. Das ähnlichste Muster wird dem jeweiligen Tag zugeordnet. Die auf der Basis des optimierten Regelwerks abgeleiteten Wetterlagen sollen die raum-zeitliche Variabilität des Niederschlages im Zielgebiet möglichst gut erklären. Um dies zu gewährleisten, können z. B. Zielfunktionen auf der Basis lokaler Niederschlagszeitreihen betrachtet werden.

In der Untersuchung vom Dezember 2005 (*Caspary, 2005*) ging es um die möglichst optimale Klassifikation hochwasserrelevanter Wetterlagen. Dazu wurde die Zielfunktion auf Basis der täglichen Anstiege (ΔQ) des Abflusses für mehrere Einzugsgebiete definiert.

In der vorliegenden Untersuchung erfolgt die CP-Optimierung so, dass Zirkulationsmuster hinsichtlich möglichst trockener CPs optimiert werden. Hierzu erfolgt die Optimierung auf der Grundlage eines Feuchteindex auf der Basis von Tageswerten des Niederschlages im Zeitraum 1985–1999 für je ca. 50 Niederschlagsstationen der Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz. Der **Feuchteindex WI** ist dabei der Quotient aus dem Prozentanteil des saisonalen mittleren Niederschlages, der bei einem bestimmten CP auftritt und der Häufigkeit des mittleren saisonalen Auftretens des jeweiligen CP. Für überdurchschnittlich trockene CPs ergibt sich hierdurch ein Feuchteindex deutlich kleiner 1. Die Optimierung versucht nun solche CPs zu klassifizieren, die sich hinsichtlich des Feuchteindex kleiner 1 deutlich unterscheiden und damit Trockenperioden besonders gut erklären. Hierdurch wird eine automatisierte, objektive Trockenperioden-CP-Klassifikation erreicht, die auch auf Klimamodelldaten angewandt werden kann. Dabei werden auf der Grundlage gerasterter Tageswerte des Bodenluftdruckes aus den NCAR-Reanalysen Trockenwetter-CPs klassifiziert.



4.1.2.2 Niederschlagsbezogene Zielfunktionen

In *Bardossy et al. (2002)* wird eine auf Niederschlagsdaten basierende Zielfunktion gemäß Gl. (4.1) für die Optimierung der objektiven CP-Klassifikation vorgeschlagen, wobei die Niederschläge an mehreren Stationen gemessen wurden:

$$O_1(\theta) = \sum_{s=1}^S \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (p(CP(t))_i - \bar{p}_i)^2} \quad (4.1)$$

Hierin ist S die Anzahl der Niederschlagsstationen, T ist die Anzahl der Tage, $p(CP(t))_i$ ist die **relative Niederschlagshäufigkeit** an einem Tag mit der Wetterlage CP, für den an der Station i ein bestimmter Niederschlagsschwellenwert θ überschritten wird. \bar{p}_i ist die relative Häufigkeit eines Tages, für den der Schwellenwert θ des Niederschlages überschritten wird, für alle Tage des Betrachtungszeitraumes T ohne CP-Klassifikation.

Für die **Niederschlagshöhe** kann die Zielfunktion mit Gl. (4.2) berechnet werden

$$O_2 = \sum_{s=1}^S \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left| \log \left(\frac{z(CP(t))_i}{\bar{z}_i} \right) \right| \quad (4.2)$$

Hierin ist $z(CP(t))_i$ die mittlere Niederschlagshöhe an der Station i an einem Tag mit der Wetterlage CP, wohingegen $\bar{z}_i(x)$ die mittlere Niederschlagshöhe an der Station i ohne CP-Klassifikation darstellt. Es kann auch eine lineare Kombination der Zielfunktionen aus Gl. (4.1) und (4.2) benutzt werden.

Große Werte der Funktion O_1 und O_2 zeigen, dass die spezifischen meteorologischen Bedingungen der optimierten Wetterlagen stark vom Durchschnitt abweichen. Die Wetterlagen sind entweder über- oder unterdurchschnittlich oft mit Niederschlag über dem Schwellenwert θ assoziiert. Dementsprechend spiegeln hohe Werte der Funktion O_2 wider, dass die Wetterlagen entweder über- oder unterdurchschnittlich große Tagesniederschläge verursachen. Der Logarithmus betont die Abweichungen Richtung kleiner Werte stärker, deshalb ist diese Klassifikation besser geeignet um trockene Wetterlagen zu identifizieren. Die Optimierung des Fuzzy-Regelwerks erfolgt mittels „Simulated Annealing“. Für weitere Details zur Optimierung wird auf (*Bárdossy, 2010 und Bárdossy et al., 2002*) verwiesen.

Das Problem mit Zielfunktionen dieser Art besteht darin, dass sie die Verknüpfungen für S Einzelstationen gleichzeitig zu optimieren versuchen. Wegen der großen Schiefe der Niederschlagsverteilung können diese Zielfunktionen eine sehr unregelmäßige Form aufweisen, für die eine Optimierung schwierig ist. Eine Möglichkeit, eine räumlich repräsentative, aber glattere Zielfunktion zu erhalten wird in *Bárdossy (2010)* aufgezeigt. Sie besteht in der Verwendung von Gebietsniederschlägen anstatt von Punktniederschlägen.

$$O_3 = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left| \log \left(\frac{z_A(CP(t))_i}{\bar{z}_{Ai}} \right) \right| \quad (4.3)$$

$$z_A(t) = \int_A z(x,t) dx$$

Eine andere mit Niederschlägen zusammenhängende Variable, die nicht durch die große Schiefe der Niederschlagshöhe beeinflusst wird, ist die flächenhafte Niederschlagsbedeckung. Diese ist gemäß Gl. (4.4) definiert als der Anteil an nassen Stationen in der Umgebung Δ :

$$C_\Delta(t) = \frac{\#\{x_i | x_i \in \Delta, z(x,t) > 0\}}{\#\{x_i | x_i \in \Delta\}} \quad (4.4)$$

Die zugehörige Zielfunktion kann mit Gl. (4.5) beschrieben werden.

$$O_4(\eta) = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (p_C(CP(t))_i - \bar{p}_{C_i})^2} \quad (4.5)$$

Hierin ist $p_C(CP(t))_i$ die relative Häufigkeit der Niederschlagsflächenbedeckung, die einen gewählten Schwellenwert η , an einem Tag mit der Wetterlage CP an der Station i überschreitet. \bar{p}_{C_i} ist die relative Häufigkeit an einem Tag mit der Niederschlagsflächenbedeckung von $0 \leq \eta < 1$ für alle Tage des Betrachtungszeitraumes T ohne CP-Klassifikation.

Für $\eta = 0$ ermöglicht die Zielfunktion die Erkennung von Situationen mit keinem Niederschlag in der Umgebung Δ was häufig Trockenperioden kennzeichnet. Im Gegensatz dazu ermöglicht die Zielfunktion für den Fall mit η nahe 1 das Herausfinden von Verhältnissen mit Niederschlag in der gesamten Umgebung Δ , was oft sehr nasse Verhältnisse kennzeichnet. Daher ermöglicht die Kombination der Zielfunktion gemäß Gl. (4.6) sowohl die CP-Optimierung von sehr nassen als auch sehr trockenen CPs.

$$O_4 = O_4(0) + O_4(0.999) \quad (4.6)$$

4.1.3 Gütemaße der objektiven CP-Klassifikation

Es ist wichtig Kriterien zu finden, mit Hilfe derer die Güte der CP-Klassifikation sowohl im Raum als auch in der Zeit bestimmt werden können. Wenngleich auch die Möglichkeit der CP-Klassifikation auf der Basis von täglichen Abflussdifferenzen besteht, die in der vorliegenden Untersuchung jedoch nicht angewandt wurde, so sollte die Güte der CP-Klassifikation dennoch auf der Grundlage von täglichen Niederschlagswerten bestimmt werden.

Eine gute CP-Klassifikation sollte zu Klassen führen, die sich für den ausgewählten Parameter stark von den klimatologischen Mittelwerten unterscheiden. Aus diesem Grund kann das gleiche Maß wie in der Zielfunktion nach Gl. (4.1) verwandt werden, um gemäß Gl. (4.7) punktweise die Güte der CP-Klassifikation zu beurteilen.



$$H_1(\theta)(x_i) = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (p(\text{CP}(t))(x_i) - \bar{p}(x_i))^2} \quad (4.7)$$

Das nachfolgend beschriebene Maß ist für die in der vorliegenden Untersuchung der Klassifikation von Trocken-CP von besonderer Bedeutung. Es kann zur mittleren Niederschlagshöhe in Verbindung gebracht werden. Es sei $\bar{z}(x)$ die mittlere tägliche Niederschlagshöhe an der Stelle x . Die mittlere tägliche Niederschlagshöhe für Tage mit dem Zirkulationsmuster (CP) α an der Stelle x sei $\bar{z}_\alpha(x)$. Das in Gl. (4.8) dargestellte Verhältnis dieser beiden Werte ist ein Maß für die relative Feuchte eines CP und wird daher als **Feuchteindex** $w_\alpha(x)$ (**wetness index**) bezeichnet.

$$w_\alpha(x) = \frac{\bar{z}_\alpha(x)}{\bar{z}(x)} \quad (4.8)$$

Ein Zirkulationsmuster mit dem Feuchteindex $w_\alpha(x) = 1,0$ liefert keine zusätzliche Information im Vergleich zur Klimatologie. Für nasse CP gilt $w_\alpha(x) > 1$. Für die in der vorliegenden Untersuchung analysierten trockenen CP gilt $w_\alpha(x) < 1$. Je stärker sich $w_\alpha(x)$ von 1 unterscheidet, umso besser beschreibt dieser CP das Niederschlagsverhalten. Die Gesamtgüte der CP-Klassifikation kann mit $H_2(x)$ nach Gl. (4.9) berechnet werden.

$$H_2(x_i) = \sum_{\alpha} h_{\alpha} \left| \frac{\bar{z}_{\alpha}(x_i)}{\bar{z}(x_i)} - 1 \right| \quad (4.9)$$

Der Feuchteindex $w_\alpha(x)$ kann mit Gl. (4.10) zur Güteabschätzung der CP-Klassifikation analog zur Zielfunktion O_2 gemäß Gl. (4.2) verwandt werden. Hierbei bedeutet h_{α} die relative Häufigkeit des CP α .

$$H_3(x_i) = \sum_{\alpha} h_{\alpha} \left| \log \left(\frac{\bar{z}_{\alpha}(x_i)}{\bar{z}(x_i)} \right) \right| \quad (4.10)$$

Die Größen $H_2(x)$ und $H_3(x)$ messen jeweils die Abweichungen vom klassifikationsunabhängigen Mittelwert. Hierbei erfasst $H_2(x)$ vornehmlich die Abweichungen für nasse Bedingungen, wohingegen $H_3(x)$ besonders gut überdurchschnittlich trockene Verhältnisse erfasst. In der vorliegenden Untersuchung spielt daher das Gütemaß $H_3(x)$ eine bedeutende Rolle.

Die in Abschnitt 4.1.2.1 beschriebene Methodik wurde auf die Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz angewandt. [Abb. 4.1.1](#) zeigt das zugehörige Niederschlagsmessnetz für die 3 Bundesländer mit den 294 Niederschlagsmessstationen für Baden-Württemberg, 740 Stationen für Bayern und 222 Stationen für Rheinland Pfalz.

Nachfolgend wird das Vorgehen für die CP-Klassifikation exemplarisch für Baden-Württemberg erläutert. Für die multisite niederschlagbasierte CP-Klassifikation mit den Zielfunktionen O_1 und O_2 gemäß Gl. (4.1) und Gl. (4.2) wurden die Tagesniederschläge von 30 N-Stationen verwendet, die gleichmäßig über die Landesfläche verteilt liegen. Die täglichen Gebietsniederschläge wurden für alle 9 Einzugsgebiete der 3 Bundesländer mit Hilfe der geostatistischen Methode des „External-Drift-Kriging“ nach (Ahmed & de Marsily, 1987) berechnet, wobei die topographische Höhe als External-Drift-Variable verwendet wurde. Hieraus wurde die Zielfunktion O_3 nach Gl. (4.3) bestimmt. Die Niederschlagsflächenbedeckung und damit die Zielfunktion O_4 gemäß Gl. (4.5) wurde für jeweils 2 Cluster von je 25 Niederschlagsstationen pro Bundesland berechnet. Diese sind in Abb. 4.2 als helle Punkte dargestellt.

4.1.4 Ergebnisse der objektiven CP-Klassifikation für Baden-Württemberg

Wie in Abschnitt 4.1.1 bereits ausgeführt, erfolgte die CP-Klassifikation auf der Grundlage des 12-Uhrwertes der täglichen NCAR-Bodenluftdruckdaten, die in einem Gitter von $5^\circ \times 5^\circ$ vorliegen. Für jede Zielfunktion wurde eine unterschiedliche Anzahl an CP zwischen 10 bis 22 unter Verwendung der in Abschnitt 4.1.2.1 beschriebenen Fuzzy-Regel basierten Methodik berechnet. Für die Optimierung der Regeln wurde hierbei der Zeitraum 1985–1998 benutzt.

Nachfolgend wird die Prüfung der Güte der CP-Klassifikation exemplarisch für die Verhältnisse in Baden-Württemberg erläutert. Hierzu wurden die Tagesniederschläge der 294 für Baden-Württemberg verfügbaren Niederschlagsstationen für den Beobachtungszeitraum 1958–2001 herangezogen. Das Gütemaß H_1 gemäß Gl. (4.7) wurde für 4 verschiedene Niederschlagsschwellenwerte θ ($\Theta_1 = 0$ mm, $\Theta_2 = 1$ mm, $\Theta_3 = 5$ mm und $\Theta_4 = 10$ mm) berechnet. Auch die Gütemaße H_2 und H_3 wurden für jede CP-Klassifikation und Niederschlagsstation berechnet, um die Ergebnisse für die verschiedenen CP-Klassifikationen vergleichen zu können.

Unter Verwendung aller verfügbaren Messstationen wurde für jedes Gütemaß die Summe über alle Stationen ermittelt, um ein möglichst umfassendes Gesamtgütemaß zu erhalten. Abb. 4.1.2 zeigt für die Zielfunktion O_4 die Mittelwerte der Gütemaße H_2 und H_3 für eine unterschiedliche Anzahl von Zirkulationsmustern. Infolge der teilweise heuristischen Art der CP-Klassifikation zeigen die Kurven in Abb. 4.1.2 einige zufällige Schwankungen. Es ist jedoch erkennbar, dass beide Gütemaße bis zu einer Anzahl von 18 CP zunehmen und danach leicht abnehmen. Für jede Zielfunktion wurde die optimale Anzahl der CPs mit Hilfe einer Kombination der Gütemaße $H_1(\Theta_j)$, H_2 und H_3 bestimmt. Die optimale Anzahl der Zirkulationsmuster lag hierbei zwischen 16 bis 21.

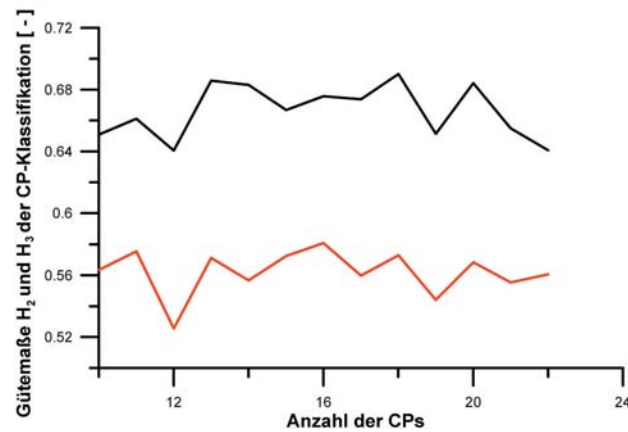


Abb. 4.1.2: Mittelwerte der Gütemaße H_2 (schwarze Linie) und H_3 (rote Linie) als Funktion der CP-Anzahl für die CP-Klassifikation von Baden-Württemberg mit der Zielfunktion O_4 und den Validierungszeitraum, aus (Bárdossy, 2010).

Nach dieser Methode wurde für jedes der 3 Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz die optimale Anzahl der CP bestimmt. Hieraus ergaben sich gemäß Tab. 4.1.1 für die gemeinsame CP-Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer (BW, BY und RLP) gültig ist, 17 CP, für die spezielle CP-Klassifikation für Baden-Württemberg 18 CP, für Bayern 21 CP und für Rheinland-Pfalz 20 CP.

CP-Klassifikation	optimierte CP-Anzahl
gemeinsame für BW, BY und RLP	17
Baden-Württemberg (BW)	18
Bayern (BY)	21
Rheinland-Pfalz (RLP)	20

Tab. 4.1.1: CP-Anzahl für die optimierten objektiven CP-Klassifikationen.

Tab. 4.1.2 zeigt die Gütemaße H_1 , H_2 und H_3 für die 18 CP umfassende CP-Klassifikation von Baden-Württemberg, basierend auf den unterschiedlichen Zielfunktionen O_1 bis O_4 . Es sei darauf hingewiesen, dass bei der Validierung der Zeitraum 1985–1998, für den die CP-Optimierung erfolgte, ausgeschlossen wurde. Je größer die Gütemaße H_1 , H_2 und H_3 sind, umso besser ist die CP-Klassifikation. Zum Vergleich enthält Tab. 4.1.2 auch die Gütemaße für die subjektive Klassifikation der Großwetterlagen nach Hess-Brezowsky (Hess & Brezowsky, 1969). In Bárdossy (2010) wird gezeigt, dass niederschlagsbasierte CP-Klassifikationen in der Regel besser sind als CP-Klassifikationen, die auf Abflussdifferenzen basieren. Aus Tab. 4.1.2 kann entnommen werden, dass die CP-Klassifikation auf der Basis der Gebietsniederschläge unter Verwendung der Zielfunktion O_3 gemäß Gl. (4.3) im Allgemeinen bessere Ergebnisse liefert als die Klassifikation unter Verwendung der Multisite-Zielfunktionen O_1 und O_2 . Die beste Klassifikationsgüte wurde unter Verwendung der Zielfunktion O_4 erreicht. In diesem Fall zeigt die objektive CP-Klassifikation sogar bessere Gütemaßwerte als die subjektive Großwetterlag enklassifikation nach Hess-Brezowsky (1969). Generell kann festgehalten werden, dass CP-Klassifikationen, die auf Gebietsniederschlägen beruhen besser sind, als solche, die nur auf einer Anzahl von Einzelstationen beruhen.

CP-Klassifikation	Jahreszeit	H ₁ (0.0 mm)	H ₁ (10.0 mm)	H ₂	H ₃
Hess & Brezowsky	Sommer	0,184	0,050	0,570	0,450
	Winter	0,209	0,051	0,735	0,529
O ₁ und O ₂	Sommer	0,180	0,057	0,578	0,498
	Winter	0,196	0,060	0,672	0,579
O ₃	Sommer	0,181	0,057	0,582	0,488
	Winter	0,204	0,062	0,714	0,590
O ₄	Sommer	0,194	0,057	0,629	0,510
	Winter	0,210	0,062	0,744	0,606

Tab. 4.1.2: Validierung der 18 CP umfassenden CP-Klassifikation für Baden-Württemberg für unterschiedliche Zielfunktionen (O₁ bis O₄) für die Sommer- (Mai–Oktober) und Winterhalbjahre (November–April). Die Klassifikationsgüte ist umso besser, je größer die Gütemaße H₁ bis H₃ sind.

Um die räumliche Beziehung zwischen den einzelnen CPs und den Tagesniederschlägen zu untersuchen, wurden die Parameter $p_{\alpha,i}(x)$ und $w_{\alpha}(x)$ auf der Basis der Gebietsniederschläge für alle 9 Einzugsgebiete der 3 Bundesländer berechnet. Die zugehörigen CP-Statistiktabellen sind in **Anhang I** für alle 4 CP-Klassifikationen und die 9 Einzugsgebiete zusammengestellt. Sie werden in Abschnitt 4.2.1 exemplarisch erläutert. Die Berechnungen erfolgten getrennt für das Sommer- (Mai–Oktober) und Winterhalbjahr (November–April), wobei in der vorliegenden Untersuchung nur die Ergebnisse für das Sommerhalbjahr verwandt wurden.

4.2 Methodisches Vorgehen zur Auswahl der objektiv klassifizierten Trocken- und Niedrigwasserperioden auslösenden „kritischen“ NCAR-Trocken-CPs

Das methodische Vorgehen zur Auswahl der Trocken- und Niedrigwasserperioden auslösenden objektiv klassifizierten „kritischen“ Trocken-CPs soll zunächst anhand der Klassifikation erläutert werden, die für alle 3 Bundesländer gültig ist. Sie umfasst 17 verschiedene CP. Auf der Basis von 4 Kriterien werden hieraus die „kritischen“ Trocken CP ausgewählt:

1. Anhand des Feuchteindex w_{α} , der aus den täglichen Gebietsniederschlägen der Sommerhalbjahre (Mai–Oktober) des Zeitraumes 1958–2001 für alle 9 Einzugsgebiete und für jeden CP berechnet wurde. Die Ergebnisse sind in den CP-Statistiktabellen im Anhang I zusammengestellt.
2. Anhand des Vergleiches der MSLP-Anomalien der Trocken-GWL, die in der Vergangenheit bereits extreme Trocken- und Niedrigwasserzeiten ausgelöst haben, mit den MSLP-Anomalien aus der objektiven CP-Klassifikation.
3. Anhand der Feuchteindexkarten der einzelnen Bundesländer
4. Anhand historischer Trocken- u. Niedrigwasserperioden, wie z.B. die Sommer 1976, 1991 und 2003.



4.2.1 CP-Statistiktabelle und Feuchteindex

Exemplarisch soll die Ermittlung der CP-Statistiktabelle für das Einzugsgebiet der Schussen am Pegel Gerbertshaus erläutert werden. Die CP-Statistiken wurden analog für alle in Tab. 2.1 zusammengestellten Einzugsgebiete berechnet. Auf Basis der Tageswerte des Niederschlages für die 294 für Baden-Württemberg vorliegenden Niederschlagsstationen wurde vom IWS (Prof. Bárdossy) der Universität Stuttgart für ganz Baden-Württemberg die Tagesniederschläge des Zeitraumes 1958–2001 in einem Raster von 1 x 1 km mit dem geostatistischen Verfahren des *External-Drift-Kriging* berechnet, wobei die topographische Höhe als External-Drift-Variable verwendet wurde. Hieraus wurden für die, auf das jeweilige Einzugsgebiet entfallenden Rasterquadrate, die täglichen Gebietsniederschläge ermittelt. Diese wurden getrennt nach hydrologischem Sommer- (01.05.–31.10.) und Winterhalbjahr (01.11.–30.04.) für jeden einzelnen CP ausgewertet. Tab. 4.2.1 zeigt das Ergebnis für die Sommerhalbjahre des Zeitraumes 1958–2001 für das 782 km² umfassende Einzugsgebiet der Schussen am Pegel Gerbertshaus.

Schussen / Pegel Gerbertshaus, A _E = 782 km ²								
Sommerhalbjahr (01.05. - 31.10.)								
CP	HH [%]	p _i (u) [%]	SUM [mm]	Anteil [%]	W _α = Anteil/HH [-]	m [mm]	s [mm]	MAX [mm]
CP01	5,78	41,97	619,1	2,45	0,42	3,38	5	32,1
CP02	6,1	23,7	427,1	1,69	0,28	3,92	7,12	40,4
CP03	6,27	88,37	3008	11,91	1,90	7,2	7,9	71,3
CP04	3,57	79,18	1375,6	5,44	1,53	6,46	8,02	59,7
CP05	10,17	77,31	3266,1	12,93	1,27	5,51	6,39	52,5
CP06	5,77	68,74	1430,4	5,66	0,98	4,78	5,75	35,5
CP07	6,39	46,68	796	3,15	0,49	3,54	5,09	29,6
CP08	4,75	30,17	415,1	1,64	0,35	3,84	7,59	55,4
CP09	6,52	83,13	3459,6	13,69	2,10	8,46	9,76	66,9
CP10	3,95	36,58	420	1,66	0,42	3,85	4,58	24,7
CP11	6,4	32,09	684,8	2,71	0,42	4,42	6,77	43,5
CP12	7,87	40,24	798,6	3,16	0,40	3,34	4,77	27,5
CP13	6,99	31,31	573,4	2,27	0,32	3,48	4,93	28,3
CP14	4,45	56,85	871,2	3,45	0,77	4,56	5,8	31,1
CP15	3,38	74,51	1320,6	5,23	1,55	6,95	7,75	36,3
CP16	3,09	87,98	1698	6,72	2,18	8,28	9	47,5
CP17	6,04	91,67	3184,6	12,61	2,09	7,62	8,13	50,7
CP99	2,52	62,63	916,2	3,63	1,44	7,7	10,45	59,5

Tab. 4.2.1: CP-Statistiken für das Einzugsgebiet des Schussen am Pegel Gerbertshaus. Datenbasis: Gebietsniederschläge der Sommerhalbjahre des Zeitraumes 01.05.1958–31.10.2001 für die 17 CP umfassende gemeinsame CP-Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer (Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz) gültig ist.

Hierin bedeuten:

CP01...CP17 = durchnummerierte objektiv klassifizierte Wetterlage,

HH = Häufigkeit [%] der Wetterlage CP_i in den Sommerhalbjahren,

p_i(u) = Wahrscheinlichkeit eines nassen Tages bei gegebener Wetterlage CP_i [%],

SUM = Summe des Gebietsniederschlages in [mm], der in allen Sommerhalbjahren des Betrachtungszeitraumes 1958–2001 bei der Wetterlage CP_i gefallen ist,

Anteil	= mittlerer Anteil von CP_i an der Summe des mittleren Sommerhalbjahresniederschlages [%],
$W_\alpha = \text{Anteil}/HH$	= Feuchteindex (Wetness index); der Quotient aus Anteil von CP_i am Sommer-niederschlag / Häufigkeit von CP_i gibt ein Maß für die Feuchte des jeweiligen CP_i ,
m	= mittlere Gebietsniederschlagshöhe an nassen Tagen mit der Wetterlage CP_i in [mm],
s	= Standardabweichung der Gebietsniederschlagshöhe an nassen Tagen mit Wetterlage CP_i in [mm],
Max	= Maximaler Tagesgebietsniederschlag im Sommerhalbjahr bei Wetterlage CP_i im Beobachtungszeitraum 1958–2001 in [mm].

In **Anhang I** sind die CP-Statistiktabellen für alle 4 CP-Klassifikationen und jeweils 3 Einzugsgebiete zusammengestellt. So enthält Anhang I z.B. für Baden-Württemberg je eine Tabelle für die Einzugsgebiete von Schussen/Gerbertshaus, Murg/Rotenfels und Neckar/Plochingen und die gemeinsame 17 CP-Klassifikation sowie 3 Tabellen für die speziell für Baden-Württemberg gültige 18 CP-Klassifikation.

In einem ersten Schritt werden als Trocken-CP alle diejenigen CP aus Tab. 4.2.1 ausgewählt, die einen **Feuchteindex $W_\alpha < 0,5$** aufweisen. Dies ergibt die gelb hinterlegten 8 CPs (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13). Diese 8 CPs werden als Trocken-CPs der für alle 3 Bundesländer gültigen objektiven 17 CP-Klassifikation betrachtet. Aus Spalte 3 von Tab. 4.2.1 kann entnommen werden, dass die Wahrscheinlichkeit eines nassen Tages für die CP02, CP08 und CP13 besonders klein ist. Auch die Feuchteindizes in Spalte 6 weisen für diese CPs die niedrigsten Werte aus. Diese 3 CPs erscheinen bei dieser Klassifikation besonders trocken zu sein.

In analoger Form wurden aus den CP-Statistiktabellen aus Anhang I die Trocken-CPs für die speziellen CP-Klassifikationen für Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz ausgewählt. Tab. 4.2.2 zeigt die Ergebnisse. Hiernach werden für Baden-Württemberg aus der 18 CP umfassende CP-Klassifikation die 8 CPs (CP02+CP03+CP04+CP06+CP11+CP12+ CP15+CP16) als BW-Trocken-CPs ausgewählt.

CP-Klassifikationen	Anzahl CP	Trocken-CPs									
gemeinsame für BW, RLP u. BY	17	CP01	CP02	CP07	CP08	CP10	CP11	CP12	CP13		
Baden-Württemberg	18	CP02	CP03	CP04	CP06	CP11	CP12	CP15	CP16		
Rheinland-Pfalz	20	CP01	CP03	CP04	CP08	CP12	CP13	CP14	CP19	CP20	
Bayern	21	CP02	CP04	CP06	CP07	CP08	CP12	CP16	CP19	CP21	

Tab. 4.2.2: Auf der Basis der CP-Statistiktabellen ausgewählte Trocken-CPs für die 17 CP umfassende gemeinsame CP-Klassifikation der 3 Bundesländer (BW, BY,RLP) und die speziellen CP-Klassifikationen der einzelnen Bundesländer.



4.2.2 Vergleich der Anomalien der NCAR-Trocken-CPs mit den Trocken-GWL

Einen anschaulichen Vergleich der als kritisch eingestuften, objektiv klassifizierten CPs mit den Trockenperioden und Niedrigwasser auslösenden „kritischen“ Großwetterlagen kann auch auf der Basis der jeweiligen Anomaliekarten erfolgen. Die CP-Anomalien wurden analog zu dem in Abschnitt 3.3 beschriebenen Verfahren für verschiedene 10 Jahreszeiträume untersucht, die sich jedoch kaum unterscheiden. Die nachfolgend dargestellten NCAR-Anomalien wurden auf der Basis der NCAR Reanalysen aus den Bodenluftdruckdaten für den Zeitraum 01.01.1990–31.12.1999 jeweils für das Gesamtjahr ermittelt. [Abb. 4.2.1](#) zeigt die große Ähnlichkeit der Anomaliekarte der „kritischen“ Trocken-GWL „Hochdruckbrücke Mitteleuropa (BM)“ mit der Anomaliekarte von NCAR-CP11 für die 17 CP-Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer gültig ist. [Abb. 4.2.2](#) bis [Abb. 4.2.4](#) enthalten vergleichbare Anomaliekarten für weitere Trocken-CPs aus der 17 CP-Klassifikation zusammen mit ähnlichen GWL-Anomalien.

Ähnliche Bilder ergeben sich auch für die speziellen CP-Klassifikationen der einzelnen Bundesländer. Exemplarisch werden in [Abb. 4.2.5](#) bis [Abb. 4.2.7](#) jeweils ein Trocken-CP aus einer länderspezifischen CP-Klassifikation zusammen mit der jeweils ähnlichen GWL dargestellt.

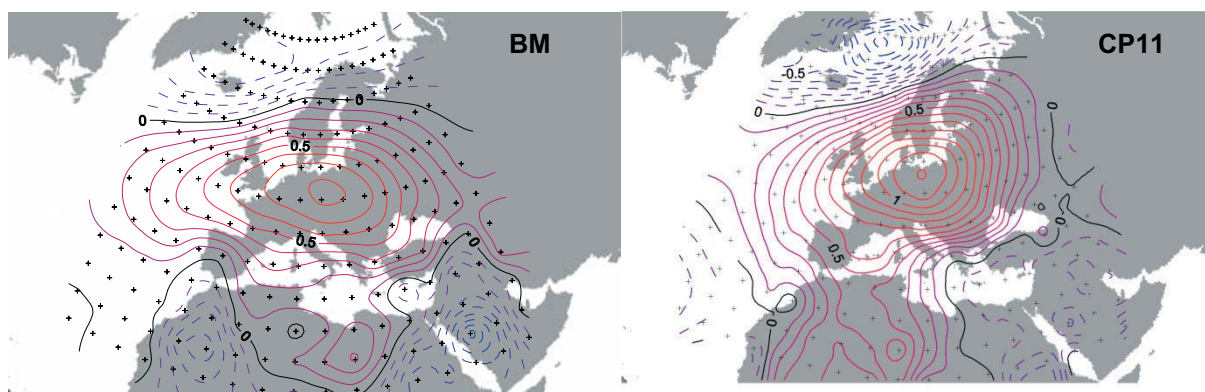


Abb. 4.2.1: Anomaliekarten der GWL „Hochdruckbrücke Mitteleuropa“ (BM) und von NCAR-CP11 aus der 17 CP umfassenden Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer (BW, BY, RLP) gültig ist.

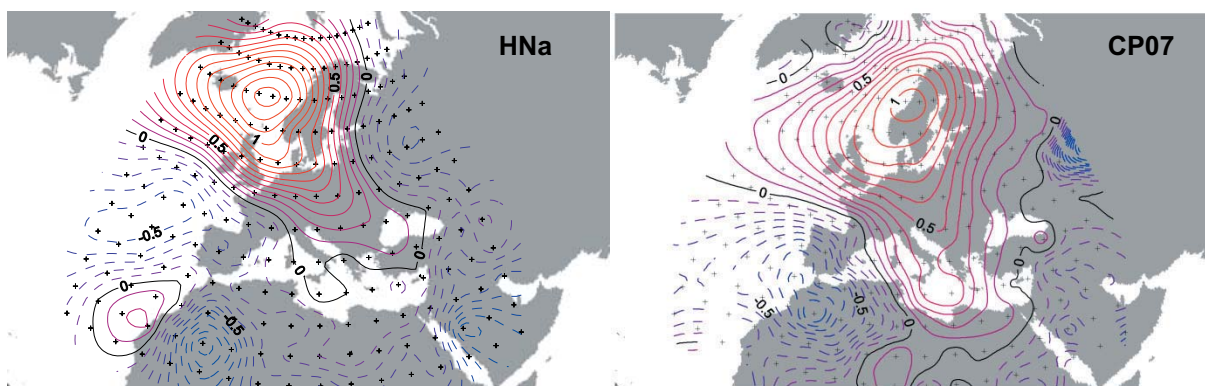


Abb. 4.2.2: Anomaliekarten der GWL „Hoch Nordmeer-Island, antizyklonal“ (HNa) und von NCAR-CP07 aus der 17 CP umfassenden Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer (BW, BY, RLP) gültig ist.

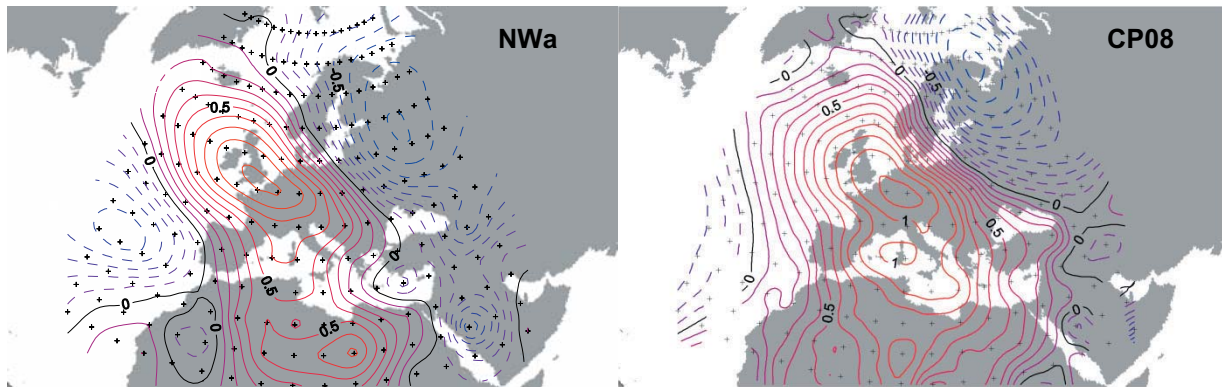


Abb. 4.2.3: Anomaliekarten der GWL „Nordwestlage, antizyklonal“ (NWa) und von NCAR-CP08 aus der 17 CP umfassenden Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer (BW, BY, RLP) gültig ist.

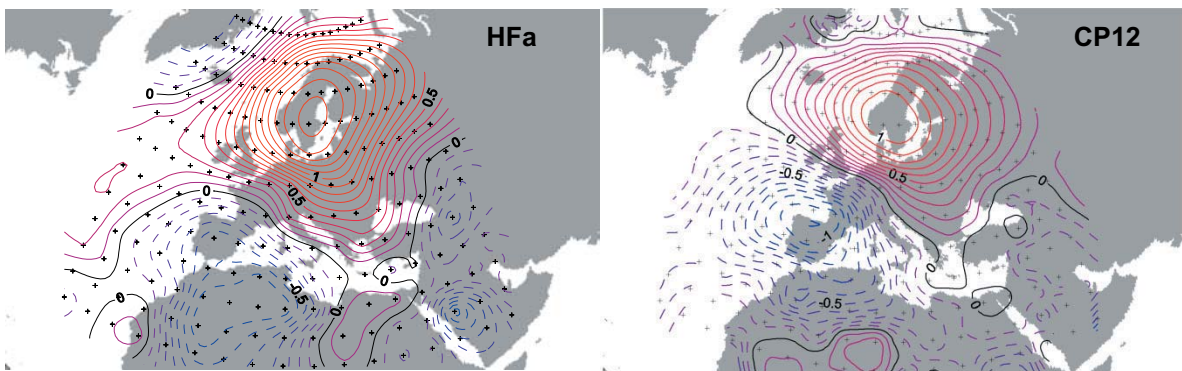


Abb. 4.2.4: Anomaliekarten der GWL „Hoch Fennoskandien, antizyklonal“ (HFa) und von NCAR-CP12 aus der 17 CP umfassenden Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer (BW, BY, RLP) gültig ist.

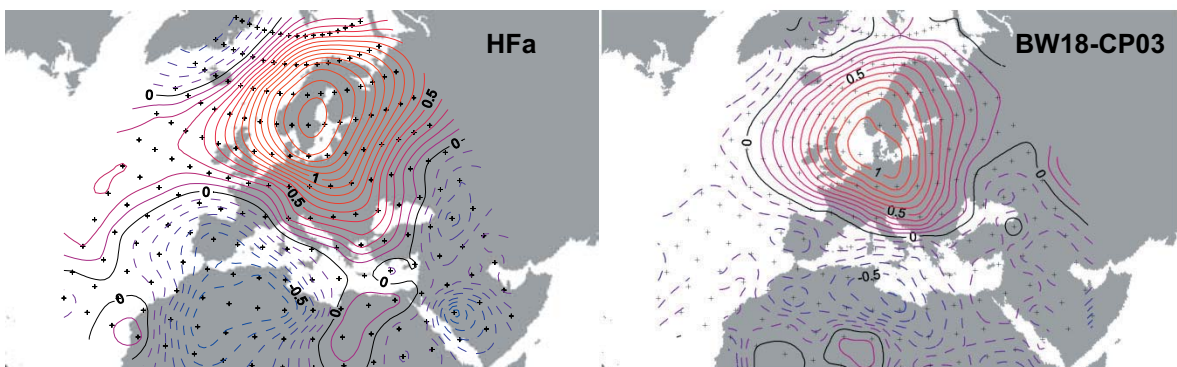


Abb. 4.2.5: Anomaliekarten der GWL „Hoch Fennoskandien, antizyklonal“ (HFa) und von NCAR-CP03 aus der 18 CP umfassenden speziellen Klassifikation für Baden-Württemberg (BW18).

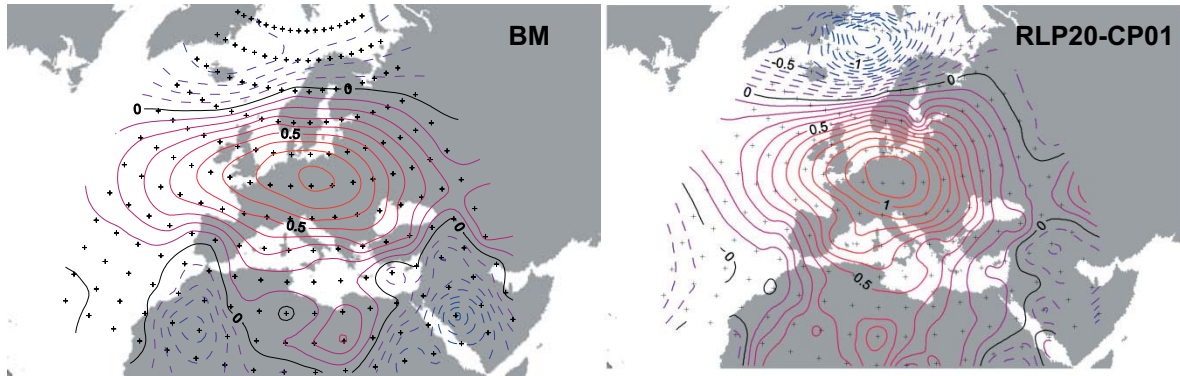


Abb. 4.2.6: Anomaliekarten der GWL „Hochdruckbrücke Mitteleuropa“ (BM) und von NCAR-CP01 aus der 20 CP umfassenden speziellen Klassifikation für Rheinland-Pfalz (RLP20).

Die Ergebnisse des Vergleiches der Anomaliekarten der Trocken-GWL und der Anomaliekarten der Trocken-CP für die einzelnen Klassifikationen sind in [Tab. 4.2.3](#) zusammengefasst. Hieraus kann entnommen werden, welcher Trocken-GWL der jeweilige Trocken-CP der einzelnen Klassifikation weitgehend entspricht.

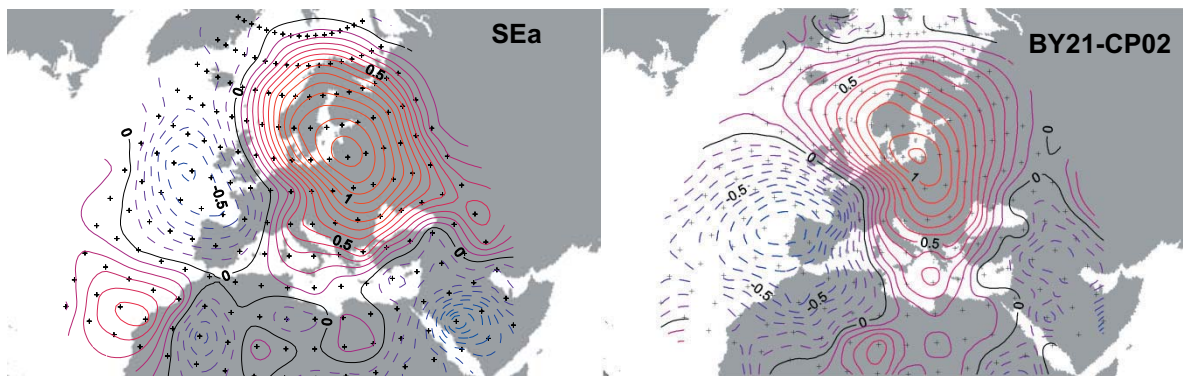


Abb. 4.2.7: Anomaliekarten der GWL „Südostlage, antizyklonal“ (SEa) und von NCAR-CP02 aus der 21 CP umfassenden speziellen Klassifikation für Bayern (BY21).

CP-Klassifikationen	Anzahl CP	Trocken-CPs für jeweilige CP-Klassifikation								
		CP01	CP02	CP03	CP04	CP06	CP07	CP08	CP12	CP13
gemeinsame für BW, RLP u. Bayern	17	CP01 SWa	CP02 HM, BM	CP03	CP04	CP06	CP07	CP08	CP12	CP13
Baden-Württemberg	18	CP02 NEa	CP03 SEa, HFa	CP04 BM, HM	CP06 Wa	CP07	CP08	CP12	CP15	CP16
Rheinland-Pfalz	20	CP01 BM, HM	CP03 SEa, HFa	CP04 HFa	CP06	CP07	CP08	CP12	CP14	CP19
Bayern	21	CP02 SEa	CP03 Wa	CP04 SWa	CP06	CP07	CP08	CP12	CP16	CP20

Tab. 4.2.3: Trocken-CPs und vergleichbare Trocken-GWL für die 17 CP umfassende gemeinsame CP-Klassifikation der 3 Bundesländer (BW, BY, RLP) und die speziellen CP-Klassifikationen der einzelnen Bundesländer Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Bayern.

4.2.3 Feuchteindexkarten für die Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz

In Abschnitt 4.2.1 wurde bereits erläutert, wie der Feuchteindex für die einzelnen CPs der verschiedenen CP-Klassifikationen auf der Basis der Gebietsniederschläge für die untersuchten Einzugsgebiete berechnet wurde. In analoger Weise wurden die Feuchteindexkarten vom IWS (Prof. Bárdossy) der Universität Stuttgart für die Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz erstellt. Sie wurden auf der Basis die Tagesniederschläge des Zeitraumes 1958–2001 in einem Raster von 1 x 1 km mit dem geostatistischen Verfahren des *External-Drift-Kriging* berechnet. Die nachstehenden Erläuterungen konzentrieren sich auf die Sommerhalbjahre (Mai–Oktober) und die 17 CP umfassende Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer gültig ist. [Abb. 4.2.8](#) zeigt die MSLP-Anomaliekarte des Bodenluftdruckes für den Trocken-CP11 zusammen mit den Feuchteindexkarten der einzelnen Bundesländer für die hydrologischen Sommerhalbjahre (Mai–Oktober) des Zeitraumes 1958–2001. Die Legende der Feuchteindexkarten zeigt den mit dem Faktor 10 multiplizierten Feuchteindex W_α . Dunkelrote Farbtöne kennzeichnen besonders trockene Situationen. Verglichen mit den GWL „BM“ stark ähnelt. Aus [Abb. 4.2.8](#) wird deutlich, dass CP11 in allen 3 Bundesländern nahezu flächendeckend sehr trocken ist mit W_α meist kleiner 0,5. Andererseits sind auch regionale Unterschiede in den Feuchteindexkarten sichtbar.

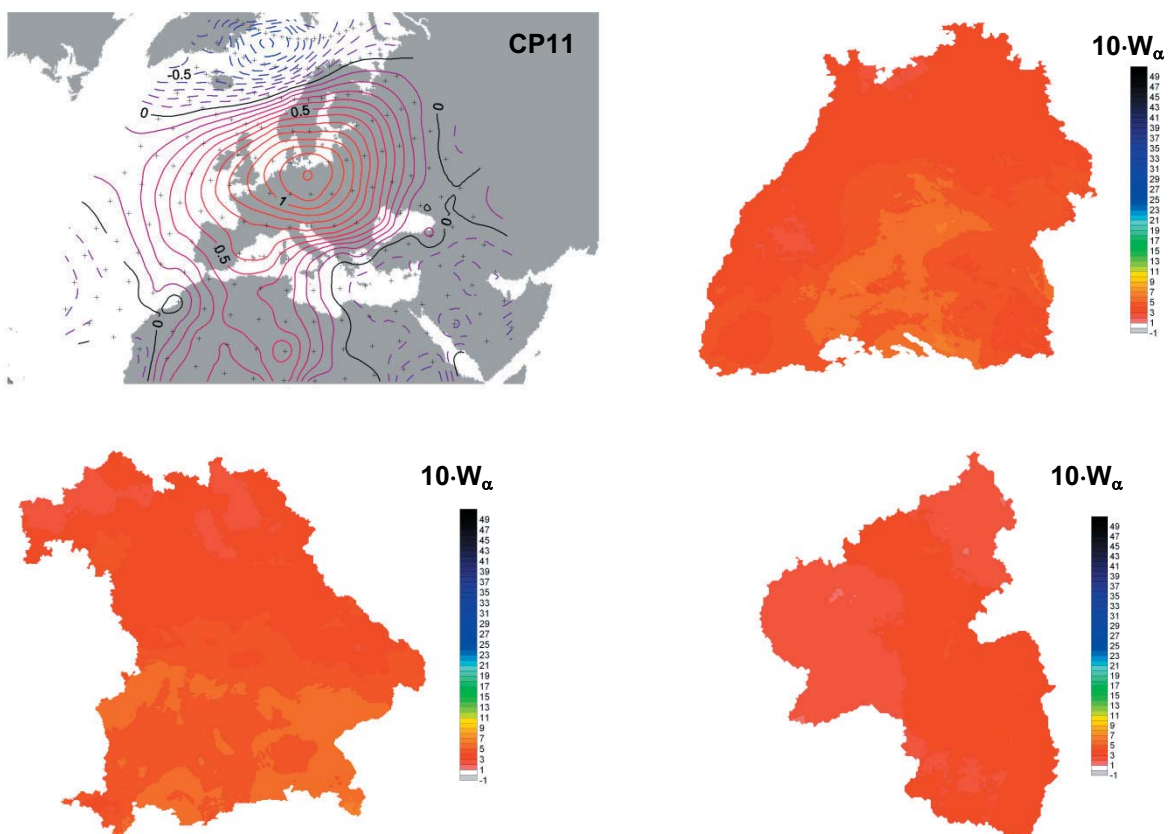


Abb. 4.2.8: Anomaliekarte des Trocken-CP11 aus der 17 CP umfassenden Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer (BW, BY, RLP) gültig ist sowie zugehörige Feuchteindexkarten (W_α) von CP11 der Bundesländer BW, BY und RLP für die Sommerhalbjahre (Mai–Oktober).



Als Kontrast hierzu ist in [Abb. 4.2.9](#) der besonders nasse CP03 dargestellt. Die Anomaliekarte zeigt große Ähnlichkeit mit der GWL „Westlage zyklonal (Wz)“, die für ihre hohe Niederschlagswahrscheinlichkeit bekannt ist. In den Feuchteindexkarten in [Abb. 4.2.9](#) überwiegen daher die Blautöne. Dies entspricht Feuchteindexwerten W_{α} von meist größer 2,0. Auffallend ist die im Vergleich zu den Trocken-CP wesentlich deutlichere regionale Ausprägung und Abstufung. Während Rheinland-Pfalz nahezu flächendeckend sehr hohe Feuchteindexwerte aufweist, konzentrieren sich die dunkelblauen Flächen für Baden-Württemberg auf den West- und Nordostteil des Landes sowie auf den Nordwesten Bayerns. Infolge dieser zyklonalen Westwetterlage ist ein markanter West-Ost-Gradient in den Feuchteindexkarten ablesbar.

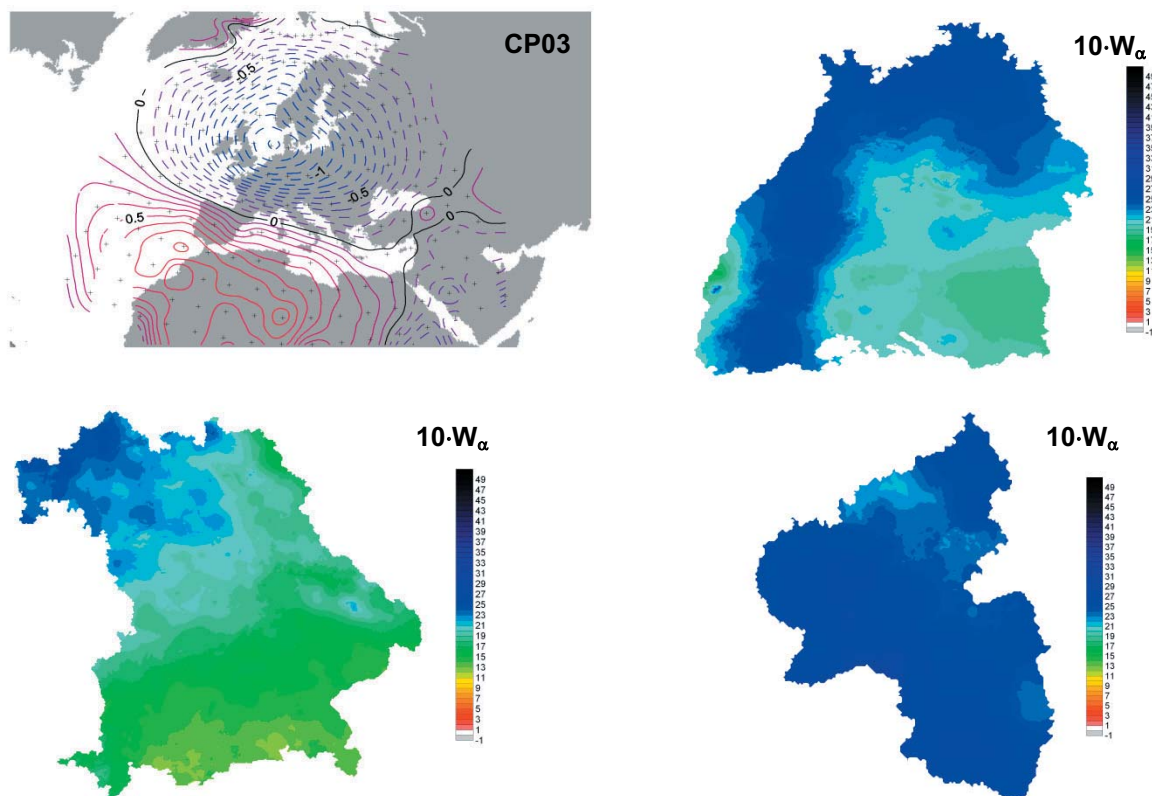


Abb. 4.2.9: Anomaliekarte des nassen CP03 aus der 17 CP umfassenden Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer (BW, BY, RLP) gültig ist sowie zugehörige Feuchteindexkarten (W_{α}) von CP03 der Bundesländer BW, BY und RLP für die Sommerhalbjahre (Mai–Oktober).

In **Anhang II** sind die Feuchteindexkarten für die 3 länderspezifischen CP-Klassifikationen zusammengestellt. [Abb. 1](#) von Anhang II enthält die Karten für die gemeinsame, 17 CP umfassende Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer gültig ist. In [Abb. 2](#) des Anhang II sind die Anomalie- und Feuchteindexkarten für die 18 CP umfassende spez. CP-Klassifikation für Baden-Württemberg zusammengestellt. [Abb. 3](#) und [Abb. 4](#) des Anhang II können die Feuchteindexkarten für die 21 CP umfassende Klassifikation von Bayern und die 20 CP umfassende Klassifikation von Rheinland-Pfalz entnommen werden. Die hierin dargestellten räumlichen Ausprägungen des Feuchteindex gingen in die Auswahl und Festlegungen der Trocken-CP gemäß [Tab. 4.2.2](#) und [Tab. 4.2.3](#) ein.

4.2.4 Historische Trocken- und Niedrigwasserperioden und zugehörige Trocken-CPs für die CP-Klassifikationen der Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz

Anhand ausgeprägter historischer Trockenperioden und Niedrigwasserzeiten, die im Rahmen des Werkvertrages v. 06.12.2006 (Caspary, 2007) ausgewählt und näher beschrieben wurden, wird überprüft, ob die 4 objektiven CP-Klassifikationen diese in Form des Auftretens entsprechender „Trocken-CP“ nachbilden können.

Der Zeitraum Juli bis September 1991 hat insbesondere in Baden-Württemberg zu ausgeprägten Niedrigwasserabflüssen in zahlreichen Gewässern geführt (LfU, 1992). Tab. 4.2.4 zeigt die Trockenperiode des Juli–September 1991 zusammen mit den aufgetretenen Großwetterlagen (GWL). Die Trocken-GWL sind gelb hinterlegt. Die Spalten 3 und 4 enthalten die CPs, die mit Hilfe der für BW, Bayern und RLP gemeinsam entwickelten CP-Klassifikation ermittelten CPs. Hierbei wurden die CPs in Spalte 3 auf der Basis der SLP-Reanalysedaten der NCAR-Zeitreihe von 1900–2007 klassifiziert. Dagegen wurden die CPs in Spalte 4 zwar mit der gleichen Klassifikation allerdings auf Basis der ERA-40 SLP-Reanalysedaten, die in einer Auflösung von $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ vorliegen, klassifiziert. Zunächst ist festzustellen, dass in beiden Fällen der Zeitraum 02.07.–08.07.1991 und 28.07.–20.09.1991 nahezu durchgehend mit „Trocken-CPs“ klassifiziert wurde. Im Gegensatz zu den GWL wird der Zeitraum jedoch bei den NCAR- u. ERA-40-Trocken-CPs durch mehrere Einzeltage, die nicht als Trocken-CPs klassifiziert sind unterbrochen.

In einem nächsten Schritt sollen für die Trockenperiode 1991 die Ergebnisse der CP-Klassifikationen auf der Basis der NCAR ($5^\circ \times 5^\circ$) und ERA-40 ($2,5^\circ \times 2,5^\circ$) verglichen werden. Im Idealfall sollten die CP-Nummern der NCAR- und ERA-40 Klassifikation übereinstimmen. Dies ist auch weitgehend, aber nicht immer der Fall. Zuweilen werden Einzeltage in einen anderen CP mit meist ähnlicher SLP-Anomalie klassifiziert. Die Sequenz der Trocken-CPs wird hierdurch jedoch nicht unterbrochen.

Ein analoges Bild ergibt sich bei Betrachtung der speziell für Baden-Württemberg entwickelten, 18 CP umfassenden Klassifikation. Die hierfür ausgewählten Trocken-CP sind in Tab. 4.2.2 zusammengestellt. Auch hier wird die Trockenperiode vom 01.08.–20.09.1991 mit nur wenigen Unterbrechungstagen gut nachgebildet. Und auch hier liefert die BW-CP-Klassifikation für die NCAR- und ERA-40 Daten eine weitgehende Übereinstimmung, die für den Zeitraum 01.08.–30.09.1991 genau 73,8 % beträgt. Die Unterschiede sind vornehmlich auf die Unterschiede in den SLP-Daten der NCAR und ERA-40 Reanalysen zurückzuführen.

Der entscheidende Unterschied zu den GWL besteht darin, dass die GWL für einzelne Trocken-GWL wie BM bzw. HFa eine deutlich höhere Persistenz aufweisen. So herrschte z.B. vom 02.08.–17.08.1991 an 16 aufeinander folgenden Tagen die GWL BM, wohingegen bei der BW-CP-Klassifikation 10 verschiedene CP (CP01, CP02, CP03, CP06, CP09, CP11, CP14, CP15 u. CP16) für diesen Zeitraum klassifiziert wurden. Diese sind bis auf CP07 jedoch alles „BW-Trocken-CPs“, so dass die Trockenperiode auch durch die objektive CP-Klassifikation gut nachgebildet wird. Die max. Persistenz eines einzelnen objektiven Trocken-CP betrug in diesem Zeitraum nur 2 Tage.



Datum	GWL	all 17CP NCAR	all 17CP ERA 40	BW 18CP NCAR	BW 18CP ERA40	Datum	GWL	all 17CP NCAR	all 17CP ERA 40	BW 18CP NCAR	BW 18CP ERA 40
01.06.1991	HNa	CP10	CP10	CP09	CP09	01.08.1991	HFa	CP03	CP03	CP09	CP09
02.06.1991	HNa	CP08	CP08	CP15	CP15	02.08.1991	BM	CP05	CP05	CP09	CP09
03.06.1991	Wz	CP17	CP17	CP17	CP17	03.08.1991	BM	CP05	CP05	CP02	CP02
04.06.1991	Wz	CP03	CP03	CP18	CP18	04.08.1991	BM	CP05	CP05	CP02	CP02
05.06.1991	Wz	CP06	CP06	CP06	CP18	05.08.1991	BM	CP02	CP02	CP11	CP11
06.06.1991	Wz	CP03	CP03	CP18	CP18	06.08.1991	BM	CP13	CP13	CP11	CP11
07.06.1991	Wz	CP15	CP09	CP18	CP18	07.08.1991	BM	CP17	CP01	CP16	CP08
08.06.1991	Wz	CP03	CP03	CP18	CP18	08.08.1991	BM	CP05	CP05	CP09	CP09
09.06.1991	Wz	CP03	CP06	CP10	CP10	09.08.1991	BM	CP10	CP10	CP03	CP03
10.06.1991	Wz	CP04	CP04	CP14	CP14	10.08.1991	BM	CP13	CP13	CP06	CP06
11.06.1991	Wz	CP13	CP13	CP06	CP06	11.08.1991	BM	CP01	CP01	CP01	CP06
12.06.1991	Wz	CP06	CP06	CP12	CP12	12.08.1991	BM	CP10	CP04	CP01	CP01
13.06.1991	Wz	CP06	CP06	CP14	CP14	13.08.1991	BM	CP02	CP10	CP15	CP15
14.06.1991	Wz	CP06	CP01	CP14	CP14	14.08.1991	BM	CP02	CP02	CP04	CP04
15.06.1991	Wz	CP01	CP01	CP17	CP17	15.08.1991	BM	CP11	CP11	CP11	CP11
16.06.1991	TrW	CP09	CP09	CP17	CP17	16.08.1991	BM	CP05	CP05	CP14	CP14
17.06.1991	TrW	CP09	CP09	CP18	CP18	17.08.1991	BM	CP15	CP15	CP14	CP14
18.06.1991	TrW	CP05	CP05	CP09	CP09	18.08.1991	NWa	CP10	CP10	CP09	CP06
19.06.1991	TrW	CP04	CP04	CP01	CP01	19.08.1991	NWa	CP10	CP10	CP16	CP06
20.06.1991	TrW	CP03	CP03	CP10	CP18	20.08.1991	NWa	CP13	CP13	CP15	CP15
21.06.1991	Ww	CP13	CP13	CP12	CP12	21.08.1991	NWa	CP13	CP13	CP04	CP04
22.06.1991	Ww	CP15	CP15	CP12	CP12	22.08.1991	Ü	CP12	CP12	CP12	CP11
23.06.1991	Ww	CP01	CP14	CP06	CP06	23.08.1991	BM	CP01	CP01	CP11	CP11
24.06.1991	Ww	CP04	CP04	CP14	CP14	24.08.1991	BM	CP11	CP08	CP04	CP04
25.06.1991	Ww	CP13	CP13	CP06	CP05	25.08.1991	BM	CP02	CP02	CP16	CP16
26.06.1991	Ww	CP03	CP03	CP14	CP14	26.08.1991	BM	CP12	CP12	CP16	CP03
27.06.1991	TrM	CP17	CP17	CP18	CP18	27.08.1991	BM	CP11	CP12	CP11	CP11
28.06.1991	TrM	CP05	CP05	CP09	CP09	28.08.1991	BM	CP99	CP12	CP11	CP16
29.06.1991	TrM	CP05	CP05	CP01	CP03	29.08.1991	BM	CP12	CP12	CP03	CP03
30.06.1991	TrM	CP08	CP13	CP06	CP06	30.08.1991	BM	CP02	CP12	CP07	CP16
01.07.1991	Ü	CP11	CP11	CP04	CP04	31.08.1991	BM	CP12	CP12	CP15	CP15
02.07.1991	HNFa	CP07	CP07	CP13	CP07	01.09.1991	BM	CP11	CP06	CP12	CP12
03.07.1991	HNFa	CP07	CP12	CP07	CP07	02.09.1991	BM	CP99	CP07	CP07	CP99
04.07.1991	HNFa	CP12	CP12	CP03	CP03	03.09.1991	BM	CP11	CP11	CP04	CP11
05.07.1991	HNFa	CP12	CP12	CP03	CP07	04.09.1991	BM	CP08	CP08	CP16	CP15
06.07.1991	HNFa	CP11	CP12	CP03	CP03	05.09.1991	NWa	CP08	CP08	CP13	CP13
07.07.1991	HNFa	CP06	CP12	CP16	CP16	06.09.1991	NWa	CP08	CP08	CP03	CP03
08.07.1991	HNFa	CP14	CP06	CP05	CP05	07.09.1991	NWa	CP10	CP10	CP03	CP09
09.07.1991	Wa	CP01	CP01	CP06	CP06	08.09.1991	NWa	CP10	CP10	CP03	CP03
10.07.1991	Wa	CP02	CP02	CP16	CP06	09.09.1991	NWa	CP02	CP02	CP15	CP15
11.07.1991	Wa	CP12	CP14	CP16	CP05	10.09.1991	NWa	CP13	CP13	CP14	CP14
12.07.1991	Wa	CP15	CP01	CP18	CP18	11.09.1991	NWa	CP03	CP03	CP17	CP17
13.07.1991	Wa	CP15	CP04	CP18	CP18	12.09.1991	NWa	CP08	CP08	CP15	CP15
14.07.1991	Wa	CP05	CP05	CP09	CP18	13.09.1991	BM	CP08	CP14	CP11	CP11
15.07.1991	Wa	CP05	CP05	CP18	CP18	14.09.1991	BM	CP01	CP01	CP06	CP06
16.07.1991	Wa	CP10	CP10	CP12	CP01	15.09.1991	BM	CP13	CP04	CP06	CP06
17.07.1991	Wa	CP10	CP05	CP01	CP18	16.09.1991	BM	CP08	CP08	CP04	CP04
18.07.1991	Wa	CP13	CP05	CP02	CP01	17.09.1991	BM	CP04	CP05	CP14	CP09
19.07.1991	Wa	CP06	CP06	CP14	CP17	18.09.1991	BM	CP10	CP05	CP06	CP06
20.07.1991	Wa	CP10	CP10	CP14	CP05	19.09.1991	BM	CP01	CP01	CP12	CP12
21.07.1991	Wa	CP10	CP10	CP02	CP02	20.09.1991	BM	CP12	CP12	CP13	CP13
22.07.1991	Wa	CP02	CP02	CP03	CP03	21.09.1991	BM	CP01	CP01	CP12	CP05
23.07.1991	Wa	CP14	CP14	CP08	CP08	22.09.1991	Wz	CP03	CP09	CP17	CP17
24.07.1991	NWz	CP17	CP17	CP05	CP05	23.09.1991	Wz	CP05	CP05	CP18	CP18
25.07.1991	NWz	CP17	CP17	CP05	CP05	24.09.1991	Wz	CP01	CP01	CP12	CP12
26.07.1991	NWz	CP05	CP05	CP09	CP09	25.09.1991	Wz	CP09	CP09	CP17	CP17
27.07.1991	NWz	CP02	CP11	CP03	CP11	26.09.1991	TrW	CP09	CP99	CP17	CP99
28.07.1991	HFa	CP12	CP12	CP07	CP07	27.09.1991	TrW	CP04	CP99	CP01	CP99
29.07.1991	HFa	CP12	CP12	CP07	CP07	28.09.1991	TrW	CP14	CP17	CP05	CP05
30.07.1991	HFa	CP12	CP12	CP05	CP05	29.09.1991	TrW	CP09	CP09	CP05	CP05
31.07.1991	HFa	CP16	CP16	CP05	CP05	30.09.1991	TrW	CP09	CP17	CP17	CP17

Tab. 4.2.4: Trocken- und Niedrigwasserperiode des Zeitraumes 01.06.–30.09.1991 zusammen mit den GWL und den CP der 17CP umfassenden gemeinsamen CP-Klassifikation (all 17CP), die für alle 3 Bundesländer (Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz) entwickelt wurde sowie der speziell für BW entwickelten, 18 CP umfassenden Klassifikation (BW 18CP). Die objektiven Klassifikationen erfolgte jeweils auf Basis der NCAR-SLP-Reanalysen ($5^\circ \times 5^\circ$) bzw. der ERA-40 SLP-Reanalysen ($2,5^\circ \times 2,5^\circ$). Hinweis: gelb hinterlegte Felder zeigen Trocken-CPs bzw. Trocken-GWL.

In **Anhang III** sind die Trocken- und Niedrigwasserperioden des Juli 2006, Juni u. August 2003, Sommer 1991, Sommer 1976 (01.06.–30.09.1976), Sommer 1947 (01.06.–30.09.) und die Vegetationszeit 1921 (01.04.–30.09.1921) zusammen mit den zugehörigen GWL und den 4 objektiven CP-Klassifikationen als Zeitreihe der CPs dargestellt. Es handelt sich dabei um die für BW, Bayern und RLP gemeinsame CP-Klassifikation mit 17 CPs und die 3 länderspezifischen Klassifikationen für Baden-Württemberg (18 CPs), Bayern (21 CPs) und Rheinland-Pfalz (20 CPs). Wie die Tabellen 1 bis 5 in Anhang III zeigen, werden alle hier untersuchten historischen Trockenperioden durch alle 4 objektiven CP-Klassifikationen und deren „Trocken-CPs“ gut erfasst. Wie bereits für die Verhältnisse von 1991 beschrieben, wird durch die objektiven CP-Klassifikationen lediglich die Persistenz einzelner Trocken-CPs deutlich niedriger als bei den GWL nachgebildet.

Die **Hauptergebnisse** für die untersuchten historischen Trocken- und Niedrigwasserperioden lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Alle 4 objektiven CP-Klassifikationen bilden die historischen Trockenperioden sehr gut nach.
2. Die Klassifikation liefert für NCAR- ($5^\circ \times 5^\circ$) und ERA-40-Reanalysen ($2,5^\circ \times 2,5^\circ$) weitgehend übereinstimmende Ergebnisse.
3. Die Persistenz einzelner „Trocken-CPs“ ist bei allen 4 objektiven CP-Klassifikationen deutlich geringer als für die GWL.
4. Die Persistenz der gruppierten „Trocken-CPs“ ist für alle 4 objektiven CP-Klassifikationen in den Trockenperioden sehr hoch. Damit einzelne, nicht trockene CP-Tage die Gesamtsequenz nicht unterbrechen, werden bei der Persistenzanalyse die max. Zahl der gruppierten Trocken-CP-Tage in einem gleitenden 45 Tage umfassenden Fenster betrachtet und ausgewertet.



4.3 Zeitreihenanalyse der „kritischen“, objektiv klassifizierten NCAR-Trocken-CPs

4.3.1 Ergebnisse der Zeitreihenanalyse für die gemeinsame CP-Klassifikation der Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz

4.3.1.1 Häufigkeiten und Persistenz der zusammengefassten NCAR-Trocken-CPs im Sommer für die gemeinsame CP-Klassifikation von BW, BY und RLP

Nachfolgend werden zunächst die Trocken-CPs aus der 17 CP umfassenden Klassifikation, die für die 3 Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz Gültigkeit besitzt, hinsichtlich systematischer Veränderungen (Trend, Bruchpunkte) analysiert. Die CPs wurden – wie in Abschnitt 4.1.1 beschrieben – auf der Basis der NCAR Reanalysen des täglichen mittleren Bodenluftdruckes (Mean Sea Level Pressure = MSLP), die im Raster von $5^\circ \times 5^\circ$ für den Zeitraum 1900–2007 vorliegen, für das geographische Fenster $10^\circ\text{W}–25^\circ\text{E}$ und $30^\circ\text{N}–70^\circ\text{N}$ berechnet. Die Trocken-CP sind hierbei identisch mit den Angaben in Tab. 4.2.2. Es handelt sich um die nachstehenden 8 CPs (CP01, CP02, CP07, CP08, CP10, CP11, CP12 und CP13). Abb. 4.3.1 zeigt die Zeitreihe der Häufigkeiten und der maximalen Dauer im gleitenden 45-Tagefenster dieser NCAR-Trocken-CPs für die Sommer (JJA) des Zeitraumes 1900–2007. In die Zeitreihen sind jeweils die Trendgeraden und die gleitenden Mittel über 11 Jahre eingetragen. Sowohl die Häufigkeiten als auch die max. Dauern im gleitenden 45-Tagefenster zeigen einen hochsignifikanten (99 %-Signifikanzniveau), ansteigenden Trend mit einem hochsignifikanten Bruchpunkt für die Häufigkeiten im Jahr 1958 und einem signifikanten (95 %-Niveau) Bruchpunkt für die max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster im Jahr 1966. Zudem sind in Abb. 4.3.1 ausgeprägte historische Trockenperioden wie z.B. die Sommer 1921, 1947, 1976, 1983 und 2006 gut als „Peaks“ aus beiden Graphiken ablesbar.

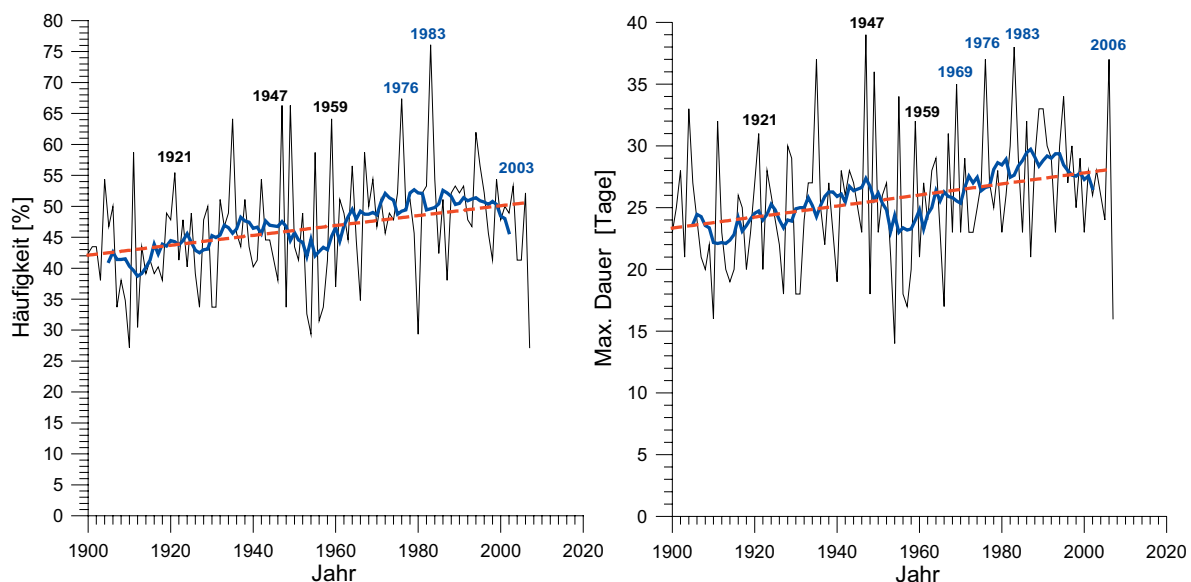


Abb. 4.3.1: Häufigkeiten (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten NCAR-Trocken-CPs (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) für die **Sommer (JJA)** des Zeitraumes 1900–2007 für die **17 CP** umfassende gemeinsame CP-Klassifikation der Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

In [Abb. 4.3.2](#) werden Sommer mit großer Häufigkeit an kombinierten NCAR-Trocken-CP ($f \geq 50\%$) und einer langen maximalen Dauer im gleitenden 45-Tagefenster ($T_{\max} \geq 28$ Tage) betrachtet. Es fällt sofort auf, dass die extremen Trockenperioden und Niedrigwasserjahre 1947, 1976 und 2003 alle im grau hinterlegten „kritischen“ Sektor, in der grau hinterlegten oberen rechten Ecke von [Abb. 4.3.2](#) liegen. In den 67 Jahren des Zeitraumes 1900–1966 lagen 10 Sommer im grau hinterlegten „kritischen“ Sektor. Diese beinhalten auch die extremen Trockensommer 1921, 1947 u. 1959. Dagegen entfallen 16 der letzten 42 Sommer und damit 38,1 % auf den Zeitraum nach dem Bruchpunkt (1967–2007). Diese beinhalten die extremen Trockensommer und Hitzewellen der Jahre 1976, 1983, 2003 und 2006. Hieraus folgt, dass **die Wahrscheinlichkeit einen trockenen, heißen Sommer im „kritischen“ Sektor ($T_{\max} \geq 28$ Tage \cap $f \geq 50\%$) zu erhalten bereits heute im Vergleich zu dem Zeitraum vor dem Bruchpunkt um mehr als den Faktor 2,5 angestiegen ist!**

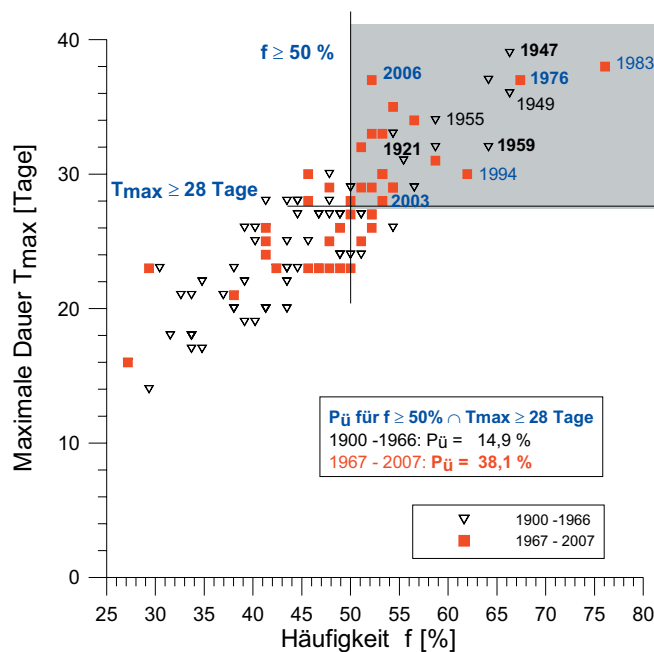


Abb. 4.3.2: Max. Dauer T_{\max} im gleitenden 45-Tagefenster der kombinierten NCAR-Trocken-CPs (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) für die gemeinsame 17 CP-Klassifikation der Länder BW, BY und RLP als Funktion der Häufigkeit f [%] für die Sommer (JJA) der Zeiträume 1900–1966 und 1967–2007 mit „kritischem“ Sektor ($T_{\max} \geq 28$ Tage \cap $f \geq 50\%$).

[Tab. 4.3.1](#) zeigt die statistische Auswertung für die Trocken-CP im Sommer (JJA) der gemeinsamen 17 CP-Klassifikation, die für Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz gültig ist. Hierbei wurden die Häufigkeiten, die maximale Dauer zusammenhängender Trocken-CP-Perioden und die max. Dauer von Trocken-CP im gleitenden 45-Tagefenster für den Gesamtzeitraum 1900–2007 und die Teilzeiträume bis zum Bruchpunkt (1900–1966) und nach dem Bruchpunkt (1967–2007) ausgewertet. Aus [Tab. 4.3.1](#) folgt, dass die **Mittelwerte** der Häufigkeiten und der max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster um jeweils ca. 13 % zugenommen haben, wohingegen die Variabilität, gemessen als Standardabweichung für die Häufigkeiten um ca. 6 % und für die max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster um ca. 10 % abnehmen.



Häufigkeiten der zusammengefassten Trocken-CP der 17 CP Klassifikation (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) im Sommer (JJA)				Veränderung
Zeiträume	1900 - 2007	1900 - 1966	1967 - 2007	1967 - 2007 zu 1900 - 1966 [%]
Anzahl der Werte [-]	107	66	41	
Summe	4963	2917	2046	
Minimum [%]	27,2	27,2	27,2	0,0%
Maximum [%]	76,1	66,3	76,1	14,8%
Mittelwert [%]	46,4	44,2	49,9	12,9%
Median [%]	46,7	43,5	51,1	17,5%
1. Quartile (25% Perzentilwert) [%]	40,5	38,0	46,5	22,1%
3. Quartile (75% Perzentilwert) [%]	52,2	48,9	53,3	8,9%
Standardabweichung [%]	9,2	9,0	8,4	-6,3%
Variationskoeffizient [-]	0,198	0,204	0,169	-17,0%

Max. Dauer zusammenhängender Trocken-CP der 17 CP Klassifikation (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) im Sommer (JJA)				Veränderung
Zeiträume	1900 - 2007	1900 - 1966	1967 - 2007	1967 - 2007 zu 1900 - 1966 [%]
Anzahl der Werte [-]	107	66	41	
Summe [Tage]	998	568	430	
Minimum [Tage]	3	3	6	0,0%
Maximum [Tage]	24	18	24	33,3%
Mittelwert [Tage]	9,3	8,6	10,5	22,0%
Median [Tage]	9	8	10	25,0%
1. Quartile (25% Perzentilwert) [Tage]	7	6	7,75	29,2%
3. Quartile (75% Perzentilwert) [Tage]	11	10	13	30,0%
Standardabweichung [Tage]	3,6	3,3	3,8	16,8%
Variationskoeffizient [-]	0,386	0,381	0,366	-4,0%

Max. Dauer im gleit. 45-Tagefenster Trocken-CP der 17 CP Klassifikation (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) im Sommer (JJA)				Veränderung
Zeiträume	1900 - 2007	1900 - 1966	1967 - 2007	1967 - 2007 zu 1900 - 1966 [%]
Anzahl der Werte [-]	107	66	41	
Summe [Tage]	2754	1616	1138	
Minimum [Tage]	14	14	16	0,0%
Maximum [Tage]	39	39	38	-2,6%
Mittelwert [Tage]	25,7	24,5	27,8	13,5%
Median [Tage]	26	24	28	16,7%
1. Quartile (25% Perzentilwert) [Tage]	23	20	23,8	19,0%
3. Quartile (75% Perzentilwert) [Tage]	29	27	30	11,1%
Standardabweichung [Tage]	5,3	5,2	4,7	-9,8%
Variationskoeffizient [-]	0,205	0,214	0,170	-20,4%

Tab. 4.3.1: Statistische Auswertung der Häufigkeiten, der maximalen Dauer zusammenhängender Trocken-CP und der maximalen Dauer im gleitenden 45-Tagefenster der Trocken-CP (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) für die **Sommer (JJA)** der Zeiträume vor und nach dem Bruchpunkt 1966 für die gemeinsame **17 CP**-Klassifikation, die für BW, BY und RLP gültig ist.

4.3.1.2 Häufigkeiten und Persistenz der zusammengefassten NCAR-Trocken-CPs in den Vegetationsperioden für die gemeinsame CP-Klassifikation von BW, BY und RLP

Analog zu den Ergebnissen für die Sommer (JJA) sind in [Abb. 4.3.3](#) die Häufigkeiten und die maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster der NCAR-Trocken-CPs der 17CP-Klassifikation für die **Vegetationsperioden (April–September)** des Zeitraumes 1900–2007 dargestellt. Hier zeigen nur die Häufigkeiten einen signifikanten (95 %-Niveau) ansteigenden Trend mit einem signifikanten Bruchpunkt im Jahr 1957. Dagegen zeigen die maximalen Dauern der Trocken-CP im gleitenden 45-Tagefenster nur einen geringen, nichtsignifikanten Anstieg ohne signifikanten Bruchpunkt. Andererseits sind die extremen Trockenjahre sehr gut als „Peaks“ aus beiden Kurven in [Abb. 4.3.3](#) ablesbar. Analog zu [Abb. 4.3.2](#) sind in [Abb. 4.3.4](#) die Vegetationsperioden

(April–September) mit großer Häufigkeit an kombinierten NCAR-Trocken-CP ($f \geq 50\%$) und einer langen maximalen Dauer im gleitenden 45-Tagefenster ($T_{\max} \geq 29$ Tage) betrachtet.

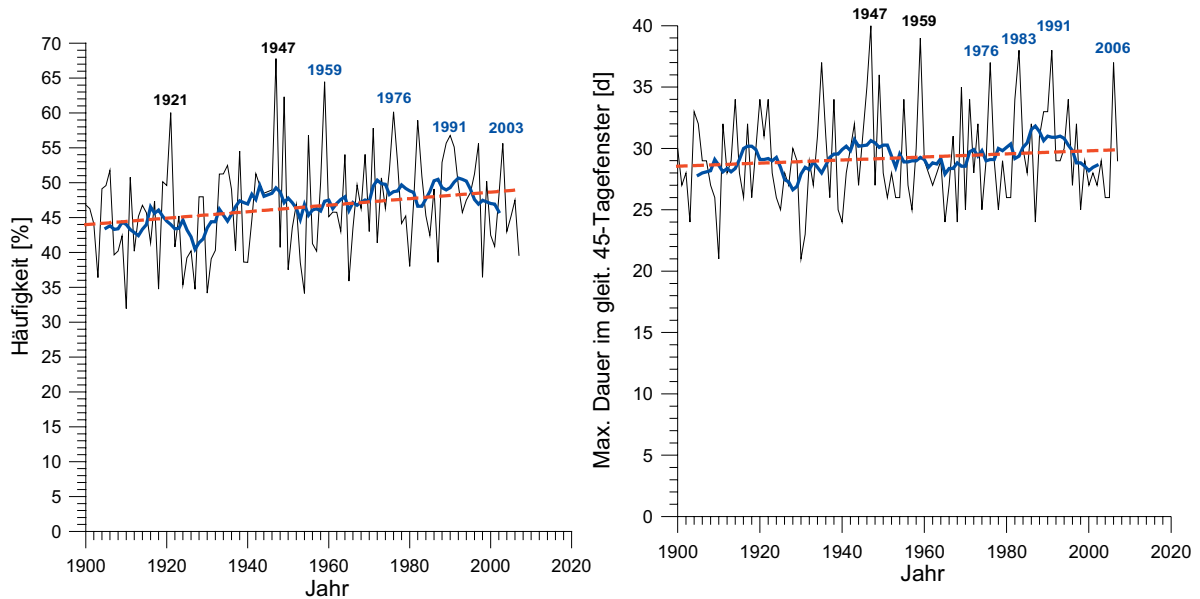


Abb. 4.3.3: Häufigkeiten (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten NCAR-Trocken-CPs (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) für die **Vegetationsperioden** (April–September) des Zeitraumes 1900–2007 für die **17 CP** umfassende gemeinsame Klassifikation der Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

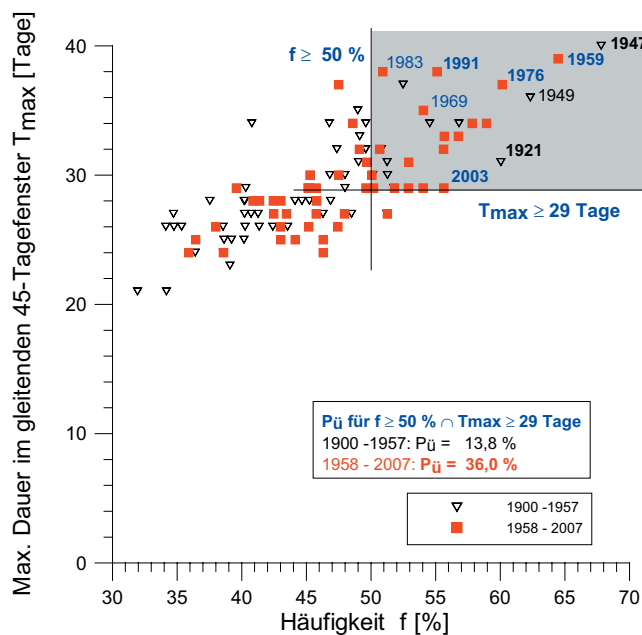


Abb. 4.3.4: Maximale Dauer T_{\max} im gleitenden 45-Tagefenster der kombinierten NCAR-Trocken-CPs (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) für die gemeinsame 17 CP-Klassifikation der Länder BW, BY und RLP als Funktion der Häufigkeit f [%] für die Vegetationsperioden (April–September) der Zeiträume 1900–1957 und 1958–2007 mit „kritischem“ Sektor ($T_{\max} \geq 29$ Tage \cap $f \geq 50\%$).



Auch hier fällt auf, dass die extremen Trockenperioden und Niedrigwasserjahre wie 1921, 1947, 1959, 1976, 1991 und 2003 alle im grau hinterlegten „kritischen“ Sektor, in der oberen rechten Ecke von Abb. 4.3.4 liegen. In den 58 Jahren des Zeitraumes 1900–1957 lagen 8 Vegetationsperioden im grau hinterlegten „kritischen“ Sektor, was einem Anteil von 13,8 % entspricht. Diese beinhalten auch die extremen Trockenjahre 1921, und 1947. Dagegen entfallen 18 der letzten 50 Jahre und damit 36,0 % auf den Zeitraum nach dem Bruchpunkt (1958–2007). Diese beinhalten die extremen Trockensommer und Hitzewellen der Jahre 1976, 1983, 1991 und 2003. Hieraus folgt, dass **die Wahrscheinlichkeit einer trockenen Vegetationsperiode im „kritischen“ Sektor ($T_{\max} \geq 29$ Tage $\cap f \geq 50$ %) bereits heute im Vergleich zu dem Zeitraum vor dem Bruchpunkt um den Faktor 2,6 angestiegen ist. Dies entspricht fast exakt dem Faktor, der in Abschnitt 4.3.1.1 für die Sommer (JJA) berechnet wurde.**

Tab. 4.3.2 zeigt analog zu Tab. 4.3.1 die statistische Auswertung für die Trocken-CP für die **Vegetationsperioden (April–September)** der gemeinsamen 17 CP-Klassifikation, die für Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz gültig ist. Hierbei wurden die Häufigkeiten, die maximale Dauer zusammenhängender Trocken-CP-Perioden und die max. Dauer von Trocken-CP im gleitenden 45-Tagefenster für den Gesamtzeitraum 1900–2007 und die Teilzeiträume bis zum Bruchpunkt (1900–1957) und nach dem Bruchpunkt (1958–2007) ausgewertet. Gemäß Tab. 4.3.2 sind die **Mittelwerte der Häufigkeiten (+ 7 %)** und der max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (+ 2,4 %) nur leicht angestiegen. Die Standardabweichung der Häufigkeiten nehmen um ca. 13 % ab, wohingegen die max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster nahezu unverändert (+ 1,8 %) bleibt.

4.3.2 Ergebnisse der Zeitreihenanalyse für die spezielle CP-Klassifikation für Baden-Württemberg

4.3.2.1 Häufigkeiten und Persistenz der zusammengefassten NCAR-Trocken-CPs im Sommer für die 18 CP-Klassifikation von Baden-Württemberg

In diesem Abschnitt werden die Trocken-CPs aus der 18 CP umfassenden speziell für Baden-Württemberg optimierten CP-Klassifikation hinsichtlich systematischer Veränderungen (Trend, Bruchpunkte) analysiert. Die Trocken-CP sind hierbei identisch mit den Angaben in Tab. 4.2.2. Es handelt sich um die nachstehenden 8 CPs (CP02, CP03, CP04, CP06, CP11, CP12, CP15 und CP16). Abb. 4.3.5 zeigt die Zeitreihe der Häufigkeiten und der maximalen Dauer im gleitenden 45-Tagefenster dieser NCAR-Trocken-CPs für die Sommer (JJA) des Zeitraumes 1900–2007. In die Zeitreihen sind jeweils die Trendgeraden und die gleitenden Mittel über 11 Jahre eingetragen. Die Häufigkeiten zeigen einen signifikanten (95 %-Signifikanzniveau), ansteigenden Trend mit einem signifikanten Bruchpunkt im Jahr 1966. Die maximalen Dauern im gleitenden 45-Tagefenster weisen einen hochsignifikanten (99 %-Signifikanzniveau), ansteigenden Trend mit einem hochsignifikanten Bruchpunkt im Jahr 1966 auf. Ähnlich wie in Abb. 4.3.1, so sind auch aus Abb. 4.3.5 ausgeprägte historische Trockenperioden wie z.B. die Sommer 1949, 1976, 1983 und 2003 als „Peaks“ aus beiden Graphiken ablesbar. Allerdings ist die Ablesbarkeit weniger ausgeprägt als in Abb. 4.3.1. In Abb. 4.3.6 werden Sommer mit großer Häufigkeit an kombinierten NCAR-Trocken-CP ($f \geq 45$ %) und einer langen maximalen Dauer im gleitenden 45-Tagefenster ($T_{\max} \geq 29$ Tage) betrachtet. Analog zu Abb. 4.3.2 sind auch die extremen Trockenperioden und Niedrigwasserjahre 1921, 1976 und 2003 alle im grau hinterlegten „kritischen“ Sektor, in der oberen rechten Ecke

von Abb. 4.3.6 erkennbar. In den 67 Jahren des Zeitraumes 1900–1966 lagen 6 Sommer im grau hinterlegten „kritischen“ Sektor.

Häufigkeiten der zusammengefassten Trocken-CP der 17 CP Klassifikation (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) in der Vegetationsperiode (April - Sept.)				Veränderung 1958 - 2007 zu 1900 - 1957 [%]
Zeiträume	1900 - 2007	1900 - 1957	1958 - 2007	
Anzahl der Werte [-]	107	57	50	
Summe	4974	2564	2410	
Minimum [%]	31,9	31,9	35,9	12,4%
Maximum [%]	67,8	67,8	64,5	-4,9%
Mittelwert [%]	46,5	45,0	48,2	7,1%
Median [%]	46,3	45,2	47,5	5,2%
1. Quartile (25% Perzentilwert) [%]	40,8	40,0	43,5	8,5%
3. Quartile (75% Perzentilwert) [%]	50,8	49,6	52,9	6,7%
Standardabweichung [%]	7,0	7,3	6,3	-13,1%
Variationskoeffizient [-]	0,151	0,162	0,132	-18,9%

Max. Dauer zusammenhängender Trocken-CP der 17 CP Klassifikation (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) in der VP				Veränderung 1958 - 2007 zu 1900 - 1957 [%]
Zeiträume	1900 - 2007	1900 - 1957	1958 - 2007	
Anzahl der Werte [-]	107	57	50	
Summe [Tage]	1228	627	601	
Minimum [Tage]	5	5	7	40,0%
Maximum [Tage]	24	24	24	0,0%
Mittelwert [Tage]	11,5	11,0	12,0	9,1%
Median [Tage]	11	10	11,5	15,0%
1. Quartile (25% Perzentilwert) [Tage]	9	8	9	12,5%
3. Quartile (75% Perzentilwert) [Tage]	14	13	14	7,7%
Standardabweichung [Tage]	3,8	4,1	3,4	-16,3%
Variationskoeffizient [-]	0,333	0,372	0,285	-23,4%

Max. Dauer im gleit. 45-Tagefenster Trocken-CP der 17 CP Klassifikation (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) in der VP				Veränderung 1958 - 2007 zu 1900 - 1957 [%]
Zeiträume	1900 - 2007	1900 - 1957	1958 - 2007	
Anzahl der Werte [-]	107	57	50	
Summe [Tage]	3127	1646	1481	
Minimum [Tage]	21	21	24	14,3%
Maximum [Tage]	40	40	39	-2,5%
Mittelwert [Tage]	29,2	28,9	29,6	2,4%
Median [Tage]	29	28	29	3,6%
1. Quartile (25% Perzentilwert) [Tage]	26,3	26	27	3,8%
3. Quartile (75% Perzentilwert) [Tage]	32	31,3	32	2,2%
Standardabweichung [Tage]	3,88	3,85	3,92	1,8%
Variationskoeffizient [-]	0,133	0,133	0,132	-0,9%

Tab. 4.3.2: Statistische Auswertung der Häufigkeiten, der maximalen Dauer zusammenhängender Trocken-CP und der maximalen Dauer im gleitenden 45-Tagefenster der Trocken-CP (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) für die **Vegetationsperioden** (April–September) der Zeiträume vor und nach dem Bruchpunkt 1957 für die gemeinsame **17 CP-Klassifikation**, die für **BW, BY und RLP** gültig ist.

Diese beinhalten auch die extremen Trockensommer 1921 und 1949. Dagegen entfallen 7 der letzten 42 Sommer und damit 16,7 % auf den Zeitraum nach dem Bruchpunkt (1967–2007). Diese beinhalten die extremen Trockensommer und Hitzewellen der Jahre 1976, 1983, 2003 und 2006. Hieraus folgt, dass die spezifisch für Baden-Württemberg optimierte 18 CP-Klassifikation eine **Wahrscheinlichkeitserhöhung für einen trockenen, heißen Sommer im „kritischen“ Sektor ($T_{\max} \geq 29 \text{ Tage} \cap f \geq 45 \%$) im Vergleich zu dem Zeitraum vor dem Bruchpunkt um den Faktor 1,9 aufweist!**

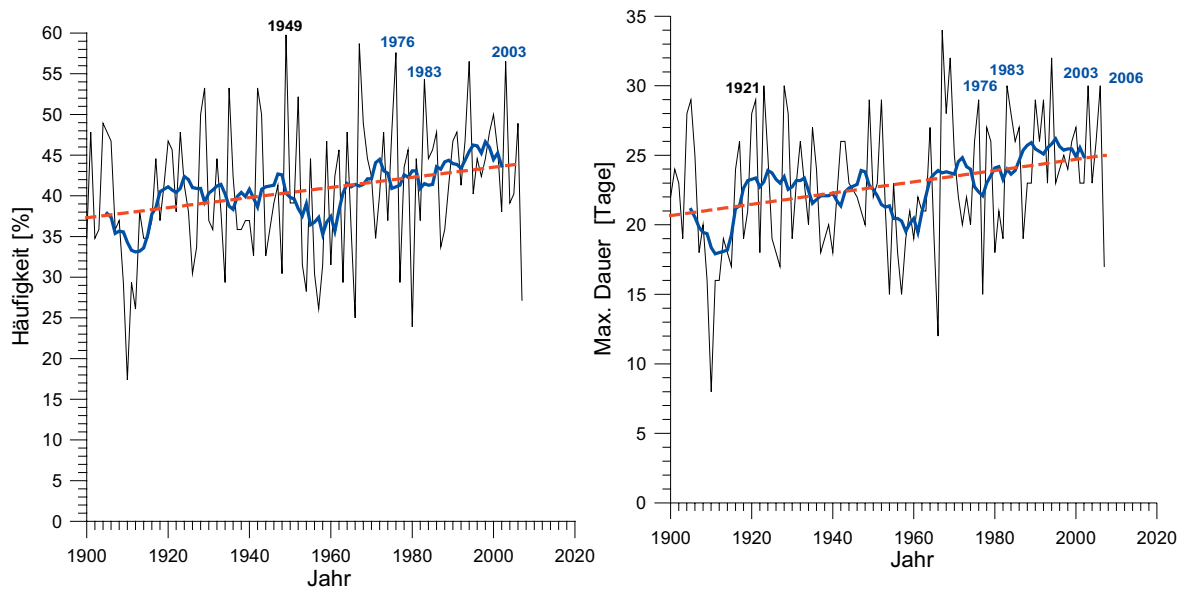


Abb. 4.3.5: Häufigkeiten (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten NCAR-Trocken-CPs (CP02+CP03+CP04+CP06+CP11+CP12+CP15+CP16) für die **Sommer (JJA)** des Zeitraumes 1900–2007 für die **18 CP-Klassifikation** von **Baden-Württemberg**. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

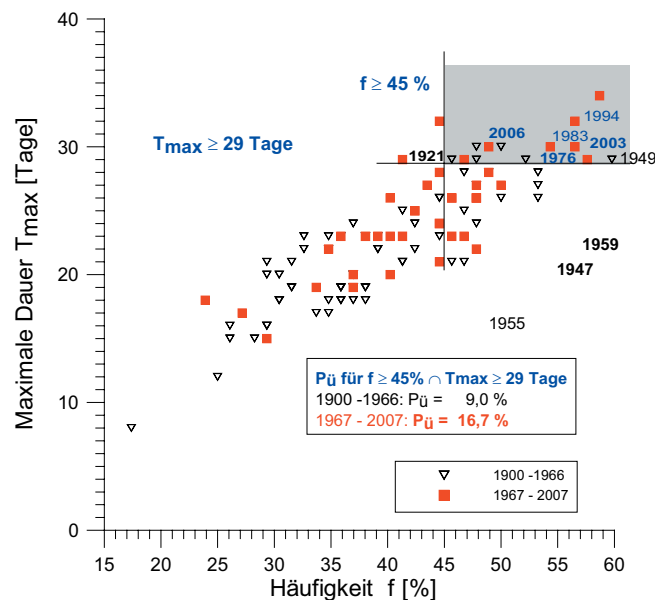


Abb. 4.3.6: Max. Dauer T_{\max} im gleitenden 45-Tagefenster der kombinierten NCAR-Trocken-CPs (CP02+CP03+CP04+CP06+CP11+CP12+CP15+CP16) für die spezielle **18 CP-Klassifikation** von Baden-Württemberg als Funktion der Häufigkeit f [%] für die **Sommer (JJA)** der Zeiträume 1900–1966 und 1967–2007 mit „kritischem“ Sektor ($T_{\max} \geq 29 \text{ Tage} \cap f \geq 45 \%$).

Tab. 4.3.3 zeigt die statistische Auswertung für die Trocken-CP im **Sommer (JJA)** der speziell für Baden-Württemberg optimierten **18 CP-Klassifikation**. Analog zu Tab. 4.3.1 wurden auch hier die Häufigkeiten, die maximale Dauer zusammenhängender Trocken-CP-Perioden und die max. Dauer von Trocken-CP im gleitenden 45-Tagefenster für den Gesamtzeitraum 1900–2007 und die Teilzeiträume bis zum Bruchpunkt (1900–1966) und nach dem Bruchpunkt (1967–2007) ausgewertet. Aus Tab. 4.3.3 folgt, dass die **Mittelwerte der Häufigkeiten (+ 12,8 %)** und der max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (**+15,3 %**) deutlich ansteigen, wohingegen die Variabilität, gemessen als Standardabweichung der Häufigkeiten (- 6,3 %) und der max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (- 5,3 %) leicht abnehmen.

Häufigkeiten der zusammengefassten Trocken-CP der 18 CP Klassifikation (CP02+CP03+CP04+CP06+CP11+CP12+CP15+CP16) für Baden-Württemberg im Sommer (JJA)				Veränderung 1967 - 2007 zu 1900 - 1966 [%]
Zeiträume	1900 - 2007	1900 - 1966	1967 - 2007	
Anzahl der Werte [-]	107	66	41	
Summe	4348	2557	1791	
Minimum [%]	17,4	17,4	23,9	37,5%
Maximum [%]	59,8	59,8	58,7	-1,8%
Mittelwert [%]	40,6	38,7	43,7	12,8%
Median [%]	40,2	37,0	44,6	20,6%
1. Quartile (25% Perzentilwert) [%]	35,1	32,6	39,9	22,5%
3. Quartile (75% Perzentilwert) [%]	46,7	45,7	47,8	4,8%
Standardabweichung [%]	8,4	8,2	7,7	-6,3%
Variationskoeffizient [-]	0,206	0,212	0,177	-16,9%

Max. Dauer zusammenhängender Trocken-CP der 18 CP Klassifikation (CP02+CP03+CP04+CP06+CP11+CP12+CP15+CP16) im Sommer (JJA)				Veränderung 1967 - 2007 zu 1900 - 1966 [%]
Zeiträume	1900 - 2007	1900 - 1966	1967 - 2007	
Anzahl der Werte [-]	107	66	41	
Summe [Tage]	775	467	308	
Minimum [Tage]	3	3	3	0,0%
Maximum [Tage]	15	15	13	-13,3%
Mittelwert [Tage]	7,2	7,1	7,5	6,1%
Median [Tage]	7	7	8	14,3%
1. Quartile (25% Perzentilwert) [Tage]	5	5	5,8	15,0%
3. Quartile (75% Perzentilwert) [Tage]	9	8	9	12,5%
Standardabweichung [Tage]	2,4	2,5	2,3	-9,1%
Variationskoeffizient [-]	0,336	0,356	0,305	-14,3%

Max. Dauer im gleit. 45-Tagefenster Trocken-CP der 18 CP Klassifikation (CP02+CP03+CP04+CP06+CP11+CP12+CP15+CP16) im Sommer (JJA)				Veränderung 1967 - 2007 zu 1900 - 1966 [%]
Zeiträume	1900 - 2007	1900 - 1966	1967 - 2007	
Anzahl der Werte [-]	107	66	41	
Summe [Tage]	2443	1423	1020	
Minimum [Tage]	8	8	15	87,5%
Maximum [Tage]	34	30	34	13,3%
Mittelwert [Tage]	22,8	21,6	24,9	15,3%
Median [Tage]	23	21	25	19,0%
1. Quartile (25% Perzentilwert) [Tage]	19	19	22,8	20,0%
3. Quartile (75% Perzentilwert) [Tage]	26	25	28	12,0%
Standardabweichung [Tage]	4,7	4,5	4,3	-5,3%
Variationskoeffizient [-]	0,206	0,210	0,172	-18,0%

Tab. 4.3.3: Statistische Auswertung der Häufigkeiten, der maximalen Dauer zusammenhängender Trocken-CP und der maximalen Dauer im gleitenden 45-Tagefenster der Trocken-CP (CP02+CP03+CP04+CP06+CP11+CP12+CP15+CP16) für die **Sommer (JJA)** der Zeiträume vor und nach dem Bruchpunkt 1966 für die spezielle **18 CP-Klassifikation** von **Baden-Württemberg**.



4.3.2.2 Häufigkeiten und Persistenz der zusammengefassten NCAR-Trocken-CPs in den Vegetationsperioden für die 18 CP-Klassifikation von Baden-Württemberg

Analog zu den Ergebnissen für die Sommer (JJA) sind in [Abb. 4.3.7](#) die Häufigkeiten und die maximale Dauern im gleitenden 45-Tagefenster der NCAR-Trocken-CPs der speziellen 18CP-Klassifikation von Baden-Württemberg für die **Vegetationsperioden (April–September)** des Zeitraumes 1900–2007 dargestellt.

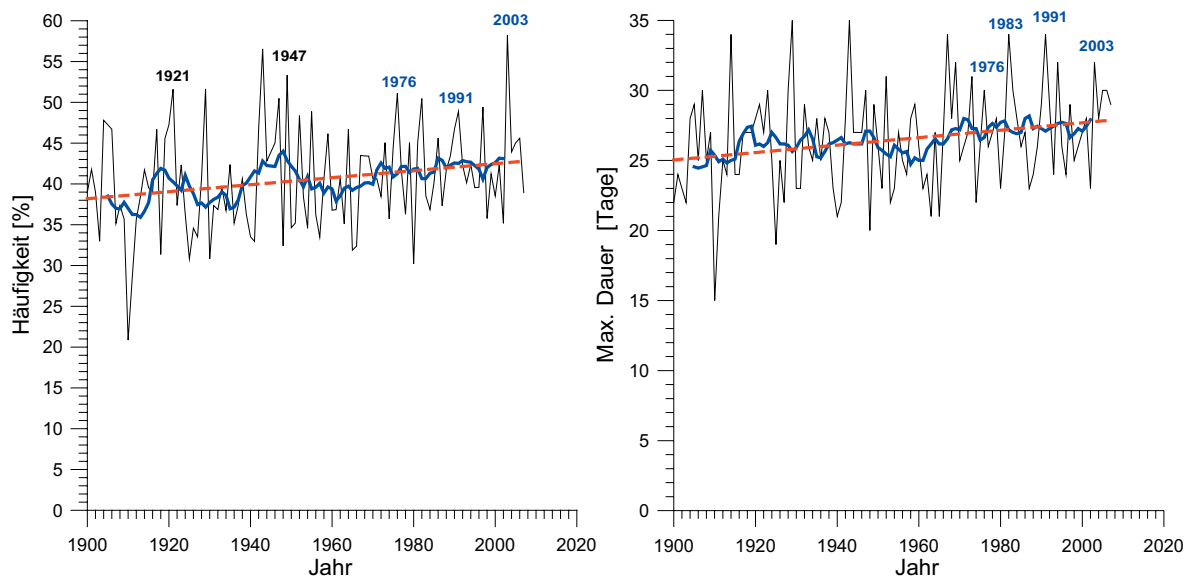


Abb. 4.3.7: Häufigkeiten (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten NCAR-Trocken-CPs (CP02+CP03+CP04+CP06+CP11+CP12+CP15+CP16) für die **Vegetationsperioden** (April–September) des Zeitraumes 1900–2007 für die spezielle **18 CP-Klassifikation** von **Baden-Württemberg**. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

Hier zeigen sowohl die Häufigkeiten als auch die max. Dauern im gleitenden 45-Tagefenster einen signifikanten (95 %-Niveau) ansteigenden Trend. Wobei für die Häufigkeiten ein sign. Bruchpunkt im Jahr 1966 und für die maximalen Dauern der Trocken-CP im gleitenden 45-Tagefenster der Bruchpunkt im Jahr 1965 liegt. Auch in [Abb. 4.3.7](#) sind die extremen Trockenjahre als „Peaks“ aus beiden Kurven gut ablesbar. Analog zu [Abb. 4.3.5](#) sind in [Abb. 4.3.8](#) die Vegetationsperioden (April–September) mit großer Häufigkeit an kombinierten NCAR-Trocken-CP ($f \geq 45\%$) und einer langen maximalen Dauer im gleitenden 45-Tagefenster ($T_{\max} \geq 30$ Tage) betrachtet. Auch hier fällt auf, dass die extremen Trockenperioden und Niedrigwasserjahre wie 1947, 1976, 1991 und 2003 alle im grau hinterlegten „kritischen“ Sektor, in der oberen rechten Ecke von [Abb. 4.3.8](#) liegen. In den 67 Jahren des Zeitraumes 1900–1966 lagen 4 Vegetationsperioden im grau hinterlegten „kritischen“ Sektor, was einem Anteil von 6,0 % entspricht. Diese beinhalten auch das extreme Trockenjahr 1947. Dagegen entfallen 6 der letzten 42 Jahre und damit 14,3 % auf den Zeitraum nach dem Bruchpunkt (1967–2007). Diese beinhalten die extrem trockenen Vegetationsperioden der Jahre 1976, 1991 und 2003. Hieraus folgt für die spezifisch für Baden-Württemberg optimierte 18 CP-Klassifikation, dass das **die Wahrscheinlichkeit eine besonders trockene Vegetationsperiode im „kritischen“ Sektor ($T_{\max} \geq 30$ Tage \cap $f \geq 45\%$) zu erhalten bereits heute im Vergleich zu dem Zeitraum vor dem Bruchpunkt um den Faktor 2,4 angestiegen**

ist. Dies entspricht fast exakt dem Faktor 2,4, der in Abschnitt 4.3.1.2 für die Vegetationsperioden (April–September) für die gemeinsame 17 CP-Klassifikation berechnet wurde.

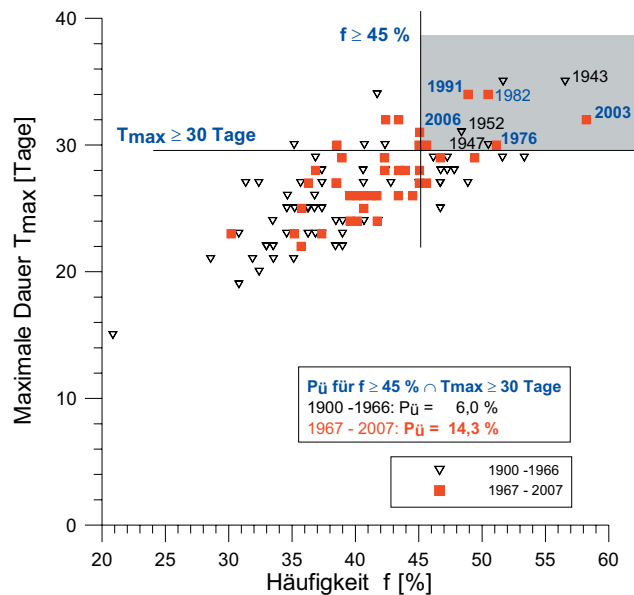


Abb. 4.3.8: Maximale Dauer T_{\max} im gleitenden 45-Tagefenster der kombinierten NCAR-Trocken-CPs (CP02+CP03+CP04+CP06+CP11+CP12+CP15+CP16) für die für die spezielle **18CP**-Klassifikation von **Baden-Württemberg** als Funktion der Häufigkeit f [%] für die Vegetationsperioden (April –September) der Zeiträume 1900–1966 und 1967–2007 mit „kritischem“ Sektor ($T_{\max} \geq 30$ Tage \cap $f \geq 45$ %).

4.3.3 Ergebnisse der Zeitreihenanalyse für die spezielle 20 CP-Klassifikation für Rheinland-Pfalz

4.3.3.1 Häufigkeiten und Persistenz der zusammengefassten NCAR-Trocken-CPs im Sommer für die 20 CP-Klassifikation von Rheinland-Pfalz

In diesem Abschnitt werden die Trocken-CPs aus der 20 CP umfassenden speziell für Rheinland-Pfalz optimierten CP-Klassifikation hinsichtlich systematischer Veränderungen (Trend, Bruchpunkte) analysiert. Die Trocken-CP sind hierbei identisch mit den Angaben in Tab. 4.2.2. Es handelt sich um die nachstehenden 9 CPs (CP01, CP03, CP04, CP08, CP12, CP13, CP14, CP19 und CP20). Abb. 4.3.9 zeigt die Zeitreihe der Häufigkeiten und der maximalen Dauer im gleitenden 45-Tagefenster dieser NCAR-Trocken-CPs für die Sommer (JJA) des Zeitraumes 1900–2007. In die Zeitreihen sind jeweils die Trendgeraden und die gleitenden Mittel über 11 Jahre eingetragen. Die Häufigkeiten zeigen einen signifikanten (95 %-Signifikanzniveau) ansteigenden Trend mit einem hochsignifikanten Bruchpunkt im Jahr 1966. Die maximalen Dauern im gleitenden 45-Tagefenster weisen einen signifikanten (95 %-Signifikanzniveau) ansteigenden Trend mit einem signifikanten Bruchpunkt im Jahr 1968 auf. Ähnlich wie in Abb. 4.3.1, so sind auch aus Abb. 4.3.9 ausgeprägte historische Trockenperioden wie z.B. die Sommer 1921, 1947, 1976, 1983 und 2003 als „Peaks“ aus beiden Graphiken ablesbar. Allerdings ist – ähnlich wie für die spezielle 18 CP-Klassifikation von Baden-Württemberg – die Ablesbarkeit weniger ausgeprägt als in Abb. 4.3.2.

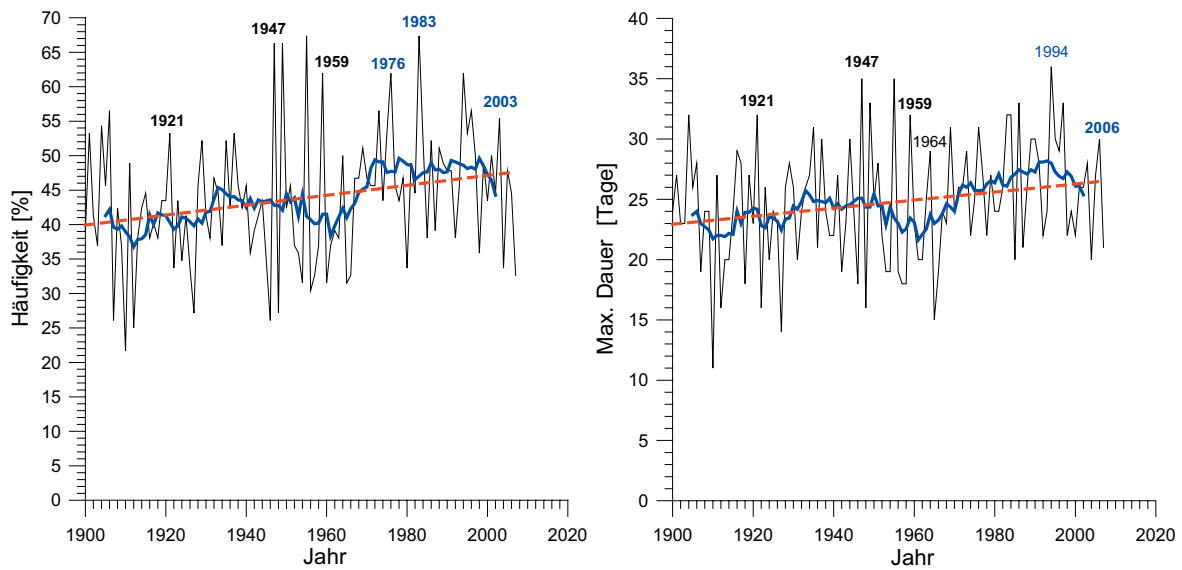


Abb. 4.3.9: Häufigkeiten (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten NCAR-Trocken-CPs (CP01+CP03+CP04+CP08+CP12+CP13+CP14+CP19+CP20) für die Sommer (JJA) des Zeitraumes 1900–2007 für die 20 CP umfassende CP-Klassifikation von Rheinland-Pfalz. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

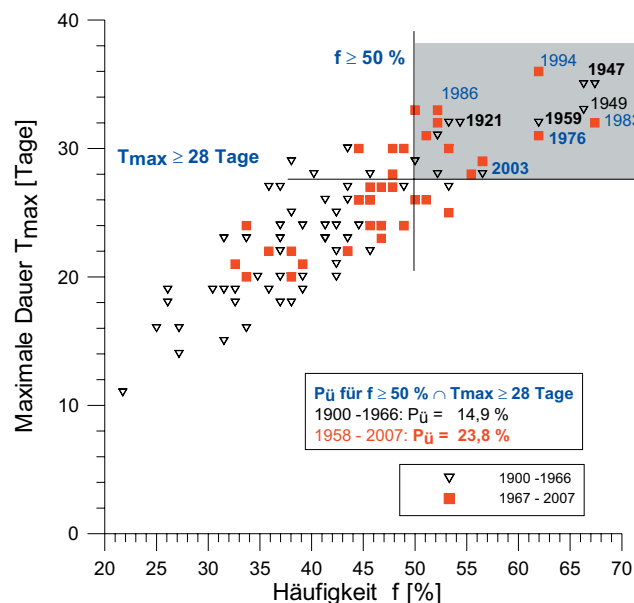


Abb. 4.3.10: Max. Dauer T_{\max} im gleitenden 45-Tagefenster der kombinierten NCAR-Trocken-CPs (CP01+CP03+CP04+CP08+CP12+CP13+CP14+CP19+CP20) für die spezielle 20 CP-Klassifikation für Rheinland-Pfalz als Funktion der Häufigkeit f [%] für die Sommer (JJA) der Zeiträume 1900–1966 und 1967–2007 mit „kritischem“ Sektor ($T_{\max} \geq 28$ Tage \cap $f \geq 50$ %).

In Abb. 4.3.10 werden Sommer mit großer Häufigkeit an kombinierten NCAR-Trocken-CP ($f \geq 50$ %) und einer langen maximalen Dauer im gleitenden 45-Tagefenster ($T_{\max} \geq 28$ Tage) betrachtet.

Analog zu Abb. 4.3.2 sind auch die extremen Trockenperioden und Niedrigwasserjahre 1921, 1976 und 2003 alle im grau hinterlegten „kritischen“ Sektor, in der oberen rechten Ecke von Abb. 4.3.10 erkennbar. In den 67 Jahren des Zeitraumes 1900–1966 lagen 10 Sommer im grau hinterlegten „kritischen“ Sektor. Diese beinhalten auch die extremen Trockensommer 1921, 1947 und 1959. Dagegen entfallen 10 der letzten 42 Sommer und damit 23,8 % auf den Zeitraum nach dem Bruchpunkt (1967–2007). Diese beinhalten die extremen Trockensommer und Hitzewellen der Jahre 1976, 1983 und 2003. Hieraus folgt, dass die spezifisch für Rheinland-Pfalz optimierte 20 CP-Klassifikation eine **Wahrscheinlichkeitserhöhung für einen trockenen, heißen Sommer im „kritischen“ Sektor ($T_{\max} \geq 28 \text{ Tage} \cap f \geq 50 \%$) im Vergleich zu dem Zeitraum vor dem Bruchpunkt um den Faktor 1,6 aufweist!**

Häufigkeiten der zusammengefassten Trocken-CP der 20 CP Klassifikation (CP01+CP03+CP04+CP08+CP12+CP13+CP14+CP19+CP20) für Rheinland-Pfalz im Sommer (JJA)				Veränderung
Zeiträume	1900 - 2007	1900 - 1966	1967 - 2007	1967 - 2007 zu 1900 - 1966 [%]
Anzahl der Werte [-]	107	66	41	
Summe	4686	2738	1948	
Minimum [%]	21,7	21,7	32,6	50,0%
Maximum [%]	67,4	67,4	67,4	0,0%
Mittelwert [%]	43,8	41,5	47,5	14,5%
Median [%]	43,5	41,3	46,7	13,2%
1. Quartile (25% Perzentilwert) [%]	37,2	35,9	44,3	23,5%
3. Quartile (75% Perzentilwert) [%]	48,9	45,7	51,4	12,5%
Standardabweichung [%]	9,4	9,8	7,5	-22,8%
Variationskoeffizient [-]	0,215	0,235	0,159	-32,6%

Max. Dauer zusammenhängender Trocken-CP der 20 CP Klassifikation (CP01+CP03+CP04+CP08+CP12+CP13+CP14+CP19+CP20) im Sommer (JJA)				Veränderung
Zeiträume	1900 - 2007	1900 - 1966	1967 - 2007	1967 - 2007 zu 1900 - 1966 [%]
Anzahl der Werte [-]	107	66	41	
Summe [Tage]	990	580	410	
Minimum [Tage]	3	3	5	66,7%
Maximum [Tage]	22	21	22	4,8%
Mittelwert [Tage]	9,3	8,8	10	13,8%
Median [Tage]	9	8,5	10	17,6%
1. Quartile (25% Perzentilwert) [Tage]	7	6	7	16,7%
3. Quartile (75% Perzentilwert) [Tage]	11,8	11	12	9,1%
Standardabweichung [Tage]	3,3	3,2	3,4	7,2%
Variationskoeffizient [-]	0,361	0,366	0,344	-5,8%

Max. Dauer im gleit. 45-Tagefenster Trocken-CP der 20 CP Klassifikation (CP01+CP03+CP04+CP08+CP12+CP13+CP14+CP19+CP20) im Sommer (JJA)				Veränderung
Zeiträume	1900 - 2007	1900 - 1966	1967 - 2007	1967 - 2007 zu 1900 - 1966 [%]
Anzahl der Werte [-]	107	66	41	
Summe [Tage]	2645	1562	1083	
Minimum [Tage]	11	11	20	81,8%
Maximum [Tage]	36	35	36	2,9%
Mittelwert [Tage]	24,7	23,7	26,4	11,4%
Median [Tage]	24	24	26	8,3%
1. Quartile (25% Perzentilwert) [Tage]	21,3	20	23,8	19,0%
3. Quartile (75% Perzentilwert) [Tage]	28	27	30	11,1%
Standardabweichung [Tage]	5,0	5,2	4,0	-23,2%
Variationskoeffizient [-]	0,200	0,220	0,152	-31,2%

Tab. 4.3.4: Statistische Auswertung der Häufigkeiten, der maximalen Dauer zusammenhängender Trocken-CP und der maximalen Dauer im gleitenden 45-Tagefenster der Trocken-CP (CP01+CP03+CP04+CP08+CP12+CP13+CP14+CP19+CP20) für die **Sommer (JJA)** der Zeiträume vor und nach dem Bruchpunkt 1966 für die spezielle **20 CP-Klassifikation von Rheinland-Pfalz**.



Tab. 4.3.4 zeigt die statistische Auswertung für die Trocken-CP im **Sommer (JJA)** der speziell für Rheinland-Pfalz optimierten **20 CP-Klassifikation**. Analog zu Tab. 4.3.1 wurden auch hier die Häufigkeiten, die maximale Dauer zusammenhängender Trocken-CP-Perioden und die max. Dauer von Trocken-CP im gleitenden 45-Tagefenster für den Gesamtzeitraum 1900–2007 und die Teilzeiträume vor (1900–1966) und nach (1967–2007) dem Bruchpunkt 1966 ausgewertet. Aus Tab. 4.3.4 folgt, dass die **Mittelwerte der Häufigkeiten (+ 14,5 %)** und der max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (**+11,4 %**) **deutlich ansteigen**, wohingegen die **Variabilität, gemessen als Standardabweichung, der Häufigkeiten (- 22,8 %) und der max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (- 23,2 %) sehr stark abnehmen**.

4.3.3.2 Häufigkeiten und Persistenz der zusammengefassten NCAR-Trocken-CPs in den Vegetationsperioden für die 20 CP-Klassifikation von Rheinland-Pfalz

Analog zu den Ergebnissen für die Sommer (JJA) sind in [Abb. 4.3.11](#) die Häufigkeiten und die maximale Dauern im gleitenden 45-Tagefenster der NCAR-Trocken-CPs der speziellen 20 CP-Klassifikation von Rheinland-Pfalz für die **Vegetationsperioden (April–September)** des Zeitraumes 1900–2007 dargestellt. Hier zeigen sowohl die Häufigkeiten als auch die max. Dauern im gleitenden 45-Tagefenster keinen signifikanten ansteigenden Trend und auch jeweils keinen signifikanten Bruchpunkt.

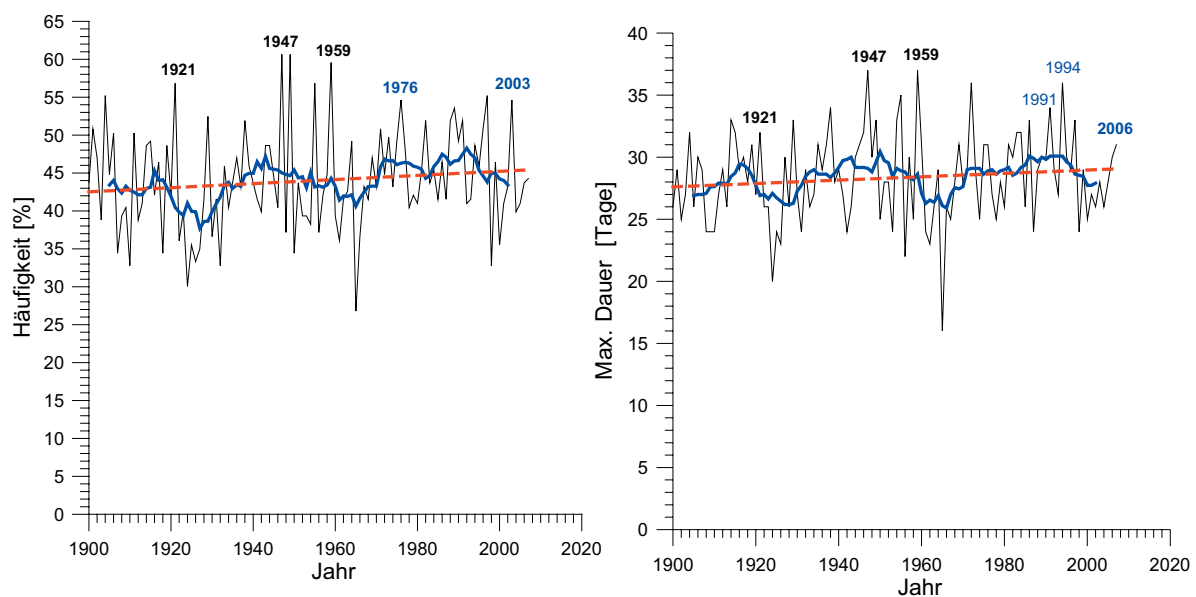


Abb. 4.3.11: Häufigkeiten (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten NCAR-Trocken-CPs (CP01+CP03+CP04+CP08+CP12+CP13+CP14+CP19+ CP20) für die **Vegetationsperioden** (April–September) des Zeitraumes 1900–2007 für die spezielle **20 CP-Klassifikation** von **Rheinland-Pfalz**. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

4.3.4 Ergebnisse der Zeitreihenanalyse für die spezielle 21 CP-Klassifikation für Bayern

4.3.4.1 Häufigkeiten und Persistenz der zusammengefassten NCAR-Trocken-CPs im Sommer für die 21 CP-Klassifikation von Bayern

Abschließend werden in diesem Abschnitt die Trocken-CPs aus der 21 CP umfassenden speziell für Bayern optimierten CP-Klassifikation hinsichtlich systematischer Veränderungen (Trend, Bruchpunkte) analysiert. Die Trocken-CP sind hierbei identisch mit den Angaben in Tab. 4.2.2. Es handelt sich um die nachstehenden 9 CPs (CP02, CP04, CP06, CP07, CP08, CP12, CP16, CP19 und CP21). [Abb. 4.3.12](#) zeigt die Zeitreihe der Häufigkeiten und der maximalen Dauer im gleitenden 45-Tagefenster dieser NCAR-Trocken-CPs für die Sommer (JJA) des Zeitraumes 1900–2007. In die Zeitreihen sind jeweils die Trendgeraden und die gleitenden Mittel über 11 Jahre eingetragen. Die Häufigkeiten und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster zeigen jeweils einen hochsignifikanten (99 %-Signifikanzniveau), steil ansteigenden Trend mit jeweils einem hochsignifikanten Bruchpunkt für die Häufigkeiten im Jahr 1948 und für die max. Dauern im gleitenden 45-Tagefenster im Jahr 1966.

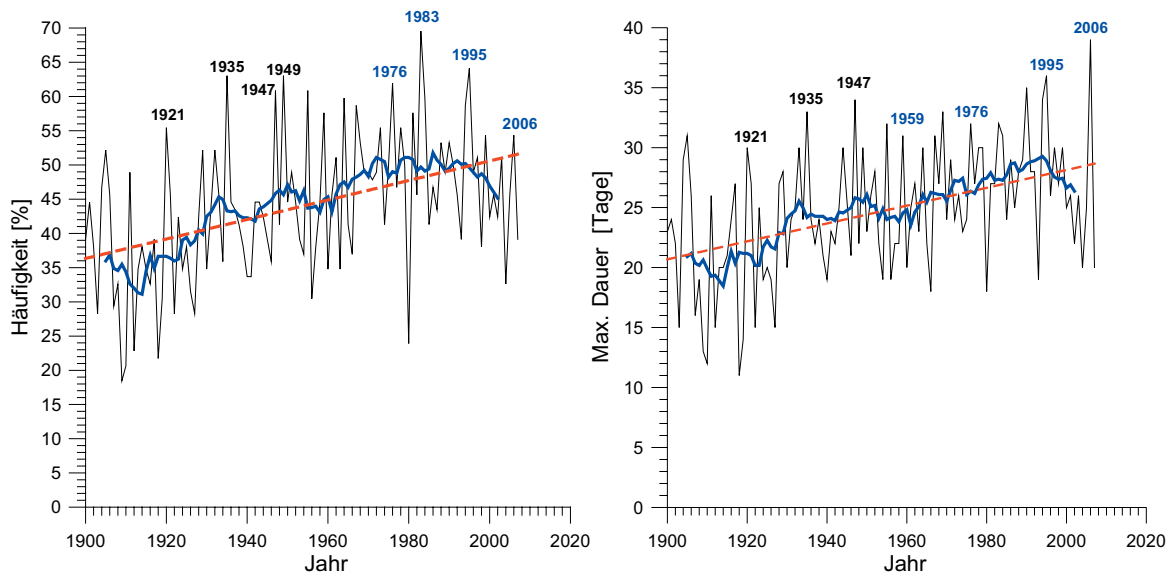


Abb. 4.3.12: Häufigkeiten (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten NCAR-Trocken-CPs (CP02+CP04+CP06+CP07+CP08+CP12+CP16+CP19+CP21) für die **Sommer (JJA)** des Zeitraumes 1900–2007 für die **21 CP** umfassende CP-Klassifikation von **Bayern**. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

Ähnlich wie in Abb. 4.3.1, so sind auch aus Abb. 4.3.12 ausgeprägte historische Trockenperioden wie z.B. die Sommer 1921, 1947, 1976, 1983 und 2006 als „Peaks“ aus beiden Graphiken ablesbar. Allerdings ist – ähnlich wie für die spezielle 18 CP-Klassifikation von Baden-Württemberg – die Ablesbarkeit weniger ausgeprägt als in Abb. 4.3.1. In [Abb. 4.3.13](#) werden Sommer mit großer Häufigkeit an kombinierten NCAR-Trocken-CP ($f \geq 50\%$) und einer langen maximalen Dauer im gleitenden 45-Tagefenster ($T_{\max} \geq 30$ Tage) betrachtet. Analog zu Abb. 4.3.2 sind auch die extremen Trockenperioden und Niedrigwasserjahre 1947, 1976, und 2006 alle im grau hinterlegten „kritischen“ Sektor, in der oberen rechten Ecke von Abb. 4.3.13 erkennbar. In den 67 Jahren des Zeitraumes 1900–1966 lagen 7 Sommer im grau hinterlegten „kritischen“ Sektor. Diese beinhalten



auch die extremen Trockensommer 1947 und 1959. Dagegen entfallen 11 der letzten 42 Sommer und damit 26,2 % auf den Zeitraum nach dem Bruchpunkt (1967–2007). Diese beinhalten die extremen Trockensommer und Hitzewellen der Jahre 1976, 1983 und 2003. Hieraus folgt, dass die spezifisch für Bayern optimierte 21 CP-Klassifikation eine **Wahrscheinlichkeitserhöhung für einen trockenen, heißen Sommer im „kritischen“ Sektor ($T_{\max} \geq 30$ Tage \cap $f \geq 50$ %) im Vergleich zu dem Zeitraum vor dem Bruchpunkt um den Faktor 2,5 aufweist!**

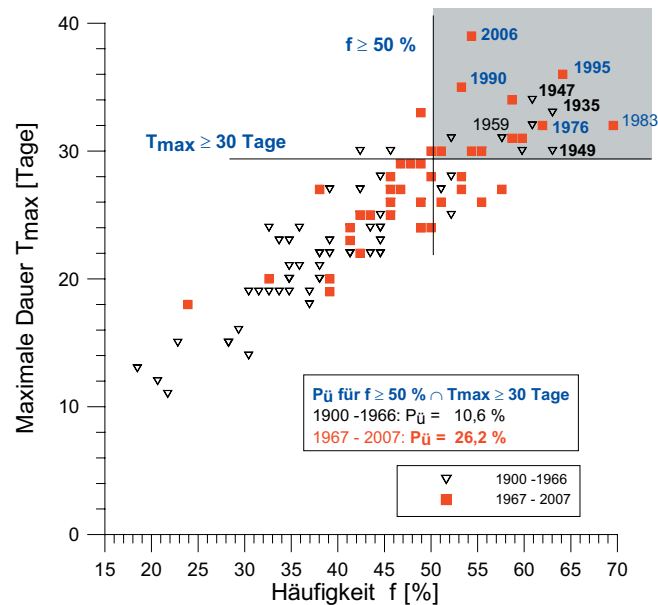


Abb. 4.3.13: Max. Dauer T_{\max} im gleitenden 45-Tagefenster der kombinierten NCAR-Trocken-CPs (CP02+CP04+CP06+CP07+CP08+CP12+CP16+CP19+CP21) für die spezielle 21 CP-Klassifikation für Bayern als Funktion der Häufigkeit f [%] für die Sommer (JJA) der Zeiträume 1900–1966 und 1967–2007 mit „kritischem“ Sektor ($T_{\max} \geq 30$ Tage \cap $f \geq 50$ %).

Tab. 4.3.5 zeigt die statistische Auswertung für die Trocken-CP im **Sommer (JJA)** der speziell für Bayern optimierten **21 CP-Klassifikation**. Analog zu Tab. 4.3.1 wurden die Häufigkeiten, die maximale Dauer zusammenhängender Trocken-CP-Perioden und die maximale Dauer von Trocken-CP im gleitenden 45-Tagefenster für den Gesamtzeitraum 1900–2007 und die Teilzeiträume vor (1900–1966) und nach (1967–2007) dem Bruchpunkt 1966 ausgewertet. Aus Tab. 4.3.5 folgt, dass die **Mittelwerte der Häufigkeiten (+ 20,5 %)** und der max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (**+19,6 %**) **deutlich ansteigen**, wohingegen die **Standardabweichung der Häufigkeiten (- 15,4 %)** und der max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (**- 13,4 %**) **stark abnehmen**.

Häufigkeiten der Trocken-CP der 21 CP Klassifikation für Bayern (CP02+04+06+07+08+12+16+19+CP21) im Sommer (JJA)				Veränderung
Zeiträume	1900 - 2007	1900 - 1966	1967 - 2007	1967 - 2007 zu 1900 - 1966 [%]
Anzahl der Werte [-]	107	66	41	
Summe	4704,3	2690,2	2014,1	
Minimum [%]	18,5	18,5	23,9	29,4%
Maximum [%]	69,6	63,0	69,6	10,3%
Mittelwert [%]	44,0	40,8	49,1	20,5%
Median [%]	44,6	40,2	48,9	21,6%
1. Quartile (25% Perzentilwert) [%]	37,2	34,8	45,1	29,7%
3. Quartile (75% Perzentilwert) [%]	50,8	45,7	54,3	19,0%
Standardabweichung [%]	10,3	10,1	8,5	-15,4%
Variationskoeffizient [-]	0,235	0,247	0,174	-29,8%

Max. Dauer zusammenhängender Trocken-CP der 21 CP Klassifikation für Bayern (CP02+04+06+07+08+12+16+19+CP21) im Sommer (JJA)				Veränderung
Zeiträume	1900 - 2007	1900 - 1966	1967 - 2007	1967 - 2007 zu 1900 - 1966 [%]
Anzahl der Werte [-]	107	66	41	
Summe [Tage]	935	530	405	
Minimum [Tage]	3	4	3	-25,0%
Maximum [Tage]	22	22	20	-9,1%
Mittelwert [Tage]	8,7	8,0	9,9	23,0%
Median [Tage]	8	8	10	25,0%
1. Quartile (25% Perzentilwert) [Tage]	7	6	7	16,7%
3. Quartile (75% Perzentilwert) [Tage]	10	9	12	33,3%
Standardabweichung [Tage]	3,5	3,2	3,6	13,4%
Variationskoeffizient [-]	0,398	0,399	0,369	-7,7%

Max. Dauer im gleit. 45-Tagefenster Trocken-CP der 21 CP Klassifikation für Bayern (CP02+04+06+07+08+12+16+19+CP21) im Sommer (JJA)				Veränderung
Zeiträume	1900 - 2007	1900 - 1966	1967 - 2007	1967 - 2007 zu 1900 - 1966 [%]
Anzahl der Werte [-]	107	66	41	
Summe [Tage]	2641	1515	1126	
Minimum [Tage]	11	11	18	63,6%
Maximum [Tage]	39	34	39	14,7%
Mittelwert [Tage]	24,7	23	27,5	19,6%
Median [Tage]	25	23	27	17,4%
1. Quartile (25% Perzentilwert) [Tage]	21	20	24,8	24,0%
3. Quartile (75% Perzentilwert) [Tage]	28,8	27	30	11,1%
Standardabweichung [Tage]	5,5	5,28	4,57	-13,4%
Variationskoeffizient [-]	0,221	0,230	0,166	-27,7%

Tab. 4.3.5: Statistische Auswertung der Häufigkeiten, der maximalen Dauer zusammenhängender Trocken-CP und der maximalen Dauer im gleitenden 45-Tagefenster der Trocken-CP (CP01+CP03+CP04+CP08+CP12+CP13+CP14+CP19+CP20) für die **Sommer (JJA)** der Zeiträume vor und nach dem Bruchpunkt 1966 für die spezielle **21 CP-Klassifikation** von **Bayern**.

4.3.4.2 Häufigkeiten und Persistenz der zusammengefassten NCAR-Trocken-CPs in den Vegetationsperioden für die spezielle 21 CP-Klassifikation von Bayern

Analog zu den Ergebnissen für die Sommer (JJA) sind in [Abb. 4.3.14](#) die Häufigkeiten und die maximale Dauern im gleitenden 45-Tagefenster der NCAR-Trocken-CPs der speziellen 21 CP-Klassifikation von Bayern für die **Vegetationsperioden (April–September)** des Zeitraumes 1900–2007 dargestellt. Hier zeigen sowohl die Häufigkeiten als auch die max. Dauern im gleitenden 45-Tagefenster keinen signifikanten ansteigenden Trend und auch jeweils keinen signifikanten Bruchpunkt. Analog zu [Abb. 4.3.13](#) sind in [Abb. 4.3.15](#) die Vegetationsperioden (April–September) mit großer Häufigkeit an kombinierten NCAR-Trocken-CP ($f \geq 50\%$) und einer langen maximalen Dauer im gleitenden 45-Tagefenster ($T_{\max} \geq 30$ Tage) betrachtet. Auch hier fällt auf,



dass die extremen Trockenperioden und Niedrigwasserjahre wie 1947, 1976 und 2003 alle im grau hinterlegten „kritischen“ Sektor, in der oberen rechten Ecke von Abb. 4.3.15 liegen.

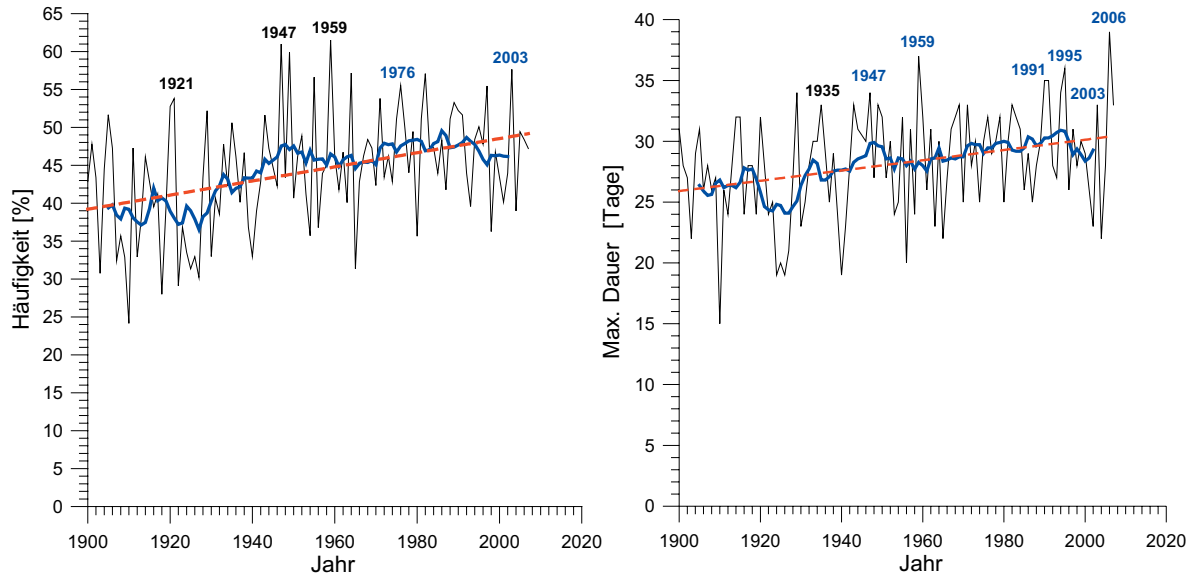


Abb. 4.3.14: Häufigkeiten (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten NCAR-Trocken-CPs (CP02+CP04+CP06+CP07+CP08+CP12+CP16+CP19+CP21) für die **Vegetationsperioden** (April–September) des Zeitraumes 1900–2007 für die spezielle **21 CP-Klassifikation** von **Bayern**. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

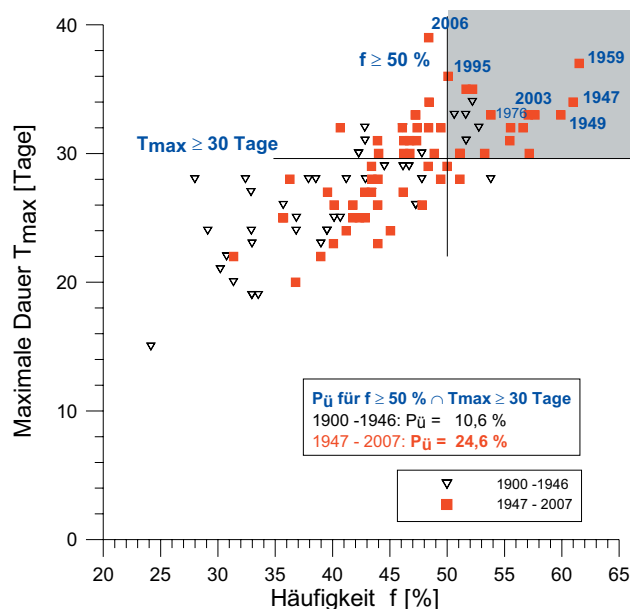


Abb. 4.3.15: Maximale Dauer T_{\max} im gleitenden 45-Tagefenster der kombinierten NCAR-Trocken-CPs (CP02+CP04+CP06+CP07+CP08+CP12+CP16+CP19+CP21) für die 21CP-Klassifikation von Bayern als Funktion der Häufigkeit f [%] für die Vegetationsperioden (April –September) der Zeiträume 1900–1946 und 1947–2007 mit „kritischem“ Sektor ($T_{\max} \geq 30$ Tage \cap $f \geq 50$ %).

In den 47 Jahren des Zeitraumes 1900–1946 lagen 5 Vegetationsperioden im grau hinterlegten „kritischen“ Sektor, was einem Anteil von 13,8 % entspricht. Diese beinhalten das extreme Trockenjahr 1921. Dagegen entfallen 15 der letzten 61 Jahre und damit 24,6 % auf den Zeitraum nach dem Bruchpunkt (1947–2007). Diese beinhalten die extremen Trockensommer und Hitzewellen der Jahre 1947, 1959, 1976 und 2003. Hieraus folgt, dass **die Eintrittswahrscheinlichkeit eine trockene Vegetationsperiode im „kritischen“ Sektor ($T_{\max} \geq 30$ Tage $\cap f \geq 50$ %) zu erhalten bereits heute im Vergleich zu dem Zeitraum vor dem Bruchpunkt um den Faktor 2,3 angestiegen ist.** Dies entspricht fast exakt dem Faktor der in Abschnitt 4.3.4.1 für die Sommer (JJA) berechnet wurde.

4.3.5 Zusammenfassende Ergebnisbewertung der Zeitreihenanalyse für die Trocken-CPs der verschiedenen objektiven NCAR-CP-Klassifikationen

Abschließend sollen die Ergebnisse der Zeitreihenanalyse der Trocken-CPs zusammengefasst und bewertet werden:

1. Die Zeitreihen der Trocken-CP für die Sommer (JJA) zeigen bei allen 4 objektiven CP-Klassifikationen sowohl für die Häufigkeiten als auch die max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster meist hochsignifikante Anstiege.
2. Diese Anstiege sind für die Sommer (JJA) bei allen 4 CP-Klassifikationen durchweg stärker als für die Vegetationsperioden (April - September).
3. Der Bruchpunkt liegt für nahezu alle Zeitreihen im Sommer im Jahr 1966.
4. Historische ausgeprägte Trockensommer und Trockenjahre können als „Peaks“ aus den Zeitreihen bei allen objektiven CP-Klassifikationen problemlos identifiziert werden.
5. In den Scatterplots befinden sich ausgeprägte historische Trockensommer bzw. Trockenjahre durchweg im „kritischen“ Sektor. D.h. sie liegen im Bereich großer Häufigkeiten ($f \geq 50$ %) und großer max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster ($T_{\max} \geq 30$ Tage) von Trocken-CP.
6. Die statistische Auswertung der Trocken-CPs zeigt für den Sommer (JJA) für alle 4 CP-Klassifikationen eine Zunahme der Mittelwerte für die Häufigkeiten und die max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster. Hierbei sind die Zunahmen von ca. 12 % –15 % für die gemeinsame 17 CP-Klassifikation, die 18 CP-Klassifikation für Baden-Württemberg und die 20-CP-Klassifikation für Rheinland-Pfalz sehr ähnlich.
7. Die Variabilität, gemessen als Standardabweichung, nimmt für die Häufigkeiten und die maximale Dauer im 45-Tagefenster für die 17 CP- und 18 CP-Klassifikation mit 6 % –10 % leicht ab. Lediglich für Rheinland-Pfalz zeigt die 20 CP-Klassifikation eine ausgeprägtere Abnahme (- 23 %).
8. Für die 21-CP-Klassifikation von Bayern sind die Ergebnisse für die Trocken-CP im Sommer (JJA) im Vergleich zu den übrigen CP-Klassifikationen etwas ausgeprägter. Hier nehmen die Mittelwerte der Häufigkeiten (+20,5 %) und der max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (+ 19,6 %) stärker zu.

Wegen der weitgehend übereinstimmenden Ergebnisse für die gemeinsame 17 CP-Klassifikation, der 18 CP-Klassifikation für Baden-Württemberg und der 20 CP-Klassifikation für Rheinland-Pfalz werden die nachfolgenden Auswertungen der transienten RCM-Szenarienläufe für Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz gemeinsam mit der 17 CP-Klassifikation durchgeführt. Lediglich für Bayern erscheint es sinnvoll, die RCM-Läufe auch mit der speziellen 21 CP-Klassifikation auszuwerten.

5. Ergebnisse der Auswertung der regionalen Klimamodelle hinsichtlich Trocken-CPs

5.1 Datengrundlagen

5.1.1 Daten verwendeter regionaler Klimamodelle

In der vorliegenden Untersuchung wurden die Daten von 3 regionalen Klimamodellen (Regional Climate Models = RCM) ausgewertet. Es handelt sich um die beiden RCMs **REMO** des *Max-Planck-Instituts für Meteorologie (MPI)* in Hamburg und **RACMO2** des *Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)* in De Bilt, die beide das am MPI entwickelte globale Klimamodell ECHAM5 als Antrieb nutzen. Das RCM RACMO2 ist in *Lenderink et al. (2003)* und *Meijgaard et al. (2008)* detailliert beschrieben.

Das dreidimensionale hydrostatische regionale Klimamodell REMO (**R**egional **M**odell) ist ein atmosphärisches Zirkulationsmodell, das die relevanten physikalischen Prozesse dynamisch berechnet (*Jacob, 2001*). Hierdurch werden insbesondere nicht-lineare Zusammenhänge berücksichtigt. Subskalige, das heißt nicht vom Modell auflösbare physikalische Prozesse wie z. B. Konvektionsbildung, werden durch sog. physikalische Parametrisierungen berechnet. REMO ist aus dem Europa-Modell des Deutschen Wetterdienstes (DWD) hervorgegangen. Die prognostischen Variablen des Modells sind die horizontalen Windkomponenten, der Bodenluftdruck, Temperatur, spezifische Feuchte sowie Flüssigwassergehalt. Es kann alternativ mit den physikalischen Parametrisierungen des Europa-Modells des DWD und mit denen des globalen Klimamodells ECHAM betrieben werden. Für die hier vorliegenden Untersuchungen wurde REMO mit den physikalischen Parametrisierungen aus ECHAM 5 verwendet (*Jacob et al., 2008*). Hinsichtlich einer umfassenden Beschreibung von REMO wird auf *Jacob (2001)* und *Jacob et al. (2008)* verwiesen.

Das dritte zur Auswertung herangezogene RCM ist das **HadRM3** des *Hadley Centre for Climate Prediction and Research des UK Met Office* in Exeter mit dem Antrieb des Globalmodells HadCM3. Die transienten Läufe mit dem Globalmodell HadCM3 und dem Regionalmodell HadRM3 sind in *Collins et al. (2006 und 2009)* beschrieben. Für HadRM3 steht ein Ensemble aus 3 Läufen mit normaler, hoher und niedriger Sensitivität zur Verfügung. Diese werden durch unterschiedliche Störungen in der Atmosphärenphysik erzielt.

Alle in dieser Untersuchung verwendeten Modellläufe der regionalen Klimamodelle (RCM) wurden im Rahmen des EU-Projektes ENSEMBLES (<http://ensembles-eu.metoffice.com/>) berechnet. Die zugehörigen Datensätze sind als Bestandteil von ENSEMBLES im Data Centre des *Dänischen Meteorologischen Institutes (DMI)* in Kopenhagen archiviert und stehen dort für Anwender zum Download zur Verfügung. In der vorliegenden Untersuchung wurden Daten der o.g. 3 RCMs für die in Tab. 5.1 zusammengestellten Modellläufen verwendet. Bei allen verwendeten Modellläufen wurde das geographische Fenster 4° W bis 27,68° E und 30° N bis 61,68° N und die höchste verfügbare räumliche Auflösung für ein reguläres Gitter von 0,22°, was einer Auflösung von 25 km x 25 km entspricht, verwendet. Die MSLP-Werte wurden zunächst auf dieses reguläre Gitter interpoliert, bevor die CP-Klassifikation erfolgte. Für die Interpolation wurde vom Institut für Wasserbau (IWS) der Universität Stuttgart der vom MPI entwickelte „Climate Data Operator (CDO)“ verwendet (<http://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/software/cdo/>).

Gemäß Tab. 5.1 wurden für die vorliegende Untersuchung bei allen 3 RCMs die Kontrollläufe des Zeitraumes 1961–1991 herangezogen, deren Ergebnisse hinsichtlich des Niederschlages mit dem aus Stationsbeobachtungsdaten ermittelten RT5 Datensatz verglichen werden können. Den Schwerpunkt bildet jedoch die Verwendung der Bodenluftdruckdaten (Mean Sea Level Pressure = MSLP = mittlerer Bodenluftdruck) und der Niederschläge für die transienten Modellläufe von 2001–2100 für REMO und RACMO2 sowie 2001–2099 für das Ensemble der 3 HadRM3-Läufe.



Regionales Klimamodell (RCM)	Kontroll-lauf	GCM-Antrieb	transientes A1B- Szenario
REMO	1960 - 1991	ECHAM5	2001 - 2100
RACMO2	1960 - 1991	ECHAM5	2001 - 2100
HadRM3	1960 - 1991	HadCM3	
normal sensitivity		HadCM3	2001 - 2099
high sensitivity		HadCM3	2001 - 2099
low sensitivity		HadCM3	2001 - 2099

Tab. 5.1: Verwendete RCM-Modellläufe.

Zusätzlich sei erwähnt, dass die transienten Modellläufe von REMO und RACMO die korrekten Kalenderjahre mit 365 Tagen pro Jahr bzw. 366 Tagen in Schaltjahren beinhalten. Das HadRM3 hat dagegen Jahre mit 12 Monaten à 30 Tagen und damit einheitlich 360 Tage pro Jahr. Die zeitliche Auflösung aller Daten bezieht sich in der vorliegenden Untersuchung auf Tagesmittelwerte. Alle verwendeten GCM und RCMs beruhen auf dem **SRES-Emissionsszenario A1B**.

5.1.2 IPCC Emissionsszenario A1B

SRES-Szenarien sind **Emissionsszenarien**, die von *Nakićenović und Swart (2000)* entwickelt und als Special Report on Emissions Scenarios (SERS) veröffentlicht wurden. Sie dienen unter anderem als Basis für die Klimaprojektionen im 3. IPCC Assessment Report (*IPCC WGI, 2001*) und 4. IPCC Assessment Report (*IPCC, 2007*). Nach *IPCC (2007)* beschreibt die **A1**-Modellgeschichte bzw. -Szenarien-Familie eine zukünftige Welt mit sehr raschem Wirtschaftswachstum, einer Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung sowie rascher Einführung neuer und effizienterer Technologien. Wichtige grundlegende Themen sind Annäherung von Regionen, Entwicklung von Handlungskompetenz sowie zunehmende kulturelle und soziale Interaktion bei gleichzeitiger substanzieller Verringerung regionaler Unterschiede der Pro-Kopf-Einkommen. Die A1-Szenarien-Familie teilt sich in drei Gruppen auf, die unterschiedliche Ausrichtungen technologischer Änderungen im Energiesystem beschreiben. Abb. 5.1 zeigt die mit Hilfe verschiedener GCM berechneten Multimodell-Mittelwerte und geschätzten Bandbreiten der globalen Erwärmung an der Erdoberfläche bis zum Jahr 2100 unter Annahme unterschiedlicher SRES-Szenarien. Die drei A1-Gruppen unterscheiden sich in ihrer technologischen Hauptstoßrichtung: fossil-intensiv (**A1FI**), nichtfossile Energiequellen (**A1T**) oder eine ausgewogene Nutzung aller Quellen (**A1B**). Hierbei ist „ausgewogene Nutzung“ definiert als eine nicht allzu große Abhängigkeit von einer bestimmten Energiequelle und durch die Annahme eines ähnlichen Verbesserungspotenzials für alle Energieversorgungs- und Energieverbrauchstechnologien.

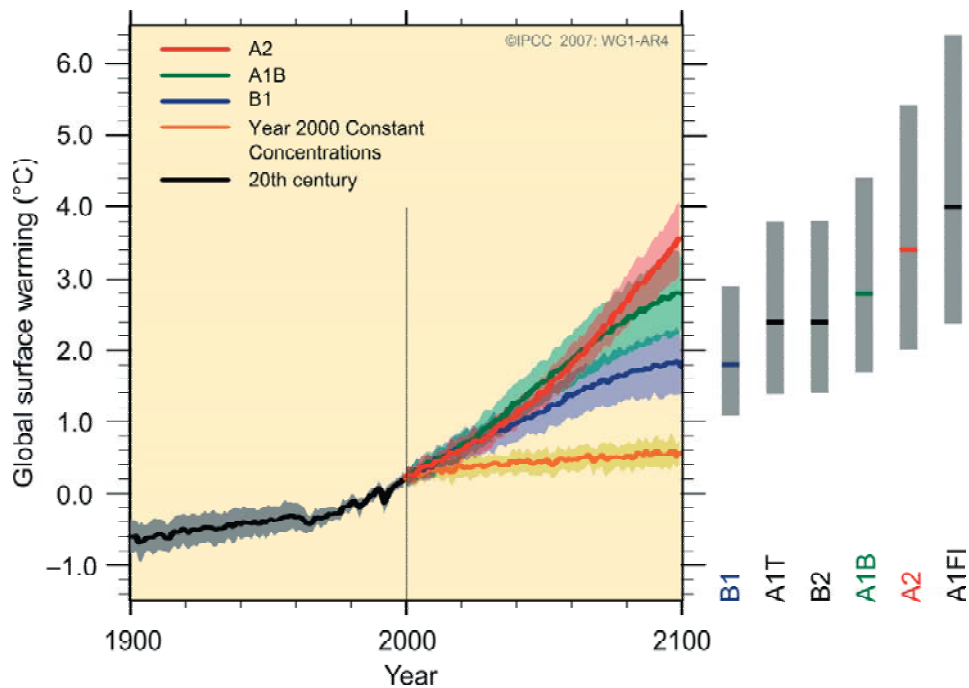


Abb. 5.1: Multimodell-Mittel und geschätzte Bandbreiten für die Erwärmung an der Erdoberfläche. Die durchgezogenen Linien sind globale Multimodell-Mittel der Erwärmung an der Erdoberfläche (relativ zu 1980–99) für die Szenarien A2, A1B und B1, dargestellt als Verlängerungen der Simulationen für das 20. Jahrhundert. Die Schattierung kennzeichnet die Bandbreite von plus/minus einer Standardabweichung der einzelnen Modell-Jahresmittel. Die orangene Linie stellt das Resultat des Experiments dar, bei dem die Konzentrationen auf Jahr-2000-Werten konstant gehalten wurden. Die grauen Balken auf der rechten Seite zeigen die beste Schätzung (durchgezogene Linie innerhalb des Balkens) und die abgeschätzte wahrscheinliche Bandbreite für die sechs SRES-Musteremissionsszenarien. Die Herleitung der besten Schätzungen und wahrscheinlichen Bandbreiten in den grauen Balken beinhaltet sowohl die AOGCMs im linken Teil der Abbildung als auch die Resultate einer Hierarchie von unabhängigen Modellen sowie beobachtungsgestützte Randbedingungen, nach *IPCC Summary for Policy Makers (2007)*.



5.2 Vergleich der Ergebnisse der Trocken-CP aus den RCM-Kontrollläufen der gemeinsamen 17 CP-Klassifikation mit den ERA-40 Reanalysen

5.2.1 Ergebnisse der ERA-40 Reanalysen

Nachfolgend werden die Trocken-CPs aus der 17 CP umfassenden Klassifikation analysiert, die für alle 3 Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz Gültigkeit besitzt. Sie wurden auf der Basis der ERA-40 Reanalysen des täglichen mittleren Bodenluftdruckes (Mean Sea Level Pressure = MSLP), die im Raster von $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ für den Zeitraum 1951–2001 vorliegen, für das geographische Fenster 35°N bis 65°N und 15°W bis 40°E berechnet. Die Trocken-CP sind hierbei identisch mit den Angaben in Tab. 4.2.2. Es handelt sich um die 8 CPs CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13. Abb. 5.2 zeigt die Zeitreihe der Häufigkeiten und der maximalen Dauer im gleitenden 45-Tagefenster dieser ERA-40-Trocken-CPs für die Sommer (JJA) des Zeitraumes 1951–2001. In die Zeitreihen sind jeweils die Trendgeraden und die gleitenden Mittel über 11 Jahre eingetragen. Sowohl die Häufigkeiten als auch die max. Dauern im gleitenden 45-Tagefenster zeigen einen hochsignifikanten (99 %-Signifikanzniveau), steil ansteigenden Trend mit einem übereinstimmenden hochsignifikanten Bruchpunkt im Jahr 1966. Zudem sind in Abb. 5.2 ausgeprägte historische Trockenperioden gut als „Peaks“ aus beiden Graphiken ablesbar. Der Bruchpunkt im Jahr 1966 ist identisch mit dem Bruchpunkt für die in Abschnitt 4.3 untersuchten NCAR-Trocken-CPs der Zeitreihe 1900–2007. Diese wurden, wie in Abschnitt 2.2 beschrieben, aus den MSLP-Daten der NCAR-Reanalysen, die in einem Raster von $5^\circ \times 5^\circ$ vorliegen, berechnet.

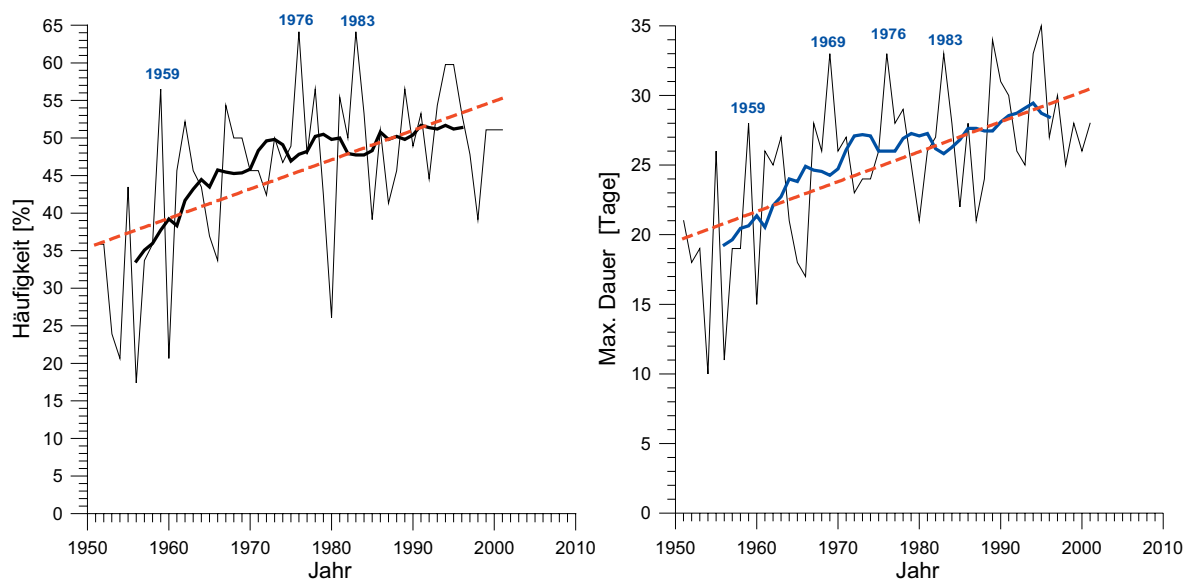


Abb. 5.2: Häufigkeiten (links) und maximale Dauer (rechts) der kombinierten ERA-40-Trocken-CP (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) im gleitenden 45-Tagefenster für die Sommer (JJA) des Zeitraumes 1951–2001. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

5.2.2 Ergebnisse für REMO

Nachfolgend wird überprüft, wie gut die Ergebnisse hinsichtlich der Trocken-CPs aus dem Remo-Kontrolllauf mit den Ergebnissen aus den ERA-40 Reanalysen übereinstimmen. Hierbei wurde das RCM Remo mit den aus den ERA-40 Reanalysen gewonnenen Randbedingungen angetrieben. Die Ergebnisse aus dem Remo-Kontrolllauf sollten also möglichst gut mit den ERA-40 Daten übereinstimmen. Zur besseren Vergleichbarkeit wird in beiden Fällen der Zeitraum 1961–1991 ausgewählt. **Abb. 5.3** zeigt die Häufigkeiten und die max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster der kombinierten Trocken-CP für die Sommer (JJA) für die 17 CP umfassende CP-Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz gültig ist. Sowohl die ERA-40 als auch die Remo-Zeitreihen der Trocken-CPs zeigen einen nahezu parallelen Anstieg im Zeitraum 1961–1991, der jedoch statistisch nicht signifikant ist und auch keinen signifikanten Bruchpunkt aufweist. Zudem sind in **Abb. 5.3** ausgeprägte historische Trockenperioden wie z.B. 1976 als „Peaks“ sowohl für ERA-40 wie für Remo aus beiden Graphiken gut ablesbar. Insbesondere am Verlauf der Trendgeraden und den Kurven mit dem gleitenden Mittel über 11 Jahre fällt jedoch auf, dass der Remo-Kontrolllauf die tatsächlichen Werte aus ERA-40 bei den max. Dauern geringfügig und bei den Häufigkeiten z.T. deutlich unterschätzt.

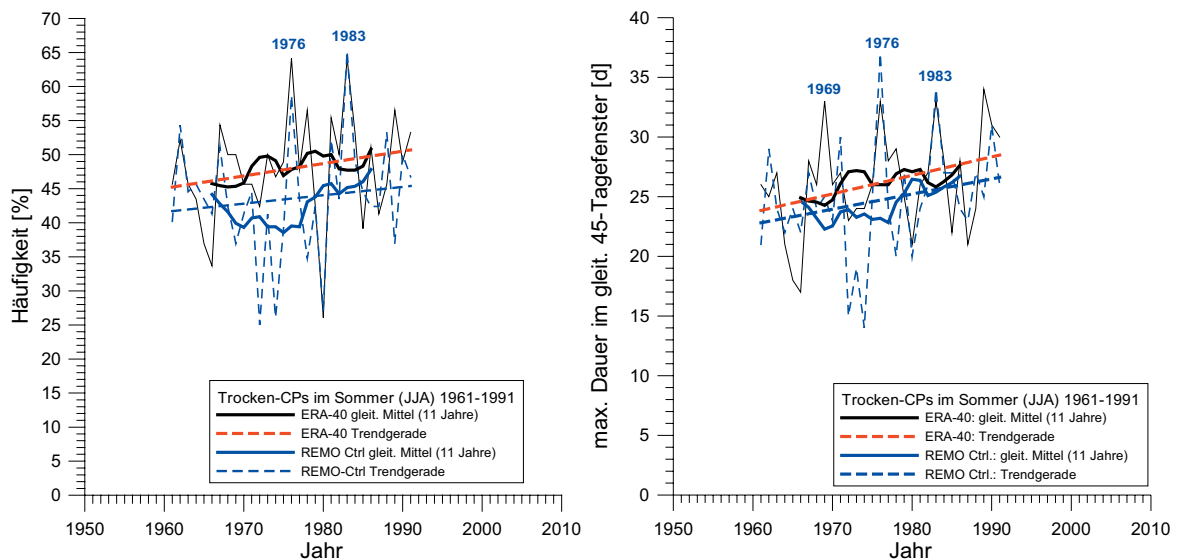


Abb. 5.3: Häufigkeit (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten Trocken-CP (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) der **17 CP-Klassifikation** für den **REMO-Kontrolllauf** und ERA-40 für die **Sommer (JJA)** des Zeitraumes 1961–1991. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.



5.2.3 Ergebnisse für RACMO2

Nachfolgend wird überprüft, wie gut die Ergebnisse hinsichtlich der Trocken-CPs aus dem **RACMO2-Kontrolllauf** mit den Ergebnissen aus den ERA-40 Reanalysen übereinstimmen. Hierbei wurde das RCM RACMO2 mit den aus den ERA-40 Reanalysen gewonnenen Randbedingungen angetrieben. Die Ergebnisse aus dem RACMO2-Kontrolllauf sollten also möglichst gut mit den ERA-40 Daten übereinstimmen. Zur besseren Vergleichbarkeit wird in beiden Fällen der Zeitraum 1961–1991 ausgewählt. **Abb. 5.4** zeigt die Häufigkeiten und die max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster der kombinierten Trocken-CP für die Sommer (JJA) für die 17 CP umfassende CP-Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz gültig ist. Sowohl die ERA-40 als auch die RACMO-Zeitreihen der Trocken-CPs zeigen einen nahezu parallelen Anstieg im Zeitraum 1961–1991, der jedoch statistisch nicht signifikant ist und auch keinen signifikanten Bruchpunkt aufweist. Allerdings sind in **Abb. 5.4** ausgeprägte historische Trockenperioden, wie z.B. 1976, als „Peaks“ sowohl für ERA-40 wie für RACMO aus beiden Graphiken gut ablesbar. Insbesondere am Verlauf der Trendgeraden fällt jedoch auf, dass der RACMO2-Kontrolllauf, ähnlich wie der REMO-Kontrolllauf, die tatsächlichen Werte aus ERA-40 bei den max. Dauern geringfügig und bei den Häufigkeiten z.T. deutlich unterschätzt.

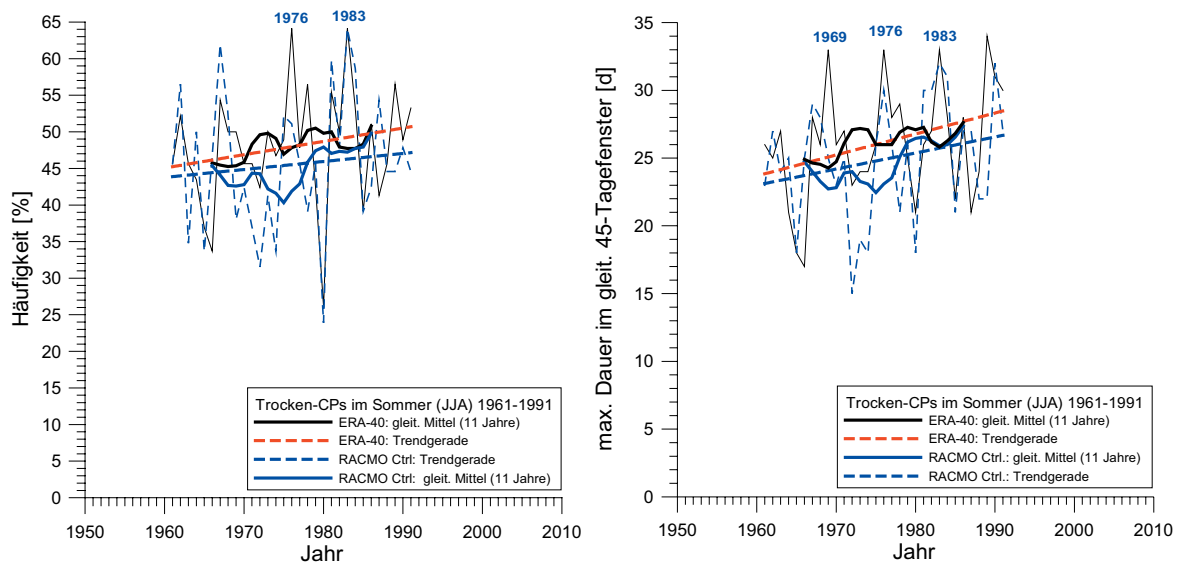


Abb. 5.4: Häufigkeit (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten Trocken-CP (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) der 17CP-Klassifikation für den RACMO-Kontrolllauf und ERA-40 für die Sommer (JJA) des Zeitraumes 1961–1991. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

Abb. 5.5 ermöglicht einen unmittelbaren Vergleich der Ergebnisse aus den Kontrollläufen von REMO, RACMO2 und ERA-40. Sie zeigt für die beiden Kontrollläufe und die ERA-40 Reanalysen sowohl die Häufigkeiten als auch die maximale Dauer der Trocken-CPs im gleitenden 45-Tagefenster die Ausgleichskurven des 11 Jahre umfassenden gleitenden Mittels. Hieraus wird deutlich, dass sowohl RACMO2 als auch REMO die Häufigkeiten der Trocken-CPs verglichen mit ERA-40 zu Beginn der 70iger Jahre deutlich unterschätzen, wobei die Abweichung von REMO größer als von RACMO2 ist. Für die max. Dauern im gleitenden 45-Tagefenster zeigen RACMO2 und REMO nahezu übereinstimmende Ergebnisse. Ab Ende der 70iger Jahre stimmen sie auch sehr gut mit den Ergebnissen der Trocken-CPs aus den ERA-40 Reanalysen überein.

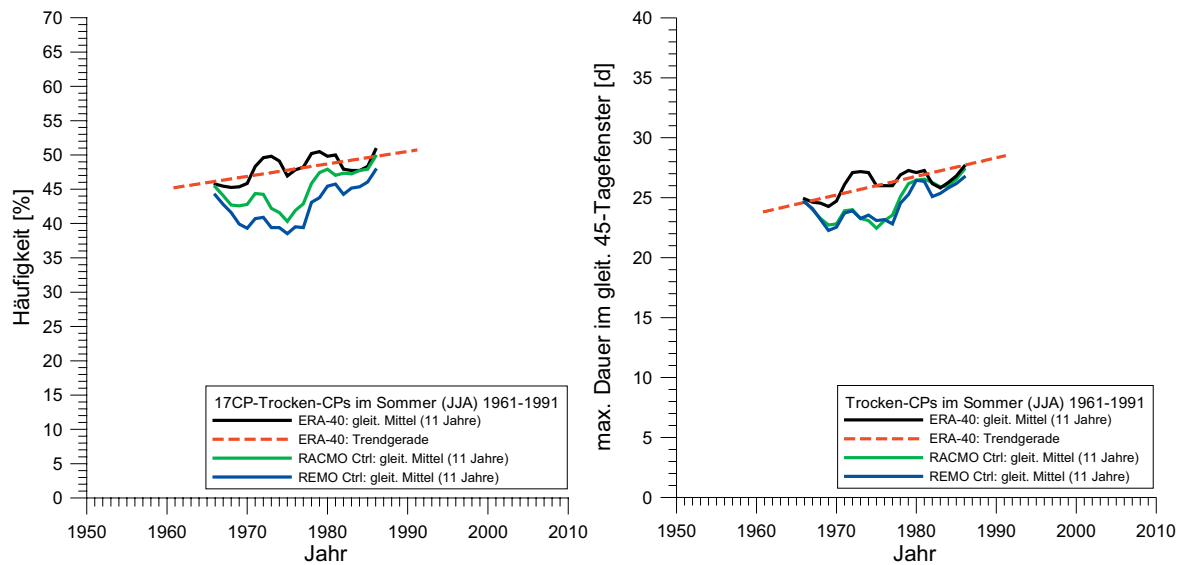


Abb. 5.5: Häufigkeit (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten Trocken-CP (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) der 17CP-Klassifikation für den RACMO2- und REMO-Kontrolllauf sowie ERA-40 für die Sommer (JJA) des Zeitraumes 1961–1991. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade für ERA-40.

5.2.4 Ergebnisse für HadRM3

Im folgenden Abschnitt wird überprüft, wie gut die Ergebnisse hinsichtlich der Trocken-CPs aus dem HadRM3-Kontrolllauf mit den Ergebnissen aus den ERA-40 Reanalysen übereinstimmen. Hierbei wurde das RCM HadRM3 mit den aus den ERA-40 Reanalysen gewonnenen Randbedingungen angetrieben. Die Ergebnisse aus dem HadRM3-Kontrolllauf sollten also möglichst gut mit den ERA-40 Daten übereinstimmen. Zur besseren Vergleichbarkeit wird in beiden Fällen der Zeitraum 1961–1991 ausgewählt. [Abb. 5.6](#) zeigt die Häufigkeiten und die max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster der kombinierten Trocken-CP für die Sommer (JJA) für die 17 CP umfassende CP-Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz gültig ist. Im Gegensatz zu ERA-40 und den Ergebnissen aus REMO und RACMO2 zeigen die HadRM3-Zeitreihen der Trocken-CPs für die Häufigkeiten keinen Anstieg im Zeitraum 1961–1991. Die max. Dauern der Trocken-CPs im gleitenden 45-Tagefenster besitzen zwar einen ansteigenden Trend, der jedoch im Vergleich zu den ERA-40 Daten wesentlich weniger ausgeprägt ist und nicht signifikant ist. Es gibt sowohl für die Häufigkeiten als auch die max. Dauern im 45-Tagefenster keinen signifikanten Bruchpunkt. Ausgeprägte historische Trockenperioden, wie z.B. 1976, lassen sich als „Peaks“ im Vergleich zu ERA-40 sowie RACMO und REMO aus beiden Graphiken wesentlich schlechter erkennen. Am Verlauf der Trendgeraden fällt auf, dass der HadRM3-Kontrolllauf, ähnlich wie der RACMO2- und REMO-Kontrolllauf, die tatsächlichen Werte aus ERA-40 bei den max. Dauern geringfügig und bei den Häufigkeiten z.T. deutlich unterschätzt.

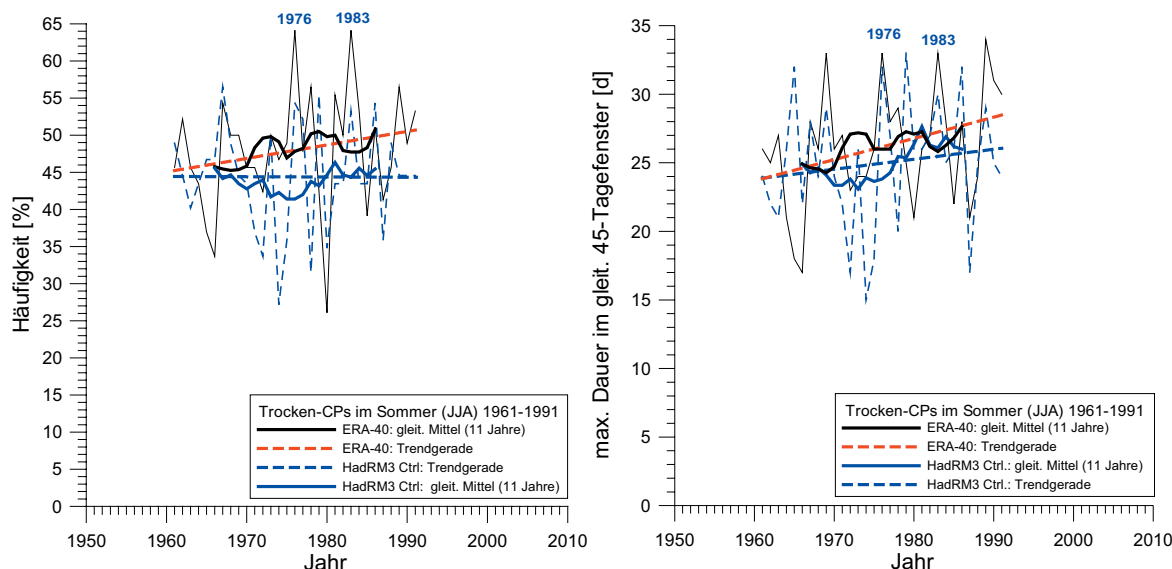


Abb. 5.6: Häufigkeit (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten Trocken-CP (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) der 17CP-Klassifikation für den HadRM3-Kontrolllauf und ERA-40 für die Sommer (JJA) des Zeitraumes 1961–1991. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

5.2.5 Bewertung der Ergebnisse für die RCM-Kontrollläufe

Die Bewertung erfolgt auf der Basis der 17 CP-Klassifikation, die für die 3 Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz gültig ist. Sie bezieht sich auf die Sommer (JJA) des Zeitraumes 1961–1991 und auf die 8 Trocken-CP (CP01, CP02, CP07, CP08, CP10, CP11, CP12, CP13) gemäß Tab. 4.2.2. Als Vergleichsbasis dienen die aus den ERA-40 MSLP-Reanalysen klassifizierten Trocken-CP. Für den vergleichsweise kurzen Zeitraum von 1961–1991 zeigen die Zeitreihen der Häufigkeiten der Trocken-CP und deren maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster weder für die ERA-40 Daten noch die 3 RCMs (REMO, RACMO2 und HadRM3) signifikante Trends oder signifikante Bruchpunkte. Auffallend ist die sehr hohe Übereinstimmung der Ergebnisse für REMO und RACMO2, die ab Ende der 70iger Jahre auch gut mit den ERA-40 Ergebnissen übereinstimmen. Hiervon weichen die Ergebnisse für das RCM HadRM3 insbesondere für die Häufigkeiten deutlich ab, da HadRM3 als einziges der untersuchten RCMs für den Kontrolllauf einen leicht fallenden Trend bei den Häufigkeiten der Trocken-CP aufweist. Alle 3 RCMs unterschätzen in ihren Kontrollläufen im Vergleich zu den ERA-40 Daten die max. Dauer der Trocken-CP im gleitenden 45-Tagefenster leicht und die Häufigkeiten z.T. deutlich.

5.3 Ergebnisse der Zeitreihenanalyse der Trocken-CPs für die transienten RCM-A1B-Szenarien der gemeinsamen 17 CP-Klassifikation für BW, BY und RLP

5.3.1 Ergebnisse für REMO

5.3.1.1 Häufigkeiten und Persistenz der REMO-Trocken-CP im Sommer

In [Abb. 5.7](#) sind die Ergebnisse für die kombinierten Trocken-CP für das transiente REMO A1B-Szenario für die Sommer (JJA) des Zeitraumes 2001–2100 dargestellt. Hieraus kann entnommen werden, dass sowohl die Häufigkeiten als auch die maximale Dauer der kombinierten Trocken-CP im gleitenden 45-Tagefenster einen statistisch hochsignifikanten (99 %-Niveau) ansteigenden Trend aufzeigen mit einem übereinstimmenden hochsignifikanten Bruchpunkt für beide Zeitreihen im Jahr 2048. Es wird auch deutlich, dass die Anstiege in beiden Kurven ab dem Bruchpunkt deutlich zunehmen. Dieses zunächst besorgniserregende Ergebnis wird jedoch durch einen Vergleich mit den Ergebnissen aus dem REMO-Kontrolllauf, und den quasi historischen Beobachtungsdaten aus den ERA-40 Daten relativiert. Hieraus folgt, dass sowohl die Häufigkeiten als auch die max. Dauern der Trocken-CPs des REMO-A1B-Szenarienlaufes in den ersten Jahrzehnten im Vergleich zum Kontrolllauf deutlich unterschätzt werden. Selbst im Zeitraum 2070–2100 werden Werte, wie sie in ausgeprägten historischen Trockenperioden, wie im Sommer 1976 auftraten, nicht überschritten. Würde man aber die Ergebnisse des REMO-A1B-Szenarienlaufes so verschieben, dass sie zu Beginn des 21. Jahrhunderts mit den Ergebnissen aus ERA-40 übereinstimmen, so müsste insbesondere in der 2. Hälfte des 21. Jahrhunderts mit einer drastischen Zunahme der Trocken- und Niedrigwasserperioden im Sommer in Südwestdeutschland gerechnet werden.

5.3.1.2 Häufigkeiten und Persistenz der REMO-Trocken-CP in der Vegetationsperiode

In [Abb. 5.8](#) sind die Ergebnisse für die kombinierten Trocken-CP für das transiente REMO A1B-Szenario für die Vegetationsperiode (April–September) des Zeitraumes 2001–2100 dargestellt. Hieraus kann entnommen werden, dass die Häufigkeiten einen hochsignifikanten (99 %-Niveau) und die maximale Dauer der kombinierten Trocken-CP im gleitenden 45-Tagefenster einen statistisch signifikanten (95 %-Niveau) ansteigenden Trend aufzeigen mit einem übereinstimmenden signifikanten Bruchpunkt für beide Zeitreihen im Jahr 2045. Es wird auch deutlich, dass die Anstiege in beiden Kurven ab dem Bruchpunkt zunehmen. Insofern sind die Ergebnisse für die Vegetationsperioden (April–September) ähnlich wie für die Sommer (JJA), jedoch sind die Anstiege der transienten Zeitreihen weniger stark ausgeprägt. Selbst der Bruchpunkt stimmt mit 2045 mit dem Wert von 2048 für die Sommerzeitreihen nahezu überein. Ein Vergleich der Ergebnisse mit dem REMO-Kontrolllauf (1961–1991) und den aus den ERA-40-MSLP-Reanalysedaten klassifizierten REMO-Trocken-CP zeigt, dass die Häufigkeiten und die max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster z.T. deutlich unterschätzt werden. Im Zeitraum 2001–2100 werden Werte, wie sie in ausgeprägten historischen Trockenperioden, wie im Sommer 1976 auftraten, nur zweimal erreicht oder überschritten. Eigentlich müssten die transienten Läufe auf einem höheren Ausgangsniveau starten. Insofern stimmen auch hierbei die Ergebnisse mit den Ergebnissen für die Sommer überein.

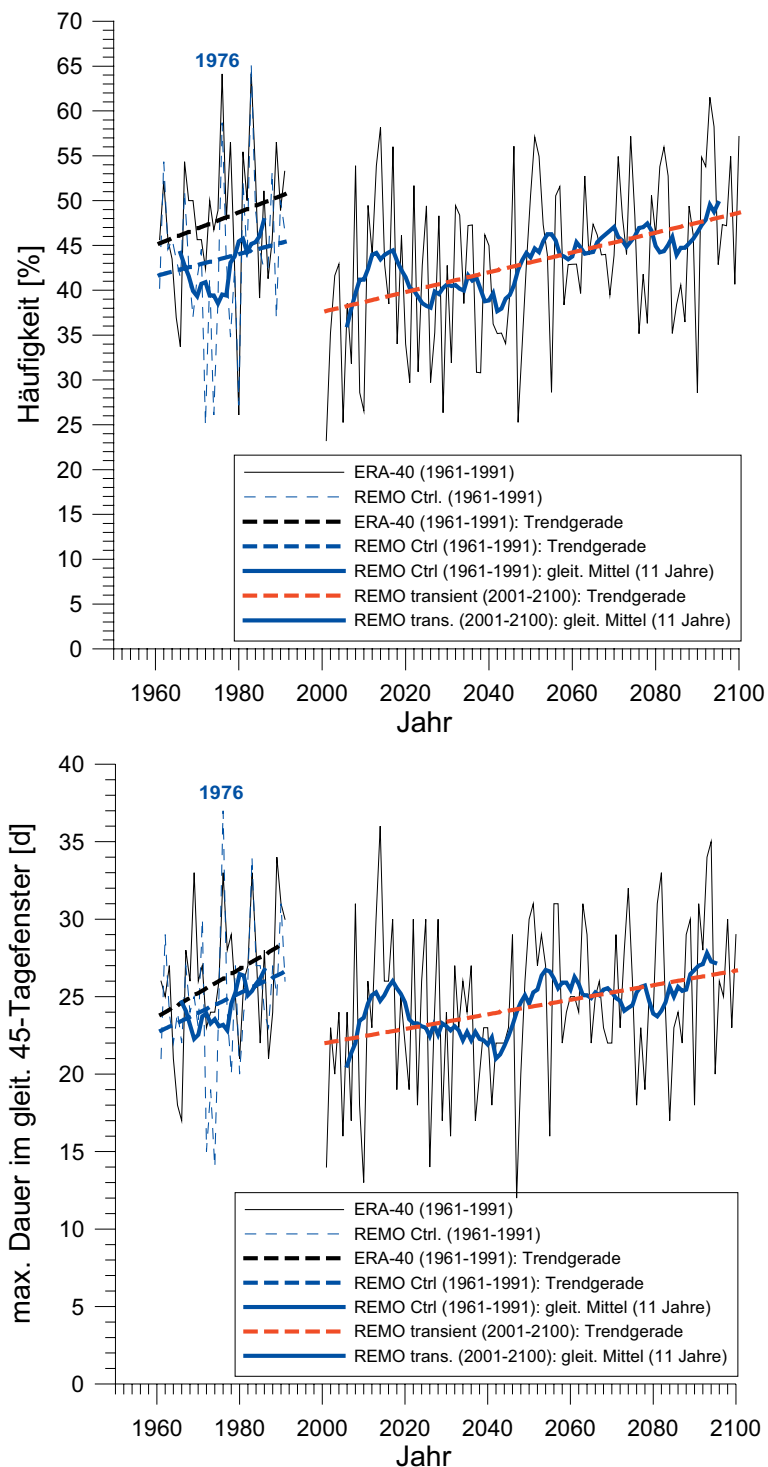


Abb. 5.7: Häufigkeit (oben) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (unten) der kombinierten Trocken-CP (CP01+CP02 +CP07+ CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) der **17 CP**-Klassifikation für das transiente **REMO-A1B-Szenario** für die **Sommer (JJA)** des Zeitraumes 2001–2100. In den Graphiken sind jeweils links die Ergebnisse aus ERA-40 und dem REMO-Kontrolllauf (1961–1991) angegeben. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

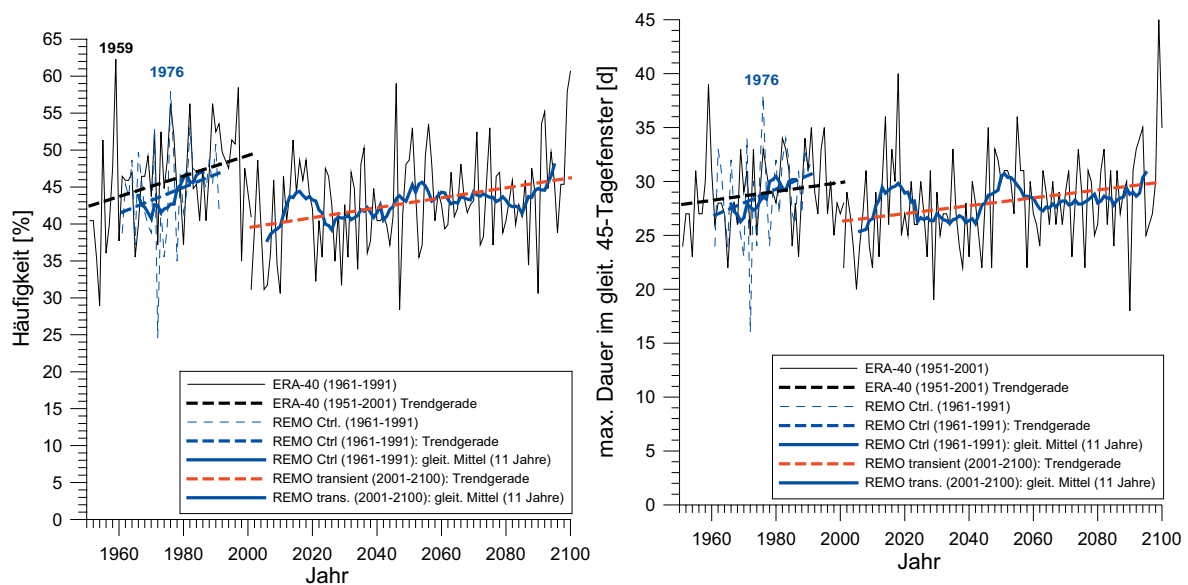


Abb. 5.8: Häufigkeit (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten Trocken-CP (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) der 17 CP-Klassifikation für das transiente REMO-A1B-Szenario für die Vegetationsperioden (April–September) des Zeitraumes 2001–2100. In den Graphiken sind jeweils links die Ergebnisse aus ERA-40 (1951–2001) und dem REMO-Kontrolllauf (1961–1991) angegeben. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

5.3.2 Ergebnisse für RACMO2

5.3.2.1 Häufigkeiten und Persistenz der RACMO2-Trocken-CP im Sommer

In [Abb. 5.9](#) sind die Ergebnisse für die kombinierten Trocken-CP für das transiente RACMO2-A1B Szenario für die Sommer (JJA) des Zeitraumes 2001–2100 dargestellt. Hieraus kann entnommen werden, dass sowohl die Häufigkeiten als auch die maximale Dauer der kombinierten Trocken-CP im gleitenden 45-Tagefenster einen statistisch hochsignifikanten ansteigenden Trend aufzeigen mit einem übereinstimmenden Bruchpunkt für beide Zeitreihen im Jahr 2048. Es wird auch deutlich, dass die Anstiege in beiden Kurven ab dem Bruchpunkt deutlich zunehmen. Ähnlich wie bei REMO wird dieses zunächst besorgniserregende Ergebnis jedoch durch einen Vergleich mit den Ergebnissen aus dem RACMO-Kontrolllauf und den quasi historischen Beobachtungsdaten aus den ERA-40 Daten relativiert. Hieraus folgt, dass sowohl die Häufigkeiten, als auch die max. Dauern der Trocken-CPs des RACMO-A1B-Szenarienlaufes in den ersten Jahrzehnten im Vergleich zum Kontrolllauf deutlich unterschätzt werden. Erst ab ca. 2050 werden Werte, wie sie in ausgeprägten historischen Trockenperioden, wie im Sommer 1976 auftraten, erreicht oder überschritten. Würde man aber die Ergebnisse des RACMO2-A1B-Szenarienlaufes so verschieben, dass sie zu Beginn des 21. Jahrhunderts mit den Ergebnissen aus ERA-40 übereinstimmen, so müsste insbesondere in der 2. Hälfte des 21. Jahrhunderts mit einer drastischen Zunahme der Trocken- und Niedrigwasserperioden im Sommer in Südwestdeutschland gerechnet werden.

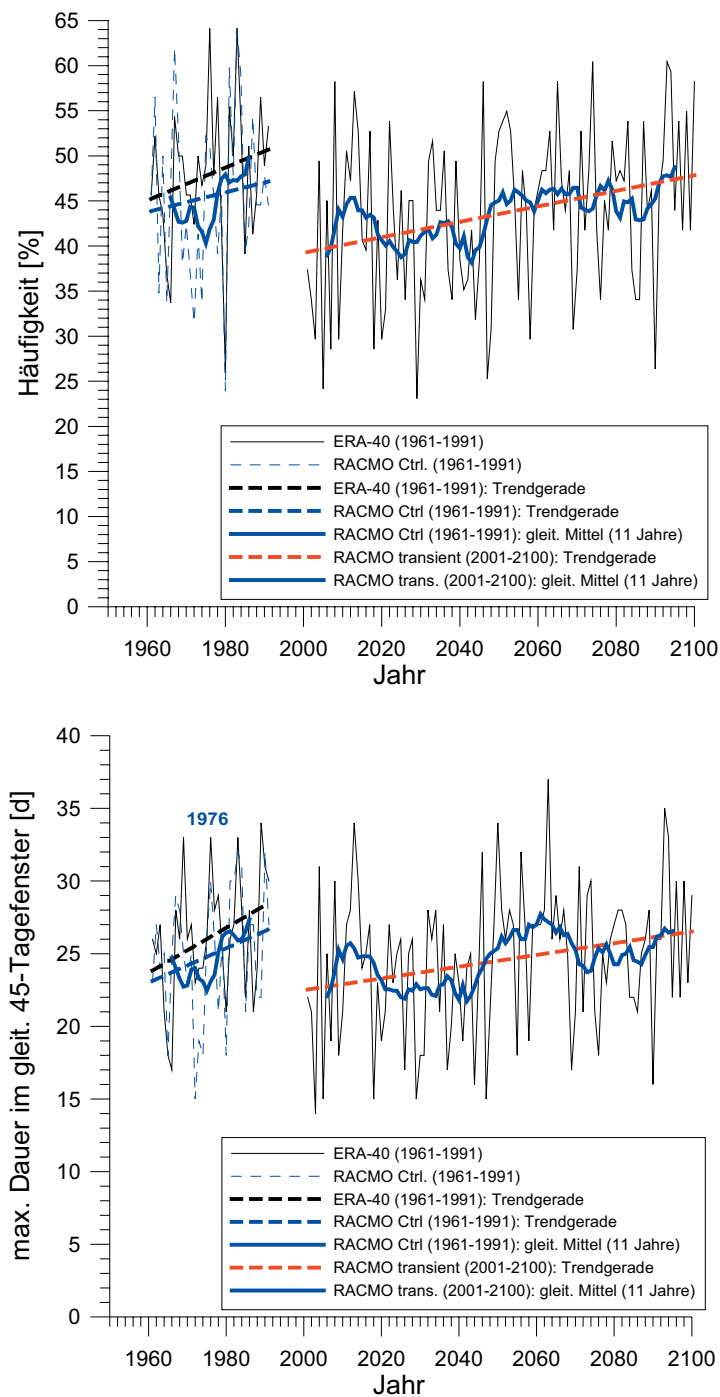


Abb. 5.9: Häufigkeit (oben) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (unten) der kombinierten Trocken-CP (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) der **17 CP**-Klassifikation für das transiente **RACMO2-A1B-Szenario** für die **Sommer** (JJA) des Zeitraumes 2001–2100. In den Graphiken sind jeweils links die Ergebnisse aus ERA-40 und dem RACMO2-Kontrolllauf (1961–1991) angegeben. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

5.3.2.2 Häufigkeiten und Persistenz der RACMO-Trocken-CP in der Vegetationsperiode

In [Abb. 5.10](#) sind die Ergebnisse für die kombinierten Trocken-CP für das transiente RACMO2-A1B-Szenario für die Vegetationsperiode (April–September) des Zeitraumes 2001–2100 dargestellt. Hieraus kann entnommen werden, dass die Häufigkeiten einen signifikanten (95 %-Niveau) und die maximale Dauer der kombinierten Trocken-CP im gleitenden 45-Tagefenster keinen statistisch signifikanten ansteigenden Trend aufzeigen mit einem signifikanten Bruchpunkt für die Häufigkeiten im Jahr 2048 und für die max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster im Jahr 2044. Es wird auch deutlich, dass die Anstiege in beiden Kurven ab dem Bruchpunkt leicht zunehmen. Insofern sind die Ergebnisse für die Vegetationsperioden (April–September) ähnlich wie für die Sommer (JJA), jedoch sind die Anstiege der transienten Zeitreihen weniger stark ausgeprägt. Auch hier stimmen die Bruchpunkte im Jahr 2044 und 2048 mit dem Wert von 2048 für die Sommerzeitreihen nahezu überein. Ein Vergleich der Ergebnisse mit dem RACMO2-Kontrolllauf (1961–1991) und den aus den ERA-40-MSLP-Reanalysedaten klassifizierten RACMO2-Trocken-CP zeigt, dass die Häufigkeiten und die max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster noch deutlicher als bei den REMO-Ergebnissen unterschätzt werden. Im Zeitraum 2001–2100 werden Werte, wie sie in ausgeprägten historischen Trockenperioden auftraten nur zweimal erreicht oder überschritten. Eigentlich müssten die transienten Läufe auf einem höheren Ausgangsniveau starten. Insofern stimmen auch hierbei die Ergebnisse mit den Ergebnissen für die Sommer überein.

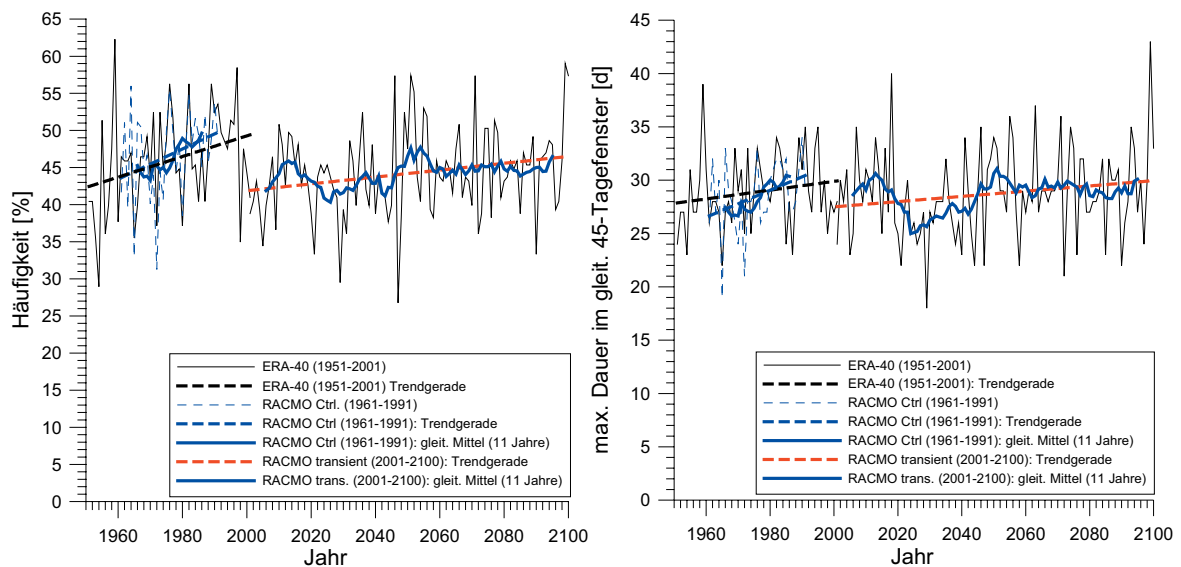


Abb. 5.10: Häufigkeit (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten Trocken-CP (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP3) der **17 CP-Klassifikation** für das transiente **RACMO2-A1B-Szenario** für die **Vegetationsperioden** (April–September) des Zeitraumes 2001–2100. In den Graphiken sind jeweils links die Ergebnisse aus ERA-40 (1951–2001) und dem REMO-Kontrolllauf (1961–1991) angegeben. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.



5.3.3 Ergebnisbewertung für die RACMO2- und REMO-Trocken-CP

Nachfolgend sind die Ergebnisse für die kombinierten Trocken-CP der beiden RCM RACMO2 und REMO für das transiente A1B-Szenario des Zeitraumes 2001–2100 für die Sommer (JJA) in [Abb. 5.11](#) und die Vegetationsperioden (April–September) in [Abb. 5.12](#) dargestellt. Hieraus kann entnommen werden, dass sowohl die Häufigkeiten als auch die maximale Dauer der kombinierten Trocken-CP im gleitenden 45-Tagefenster in allen 4 Kurven einen nahezu identischen Verlauf einnehmen. Besonders deutlich wird dies an den Trendgeraden, die bei REMO nur für die Häufigkeiten einen leicht stärkeren Anstieg ausweisen. Auch die gleitenden Mittelwerte über 11 Jahre zeigen einen nahezu identischen Verlauf. Es fällt ferner auf, dass die Anstiege und die Variabilität für die beiden Sommerzeitreihen wesentlich höher sind als für die Zeitreihen der Vegetationsperioden. Zudem haben die Häufigkeiten für beide RCM sowohl im Sommer (JJA) als auch in der Vegetationsperiode (April–September) einen übereinstimmenden signifikanten Bruchpunkt im Jahr 2048. Auch die max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster weist für beide RCM einen identischen Bruchpunkt im Jahr 2045 auf. Die weitgehende Übereinstimmung der Ergebnisse von RACMO2 und REMO ist vermutlich in weiten Teilen auf den identischen GCM-Antrieb durch ECHAM5 für beide RCM zurückzuführen. **Aus den Ergebnissen von RACMO2 und REMO kann geschlossen werden, dass insbesondere in der 2. Hälfte des 21. Jahrhunderts mit einem deutlichen zusätzlichen Anstieg der Trocken- und Niedrigwasserperioden im Sommer (JJA) in Südwestdeutschland gerechnet werden muss.** Im Gegensatz hierzu ist bei den Vegetationsperioden nur mit einem leichten Anstieg zu rechnen.

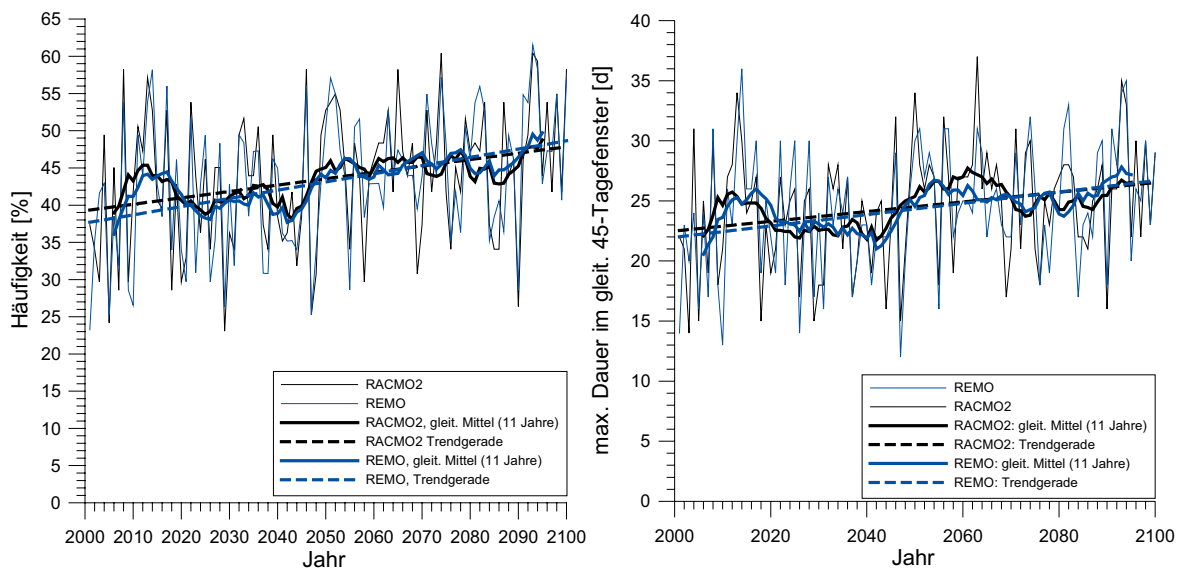


Abb. 5.11: Häufigkeit (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten Trocken-CP (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) der **17 CP-Klassifikation** der RCM **RACMO2** und **REMO** für das transiente A1B-Szenario für die **Sommer (JJA)** des Zeitraumes 2001–2100. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

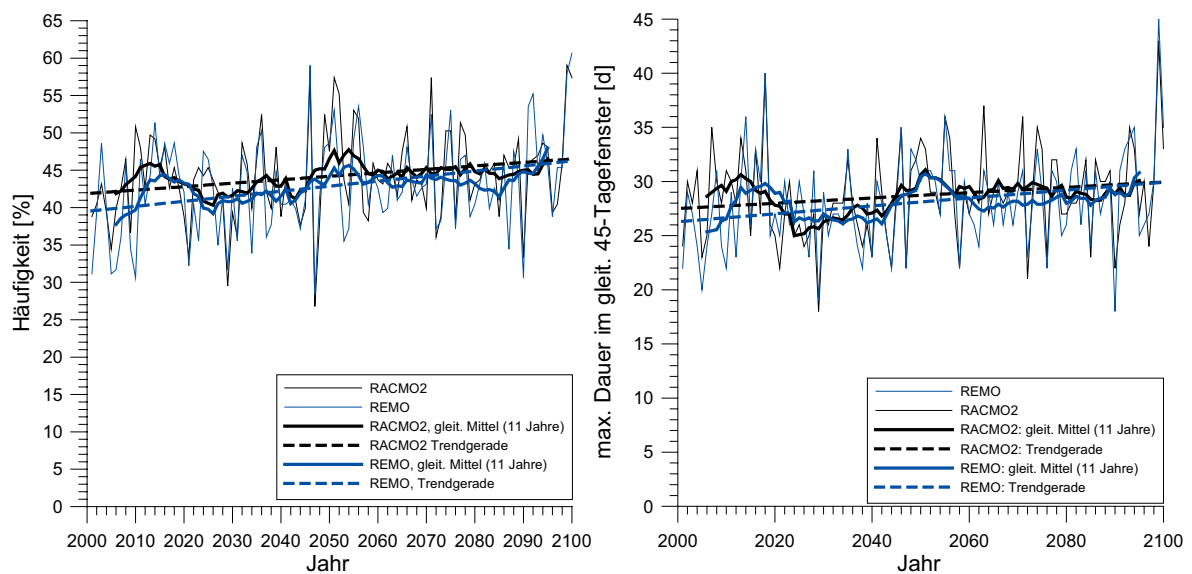


Abb. 5.12: Häufigkeit (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten Trocken-CP (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) der 17 CP-Klassifikation der RCM **RACMO2** und **REMO** für das transiente A1B-Szenario für die **Vegetationsperioden** (April–September) des Zeitraumes 2001–2100. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

5.3.4 Ergebnisse für die 3 Ensembleläufe aus HadRM3

5.3.4.1 Häufigkeiten und Persistenz der HadRM3-Trocken-CP im Sommer

In [Abb. 5.13](#) sind die Ergebnisse für die kombinierten Trocken-CP für das transiente HadRM3-A1B-Szenario für die Sommer (JJA) des Zeitraumes 2001–2099 dargestellt. Es handelt sich dabei um den Ensemblelauf mit normaler Sensitivität. Hieraus kann entnommen werden, dass sowohl die Häufigkeiten als auch die maximale Dauer der kombinierten Trocken-CP im gleitenden 45-Tagefenster einen leicht fallenden, aber keinen statistisch signifikanten Trend aufzeigen. Es gibt auch keinen signifikanten Bruchpunkt in den transienten Zeitreihen. Dieses Ergebnis steht in klarem Gegensatz zu den Ergebnissen aus den transienten A1B-Szenarien mit REMO und RACMO2. Bereits für den Kontrolllauf sind erhebliche Abweichungen von den ERA-40-Daten in [Abb. 5.13](#) feststellbar. Während für ERA-40 sowohl die Häufigkeiten als auch die max. Dauer der Trocken-CPs im 45-Tagefenster einen steil ansteigenden Trend aufweisen, ist dies bei den HadRM3-Kontrollläufen nicht der Fall. Ausgeprägte historische Trockensommer wie z.B. 1976 sind zwar aus den ERA-40 Daten klar erkennbar, bei HadRM3 dagegen wesentlich schwächer ausgeprägt. Ähnlich wie REMO und RACMO2 unterschätzt auch HadRM3 sowohl die Häufigkeiten als auch die max. Dauern der Trocken-CPs des HadRM3-A1B-Szenarienlaufes in den ersten Jahrzehnten im Vergleich zum Kontrolllauf deutlich.

Um die Auswirkungen der 3 Ensembleläufe auf die Variabilität der Ergebnisse hinsichtlich der Trocken-CP zu quantifizieren, wurde die Auswertung der HadRM3-Trocken-CPs für die transienten A1B-Szenarienläufe mit normaler, hoher und niedriger Sensitivität durchgeführt. Wegen der besseren Übersicht sind in [Abb. 5.14](#) die Ergebnisse als gleitende Mittelwerte über 11 Jahre für alle 3 Ensembleläufe dargestellt. Bei den Häufigkeiten der HadRM3-TrockenCPs zeigt nur der Lauf mit der niedrigen Sensitivität einen signifikanten ansteigenden Trend und einen signifikanten Bruchpunkt nach *Petitt (1979)* im Jahr 2043.

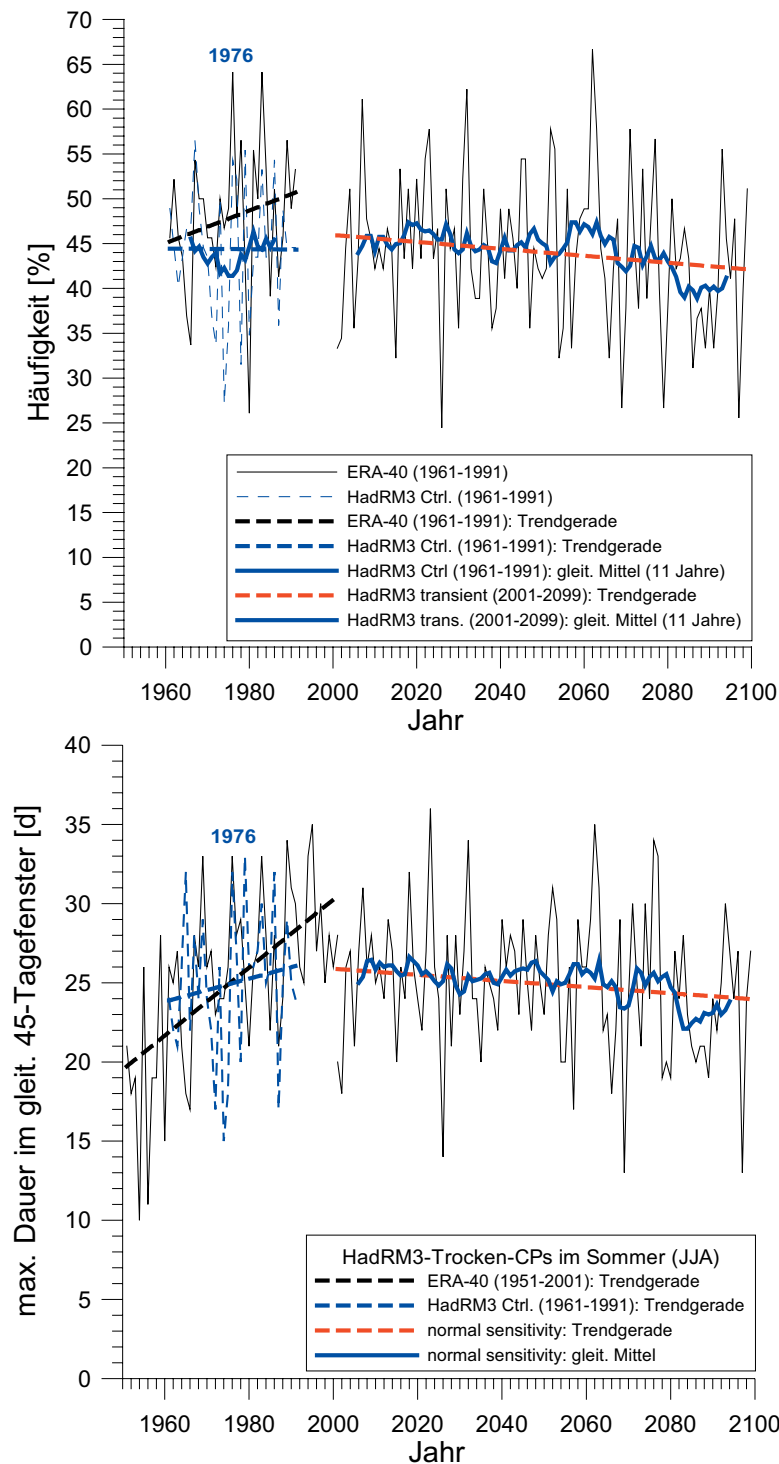


Abb. 5.13: Häufigkeit (oben) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (unten) der kombinierten Trocken-CP (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) der **17 CP-Klassifikation** für das transiente **HadRM3-A1B-Szenario** (normal sensitivity) für die **Sommer (JJA)** des Zeitraumes 2001–2099. In den Graphiken sind jeweils links die Ergebnisse aus ERA-40 und dem HadRM3-Kontrolllauf (1961–1991) angegeben. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

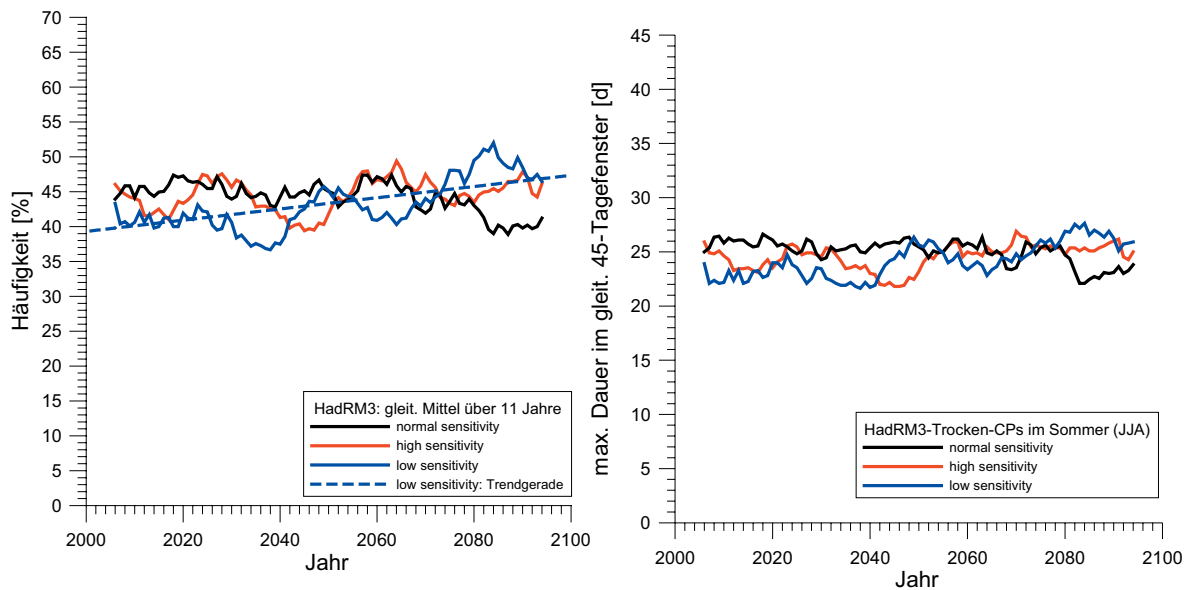


Abb. 5.14: Häufigkeit (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten Trocken-CP (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) der **17 CP**-Klassifikation für das Ensemble aus 3 transienten **HadRM3-A1B-Szenarien** mit normaler, hoher und niedriger Sensitivität für die **Sommer** (JJA) des Zeitraumes 2001–2099. Beide Abbildungen zeigen jeweils die gleitenden Mittelwerte über 11 Jahre.

Die Läufe mit normaler und hoher Sensitivität zeigen weder signifikante Trends noch Bruchpunkte. Die 3 Kurven der max. Dauern der HadRM3-Trocken-CPs im gleitenden 45-Tagefenster verlaufen für alle 3 Ensembleläufe in einem schmalen Band. Der Lauf mit hoher Sensitivität ist vollkommen trendfrei, während der Lauf mit normaler Sensitivität einen nicht signifikanten, leicht fallenden Trend aufweist. Ähnlich wie bei den Häufigkeiten zeigt lediglich der Lauf mit niedriger Intensität einen leicht steigenden Trend.

5.3.4.2 Häufigkeiten und Persistenz der HadRM3-Trocken-CP in der Vegetationszeit

In Abb. 5.15 sind die Ergebnisse für die kombinierten Trocken-CP für das transiente **HadRM3-A1B-Szenario** für die **Vegetationszeiten** (April–September) des Zeitraumes 2001–2099 dargestellt. Es handelt sich dabei um den Ensemblelauf mit normaler Sensitivität. Hieraus kann entnommen werden, dass sowohl die Häufigkeiten als auch die maximale Dauer der kombinierten Trocken-CP im gleitenden 45-Tagefenster für das transiente A1B-Szenario keinen statistisch signifikanten Trend aufzeigen. Es gibt auch keinen signifikanten Bruchpunkt in den transienten Zeitreihen. In Abb. 5.15 haben von allen Zeitreihen lediglich die ERA-40-Häufigkeiten (1951–2001) der Trocken-CP einen signifikanten ansteigenden Trend. Auch die Zeitreihen der HadRM3-Kontrollläufe zeigen weder statistisch signifikante Trends noch signifikante Bruchpunkte. Ausgeprägte historische Trockensommer wie z.B. 1976 sind sowohl in den ERA-40 Daten als auch im HadRM3-Kontrolllauf gut erkennbar. Ähnlich wie REMO und RACMO2 unterschätzt auch der Kontrolllauf von HadRM3 die Häufigkeiten der Trocken-CPs. Dagegen werden die max. Dauern der Trocken-CPs im gleitenden 45-Tagefenster im HadRM3-Kontrolllauf leicht überschätzt und bleiben im transienten HadRM3-A1B-Szenarienlauf im Zeitraum 2001–2099 nahezu unverändert.

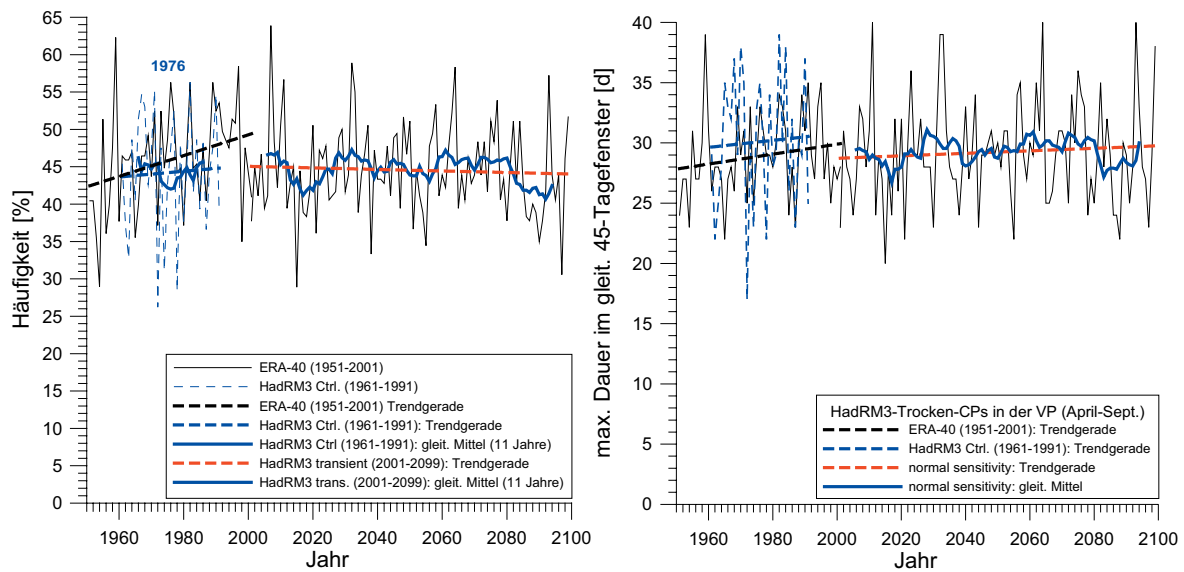


Abb. 5.15: Häufigkeit (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten Trocken-CP (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) der **17 CP-Klassifikation** für das transiente **HadRM3-A1B-Szenario** (normal sensitivity) für die **Vegetationsperioden** (April–September) des Zeitraumes 2001–2099. In den Graphiken sind jeweils links die Ergebnisse aus ERA-40 (1951–2001) und dem HadRM3-Kontrolllauf (1961–1991) angegeben. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

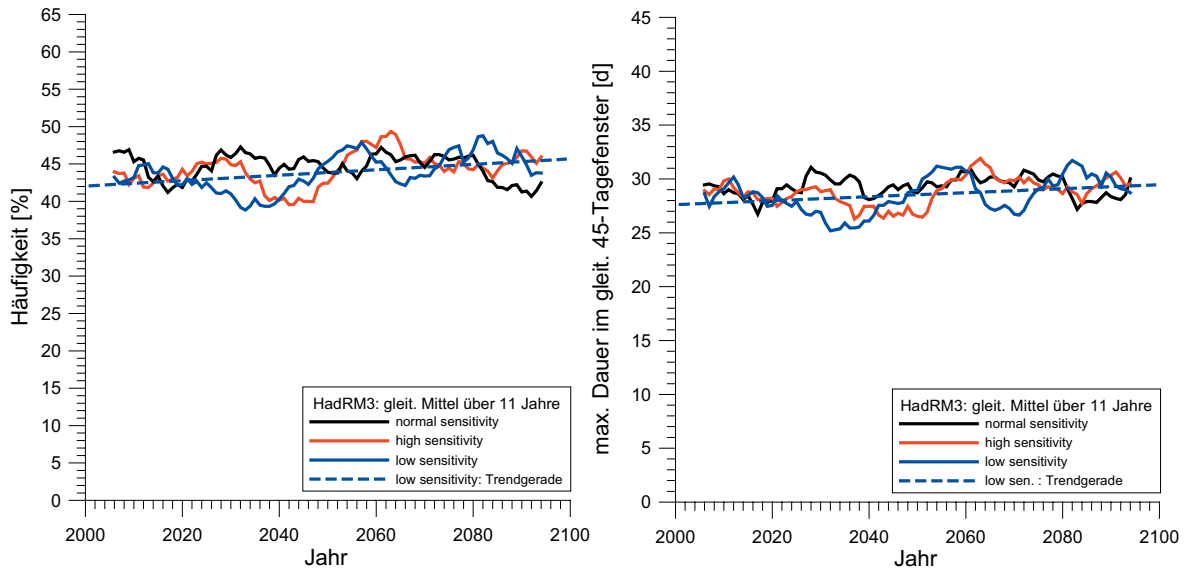


Abb. 5.16: Häufigkeit (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten Trocken-CP (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) der **17 CP-Klassifikation** für das Ensemble aus 3 transienten **HadRM3-A1B-Szenarien** mit normaler, hoher und niedriger Sensitivität für die **Vegetationsperioden** (April–September) des Zeitraumes 2001–2099. Beide Abbildungen zeigen jeweils die gleitenden Mittelwerte über 11 Jahre.

Um die Auswirkungen der 3 Ensembleläufe auf die Variabilität der Ergebnisse hinsichtlich der Trocken-CP zu quantifizieren, wurde die Auswertung der HadRM3-Trocken-CPs für das Ensemble der 3 transienten A1B-Szenarienläufe mit normaler, hoher und niedriger Sensitivität durchgeführt.

Wegen der besseren Übersicht sind in [Abb. 5.16](#) die Ergebnisse für die gleitenden Mittelwerte über 11 Jahre für alle 3 Ensembleläufe dargestellt.

Bei den Häufigkeiten der HadRM3-TrockenCPs zeigt keine der 3 Zeitreihen einen signifikanten Trend. Signifikante Bruchpunkte (95 %-Niveau) nach *Pettitt (1979)* zeigen lediglich die Läufe mit hoher Sensitivität (2051) und niedriger Sensitivität (2044). Die 3 Kurven der max. Dauern der HadRM3-Trocken-CPs im gleitenden 45-Tagefenster verlaufen für alle 3 Ensembleläufe in einem schmalen Band. Die Läufe mit normaler und hoher Sensitivität sind vollkommen trendfrei. Ähnlich wie bei den Häufigkeiten zeigt lediglich der Lauf mit niedriger Intensität einen nicht signifikanten, leicht steigenden Trend.

5.3.4.3 Ergebnisbewertung für die HadRM3-Trocken-CPs aus den 3 Ensembleläufen

Im Gegensatz zu REMO und RACMO2 zeigen die Häufigkeiten und die maximale Dauer der Trocken-CPs im gleitenden 45-Tagefenster für den transienten Lauf von HadRM3 (2001–2099) mit normaler Sensitivität weder für die Sommer (JJA) noch für die Vegetationsperioden (April–September) signifikante Trends noch signifikante Bruchpunkte. Für die Sommer (JJA) gibt es sowohl bei den Häufigkeiten als auch den maximalen Dauern der Trocken-CPs im gleitenden 45-Tagefenster eine leicht abnehmende Tendenz, die jedoch nicht signifikant ist.

Ähnlich wie bei RACMO2 und REMO unterschätzt auch der Kontrolllauf (1961–1991) von HadRM3 die Häufigkeiten der Trocken-CP gegenüber den ERA-40 Reanalysen. Die 3 transienten Ensembleläufe von HadRM3 mit normaler, hoher und niedriger Sensitivität weichen sowohl bei den Häufigkeiten als auch der maximalen Dauer der Trocken-CP im gleitenden 45-Tagefenster nur geringfügig voneinander ab. Sie zeigen sowohl für die Sommer (JJA) als auch die Vegetationsperioden (April–September) keine signifikanten Trends.

Aus den Ergebnissen der Trocken-CP-Analyse des Ensemble von 3 transienten HadRM3-A1B-Szenarien kann geschlossen werden, **dass im Zeitraum 2001–2099 weder für die Sommer (JJA) noch für die Vegetationsperioden (April–September) mit einer signifikanten Veränderung der Trocken- und Niedrigwasserperioden im Sommer (JJA) in Südwestdeutschland gerechnet werden muss.** Dieses Ergebnis weicht deutlich von den Ergebnissen von RACMO2 und REMO ab. Bei REMO und RACMO2 wurde in Abschnitt 5.3.3 geschlossen, dass **insbesondere in der 2. Hälfte des 21. Jahrhunderts mit einem deutlichen zusätzlichen Anstieg der Trocken- und Niedrigwasserperioden im Sommer (JJA) in Südwestdeutschland gerechnet werden muss.** Im Gegensatz hierzu ist bei den Vegetationsperioden nur mit einem leichten Anstieg zu rechnen.



5.4 Vergleich der Ergebnisse der Trocken-CP aus den RCM-Kontrollläufen der speziellen 21 CP-Klassifikation für Bayern mit den ERA-40 Reanalysen

5.4.1 Ergebnisse der ERA-40 Reanalysen für die 21 CP-Klassifikation

Nachfolgend werden die Trocken-CPs aus der speziell für Bayern optimierten 21 CP umfassenden Klassifikation analysiert. Sie wurden auf der Basis der ERA-40 Reanalysen des täglichen mittleren Bodenluftdruckes (Mean Sea Level Pressure = MSLP), die im Raster von $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ für den Zeitraum 1951–2001 vorliegen, für das geographische Fenster 35°N bis 65°N und 15°W bis 40°E berechnet. Die Trocken-CP sind hierbei identisch mit den Angaben in Tab. 4.2.2. Es handelt sich um die 9 CPs (CP02, CP04, CP06, CP07, CP08, CP12, CP16, CP19 u. CP21). Abb. 5.17 zeigt die Zeitreihe der Häufigkeiten und der maximalen Dauer im gleitenden 45-Tagefenster dieser ERA-40-Trocken-CPs für die Sommer (JJA) des Zeitraumes 1951–2001. In die Zeitreihen sind jeweils die Trendgeraden und die gleitenden Mittel

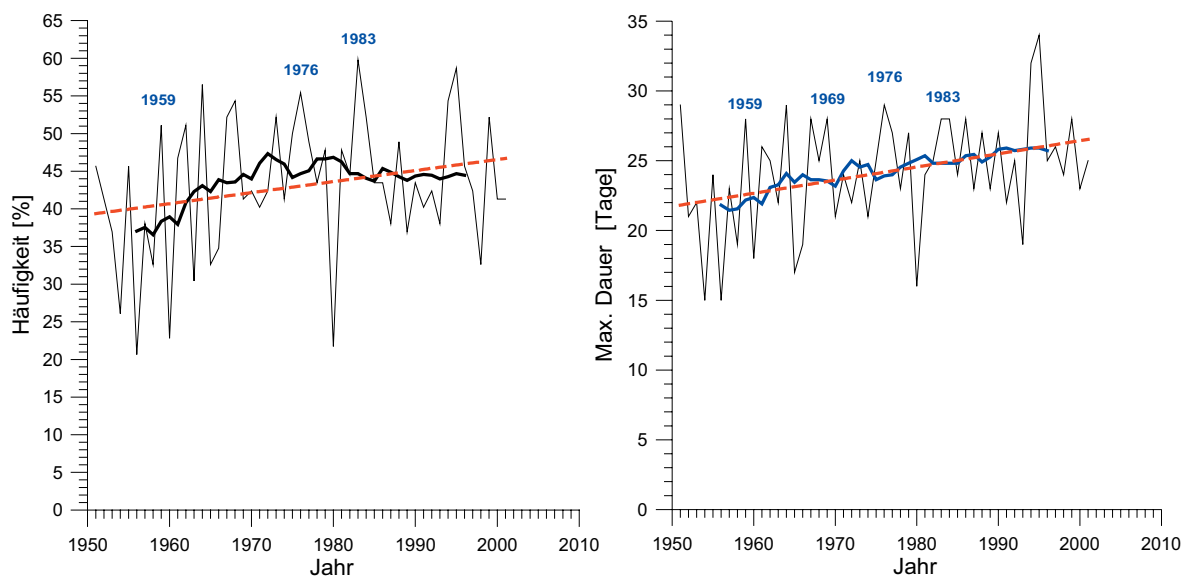


Abb. 5.17: Häufigkeiten (links) und maximale Dauer (rechts) der kombinierten ERA-40-Trocken-CP (CP02+CP04+CP06+CP07+CP08+CP12+CP16+CP19+CP21) im gleitenden 45-Tagefenster der **21 CP-Klassifikation** für **Bayern** für die **Sommer (JJA)** des Zeitraumes 1951–2001. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

über 11 Jahre eingetragen. Hierbei zeigen die Häufigkeiten keinen signifikanten Trend, wohingegen die max. Dauern im gleitenden 45-Tagefenster einen signifikanten (95 %-Signifikanzniveau) ansteigenden Trend aufweisen. Sowohl Häufigkeiten als auch max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster haben keinen signifikanten Bruchpunkt. Im Vergleich zu den in Abb. 5.2 dargestellten Ergebnissen der 17 CP-Klassifikation sind die Trends bei der 21 CP-Klassifikation für die ERA-40 Reanalysen wesentlich schwächer ausgeprägt. Auch die ausgeprägten historischen Trockenperioden sind in Abb. 5.17 im Vergleich zu Abb. 5.2 wesentlich weniger deutlich als „Peaks“ aus beiden Graphiken ablesbar.

5.4.2 Ergebnisse für REMO

Analog zu Abschnitt 5.2.2 wird nachfolgend für die 21 CP-Klassifikation überprüft, wie gut die Ergebnisse hinsichtlich der Trocken-CPs aus dem REMO-Kontrolllauf mit den Ergebnissen aus den ERA-40 Reanalysen übereinstimmen. Hierbei wurde das RCM REMO mit den aus den ERA-40 Reanalysen gewonnenen Randbedingungen angetrieben. Die Ergebnisse aus dem REMO-Kontrolllauf sollten also möglichst gut mit den ERA-40 Daten übereinstimmen. Für die ERA-40 Daten wird der verfügbare Zeitraum 1951–2001 dargestellt. Für den REMO-Kontrolllauf der Zeitraum 1961–1991, da nur hierfür die Kontrolllaufdaten vorliegen. **Abb. 5.18** zeigt die Häufigkeiten und die max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster der kombinierten Trocken-CP für die Sommer (JJA) für die 21 CP umfassende spezielle CP-Klassifikation für Bayern. Im Gegensatz zur 17 CP-Klassifikation in **Abb. 5.3** zeigen die REMO-Zeitreihen der Häufigkeiten der Trocken-CPs einen leicht fallenden Trend, der jedoch nicht signifikant ist. Für die max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster ist die Übereinstimmung zwischen ERA-40 Trocken-CPs und REMO-Trocken-CPs wesentlich besser, der jedoch auch statistisch nicht signifikant ist und auch keinen signifikanten Bruchpunkt aufweist. Zudem sind in **Abb. 5.18** ausgeprägte historische Trockenperioden wie z.B. 1976 als „Peaks“ sowohl für ERA-40 wie für Remo aus beiden Graphiken ablesbar. Insbesondere am Verlauf der Trendgeraden und den Kurven mit dem gleitenden Mittel über 11 Jahre fällt auf, dass der Remo-Kontrolllauf die tatsächlichen Werte aus ERA-40 bei den max. Dauern geringfügig und bei den Häufigkeiten z.T. deutlich unterschätzt.

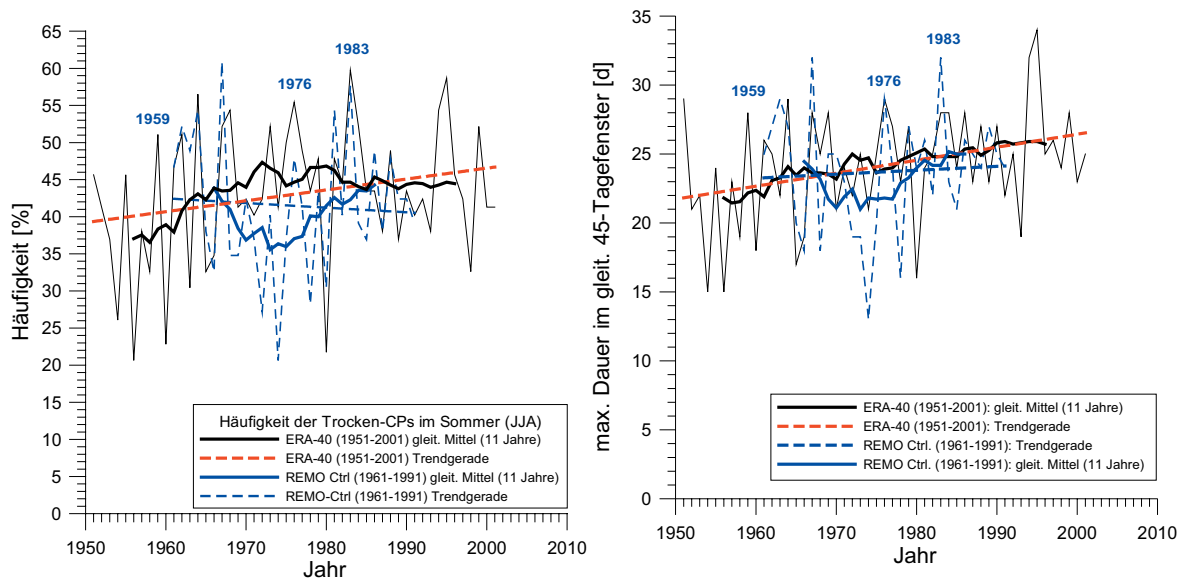


Abb. 5.18: Häufigkeit (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten Trocken-CP (CP02+CP04+CP06+CP07+CP08+CP12+CP16+CP19+CP21) der speziellen **21 CP-Klassifikation** für **Bayern** für den **REMO-Kontrolllauf** (1961–1991) und **ERA-40** für die **Sommer (JJA)** des Zeitraumes 1951–2001. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.



5.5 Ergebnisse der Zeitreihenanalyse der Trocken-CPs für die transienten RCM-A1B-Szenarien der speziellen 21 CP-Klassifikation für Bayern

5.5.1 Ergebnisse für REMO für die 21-CP-Klassifikation

5.5.1.1 Häufigkeiten und Persistenz der REMO-Trocken-CP im Sommer

In [Abb. 5.19](#) sind die Ergebnisse für die kombinierten Trocken-CP für das transiente **REMO-A1B-Szenario** der **21 CP-Klassifikation** für **Bayern** für die **Sommer (JJA)** des Zeitraumes 2001–2100 dargestellt. Hieraus kann entnommen werden, dass sowohl die Häufigkeiten als auch die maximale Dauer der kombinierten Trocken-CP im gleitenden 45-Tagefenster einen statistisch hochsignifikanten (99 %-Niveau) ansteigenden Trend aufzeigen mit einem übereinstimmenden hochsignifikanten Bruchpunkt im Jahr 2049. Es wird auch deutlich, dass die Anstiege in beiden Kurven ab dem Bruchpunkt deutlich zunehmen. Dieses zunächst besorgniserregende Ergebnis wird jedoch durch einen Vergleich mit den Ergebnissen aus dem REMO-Kontrolllauf, und den quasi historischen Beobachtungsdaten aus den ERA-40 Daten zumindest für die Häufigkeiten der Trocken-CPs relativiert. Diese werden für den REMO-A1B-Szenarienlauf in den ersten Jahrzehnten im Vergleich zum Kontrolllauf deutlich unterschätzt. Erst im Zeitraum 2050–2100 werden Werte, wie sie in ausgeprägten historischen Trockenperioden, wie z.B. im Sommer 1976 auftraten, überschritten. Im Gegensatz hierzu zeigen die max. Dauern im gleitenden 45-Tagefenster bereits zu Beginn des transienten REMO-A1B-Szenarios Einzeljahre, die die Werte ausgeprägter historischer Trockenjahre überschreiten. Dies, obwohl – wie der Verlauf der Trendgeraden zeigt – der transiente Lauf zu Beginn des Zeitraumes deutlich kleinere Werte als der REMO-Kontrolllauf aufweist. Würde man die Ergebnisse des REMO-A1B-Szenarienlaufes so verschieben, dass sie zu Beginn des 21. Jahrhunderts mit den Ergebnissen aus ERA-40 übereinstimmen, so müsste insbesondere in der 2. Hälfte des 21. Jahrhunderts mit einer drastischen Zunahme der Trocken- und Niedrigwasserperioden im Sommer in Bayern gerechnet werden.

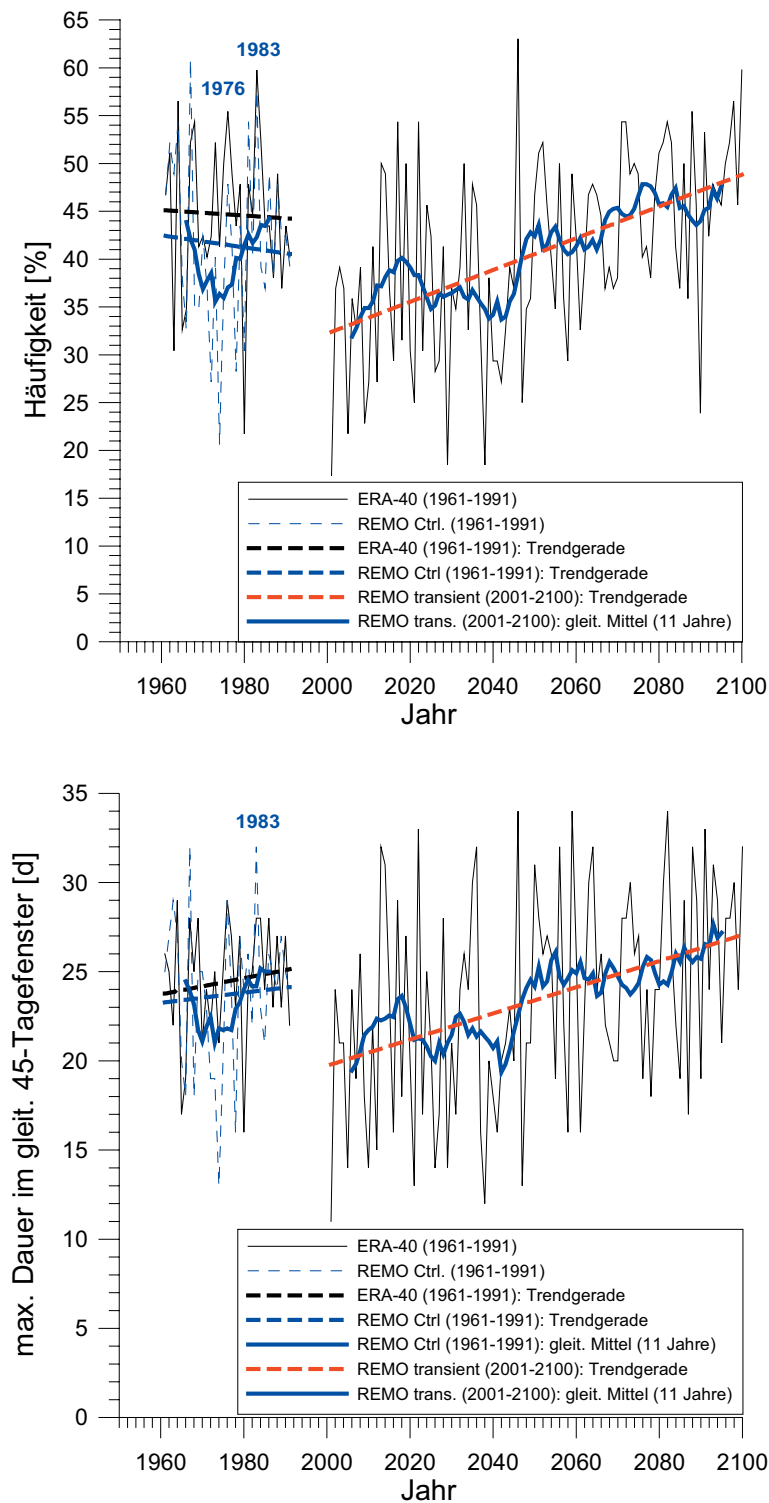


Abb. 5.19: Häufigkeit (oben) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (unten) der kombinierten Trocken-CP (CP02+CP04+CP06+CP07+CP08+CP12+CP16+CP19+CP21) der **21 CP**-Klassifikation für **Bayern** für das transiente **REMO-A1B-Szenario** für die **Sommer (JJA)** des Zeitraumes 2001–2100. In den Graphiken sind jeweils links die Ergebnisse aus ERA-40 und dem REMO-Kontrolllauf (1961–1991) angegeben. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.



5.5.1.2 Häufigkeiten und Persistenz der REMO-Trocken-CP in der Vegetationsperiode

In [Abb. 5.20](#) sind die Ergebnisse für die kombinierten Trocken-CP für das transiente **REMO A1B-Szenario** der speziellen **21 CP-Klassifikation** von **Bayern** für die **Vegetationsperiode** (April–September) des Zeitraumes 2001–2100 dargestellt. Hieraus kann entnommen werden, dass sowohl die Häufigkeiten als auch die max. Dauern im gleitenden 45-Tagefenster einen hochsignifikanten (99 %-Niveau) stark ansteigenden Trend aufzeigen mit einem nahezu übereinstimmenden hochsignifikanten Bruchpunkt für die Zeitreihe der Häufigkeiten im Jahr 2054 und die max. Dauern im Jahr 2049. Es wird auch deutlich, dass die Anstiege in beiden Kurven ab dem Bruchpunkt zunehmen. Insofern sind die Ergebnisse für die Vegetationsperioden (April–September) ähnlich wie für die Sommer (JJA) jedoch sind die Anstiege der transienten Zeitreihen weniger stark ausgeprägt. Selbst der Bruchpunkt stimmt mit 2049 und 2054 mit dem Wert von 2049 für die Sommerzeitreihen nahezu überein.

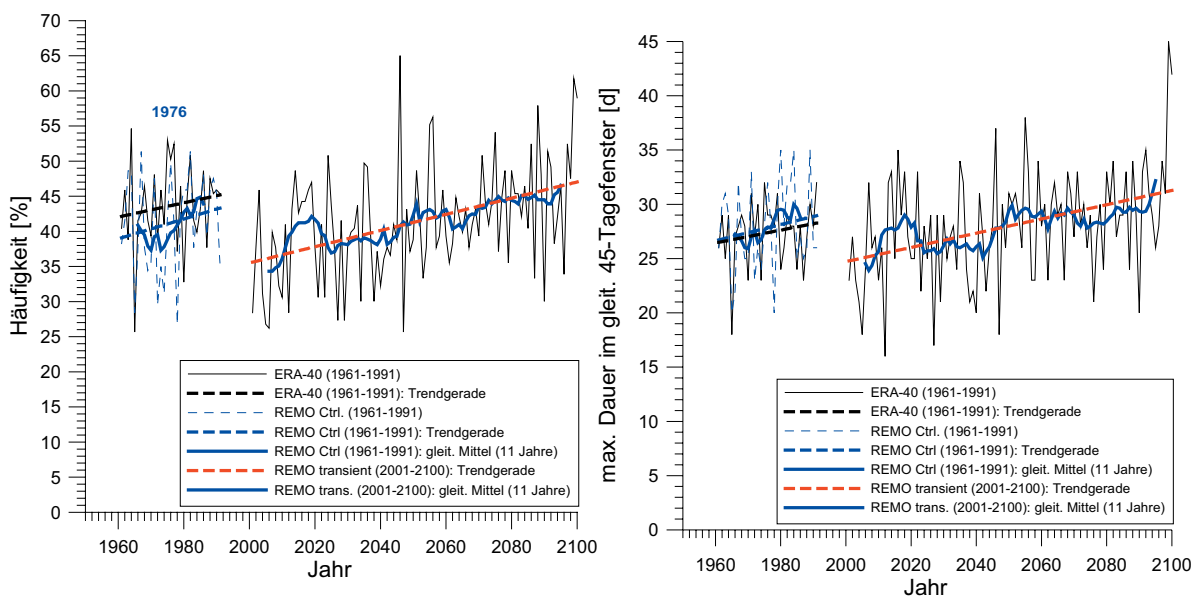


Abb. 5.20: Häufigkeit (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten Trocken-CP (CP02+CP04+CP06+CP07+CP08+CP12+CP16+CP19+CP21) der **21 CP-Klassifikation** von **Bayern** für das transiente **REMO-A1B-Szenario** für die **Vegetationsperioden** (April–September) des Zeitraumes 2001–2100. In den Graphiken sind jeweils links die Ergebnisse aus ERA-40 (1961–1991) und dem REMO-Kontrolllauf (1961–1991) angegeben. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

Ein Vergleich der Ergebnisse mit dem REMO-Kontrolllauf (1961–1991) und den aus den ERA-40-MSLP-Reanalysedaten klassifizierten REMO-Trocken-CP zeigt, dass die Häufigkeiten und die max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster z.T. deutlich unterschätzt werden. Im Zeitraum 2001–2100 werden Werte, wie sie in ausgeprägten historischen Trockenperioden, wie im Sommer 1976 auftraten, erst ab ca. 2040 erreicht oder überschritten. Eigentlich müssten die transienten Läufe auf einem höheren Ausgangsniveau starten. Insofern stimmen auch hierbei die Ergebnisse für die Vegetationsperioden mit den Ergebnissen für die Sommer überein. Auch für die Vegetationsperioden werden die max. Dauern im gleitenden 45-Tagefenster im Vergleich zu den ERA-40 Werten für einzelne Jahre bereits zu Beginn des transienten Laufes überschritten. Hieraus folgt, dass insbesondere in der 2. Hälfte des 21. Jahrhunderts mit einer drastischen Zunahme der Trocken- und Niedrigwasserperioden während der Vegetationsperioden in Bayern gerechnet werden muss. Dieses Ergebnis ist im Vergleich zu der gemeinsamen 17-CP-Klassifikation für die

21CP-Klassifikation und damit für Bayern wesentlich ausgeprägter.

Auf eine Analyse der 21 CP-Klassifikation mit RACMO2 wird verzichtet, da in Abschnitt 5.3.3 ausführlich dargelegt wurde, dass sich die Ergebnisse von REMO und RACMO2 nur geringfügig unterscheiden.

5.5.2 Ergebnisse für die 3 Ensembleläufe aus HadRM3 für die 21 CP-Klassifikation

5.5.2.1 Häufigkeiten und Persistenz der HadRM3-Trocken-CP im Sommer

In [Abb. 5.21](#) sind die Ergebnisse für die kombinierten Trocken-CP für das transiente **HadRM3-A1B-Szenario** der speziellen **21 CP-Klassifikation** von **Bayern** für die **Sommer (JJA)** des Zeitraumes 2001–2099 dargestellt. Es handelt sich dabei um den Ensemblelauf mit niedriger Sensitivität. Hieraus kann entnommen werden, dass sowohl die Häufigkeiten als auch die maximale Dauer der kombinierten Trocken-CP im gleitenden 45-Tagefenster einen hochsignifikanten (99 %-Niveau) ansteigenden Trend aufzeigen. Die ebenfalls hochsignifikante Bruchpunkte liegen für die Häufigkeiten im Jahr 2064 und für die max. Dauern im gleitenden 45-Tagefenster im Jahr 2061. Dieses Ergebnis ist etwas weniger stark ausgeprägt als die Ergebnisse aus den transienten A1B-Szenarien mit REMO. Es gibt auch bei den Bruchpunkten eine leichte Verschiebung von 2049 nach 2061. Der Vergleich von Kontrolllauf und den ERA-40 Ergebnissen in [Abb. 5.21](#) zeigt erhebliche Abweichungen. Während für ERA-40 sowohl die Häufigkeiten als auch die max. Dauer der Trocken-CPs im 45-Tagefenster einen steil ansteigenden Trend aufweisen, ist dies bei den HadRM3-Kontrollläufen nicht der Fall. Ausgeprägte historische Trockensommer wie z.B. 1976 sind zwar aus den ERA-40 Daten klar erkennbar, bei HadRM3 dagegen wesentlich schwächer ausgeprägt. Ähnlich wie REMO unterschätzt auch HadRM3 sowohl die Häufigkeiten, als auch die max. Dauern der Trocken-CPs des HadRM3-A1B-Szenarienlaufes in den ersten Jahrzehnten im Vergleich zum Kontrolllauf deutlich.

Um die Auswirkungen der 3 Ensembleläufe auf die Variabilität der Ergebnisse hinsichtlich der Trocken-CP zu quantifizieren, wurde die Auswertung der HadRM3-Trocken-CPs für die transienten A1B-Szenariolenläufe mit normaler, hoher und niedriger Sensitivität durchgeführt. Wegen der besseren Übersicht sind in [Abb. 5.22](#) die Ergebnisse als gleitende Mittelwerte über 11 Jahre für alle 3 Ensembleläufe dargestellt. Sofern statistisch signifikante Trends vorliegen, so sind auch die zugehörigen Trendgeraden eingezeichnet. Bei den Häufigkeiten der HadRM3-TrockenCPs aus der 21-CP-Klassifikation für Bayern, zeigen die Läufe mit hoher und niedriger Sensitivität jeweils einen hochsignifikanten (99 %-Niveau) ansteigenden Trend und jeweils einen hochsignifikanten Bruchpunkt nach *Pettitt (1979)* im Jahr 2052 für den Lauf mit hoher Sensitivität und im Jahr 2064 für den Lauf mit niedriger Sensitivität. Der Lauf mit normaler Sensitivität zeigt weder signifikante Trends noch Bruchpunkte. Die 3 Kurven der maximalen Dauern der HadRM3-Trocken-CPs im gleitenden 45-Tagefenster verlaufen für alle 3 Ensembleläufe in einem schmalen ansteigenden Band. Auch hier zeigt der Lauf mit niedriger Sensitivität einen hochsignifikanten Bruchpunkt im Jahr 2061 und der Lauf mit hoher Sensitivität einen signifikanten ansteigenden Trend mit signifikantem Bruchpunkt im Jahr 2064.

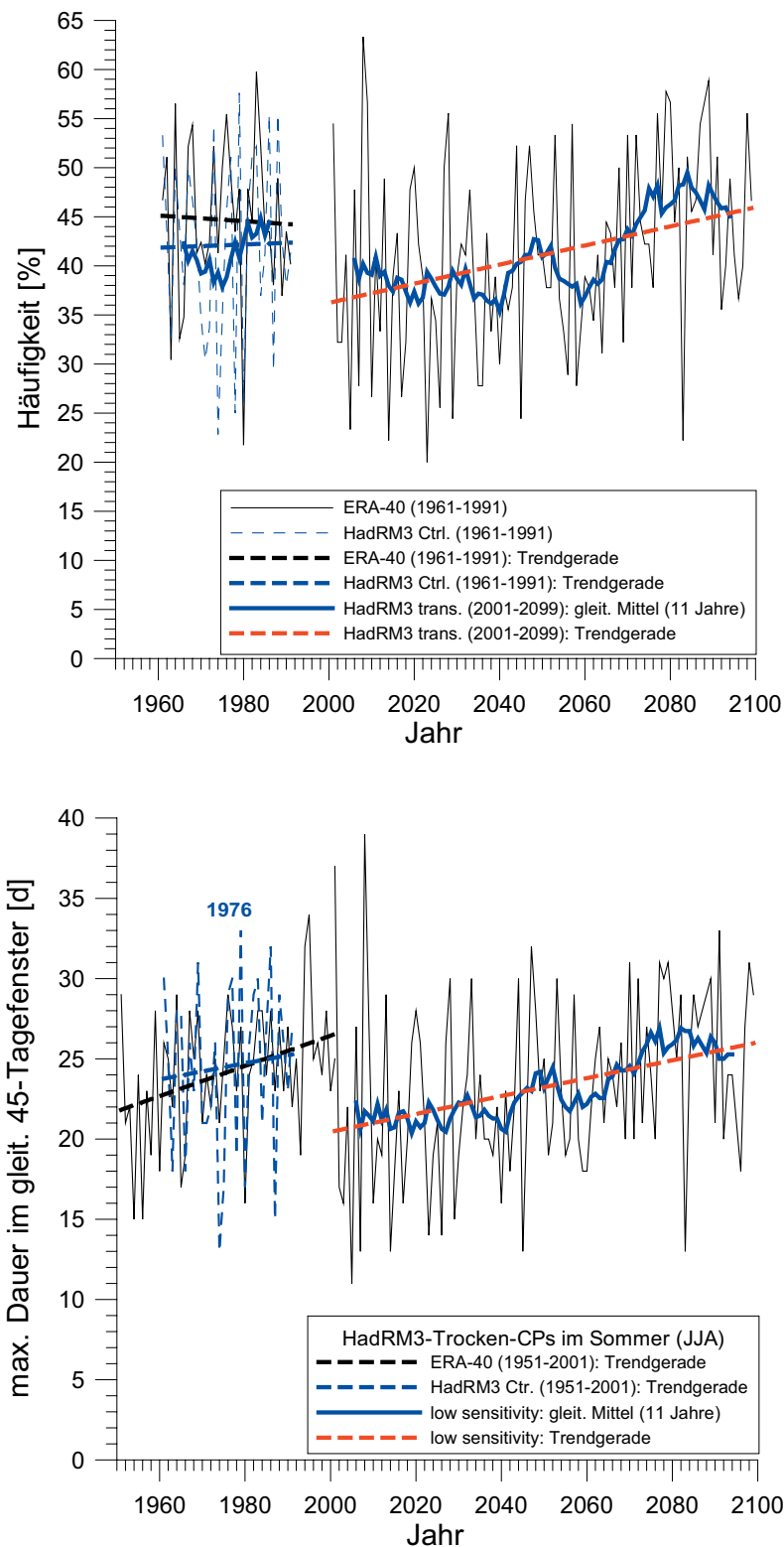


Abb. 5.21: Häufigkeit (oben) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (unten) der kombinierten Trocken-CP (CP02+CP04+CP06+CP07+CP08+CP12+CP16+CP19+CP21) der **21 CP-Klassifikation** für Bayern für das transiente **HadRM3-A1B-Szenario** (low sensitivity) für die **Sommer (JJA)** des Zeitraumes 2001–2099. In den Graphiken sind jeweils links die Ergebnisse aus ERA-40 und dem HadRM3-Kontrolllauf (1961–1991) angegeben. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

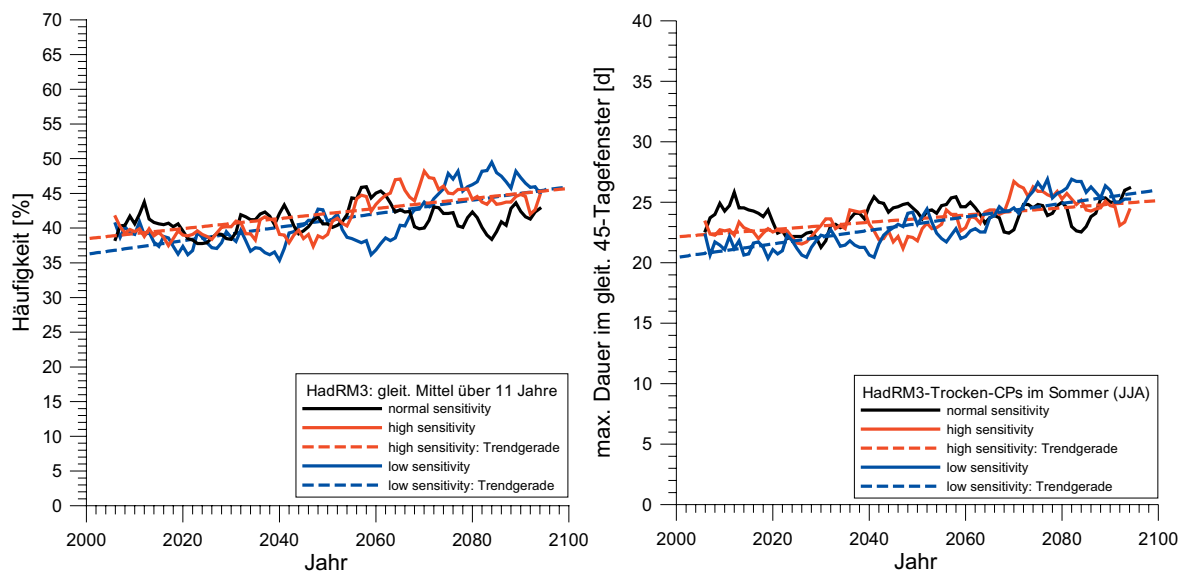


Abb. 5.22: Häufigkeit (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten Trocken-CP (CP02+CP04+CP06+CP07+CP08+CP12+CP16+CP19+CP21) der **21** CP-Klassifikation für **Bayern** für das Ensemble aus 3 transienten **HadRM3-A1B-Szenarien** mit normaler, hoher und niedriger Sensitivität für die **Sommer** (JJA) des Zeitraumes 2001–2099. Beide Abbildungen zeigen jeweils die gleitenden Mittelwerte über 11 Jahre und Trendgeraden für signifikante Trends.

5.5.2.2 Häufigkeiten und Persistenz der HadRM3-Trocken-CP in der Vegetationszeit

In [Abb. 5.23](#) sind die Ergebnisse für die kombinierten Trocken-CP für das transiente **HadRM3-A1B-Szenario** der **21** CP-Klassifikation für **Bayern** für die **Vegetationszeiten** (April–September) des Zeitraumes 2001–2099 dargestellt. Es handelt sich dabei um den Ensemblelauf mit niedriger Sensitivität. Hieraus kann entnommen werden, dass sowohl die Häufigkeiten als auch die maximale Dauer der kombinierten Trocken-CP im gleitenden 45-Tagefenster für das transiente A1B-Szenario einen statistisch hochsignifikanten ansteigenden Trend aufzeigen. Es gibt auch jeweils einen hochsignifikanten Bruchpunkt in den transienten Zeitreihen, der für die Häufigkeiten im Jahr 2069 und für die max. Dauer im gleitenden 45-Tagefenster im Jahr 2043 liegt. Die Zeitreihen der HadRM3-Kontrollläufe (1961–1991) zeigen weder statistisch signifikante Trends noch signifikante Bruchpunkte. Ähnlich wie REMO unterschätzt auch der Kontrolllauf von HadRM3 die Häufigkeiten der Trocken-CPs. Dagegen werden die max. Dauern der Trocken-CPs im gleitenden 45-Tagefenster der ERA-40 Daten durch den HadRM3-Kontrolllauf leicht überschätzt und erreichen im transienten A1B-Szenario trotz ansteigenden Trends nur in wenigen Jahren die Werte des Kontrolllaufes.

Um die Auswirkungen der 3 Ensembleläufe auf die Variabilität der Ergebnisse hinsichtlich der Trocken-CP zu quantifizieren, wurde die Auswertung der HadRM3-Trocken-CPs für das Ensemble der 3 transienten A1B-Szenarioläufe mit normaler, hoher und niedriger Sensitivität durchgeführt. Wegen der besseren Übersicht sind in [Abb. 5.24](#) die Ergebnisse für die gleitenden Mittelwerte über 11 Jahre für alle 3 Ensembleläufe dargestellt sowie die hochsignifikanten (99 %-Niveau) ansteigenden Trends für die Läufe mit hoher und niedriger Intensität.

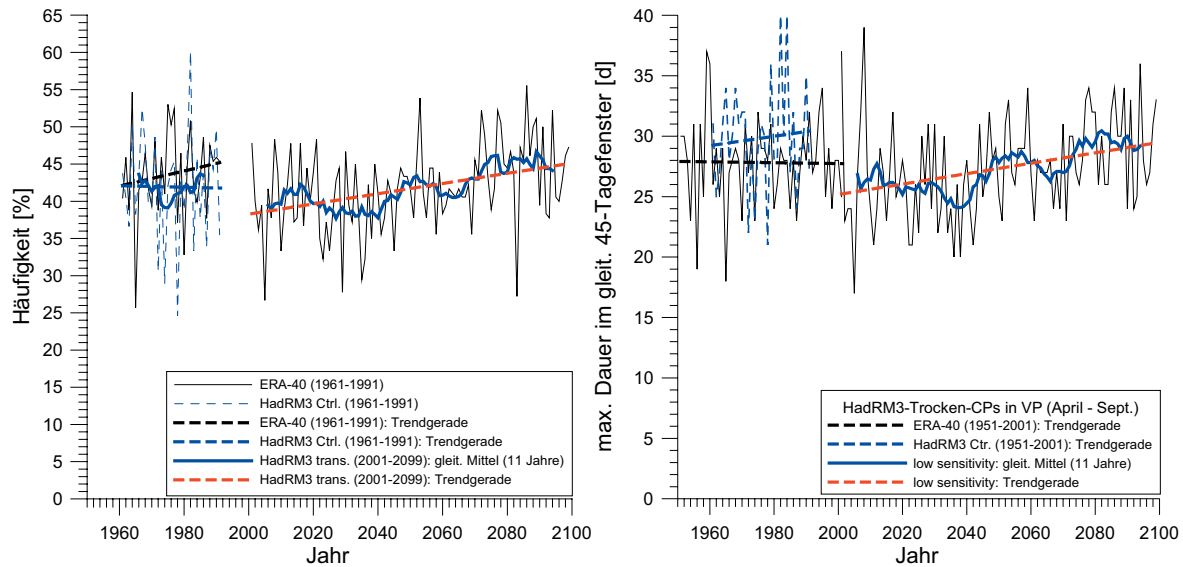


Abb. 5.23: Häufigkeit (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten Trocken-CP (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) der **21 CP-Klassifikation** für **Bayern** für das transiente **HadRM3-A1B-Szenario** (low sensitivity) für die **Vegetationsperioden** (April–September) des Zeitraumes 2001–2099. In den Graphiken sind jeweils links die Ergebnisse aus ERA-40 (1951–2001) und dem HadRM3-Kontrolllauf (1961–1991) angegeben. Ausgleichskurven: gleitendes Mittel über 11 Jahre und Trendgerade.

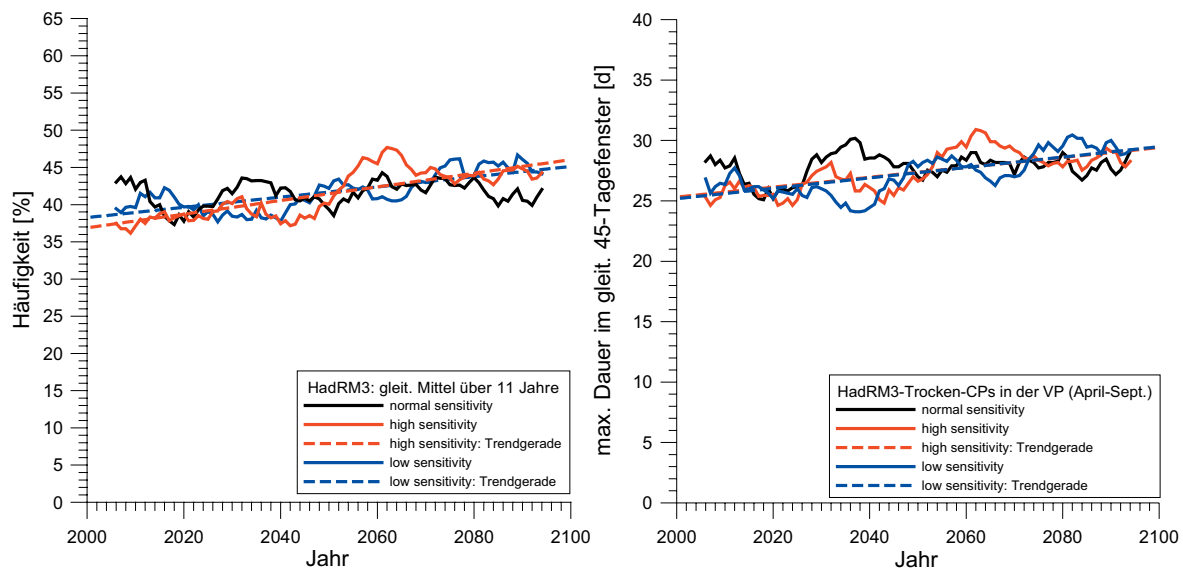


Abb. 5.24: Häufigkeit (links) und maximale Dauer im gleitenden 45-Tagefenster (rechts) der kombinierten Trocken-CP (CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) der **21 CP-Klassifikation** für **Bayern** für das Ensemble aus 3 transienten **HadRM3-A1B-Szenarien** mit normaler, hoher und niedriger Sensitivität für die **Vegetationsperioden** (April–September) des Zeitraumes 2001–2099. Beide Abbildungen zeigen jeweils die gleitenden Mittelwerte über 11 Jahre und die hochsignifikanten ansteigenden Trends.

Bei den Häufigkeiten der HadRM3-TrockenCPs zeigen die 2 Zeitreihen mit hoher und niedriger Sensitivität jeweils einen hochsignifikanten ansteigenden Trend und hochsignifikante Bruchpunkte nach *Petitt (1979)* für den Lauf mit hoher Sensitivität im Jahr (2051) und im Jahr 2069 für den Lauf mit niedriger Sensitivität. Die 3 Kurven der max. Dauern der HadRM3-Trocken-CPs im gleitenden 45-Tagefenster verlaufen für alle 3 Ensembleläufe in einem schmalen Band und zeigen alle einen ansteigenden Trend, der für die Läufe mit hoher und niedriger Sensitivität hochsignifikant ist. Die zugehörigen hochsignifikanten Bruchpunkte liegen für den Lauf mit hoher Sensitivität im Jahr 2050 und für den Lauf mit niedriger Sensitivität im Jahr 2043. Die Läufe mit normaler Sensitivität zeigen keine signifikanten Trends.

5.5.2.3 Ergebnisbewertung der HadRM3-Trocken-CPs aus den 3 Ensembleläufen der 21 CP-Klassifikation für Bayern

Im Gegensatz zur 17 CP-Klassifikation sind die Ergebnisse der 21 CP-Klassifikation für Bayern für HadRM3 und REMO sehr konsistent. Beide Modelle zeigen in ihren transienten Läufen sowohl für die Häufigkeiten als auch für die max. Dauern im gleitenden 45-Tagefenster sowohl im Sommer (JJA) als auch in der Vegetationsperiode (April–September) hochsignifikante bzw. signifikante stark ansteigende Trends. Die Anstiege entfallen vornehmlich auf den Zeitraum nach 2050. Die signifikanten Bruchpunkte der Zeitreihen liegen im Bereich zwischen 2049 (REMO) und 2061 (HadRM3). In allen Fällen unterschätzt das transiente A1B-Szenario am Beginn des transienten Zeitraumes die aus den ERA-40 Reanalysen berechneten Werte.

Aus den Ergebnissen der 21 CP-Klassifikation mit den RCMs REMO und HadRM3 kann geschlussfolgert werden, dass **in Bayern insbesondere in der 2. Hälfte des 21. Jahrhunderts mit einem deutlichen zusätzlichen Anstieg der Trocken- und Niedrigwasserperioden im Sommer (JJA) und in den Vegetationsperioden (April–September) gerechnet werden muss.**



5.6 Zusammenfassende Bewertung der RCM-Ergebnisse für die Trocken-CPs

1. In der vorliegenden Untersuchung wurden die Daten von 3 regionalen Klimamodellen (RCM) ausgewertet, die im Rahmen des EU-Projektes ENSEMBLES (<http://ensembles-eu.metoffice.com>) berechnet wurden. Es handelt sich um die beiden RCMs **REMO** des *Max-Planck-Instituts für Meteorologie (MPI)* und **RACMO2** des *Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)*, die beide das am MPI entwickelte globale Klimamodell **ECHAM5** als Antrieb nutzen. Das dritte zur Auswertung herangezogene RCM ist **HadRM3** des *Hadley Centre for Climate Prediction and Research des UK Met Office* mit dem Antrieb des Globalmodells **HadCM3**.
2. Bei allen verwendeten RCM-Modellläufen wurde das geographische Fenster 4°W bis 27,68°E und 30°N bis 61,68°N und die höchste verfügbare räumliche Auflösung für ein reguläres Gitter von 0,22°, was einer Auflösung von 25 km x 25 km entspricht, verwendet. Die Kontrollläufe umfassen den Zeitraum 1961–1991 und nutzen die in einem Raster von 2,5° x 2,5° vorliegenden ERA-40 Reanalysen als Antrieb. Für alle 3 RCMs wurden die transienten A1B-Szenarien analysiert. Sie umfassen für REMO und RACMO2 den Zeitraum 2001–2100 und für das Ensemble aus 3 HadRM3-Läufen mit normaler, hoher und niedriger Sensitivität den Zeitraum 2001–2099. Die Ensembleläufe werden durch unterschiedliche Störungen in der Atmosphärenphysik erzielt.
3. Die objektive CP-Klassifikation für alle RCM-Modellläufe erfolgte auf der Basis der Tagesmittelwerte des Bodenluftdruckes, der für alle Modelle in einem Raster von 25 km x 25 km vorliegt.
4. Die gemeinsame CP-Klassifikation für die 3 Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz umfasst 17 CP. Die speziellen CP-Klassifikationen umfassen für Baden-Württemberg 18 CP, für Rheinland-Pfalz 20 CP und für Bayern 21 CP.
5. Für die gemeinsame 17 CP-Klassifikation wurden die 8 CPs (CP01+CP02+CP07+ CP08+CP10+CP11+CP12+CP13) zu Trocken-CPs zusammengefasst.
6. Der Ergebnisvergleich der 18-CP-Klassifikation für Baden-Württemberg und der 20 CP-Klassifikation für Rheinland-Pfalz mit den Ergebnissen der gemeinsamen 17 CP-Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer gültig ist, ergab für die jeweiligen Trocken-CP für den Zeitraum 1900–2007 ähnliche Ergebnisse. Aus diesem Grund erfolgte RCM-Trocken-CP-Auswertung für die Länder Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz auf der Basis der 17-CP-Klassifikation. Für den Freistaat Bayern wurde eine zusätzliche Auswertung der Trocken-CP für die 21-CP-Klassifikation vorgenommen.
7. Die RCMs RACMO2 und REMO zeigen für die transienten A1B-Szenarien (2001–2100) hinsichtlich der Häufigkeiten und der maximalen Dauer der Trocken-CPs im gleitend 45-Tagefenster sowohl für die Sommer (JJA) als auch die Vegetationsperioden (April–September) sehr ähnliche und weitgehend übereinstimmende Ergebnisse. Dies ist vermutlich in weiten Teilen auf den identischen GCM-Antrieb durch ECHAM5 für beide RCM zurückzuführen. Der Trendanstieg ist für REMO sowohl für die Sommer (JJA) als auch die Vegetationsperiode (April–September) jeweils etwas stärker als für RACMO2.
8. Für RACMO2 und REMO weisen die transienten Zeitreihen (2001–2100) der Häufigkeiten der gruppierten Trocken-CPs im Sommer (JJA) einen hochsignifikant (99 %-Niveau) ansteigenden Trend und einen nahezu übereinstimmenden hochsignifikanten Bruchpunkt für REMO im Jahr 2049 und für RACMO2 im Jahr 2048 auf.
9. Auch für die Vegetationsperioden (April–Sept) zeigen die Häufigkeiten der zusammengefassten Trocken-CPs für beide RCMs einen signifikanten (95 %-Niveau) ansteigenden Trend mit einem übereinstimmenden Bruchpunkt im Jahr 2048. Das Maß des Anstiegs der Häufigkeiten der Trocken-CPs ist für die Vegetationsperioden geringer als für die reinen Sommermonate (JJA).

10. Aus den Ergebnissen von RACMO2 und REMO kann geschlussfolgert werden, dass **insbesondere in der 2. Hälfte des 21. Jahrhunderts mit einem deutlichen zusätzlichen Anstieg der Trocken- und Niedrigwasserperioden im Sommer (JJA) in Südwestdeutschland gerechnet werden muss**. Für die Vegetationsperioden ist dagegen nur mit einem leichten Anstieg zu rechnen.
11. Im Gegensatz zu REMO und RACMO2 zeigen die Häufigkeiten der gruppierten Trocken-CPs für den transienten Lauf von **HadRM3** (2001–2099) mit normaler Sensitivität weder für die Sommer (JJA) noch für die Vegetationsperioden (April–September) signifikante Trends noch Bruchpunkte. Für die Sommer (JJA) zeigen die Häufigkeiten der Trocken-CPs eine leicht abnehmende Tendenz, die jedoch nicht signifikant ist.
12. Aus den Ergebnissen der Trocken-CP-Analyse des Ensemble von 3 transienten HadRM3-A1B-Szenarien kann für die 17 CP-Klassifikation geschlussfolgert werden, **dass im Zeitraum 2001–2099 weder für die Sommer (JJA) noch für die Vegetationsperioden (April–September) mit einer signifikanten Veränderung der Trocken- und Niedrigwasserperioden in Südwestdeutschland gerechnet werden muss**. Dieses Ergebnis weicht deutlich von den Ergebnissen von RACMO2 und REMO ab.
13. Im Gegensatz zur 17 CP-Klassifikation sind die Ergebnisse der 21 CP-Klassifikation für Bayern für HadRM3 und REMO sehr konsistent. Beide Modelle zeigen in ihren transienten Läufen sowohl für die Häufigkeiten als auch für die max. Dauern im gleitenden 45-Tagefenster hochsignifikante bzw. signifikante stark ansteigende Trends. Dies gilt für die Sommer (JJA) und die Vegetationsperioden (April–September). Die Anstiege entfallen vornehmlich auf den Zeitraum nach 2050. Die signifikanten Bruchpunkte der Zeitreihen liegen im Bereich zwischen 2049 (REMO) und 2061 (HadRM3). In allen Fällen unterschätzt das transiente A1B-Szenario zu Beginn des transienten Zeitraumes die aus den ERA-40 Reanalysen berechneten Werte.
14. Aus den Ergebnissen der 21 CP-Klassifikation mit den RCMs REMO und HadRM3 kann geschlussfolgert werden, dass **in Bayern insbesondere in der 2. Hälfte des 21. Jahrhunderts mit einem deutlichen zusätzlichen Anstieg der Trocken- und Niedrigwasserperioden im Sommer (JJA) und in den Vegetationsperioden (April–September) gerechnet werden muss**.
15. Die divergierenden Ergebnisse bei der 17 CP-Klassifikation unterstreichen die Bedeutung des als RCM-Antrieb genutzten GCM. Ausgehend von der größeren Übereinstimmung der Ergebnisse der Trocken-CP für die Kontrollläufe von REMO und RACMO2 mit den aus den ERA-40 Reanalysen berechneten Trocken-CP und historischer ausgeprägter Trocken- und Niedrigwasserperioden, erscheint es sinnvoll, für die abschließende Bewertung den Ergebnissen aus REMO und RACMO2 hinsichtlich der Trocken-CP in Südwestdeutschland eine höhere Gewichtung beizumessen als den Ergebnissen für HadRM3.
16. Neueste Untersuchungen (*Betts, 2009*) im Rahmen des EU-Projektes ENSEMBLES zeigen, dass bei einer zunehmenden Klimaänderung nicht nur die Veränderung von Temperatur und Niederschlag sondern auch die pflanzenphysiologischen Veränderungen infolge der erhöhten CO₂-Konzentration berücksichtigt werden müssen. Dies erfolgt durch Modellierung des Kohlenstoffkreislaufes mit Hilfe von dynamischen globalen und regionalen Vegetationsmodellen. So wird eine erhöhte CO₂-Konzentration bei ausreichender Wasser- u. Nährstoffversorgung einerseits zu einer erhöhte Biomassenproduktion führen. Andererseits wird durch den bereits in *Casparly (1990)* beschriebenen „CO₂-Stomataeffekt“ die „water-use-efficiency“ erhöht. Dieser Effekt könnte insbesondere für die Modellierung von Niedrigwasser von Bedeutung sein, da infolge dieser pflanzenphysiologischen Effekte die Transpiration vermindert würde und damit Niedrigwasserabflüsse sich leicht erhöhen und kritische Niedrigwasserzeiten etwas verkürzt werden könnten. Zukünftige Modellierungen von Niedrigwasserverhältnissen mit Hilfe hydrologischer Wasserbilanzmodelle für Zeiträume ab 2020 sollten diese pflanzenphysiologischen Effekte infolge einer erhöhten CO₂-Konzentration dringend berücksichtigen.



Die vorliegende Untersuchung hat gezeigt, dass die „kritischen“, extreme Trocken- und Niedrigwasserperioden auslösenden NCAR-Trocken-CPs für alle 4 objektiven CP-Klassifikationen sowohl im Sommer (JJA) als auch in der Vegetationsperiode (April–September) im Berechnungszeitraum 1900–2007 hochsignifikant ansteigende Trends und Bruchpunkte sowohl für die Häufigkeiten wie die maximale Dauer der Trocken-CPs im gleitenden 45-Tagefenster aufweisen. **Die Wahrscheinlichkeit eines trockenen, heißen Sommers und einer extrem trockenen Vegetationsperiode hat im Vergleich zum Zeitraum vor den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts bereits um mehr als das Zweifache zugenommen.** Die Ergebnisse der NCAR-Trocken-CPs stimmen somit weitgehend mit den im Werkvertrag v. 06.12.2006 erzielten Ergebnissen für die Großwetterlagen des Zeitraumes 1881–2006 überein, allerdings sind sie für die NCAR-Trocken-CPs etwas geringer ausgeprägt. Damit ist anhand großräumiger atmosphärischer Zirkulationsmuster nachgewiesen, dass sich neben dem Winterklima auch das Sommerklima in Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Bayern bereits seit ca. 4 Jahrzehnten zunehmend in Richtung hydrologischer Extreme verändert hat.

Aus den Ergebnissen der objektiven Trocken-CP der transienten RCM-A1B-Szenarien kann geschlossen werden, dass insbesondere in der 2. Hälfte des 21. Jahrhunderts mit einem deutlichen zusätzlichen Anstieg der Trocken- und Niedrigwasserperioden im Sommer (JJA) in Südwestdeutschland gerechnet werden muss. Dieser Anstieg wird in Bayern vermutlich noch stärker sein als in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz. Für die Vegetationsperioden ist dagegen nur mit einem leichten Anstieg zu rechnen.

6. Literatur

- Ahmed, S., de Marsily, G. (1987): Comparison of geostatistical methods for estimating transmissivity using data transmissivity and specific capacity. *Water Resources Research* 23, 1717–1737.
- Bárdossy, A., Caspary, H. J. (1990): Detection of Climate Change in Europe by analyzing European Atmospheric Circulation patterns from 1881-1989. *Theoretical and Applied Climatology* 42, 155–167.
- Bárdossy, A., Duckstein, L. (1995): Fuzzy rule based modeling with applications to geophysical, biological and engineering systems. *CRC Press*, New York, 232 pp.
- Bárdossy, A. (1998): Statistical persistence in hydroclimatological data. In: Parent, E., Hubert, P., Bobée, B., Miquel, J., (eds): *Statistical and Bayesian Methods in Hydrological Sciences. UNESCO Int. Hydrological Programme (IHP), IHP-V; Technical Documents in Hydrology; No. 20*, UNESCO, Paris, 219–233.
- Bárdossy, A. (2010): Circulation pattern classification using hydrological variables. *Physics and Chemistry of the Earth* 35, (in review).
- Bárdossy, A., Stehlik, J., Caspary, H. J. (2002): Automated objective classification of daily circulation patterns for precipitation and temperature downscaling based on optimized fuzzy rules. *Climate Research* 23, 11–22.
- Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., Palutikof, J.P. (eds.), (2008): *Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
- Baur, F., Hess, P. & Nagel, N. (1944): *Kalender der Großwetterlagen Europas 1881–1939*. Bad Homburg.
- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (BLfW) (1979): Die Trockenperiode 1976. Eine hydrologische Monographie und eine Niedrigwasseranalyse. *Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 12*, München. 253 S.
- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (BLfW) (2004): *Wasserwirtschaftlicher Bericht – Trockenperiode 2003 - Kurzfassung*. München, Mai 2004, 18 S. <http://www.bayern.de/lfw/service/download/trockenperiode2003.pdf>
- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (BLfW) (2005): *Wasserwirtschaftlicher Bericht - Niedrigwasserperiode 2003. Informationsberichte Heft 2/05*, Juni 2005, München, 162 S. <http://www.bayern.de/lfw/service/download/nied03.pdf>.
- Becker, P., Bucher, K. (2006): Deutschlands Hitzewarnsystem – erste Erfahrungen. *Vortrag anlässlich 2. nationaler UBA Workshop „Anpassungen an Klimaänderungen in Deutschland“* 17.10.2006, Bundespresseamt, Berlin.
- Belz, J. U. (2005): Niedrigwasser-Abflüsse im Rheingebiet im 20. Jahrhundert – Ursachen und Entwicklungen. *Kolloquium „Erfahrungen zur Niedrigwasserbewirtschaftung“* 14–15. Sept. 2005, Koblenz, S. 113–129.
- Betts, R. (2009): Carbon cycle processes in the ENSEMBLES simulations. Presentation, *ENSEMBLES Final Symposium*, UK Met Office, Exeter/UK, 18.11.2009.



- Blenkinsop, S., Fowler, H. J. (2007): Changes in European drought characteristics projected by the PRUDENCE regional climate models. *International Journal of Climatology* 27, pp. 1595–1610.
- Blenkinsop, S., Fowler, H. J. (2007): Changes in drought frequency, severity and duration for the British Isles projected by PRUDENCE regional climate models. *Journal of Hydrology* 342, pp. 50–71.
- Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (2004): Das Niedrigwasserjahr 2003. In BfG (2004): Jahresbericht 2003. Koblenz, S. 9–27 S.
- Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (2006): Zur Niedrigwasser-Situation in den Bundeswasserstraßen im Juli 2006. <http://www.bafg.de/servlet/is/13283/Niedrigwasser-2006-1.pdf>
- Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (2007): Die Niedrigwasser-Situation in den Bundeswasserstraßen im April 2007. <http://www.bafg.de/servlet/is/14852/NWApril2007.pdf>
- Bürger, K. (1958): Zur Klimatologie der Großwetterlage. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* 45, Bd. 6, Selbstverlag des DWD, Offenbach a.M.
- Caspary, H. J. (1990): Auswirkungen neuartiger Waldschäden und der Bodenversauerung auf das Abflussverhalten von Waldgebieten. Dissertation. *Mitteilungen des Instituts für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universität Karlsruhe* 37, Karlsruhe.
- Caspary, H. J., Bárdossy, A. (1995): Markieren die Winterhochwasser 1990 und 1993 das Ende der Stationarität in der Hochwasserhydrologie infolge von Klimaänderungen? *Wasser & Boden* 47, H. 3, 18–24.
- Caspary, H. J. (1996): Recent winter floods in Germany caused by changes in the atmospheric circulation across Europe. *Physics and Chemistry of the Earth* 20, No. 5–6, 459–462.
- Caspary, H. J. (2003): „Kritische“ Wetterlagen für die Hochwasserbildung in Südwestdeutschland – Klassifikation und Analyse mit Hilfe von Beobachtungs- und Klimamodelldaten - *Gutachten im Auftrag der LfU (Werkvertrag: B.-Nr.:5000 8616/43)*, Dez. 2003, Karlsruhe, 52 S.
- Caspary, H. J. (2004): Zunahme „kritischer“ Wetterlagen als Ursache für die Entstehung extremer Hochwasser in Südwestdeutschland. *KLIWA-Berichte* 4, KLIWA Symposium, Würzburg, 03.–04.05.2004, München, S. 135–151.
- Caspary, H. J. (2005): Analyse „kritischer“ Wetterlagen für die Hochwasserbildung in Südwestdeutschland auf der Basis von NCEP-Reanalysen und HadAM3P-Klimamodelldaten. *Gutachten im Auftrag der LfU (Werkvertrag: B.-Nr.:5000 8616/43)*, Dez. 2005, Karlsruhe, 79 S.
- Caspary, H. J. (2007): Trockenperioden, Niedrigwasser und Hitzewellen in Südwestdeutschland auslösende „kritische“ Wetterlagen. *Gutachten im Auftrag der LUBW (Werkvertrag: B.-Nr.: 4500007742/43)* v. 06.12.2006, Karlsruhe, Aug. 2007, 80 S.
- Caspary, H. J., Katzenberger, B. (2007): Increased risk of heat waves and dry spells in Southwest Germany linked to non-stationarity of “critical” atmospheric circulation types. *General Assembly 2007 of the European Geosciences Union (EGU)*, Vienna, Austria, 16–20 April 2007, *EGU2007-A-09929, Geophysical Research Abstracts, Vol. 9*.
- Caspary, H. J., Bárdossy, A., Katzenberger, B. (2009): Downscaling low flow and drought for Southwest Germany by using atmospheric circulation types based on NCEP- and RCM-SLP-data. *General Assembly 2009 of the European Geosciences Union (EGU)*, Vienna, Austria, 19–24 April 2009, *EGU2009-12893-1, Geophysical Research Abstracts, Vol. 11*.

- Collins, M., Booth, B.B., Harris, G.R., Murphy, J.M., Sexton, D.M.H., Webb, M. J. (2006): Towards quantifying uncertainty in transient climate change. *Climate Dynamics* 27, pp. 127–147. DOI 10.1007/s00382-006-0121-0.
- Collins, M., Booth, B.B., Bhaskaran, B., Harris, G.R., Murphy, J.M., Sexton, D.M.H., Webb, M. J. (2009): Climate model errors, feedbacks and forcings: A comparison of perturbed physics and multi-model ensembles. *Climate Dynamics* (submitted).
- Cubasch, U. (2004): Perspektiven der Klimamodellierung mit aktuellen Beispielen. *KLIWA-Berichte* 4, KLIWA Symposium, Würzburg, 03.–04.05.2004, München, S. 19–25.
- Demuth, S. (2005): Niedrigwasser und Dürre – Eine europäische Perspektive. *IHP-Sekretariat, BfG*, Koblenz, 6 S. (<http://icwq.bafg.de/servlet/is/8532/Demuth.pdf>).
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (2003): Der Rekordsommer 2003 (http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/prod/spezial/temp/Rekordsommer_2003.pdf).
- Dietzer, B. (2001): Langzeitverhalten extremer Niederschlagsereignisse – Ergebnisse aus KLIWA. *KLIWA-Symposium 29.–30.11.2000, Karlsruhe, KLIWA-Berichte* 1, S. 46–67.
- Engel, H., Belz, J., Krahe, P., 2006: Extreme Niedrigwasserstände in Deutschlands Flüssen. In: Hutter, C.-P., Link, F.-G.: Warnsignal Klimawandel: Wird Wasser knapper? *Beiträge der Akademie f. Natur- u. Umweltschutz Baden-Württemberg, Bd. 42*, Wiss. Verlagsgesellschaft, Stuttgart, S. 33–48.
- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) (2004): ERA-40 ECMWF 45-year reanalysis of the global atmosphere and surface conditions 1957-2002. *ECMWF Newsletter* 101, summer/autumn 2004, pp. 2–21.
- Fowler, H. J., Kilsby, C.G. (2002): A weather-type approach to analysing water resource drought in the Yorkshire region from 1881 to 1998. *Journal of Hydrology* 262, pp. 177–192.
- Frei, C., Schöll, R., Fukutome, S., Schmidli, J., Vidale, P.L. (2006): Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models. *Journal of Geo -physical Research – Atmospheres* 111, No. D06105, March 2006, pp. 22.
- Gerstengarbe, F.-W., Werner, P. C. (1993): Katalog der Großwetterlagen Europas nach Paul Hess und Helmuth Brezowsky 1881–1992. 4. völlig neubearbeitete Aufl. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* 113, Selbstverlag des DWD, Offenbach a.M.
- Gillett, N. P., Zwiers, F. W., Weaver, A. J. (2003): Detection of human influence on sea-level pressure. *Nature*, Vol. 422, March 2003, 292–294.
- Günther, T. (2004): Langzeitverhalten hydrometeorologischer Größen. *KLIWA-Berichte, Heft* 4, KLIWA Symposium, Würzburg, 03.–04.05.2004, München, S. 37–56.
- Hennegriff, W., Ihringer, J., Kolokotronis, V. (2008): Prognose von Auswirkungen des Klimawandels auf die Niedrigwasserverhältnisse in Baden-Württemberg. *Korrespondenz Wasserwirtschaft KW* 1. H. 6, S. 309–314.
- Hess, P., Brezowsky, H. (1969): Katalog der Großwetterlagen Europas. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* 113, Bd. 12. Selbstverlag des DWD, Offenbach a.M, 14 pp.



- Hisdal, H., Stahl, K., Tallaksen, L. M., Demuth, S. (2001): Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent? *International Journal of Climatology* 21, pp. 317–333.
- Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A. M. G., Klok, E. J., Jones, P. J., and New, M. (2008): A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006, *J. Geophys. Res.*, 113, D20119, doi:10.1029/2008JD010201
- IPCC (2000): IPCC special report on Emission scenarios- Summary for policymakers. 26 pp.
- IPCC (2001): Projections of future climate change. In: *Climate Change 2001 – The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. [Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C.A. (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK, 881 pp.
- IPCC WGII (2001): *Climate Change 2001 -Impacts, Adaptations, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the TAR of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. [McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J., White, K.S. (eds.)], Cambridge University Press, New York, USA, 1032 pp.
- IPCC (2007): *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R. K. and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- IPCC SPM (2007): Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 18 pp.
- IPCC WGI (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 996 pp.
- IPCC WGII (2007): *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.
- Jacob, D. (2001): A note to the simulation of the annual and inter-annual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin. *Meteorology and Atmospheric Physics*, Vol. 77, Issue 1–4, 61–73.
- Jacob, D., Göttel, H., Kotlarski, S., Lorenz, P. u. Sieck, K. (2008): *Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland. Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. UBA Reihe Climate Change 11/08*. Dessau, 08.2008, 154 S. www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3513.pdf
- Katzenberger, B. (2004): Bisherige Erkenntnisse aus KLIWA – Handlungsempfehlungen. *KLIWA-Berichte* 4, KLIWA Symposium, Würzburg, 03.–04.05.2004, München, S. 197–204.
- Koehler, G., Schwab, M., Finke, W., Belz, J. U. (2007): Überblick zur Niedrigwasserperiode 2003 in Deutschland: Ursachen – Wirkungen – Folgen. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 51, H. 3, Juni 2007, S. 118–129.

- Koop, J. H., Bergfeld, T., Keller, M. (2005): Einfluss von extremen Niedrigwasser-Ereignissen auf die Ökologie von Bundeswasserstraßen. *Kolloquium „Erfahrungen zur Niedrigwasserbewirtschaftung“ 14–15. Sept. 2005*, Koblenz, S. 79–91.
- Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (LfW) (2004): Sommer 2003 – ein wasserwirtschaftlicher Bericht zur Hitzeperiode im Jahre 2003. Mainz, 57 S.
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) (1984): Gewässerkundliche Beschreibung ausgewählter Abflussjahre – Abflussjahr 1983. *Handbuch Hydrologie Baden-Württemberg*, Karlsruhe, 30 S.
- Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) (Hrsg.) (1992): Ökologie der Fließgewässer, Niedrigwasser 1991. *Handbuch Wasser 2, H.6*, Karlsruhe, 58 S.
- Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) (Hrsg.) (1993): Gewässerkundliche Beschreibung, Abflussjahr 1992. *Handbuch Wasser 2, H. 9*, Karlsruhe, 55 S.
- Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) (Hrsg.) (1997): Statistische Untersuchung langfristiger Veränderungen des Niederschlages in Baden-Württemberg. *Handbuch Wasser 2, H. 42*, Karlsruhe, 153 S.
- Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) (Hrsg.) (2003): Umweltdaten 2003 Baden-Württemberg. Kapitel Klimafolgen, Karlsruhe, S. 43–48.
- Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) (Hrsg.) (2004): Das Niedrigwasserjahr 2003. *Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie, H. 85*, Karlsruhe, 36 S.
- Lenderink, G., van den Hurk, B., van Meijgaard, E., van Ulden, A.P., Cuijpers, J. (2003). Simulation of present-day climate in RACMO2: First results and model developments. *KNMI Technical Report, 252*, 24 pp. Available from KNMI, Postbus 201, 3730 AE, De Bilt, The Netherlands.
- Meijgaard, E. van, L. H. van Ulf, W. J. van de Berg, F. C. Bosveld, B. J. J. M. van den Hurk, G. Lenderink, A. P. Siebesma, (2008): The KNMI regional atmospheric climate model RACMO, version 2.1. *KNMI Technical Report 302*, 43 pp. Available from KNMI, Postbus 201, 3730 AE, De Bilt, The Netherlands.
- Münchener Rück (2004): Hitzesommer in Europa – die Zukunft hat bereits begonnen. In: *Münchener Rück, 2004: Topicsgeo - Jahresrückblick Naturkatastrophen 2003*. Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, München, S. 20–26.
- Nakićenović, N. and R. Swart, Eds. (2000): Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge, 599 pp.
- Pettitt, A. N. (1979): A non-parametric approach to the change point problem. *Journal Royal Statistical Society (Ser. C)* 28, 126–135.
- Rapp, J. & Schönwiese, C.-D. (1996): Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in Deutschland 1891-1990. *Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten, Serie B, Meteorologie und Geophysik Bd. 5*, Universität Frankfurt, Frankfurt a. M., 255 pp.
- Reich, T. (2005): Langzeitverhalten des Gebietsniederschlages in Baden-Württemberg und Bayern. *KLIWA-Berichte 7*. 160 S.



- Reid, P. A., Jones, P. D., Brown, O., Goodess, C. M., Davies, T. D. (2001): Assessments of the reliability of NCEP circulation data and relationships with surface climate by direct comparison with station based data. *Climate Research*, 17, 247–261.
- Spiegel Online (2007): Hitze-Sommer 2003 hat 70 000 Europäer getötet. *Spiegel Online* v. 23.03.2007.
- Stahl, K. (2001): Hydrological drought – A study across Europe. *Dissertation, Freiburger Schriften zur Hydrologie, Bd. 15, Institut für Hydrologie, Universität Freiburg*, 122 S.
- Tate, E. L., Gustard, A., (2000): Drought definition: A hydrological perspective. In Vogt, J.V., Somma, F. (eds) (2000): Drought and drought mitigation in Europe. *Advances in Natural and Technological Hazards Research, Vol. 14*, Springer-Verlag, 2. Aufl. pp. 23–48.
- Van der Linden, P.; Mitchell, J.F.B. (eds) (2009): ENSEMBLES: Climate Change and its impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. *Met Office Hadley Centre, Exeter/UK*, Nov. 2009, 160 pp.
- Vogt, J. V., Somma, F. (eds) (2000): Drought and drought mitigation in Europe. *Advances in Natural and Technological Hazards Research, Vol. 14*, Springer- Verlag, 2. Aufl. 325 p.

Anhang I

CP-Statistiktabelle für die Gebietsniederschläge und Feuchteindizes der 4 CP-Klassifikationen für je 3 Einzugsgebiete der Bundesländer, Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz

Tabellenerläuterung

Die nachstehenden Tabellen enthalten die CP-Statistiken für die Gebietsniederschläge und den Feuchteindex in den Sommerhalbjahren (01.05. -31.10.) des Zeitraumes 1958 - 2001 für die verschiedenen Pegel Einzugsgebiete und die 4 unterschiedlichen objektiven CP-Klassifikationen. Die als Trocken-CP für die jeweilige Klassifikation ausgewählten CP sind in der Spalte 1 und 4 jeweils gelb hinterlegt. Die Parameter der einzelnen Tabellenspalten bedeuten hierin:

CP01...CP17	=	durchnummerierte objektiv klassifizierte Wetterlage,
HH	=	Häufigkeit [%] der Wetterlage CP_i in den Sommerhalbjahren,
$p_i(u)$	=	Wahrscheinlichkeit eines nassen Tages bei gegebener Wetterlage CP_i [%],
SUM	=	Summe des Gebietsniederschlages in [mm], der in allen Sommerhalbjahren des Betrachtungszeitraumes 1958–2001 bei der Wetterlage CP_i gefallen ist,
Anteil	=	mittlerer Anteil von CP_i an der Summe des mittleren Sommerhalbjahresniederschlages [%],
$W_\alpha = \text{Anteil}/HH$	=	Feuchteindex (Wetness index); der Quotient aus Anteil von CP_i am Sommer-niederschlag / Häufigkeit von CP_i gibt ein Maß für die Feuchte des jeweiligen CP_i ,
m	=	mittlere Gebietsniederschlagshöhe an nassen Tagen mit der Wetterlage CP_i in [mm],
s	=	Standardabweichung der Gebietsniederschlagshöhe an nassen Tagen mit Wetterlage CP_i in [mm],
Max	=	Maximaler Tagesgebietsniederschlag im Sommerhalbjahr bei Wetterlage CP_i im Beobachtungszeitraum 1958–2001 in [mm].



Schussen / Pegel Gerbertshaus, $A_E = 782 \text{ km}^2$								
CP	HH [%]	$p_i(u)$ [%]	SUM [mm]	Anteil [%]	$W_\alpha = \text{Anteil}/\text{HH}$ [-]	m [mm]	s [mm]	MAX [mm]
CP01	5,78	41,97	619,1	2,45	0,42	3,38	5	32,1
CP02	6,1	23,7	427,1	1,69	0,28	3,92	7,12	40,4
CP03	6,27	88,37	3008	11,91	1,90	7,2	7,9	71,3
CP04	3,57	79,18	1375,6	5,44	1,53	6,46	8,02	59,7
CP05	10,17	77,31	3266,1	12,93	1,27	5,51	6,39	52,5
CP06	5,77	68,74	1430,4	5,66	0,98	4,78	5,75	35,5
CP07	6,39	46,68	796	3,15	0,49	3,54	5,09	29,6
CP08	4,75	30,17	415,1	1,64	0,35	3,84	7,59	55,4
CP09	6,52	83,13	3459,6	13,69	2,10	8,46	9,76	66,9
CP10	3,95	36,58	420	1,66	0,42	3,85	4,58	24,7
CP11	6,4	32,09	684,8	2,71	0,42	4,42	6,77	43,5
CP12	7,87	40,24	798,6	3,16	0,40	3,34	4,77	27,5
CP13	6,99	31,31	573,4	2,27	0,32	3,48	4,93	28,3
CP14	4,45	56,85	871,2	3,45	0,77	4,56	5,8	31,1
CP15	3,38	74,51	1320,6	5,23	1,55	6,95	7,75	36,3
CP16	3,09	87,98	1698	6,72	2,18	8,28	9	47,5
CP17	6,04	91,67	3184,6	12,61	2,09	7,62	8,13	50,7
CP99	2,52	62,63	916,2	3,63	1,44	7,7	10,45	59,5

Murg / Pegel Bad Rotenfels, $A_E = 466 \text{ km}^2$								
CP	HH [%]	$p_i(u)$ [%]	SUM [mm]	Anteil [%]	$W_\alpha = \text{Anteil}/\text{HH}$ [-]	m [mm]	s [mm]	MAX [mm]
CP01	5,78	48,9	994,8	3,19	0,55	4,67	6,8	35,1
CP02	6,1	20,9	242,5	0,78	0,13	2,53	4,23	27,9
CP03	6,27	94,5	5306,5	17,04	2,72	11,87	11,84	105,3
CP04	3,57	88,5	2543,3	8,17	2,29	10,69	10,78	50,2
CP05	10,17	74,1	2986,2	9,59	0,94	5,26	6,78	55,3
CP06	5,77	79,1	2557,7	8,21	1,42	7,44	8,01	54,8
CP07	6,39	47,5	859,9	2,76	0,43	3,76	5,81	30,9
CP08	4,75	27,7	399,5	1,28	0,27	4,04	6,12	31,1
CP09	6,52	89,0	3457,1	11,1	1,70	7,89	8,8	62,9
CP10	3,95	31,9	251,5	0,81	0,20	2,65	3,86	19,2
CP11	6,4	29,8	659,4	2,12	0,33	4,58	7,84	58,5
CP12	7,87	44,3	1079,5	3,47	0,44	4,1	5,84	38,7
CP13	6,99	34,5	599,2	1,92	0,28	3,29	4,58	23,4
CP14	4,45	62,5	957,3	3,07	0,69	4,56	5,61	32,7
CP15	3,38	74,5	1428,4	4,59	1,36	7,52	8,23	43,2
CP16	3,09	88,8	1456,3	4,68	1,51	7,04	9,34	75,1
CP17	6,04	94,3	4316,1	13,86	2,29	10,04	9,57	57,1
CP99	2,52	64,2	1044,4	3,35	1,33	8,56	10,38	69,6

Anhang I - Tab.1: CP-Statistiken für die Gebietsniederschläge und den Feuchteindex der Sommerhalbjahre 01.05.1958 – 31.10.2001 für die 17 CP umfassende gemeinsame objektive CP-Klassifikation für die Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz für die Pegel Schussen / Gerbertshaus und Murg / Bad Rotenfels.

Neckar / Pegel Plochingen, $A_E = 3.995 \text{ km}^2$								
CP	HH [%]	$p_i(u)$ [%]	SUM [mm]	Anteil [%]	Anteil/HH [-]	m [mm]	s [mm]	MAX [mm]
CP01	5,78	49,5	679,1	3,27	0,57	3,14	4,23	27,3
CP02	6,1	26,7	287,7	1,39	0,23	2,34	4,25	28,9
CP03	6,27	92,8	2813,4	13,56	2,16	6,41	6,11	41,3
CP04	3,57	87,4	1219,7	5,88	1,65	5,19	6,00	44,9
CP05	10,17	78,4	1983,7	9,56	0,94	3,3	3,62	24,0
CP06	5,77	80,7	1504	7,25	1,26	4,28	4,56	24,0
CP07	6,39	54,6	730,7	3,52	0,55	2,78	3,86	29,0
CP08	4,75	35,8	319,9	1,54	0,32	2,5	4,02	29,0
CP09	6,52	91,7	2643,5	12,74	1,95	5,86	7,00	58,6
CP10	3,95	39,9	256,5	1,24	0,31	2,16	3,73	23,3
CP11	6,4	34,8	647,6	3,12	0,49	3,85	6,04	45,0
CP12	7,87	50,0	910,2	4,39	0,56	3,06	4,47	26,4
CP13	6,99	37,0	406,9	1,96	0,28	2,09	3,09	19,2
CP14	4,45	64,0	839,8	4,05	0,91	3,91	5,33	42,9
CP15	3,38	79,2	1046,7	5,04	1,49	5,18	5,53	28,6
CP16	3,09	94,4	1311,6	6,32	2,05	5,96	6,48	33,2
CP17	6,04	95,0	2486,5	11,98	1,98	5,74	5,60	36,1
CP99	2,52	70,5	665	3,2	1,27	4,96	7,21	44,9

Nahe / Pegel Boos, $A_E = 2.830 \text{ km}^2$								
CP	HH [%]	$p_i(u)$ [%]	SUM [mm]	Anteil [%]	WI [-]	m [mm]	s [mm]	MAX [mm]
CP01	5,78	50,69	711,9	3,94	0,68	3,22	4,19	24,8
CP02	6,1	17,83	83,7	0,46	0,08	1,02	1,6	11,1
CP03	6,27	94,71	3071,5	17	2,71	6,86	6,3	32,6
CP04	3,57	90,33	1163,1	6,44	1,81	4,79	4,96	30,4
CP05	10,17	70,14	1177	6,52	0,64	2,19	2,9	26,9
CP06	5,77	84,14	1866,2	10,33	1,79	5,1	5,68	30,7
CP07	6,39	41,29	725,7	4,02	0,63	3,65	5,38	43,6
CP08	4,75	26,54	237,4	1,31	0,28	2,5	4,25	28,4
CP09	6,52	88,62	1938,7	10,73	1,65	4,45	5,34	35,3
CP10	3,95	34,23	100	0,55	0,14	0,98	1,47	8,3
CP11	6,4	27,54	302,4	1,67	0,26	2,27	2,88	14,0
CP12	7,87	41,25	958,9	5,31	0,67	3,91	5,2	30,3
CP13	6,99	42,31	475,8	2,63	0,38	2,13	3,07	17,3
CP14	4,45	64,58	837,2	4,63	1,04	3,86	4,59	24,9
CP15	3,38	74,12	762,8	4,22	1,25	4,04	4,8	31,6
CP16	3,09	84,12	837,8	4,64	1,50	4,27	5,72	35,0
CP17	6,04	93,2	2197,6	12,17	2,01	5,17	5,45	44,2
CP99	2,52	67,89	616,7	3,41	1,36	4,78	5,84	28,0

Anhang I - Tab.2: CP-Statistiken für die Gebietsniederschläge und den Feuchteindex der Sommerhalbjahre (Mai – Okt.) für die 17 CP umfassende gemeinsame objektive CP-Klassifikation für die Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz für die Pegel Neckar / Plochingen und Nahe / Boos.



Kyll / Pegel Kordel, $A_E = 819 \text{ km}^2$								
CP	HH [%]	$p_i(u)$ [%]	SUM [mm]	Anteil [%]	Anteil/HH [-]	m [mm]	s [mm]	MAX [mm]
CP01	5,78	54,36	600,3	3,67	0,64	2,53	3,91	27,8
CP02	6,1	19,78	95,9	0,59	0,10	1,05	1,66	11,5
CP03	6,27	94,71	2817,4	17,23	2,75	6,29	6,21	48,2
CP04	3,57	91,08	999,7	6,11	1,71	4,08	4,94	30,9
CP05	10,17	70,4	1057,7	6,47	0,64	1,96	2,65	19,5
CP06	5,77	83,45	1675,3	10,24	1,78	4,62	5,26	46,8
CP07	6,39	45,44	654,9	4,00	0,63	2,99	4,54	33,2
CP08	4,75	28,21	212,2	1,3	0,27	2,1	3,94	27,3
CP09	6,52	90,24	1854,5	11,34	1,74	4,18	5,24	46
CP10	3,95	34,23	93,1	0,57	0,14	0,91	1,54	10,2
CP11	6,4	29,81	329,3	2,01	0,31	2,29	3,17	15
CP12	7,87	43,77	808,4	4,94	0,63	3,11	4,67	29,8
CP13	6,99	40,42	289	1,77	0,25	1,36	1,98	12,7
CP14	4,45	66,96	683,7	4,18	0,94	3,04	3,62	28,8
CP15	3,38	73,33	695,8	4,25	1,26	3,72	4,98	41,2
CP16	3,09	86,27	963,4	5,89	1,91	4,79	6,94	54,3
CP17	6,04	93,64	2019,1	12,35	2,04	4,73	5,19	32,2
CP99	2,52	66,32	504,1	3,08	1,22	4	4,8	33,2

Ahr / Pegel Altenahr, $A_E = 748 \text{ km}^2$								
CP	HH [%]	$p_i(u)$ [%]	SUM [mm]	Anteil [%]	Anteil/HH [-]	m [mm]	s [mm]	MAX [mm]
CP01	5,78	47,9	679,8	4,11	0,71	3,25	4,68	32,6
CP02	6,1	17,2	95,9	0,58	0,10	1,21	2,01	13,5
CP03	6,27	92,6	2499,7	15,11	2,41	5,71	6,04	40,3
CP04	3,57	90,0	947,6	5,73	1,61	3,92	4,42	35,8
CP05	10,17	71,3	1265,7	7,65	0,75	2,31	3,31	39
CP06	5,77	80,5	1645	9,94	1,72	4,7	5,76	51,3
CP07	6,39	39,0	751,8	4,54	0,71	4	5,88	54,7
CP08	4,75	27,7	252,6	1,53	0,32	2,55	4,49	25,4
CP09	6,52	84,8	1764,3	10,67	1,64	4,23	5,42	34,2
CP10	3,95	36,9	111,4	0,67	0,17	1,01	1,51	8,6
CP11	6,4	27,3	337,1	2,04	0,32	2,55	3,83	19,2
CP12	7,87	39,7	886	5,36	0,68	3,75	5,72	56,8
CP13	6,99	41,4	398	2,41	0,34	1,83	2,8	18,1
CP14	4,45	62,5	769,8	4,65	1,04	3,67	4,94	36,5
CP15	3,38	73,7	668,6	4,04	1,20	3,56	4,12	22,3
CP16	3,09	85,0	968,3	5,85	1,90	4,89	7,32	54,9
CP17	6,04	92,8	1998,6	12,08	2,00	4,72	5,61	49,6
CP99	2,52	65,8	501,3	3,03	1,2	4,01	5,02	24,3

Anhang I - Tab.3: CP-Statistiken für die Gebietsniederschläge und den Feuchteindex der Sommerhalbjahre 01.05.1958 – 31.10.2001 für die 17 CP umfassende gemeinsame objektive CP-Klassifikation für die Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz für die Pegel Kyll / Kordel und Ahr / Altenahr.

Fränkische Saale / Pegel Bad Kissingen, $A_E = 1.576 \text{ km}^2$								
CP	HH [%]	$p_i(u)$ [%]	SUM [mm]	Anteil [%]	Anteil/HH [-]	m [mm]	s [mm]	MAX [mm]
CP01	5,91	42,1	580,3	3,32	0,56	2,7	3,14	14,1
CP02	6,01	25,8	234,0	1,34	0,22	1,75	3,06	18,8
CP03	6,15	88,0	2541,1	14,56	2,37	5,43	5,75	38,2
CP04	3,58	86,1	1250,9	7,17	2,00	4,69	4,95	28,1
CP05	10,37	77,2	1982,1	11,36	1,09	2,86	3,32	24,5
CP06	5,57	72,0	1420,3	8,14	1,46	4,09	4,91	30,6
CP07	6,30	38,5	720,1	4,13	0,65	3,43	5,42	44,2
CP08	4,65	27,9	203,4	1,17	0,25	1,82	2,41	14,1
CP09	6,36	77,1	1736,4	9,95	1,56	4,1	5,41	39,6
CP10	4,01	46,4	294	1,68	0,42	1,83	2,99	14,8
CP11	6,41	29,2	340	1,95	0,30	2,1	3,29	21,8
CP12	7,76	29,2	484,7	2,78	0,36	2,47	3,97	25,4
CP13	6,85	44,1	516,9	2,96	0,43	1,98	3,08	25,7
CP14	4,61	47,1	574,2	3,29	0,71	3,05	4,54	36,8
CP15	3,46	67,6	741,5	4,25	1,23	3,67	4,82	30,0
CP16	3,31	79,0	1208	6,92	2,09	5,35	6,45	36,8
CP17	6,11	86,2	2094,3	12	1,97	4,6	5,26	46,6
CP99	2,58	61,4	532,2	3,05	1,18	3,88	4,69	27,1

Pegnitz / Pegel Nürnberg, $A_E = 1.198 \text{ km}^2$								
CP	HH [%]	$p_i(u)$ [%]	SUM [mm]	Anteil [%]	Anteil/HH [-]	m [mm]	s [mm]	MAX [mm]
CP01	5,91	40,9	675,5	3,19	0,54	3,23	4,42	30,7
CP02	6,01	31,4	334,7	1,58	0,26	2,05	3,23	28,5
CP03	6,15	87,4	2831,8	13,38	2,17	6,09	6,80	48,8
CP04	3,58	82,6	1433,3	6,77	1,89	5,60	5,83	29,4
CP05	10,37	81,9	3180,7	15,02	1,45	4,33	5,32	35,5
CP06	5,57	63,9	1437	6,79	1,22	4,67	5,79	33,5
CP07	6,30	41,5	768,6	3,63	0,58	3,40	5,34	32,5
CP08	4,65	34,1	348,7	1,65	0,35	2,55	3,66	23,1
CP09	6,36	78,2	2257,9	10,67	1,68	5,25	6,61	45,0
CP10	4,01	49,6	401,6	1,9	0,47	2,33	3,83	24,8
CP11	6,41	30,7	482,4	2,28	0,36	2,84	5,08	27,7
CP12	7,76	30,3	382,3	1,81	0,23	1,88	3,01	20,2
CP13	6,85	42,2	708,8	3,35	0,49	2,84	4,27	26,1
CP14	4,61	48,4	617,2	2,92	0,63	3,20	4,55	25,6
CP15	3,46	69,9	902,1	4,26	1,23	4,32	5,73	31,3
CP16	3,31	78,0	1287,3	6,08	1,84	5,77	6,49	36,5
CP17	6,11	85,2	2553,7	12,06	1,98	5,67	6,29	48,9
CP99	2,58	61,0	565,8	2,67	1,04	4,16	4,62	20,6

Anhang I - Tab.4: CP-Statistiken für die Gebietsniederschläge und den Feuchteindex der Sommerhalbjahre 01.05.1958 – 31.10.2001 für die **17 CP** umfassende gemeinsame objektive CP-Klassifikation für die Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz für die Pegel Fränkische Saale /Bad Kissingen und Pegnitz /Nürnberg.



Schwarzer Regen / Pegel Sägmühle, $A_E = 839 \text{ km}^2$								
Sommerhalbjahr (01.05. - 31.10.)								
CP	HH [%]	$p_i(u)$ [%]	SUM [mm]	Anteil [%]	Anteil/HH [-]	m [mm]	s [mm]	MAX [mm]
CP01	5,91	43,1	723,1	2,48	0,42	3,29	5,40	55,5
CP02	6,01	40,6	738	2,53	0,42	3,50	5,62	38,7
CP03	6,15	84,4	3377	11,56	1,88	7,52	9,30	66,2
CP04	3,58	84,5	2056,7	7,04	1,96	7,85	9,02	63,3
CP05	10,37	87,2	5342,9	18,3	1,76	6,83	8,05	70,5
CP06	5,57	59,5	1370,2	4,69	0,84	4,77	5,80	30,9
CP07	6,30	50,6	1090,5	3,73	0,59	3,95	4,95	30,8
CP08	4,65	41,8	538,2	1,84	0,40	3,20	4,23	22,0
CP09	6,36	77,3	2709	9,28	1,46	6,37	7,64	41,3
CP10	4,01	57,1	763,2	2,61	0,65	3,85	6,12	47,8
CP11	6,41	39,9	716,4	2,45	0,38	3,24	5,22	41,2
CP12	7,76	33,2	704,2	2,41	0,31	3,16	5,19	36,8
CP13	6,85	48,0	1055,3	3,61	0,53	3,72	5,81	59,4
CP14	4,61	49,6	817,6	2,80	0,61	4,13	5,80	38,5
CP15	3,46	65,2	1123,5	3,85	1,11	5,76	6,86	30,0
CP16	3,31	79,4	1682,8	5,76	1,74	7,41	9,25	65,9
CP17	6,11	84,3	3674	12,58	2,06	8,26	9,48	100,1
CP99	2,58	61,4	718,5	2,46	0,95	5,24	5,67	34,5

Anhang I - Tab.5: CP-Statistiken für die Gebietsniederschläge und den Feuchteindex der Sommerhalbjahre (Mai – Okt.) für die **17 CP** umfassende gemeinsame objektive CP-Klassifikation für die Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz für den Pegel Schwarzer Regen / Sägmühle.

Schussen / Pegel Gerbertshaus, A _E = 782 km ²								
CP	HH [%]	p _i (u) [%]	SUM [mm]	Anteil [%]	Anteil/HH [-]	m [mm]	s [mm]	MAX [mm]
CP01	5,02	64,1	1288,8	5,1	1,02	5,3	6,74	40,4
CP02	3,1	37,6	311,7	1,23	0,40	3,54	6,02	43,5
CP03	7,91	25,5	395,1	1,56	0,20	2,6	4,03	23,5
CP04	3,26	26,8	305,2	1,21	0,37	4,62	8,39	55,4
CP05	9,17	80,2	3456,5	13,68	1,49	6,23	7,41	66,9
CP06	6,87	36,3	598,5	2,37	0,35	3,18	4,33	28
CP07	4,48	52,1	838,4	3,32	0,74	4,76	6,62	32,2
CP08	3,26	65,9	935,2	3,7	1,14	5,77	6,8	32,2
CP09	6,85	91,5	3769,1	14,92	2,18	7,97	8,35	59,7
CP10	2,13	84,5	927,6	3,67	1,72	6,82	6,98	31,4
CP11	5,59	40,3	709,6	2,81	0,50	4,17	6,05	35,3
CP12	5,2	36,0	539,9	2,14	0,41	3,83	4,68	19,6
CP13	4,63	58,2	926	3,67	0,79	4,56	6,33	32
CP14	3,84	71,7	1012,1	4,01	1,04	4,87	6,7	47,9
CP15	2,69	27,1	172,7	0,68	0,25	3,14	4,65	24
CP16	7,46	33,2	550,9	2,18	0,29	2,95	4,12	23,9
CP17	6,06	83,6	2928,9	11,59	1,91	7,67	8,53	56,3
CP18	9,92	85,0	4635,7	18,35	1,85	7,29	8,67	71,3
CP99	2,55	66,2	962,5	3,81	1,50	7,58	10,2	59,5

Murg / Pegel Bad Rotenfels, A _E = 466 km ²								
CP	HH [%]	p _i (u) [%]	SUM [mm]	Anteil [%]	Anteil/HH [-]	m [mm]	s [mm]	MAX [mm]
CP01	5,02	60,4	1178,6	3,78	0,75	5,15	7,76	54,8
CP02	3,1	31,6	180,4	0,58	0,19	2,44	3,79	19,6
CP03	7,91	23,6	385,3	1,24	0,16	2,73	4,2	23,3
CP04	3,26	28,1	334,6	1,07	0,33	4,85	9,04	58,5
CP05	9,17	86,9	4888,6	15,7	1,71	8,13	8,65	75,1
CP06	6,87	36,7	502,8	1,61	0,24	2,65	4,22	27,6
CP07	4,48	62,4	939,6	3,02	0,67	4,45	6,21	41,2
CP08	3,26	67,9	1009,4	3,24	0,99	6,04	6,96	36,4
CP09	6,85	86,5	3476,1	11,16	1,63	7,78	8,51	42,6
CP10	2,13	91,9	2005	6,44	3,02	13,55	15,06	105,3
CP11	5,59	41,2	829,9	2,67	0,48	4,77	5,91	26,5
CP12	5,2	42,9	765,4	2,46	0,47	4,56	5,88	32,5
CP13	4,63	54,2	757,7	2,43	0,53	4,01	6,22	46,4
CP14	3,84	78,3	1760,9	5,65	1,47	7,76	9,22	55,3
CP15	2,69	25,1	235,1	0,75	0,28	4,61	7,01	36,3
CP16	7,46	38,5	746,1	2,4	0,32	3,44	4,81	31,7
CP17	6,06	91,0	3759,3	12,07	1,99	9,04	8,9	52,8
CP18	9,92	89,0	6345,3	20,38	2,06	9,53	10,1	62,9
CP99	2,55	67,7	1039,5	3,34	1,31	8	9,93	69,6

Anhang I - Tab.6: CP-Statistiken für die Gebietsniederschläge und den Feuchteindex der Sommerhalbjahre 01.05.1958 – 31.10.2001 für die **18 CP** umfassende spezielle objektive CP-Klassifikation des Landes Baden-Württemberg.



Neckar / Pegel Plochingen, $A_E = 3.995 \text{ km}^2$								
CP	HH [%]	$p_i(u)$ [%]	SUM [mm]	Anteil [%]	Anteil/HH [-]	m [mm]	s [mm]	MAX [mm]
CP01	5,02	64,9	916,7	4,42	0,88	3,73	4,88	27
CP02	3,1	43,2	171,9	0,83	0,27	1,7	2,79	15
CP03	7,91	28,1	342,2	1,65	0,21	2,04	3,22	22,1
CP04	3,26	32,1	285,7	1,38	0,42	3,62	4,81	25,2
CP05	9,17	88,6	3142,1	15,14	1,65	5,13	6,13	58,6
CP06	6,87	40,0	342,6	1,65	0,24	1,66	2,53	17,9
CP07	4,48	65,4	804,8	3,88	0,87	3,64	4,61	29
CP08	3,26	73,2	877,3	4,23	1,3	4,87	5,06	28,6
CP09	6,85	91,9	2568	12,37	1,81	5,41	5,63	45
CP10	2,13	91,9	996,2	4,8	2,25	6,73	7,12	41,3
CP11	5,59	46,2	652,2	3,14	0,56	3,34	4,07	27,3
CP12	5,2	45,4	514,4	2,48	0,48	2,89	3,44	17
CP13	4,63	67,3	724,1	3,49	0,75	3,08	4,54	36,4
CP14	3,84	77,9	822,1	3,96	1,03	3,64	4,9	44,9
CP15	2,69	29,1	192,6	0,93	0,34	3,26	5,18	29
CP16	7,46	40,9	584,1	2,81	0,38	2,54	3,56	28,9
CP17	6,06	92,1	2591,9	12,49	2,06	6,16	6,12	37,7
CP18	9,92	89,2	3543,5	17,08	1,72	5,31	5,9	47,3
CP99	2,55	73,4	680,1	3,28	1,29	4,82	6,84	44,9

Nahe / Pegel Boos, $A_E = 2.830 \text{ km}^2$								
CP	HH [%]	$p_i(u)$ [%]	SUM [mm]	Anteil [%]	Anteil/HH [-]	m [mm]	s [mm]	MAX [mm]
CP01	8,21	23,42	311,7	1,73	0,21	2,15	3,05	18,7
CP02	5,53	86,33	1739,4	9,63	1,74	4,83	5,06	43,6
CP03	2,36	42,13	213,1	1,18	0,5	2,84	3,79	18,0
CP04	4,97	46,93	610,7	3,38	0,68	3,47	5,2	31,0
CP05	5,74	54,27	865,8	4,79	0,84	3,68	4,68	24,8
CP06	5,55	88,54	2166,9	12	2,16	5,84	5,67	32,6
CP07	5,73	90,51	1424,5	7,89	1,38	3,64	4,1	31,5
CP08	4,76	17,83	83,6	0,46	0,10	1,31	2,23	13,3
CP09	4,9	87,57	1520,6	8,42	1,72	4,69	5,48	35,3
CP10	3,88	84,64	1171,6	6,49	1,67	4,72	6,04	34,3
CP11	4,83	97,53	2272,3	12,58	2,61	6,4	6,38	44,2
CP12	5,09	38,54	411,9	2,28	0,45	2,78	4,21	21,0
CP13	5,85	49,21	260,6	1,44	0,25	1,2	1,58	8,9
CP14	3,51	50,19	392,9	2,17	0,62	2,95	4,61	30,7
CP15	3,13	61,44	477,8	2,64	0,85	3,3	4,56	30,5
CP16	4,73	58,54	565,1	3,13	0,66	2,7	3,6	19,7
CP17	2,45	61,62	313,2	1,73	0,71	2,75	4,67	28,4
CP18	5,9	90,34	2068,4	11,45	1,94	5,15	5,09	30,4
CP19	5,77	32,18	315,6	1,75	0,30	2,25	4,19	35,0
CP20	4,71	29,3	159,6	0,88	0,19	1,53	2,49	17,0
CP99	2,41	71,98	719,1	3,98	1,65	5,49	6,47	28,0

Anhang I - Tab.7: CP-Statistiken für die Gebietsniederschläge und den Feuchteindex der Sommerhalbjahre 01.05.1958 – 31.10.2001 für die speziellen objektiven CP-Klassifikation, oben: **18 CP** für Baden-Württemberg für Neckar / Plochingen; unten: **20 CP** für Rheinland-Pfalz für die Nahe /Pegel Boos .



Kyll / Pegel Kordel, A _E = 819 km ²								
CP	HH [%]	pi(u) [%]	SUM [mm]	Anteil [%]	Anteil/HH [-]	m [mm]	s [mm]	MAX [mm]
CP01	8,21	26,01	295,3	1,81	0,22	1,83	2,76	16,6
CP02	5,53	87,29	1700,4	10,4	1,88	4,67	5,38	38,8
CP03	2,36	47,19	174,3	1,07	0,45	2,08	2,84	16,1
CP04	4,97	52	586,2	3,58	0,72	3,01	4,12	25,5
CP05	5,74	56,12	660,4	4,04	0,7	2,72	4,07	27,8
CP06	5,55	89,26	2012,6	12,31	2,22	5,38	5,24	27,2
CP07	5,73	90,51	1301	7,96	1,39	3,33	3,91	30,7
CP08	4,76	20,06	92,5	0,57	0,12	1,28	1,98	8,7
CP09	4,9	88,38	1353,3	8,28	1,69	4,14	4,66	25,9
CP10	3,88	84,64	1296,6	7,93	2,04	5,23	7,47	54,3
CP11	4,83	95,6	2044,3	12,5	2,59	5,87	6,28	46,8
CP12	5,09	39,58	390,4	2,39	0,47	2,57	4,38	29,8
CP13	5,85	48,53	223,1	1,36	0,23	1,04	1,37	9,6
CP14	3,51	51,7	347,7	2,13	0,61	2,54	3,71	22,4
CP15	3,13	63,56	399,5	2,44	0,78	2,66	3,59	18,2
CP16	4,73	59,1	555	3,39	0,72	2,63	4,24	30,9
CP17	2,45	60,54	383,9	2,35	0,96	3,43	5,1	29,5
CP18	5,9	88,99	1582,4	9,68	1,64	4,00	4,9	48,2
CP19	5,77	35,86	275,2	1,68	0,29	1,76	3,06	20,3
CP20	4,71	29,3	107,7	0,66	0,14	1,04	1,89	12,7
CP99	2,41	73,63	572	3,5	1,45	4,27	5,09	33,2

Ahr / Pegel Altenahr, A _E = 748 km ²								
CP	HH [%]	pi(u) [%]	SUM [mm]	Anteil [%]	Anteil/HH [-]	m [mm]	s [mm]	MAX [mm]
CP01	8,21	22,78	372,9	2,25	0,27	2,64	4,95	41
CP02	5,53	83,69	1683,6	10,18	1,84	4,82	5,68	54,7
CP03	2,36	38,76	198	1,2	0,51	2,87	3,48	13,8
CP04	4,97	47,2	606,5	3,67	0,74	3,43	5,38	36,5
CP05	5,74	52,66	847,8	5,13	0,89	3,72	5,29	32,6
CP06	5,55	84,96	1773,6	10,72	1,93	4,98	5,71	51,3
CP07	5,73	90,05	1487,4	8,99	1,57	3,82	4,75	40,3
CP08	4,76	17,55	96	0,58	0,12	1,52	2,72	17,4
CP09	4,9	82,7	1316,6	7,96	1,62	4,3	5,24	34,2
CP10	3,88	85,32	1318,7	7,97	2,05	5,27	7,39	56,8
CP11	4,83	94,23	1803,9	10,91	2,26	5,26	6,1	49,6
CP12	5,09	37,76	406,4	2,46	0,48	2,8	4,34	23,2
CP13	5,85	50,79	279,8	1,69	0,29	1,25	1,82	14,4
CP14	3,51	47,55	390,2	2,36	0,67	3,1	4,37	27,4
CP15	3,13	60,17	436,2	2,64	0,84	3,07	4,79	31,8
CP16	4,73	57,98	515	3,11	0,66	2,49	3,5	20,5
CP17	2,45	64,32	338,5	2,05	0,83	2,84	4,41	20,5
CP18	5,9	89,66	1558,5	9,42	1,60	3,91	3,9	22,9
CP19	5,77	32,64	342,6	2,07	0,36	2,41	5,32	54,9
CP20	4,71	30,42	177,5	1,07	0,23	1,64	2,9	17,1
CP99	2,41	69,23	591,8	3,58	1,48	4,7	5,43	24,3

Anhang I - Tab.8: CP-Statistiken für die Gebietsniederschläge und den Feuchteindex der Sommerhalbjahre 01.05.1958 – 31.10.2001 für die **20 CP** umfassende spezielle objektive CP-Klassifikation des Landes Rheinland-Pfalz.



Fränkische Saale / Pegel Bad Kissingen, $A_E = 1.576 \text{ km}^2$								
CP	HH [%]	$p_i(u)$ [%]	SUM [mm]	Anteil [%]	Anteil/HH [-]	m [mm]	s [mm]	MAX [mm]
CP01	2,66	50	223,5	1,28	0,48	1,94	3,22	25,7
CP02	7,74	24,51	444,9	2,55	0,33	2,71	4,02	24,8
CP03	3,05	69,32	633,8	3,63	1,19	3,46	4,19	30,1
CP04	6,21	36,69	462,8	2,65	0,43	2,35	3,49	22,5
CP05	8,8	78,84	2239,4	12,83	1,46	3,73	4,67	31,5
CP06	6,44	41,83	501,8	2,87	0,45	2,15	2,8	15,6
CP07	2,75	34,87	310	1,78	0,65	3,73	5,37	36,8
CP08	4,94	29,98	366,5	2,1	0,43	2,86	4,87	24,5
CP09	6,01	81,92	1551,4	8,89	1,48	3,64	3,92	24,2
CP10	5,85	77,08	1771,1	10,15	1,73	4,54	5,97	39,6
CP11	5,75	81,29	1678,3	9,62	1,67	4,15	5,32	38,2
CP12	3,63	29,62	223,8	1,28	0,35	2,41	3,76	21,6
CP13	2,22	83,33	696,5	3,99	1,8	4,35	4,82	26,9
CP14	3,3	86,32	1490,4	8,54	2,59	6,06	5,87	26
CP15	3,6	64,31	680,7	3,9	1,08	3,4	4,47	29
CP16	3,99	26,09	215,6	1,24	0,31	2,4	3,39	20,3
CP17	4,04	82,81	1278,4	7,32	1,81	4,42	5,29	44,2
CP18	3,27	52,3	427,2	2,45	0,75	2,89	3,36	19,7
CP19	5,38	40,86	553,5	3,17	0,59	2,91	5,27	46,6
CP20	2,94	82,68	808,9	4,63	1,58	3,85	4,33	30,5
CP21	5,38	41,94	430,3	2,47	0,46	2,21	3,9	27,4
CP99	2,07	63,13	465,6	2,67	1,29	4,12	4,95	30,6

Pegnitz / Pegel Nürnberg, $A_E = 1.198 \text{ km}^2$								
CP	HH [%]	$p_i(u)$ [%]	SUM [mm]	Anteil [%]	Anteil/HH [-]	m [mm]	s [mm]	MAX [mm]
CP01	2,66	56,09	373,7	1,77	0,66	2,9	3,9	26,1
CP02	7,74	23,17	355,7	1,68	0,22	2,29	4,24	32,3
CP03	3,05	67,05	738,4	3,49	1,14	4,17	4,81	25,6
CP04	6,21	37,8	537,4	2,54	0,41	2,65	4,2	28,3
CP05	8,8	81,87	3566,6	16,85	1,91	5,72	6,28	35,5
CP06	6,44	41,29	585,7	2,77	0,43	2,55	3,89	23,4
CP07	2,75	34,03	260,8	1,23	0,45	3,22	5,56	36,5
CP08	4,94	31,62	403,4	1,91	0,39	2,99	4,36	25,9
CP09	6,01	79,42	2111	9,97	1,66	5,11	5,87	40,6
CP10	5,85	80,83	1867,3	8,82	1,51	4,57	6,12	48,9
CP11	5,75	81,49	2119,7	10,01	1,74	5,23	6,44	38,4
CP12	3,63	32,17	253,2	1,2	0,33	2,51	4,92	28,5
CP13	2,22	89,58	880,1	4,16	1,87	5,12	5,9	33,6
CP14	3,3	84,91	1579,3	7,46	2,26	6,53	7,38	48,8
CP15	3,6	59,49	695,3	3,28	0,91	3,76	4,87	30,8
CP16	3,99	25,8	220,8	1,04	0,26	2,48	4,04	30,7
CP17	4,04	83,67	1388	6,56	1,62	4,75	5,55	33,5
CP18	3,27	51,59	483,7	2,28	0,7	3,31	4,89	32,4
CP19	5,38	41,72	581,9	2,75	0,51	3	4,7	25,6
CP20	2,94	82,28	996,9	4,71	1,6	4,77	4,82	27
CP21	5,38	49,68	664,4	3,14	0,58	2,88	4,3	27,7
CP99	2,07	63,69	506,1	2,39	1,16	4,44	5,99	36,1

Anhang I - Tab.9: CP-Statistiken für die Gebietsniederschläge und den Feuchteindex der Sommerhalbjahre 01.05.1958 – 31.10.2001 für die **21 CP** umfassende spezielle objektive CP-Klassifikation des Freistaates Bayern für die Fränkische Saale am Pegel Bad Kissingen und die Pegnitz am Pegel Nürnberg.

Schwarzer Regen / Pegel Sägmühle, $A_E = 839 \text{ km}^2$								
Sommerhalbjahr (01.05. - 31.10.)								
CP	HH [%]	$p_i(u)$ [%]	SUM [mm]	Anteil [%]	Anteil/HH [-]	m [mm]	s [mm]	MAX [mm]
CP01	2,66	63,5	635,4	2,18	0,82	4,35	6,75	59,4
CP02	7,74	25,9	440	1,51	0,19	2,54	4,15	28,0
CP03	3,05	61,0	765,3	2,62	0,86	4,75	5,68	38,5
CP04	6,21	39,9	794,6	2,72	0,44	3,71	5,33	33,8
CP05	8,80	88,8	5635,9	19,3	2,19	8,34	9,55	70,5
CP06	6,44	46,1	801,4	2,74	0,43	3,12	4,30	27,6
CP07	2,75	42,4	357,3	1,22	0,44	3,54	4,76	23,9
CP08	4,94	39,1	556,1	1,9	0,39	3,33	4,84	32,3
CP09	6,01	80,6	2911,1	9,97	1,66	6,95	7,39	55,5
CP10	5,85	85,0	2648,3	9,07	1,55	6,16	7,42	66,2
CP11	5,75	83,7	2922,2	10,01	1,74	7,02	9,06	63,5
CP12	3,63	40,8	347,4	1,19	0,33	2,71	4,00	20,7
CP13	2,22	86,5	1169,6	4,01	1,8	7,05	8,38	43,3
CP14	3,30	81,4	1855,2	6,35	1,93	8,00	9,37	60,6
CP15	3,60	51,8	795	2,72	0,76	4,94	6,21	38,2
CP16	3,99	34,5	358,5	1,23	0,31	3,01	4,47	25,7
CP17	4,04	83,4	1913,5	6,55	1,62	6,58	9,38	100,1
CP18	3,27	49,8	544	1,86	0,57	3,86	5,89	32,6
CP19	5,38	50,8	919,6	3,15	0,59	3,90	5,55	36,8
CP20	2,94	79,9	1143,8	3,92	1,33	5,63	6,50	41,3
CP21	5,38	55,9	1016,4	3,48	0,65	3,91	5,53	41,2
CP99	2,07	62,0	670,5	2,3	1,11	6,04	6,27	37,6

Anhang I - Tab.10: CP-Statistiken für die Gebietsniederschläge und den Feuchteindex der Sommerhalbjahre 01.05.1958 – 31.10.2001 für die **21 CP** umfassende spezielle objektive CP-Klassifikation des Freistaates Bayern für den Schwarzen Regen am Pegel Sägmühle.

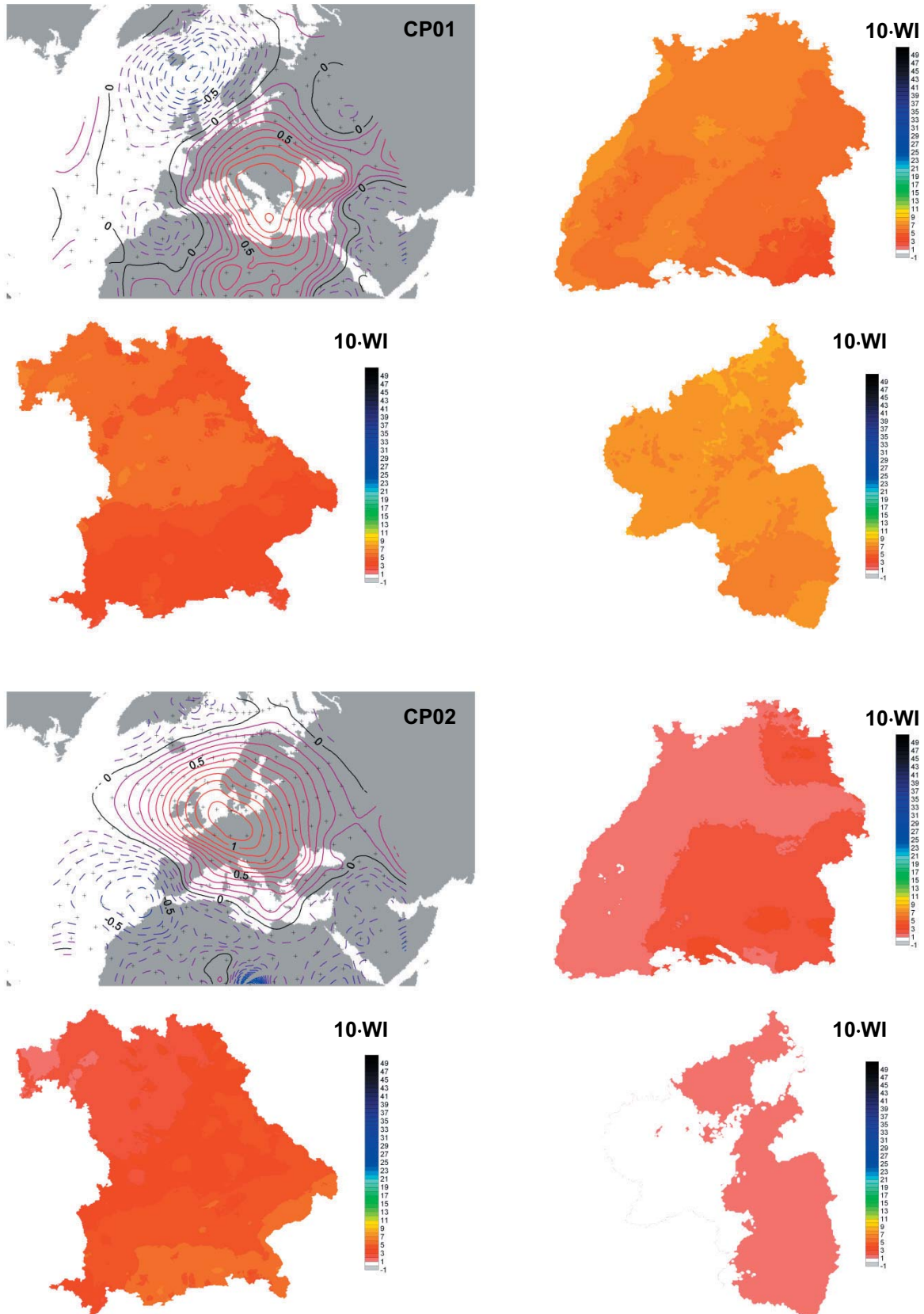


Anhang II

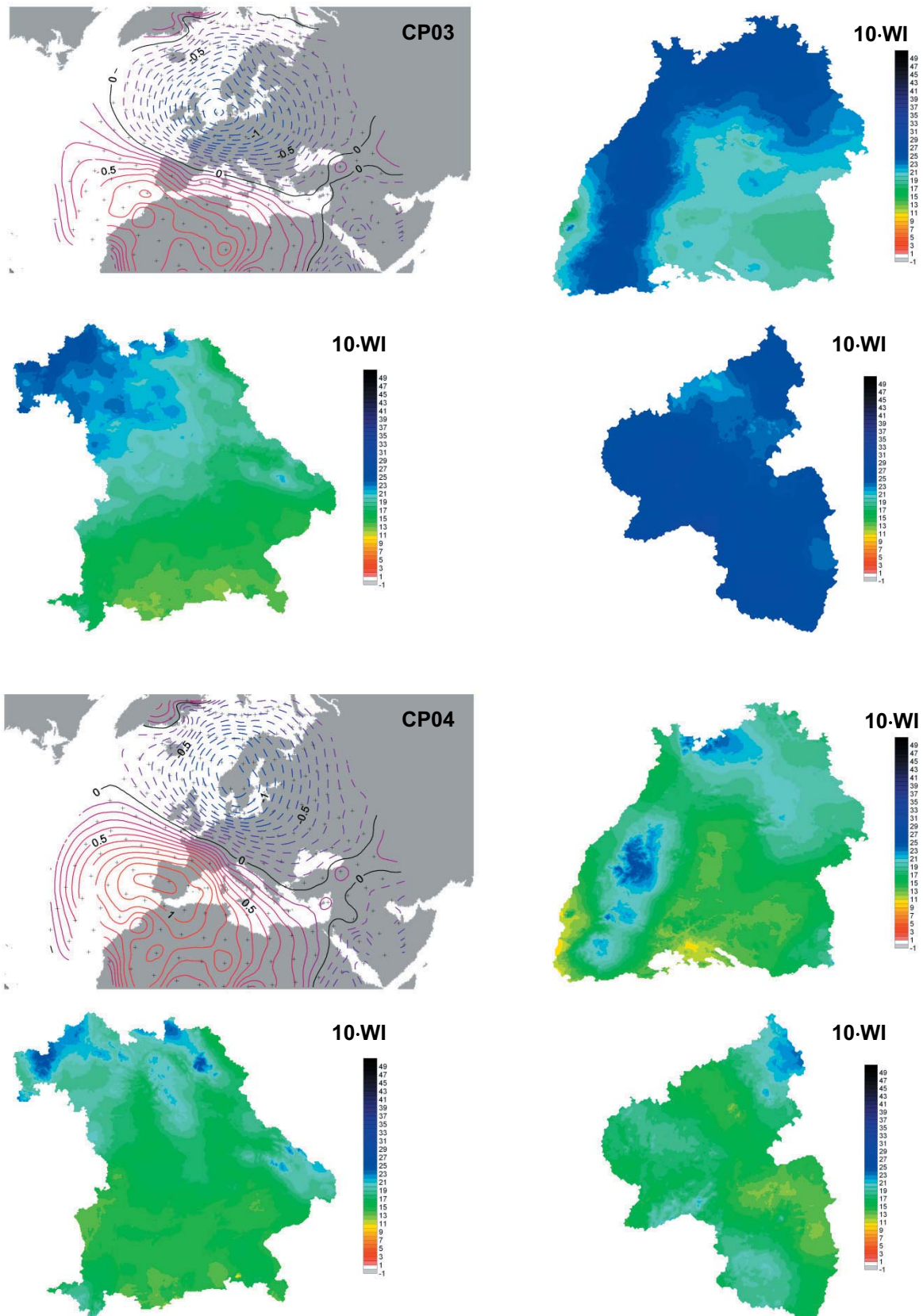
Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre (Mai–Okt.) 1958–2001 für die NCAR-CPs der 4 objektiven CP-Klassifikationen für die Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz



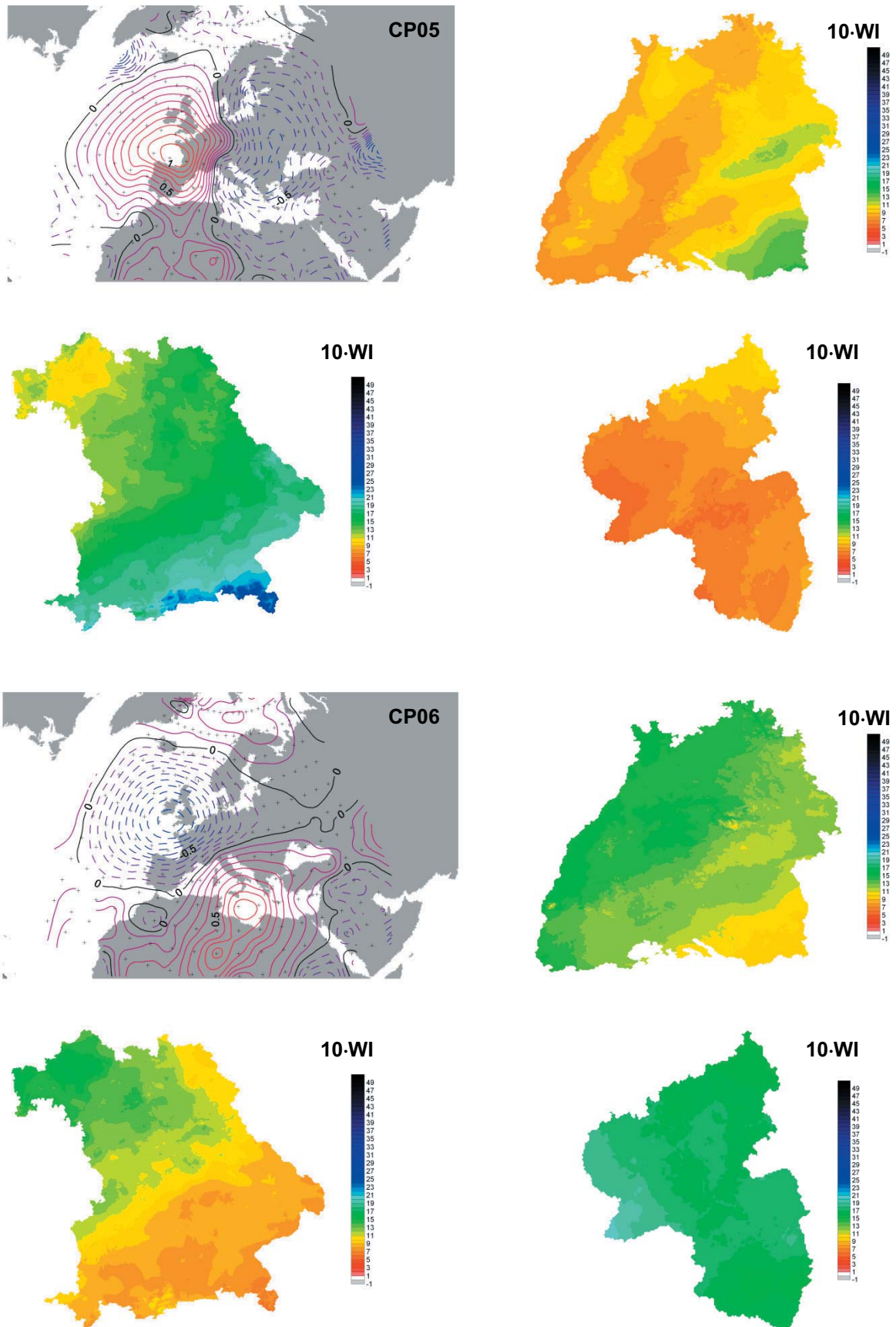
1. Anomalien und Feuchteindexkarten der 17 CP-Klassifikation für BW, BY u. RLP



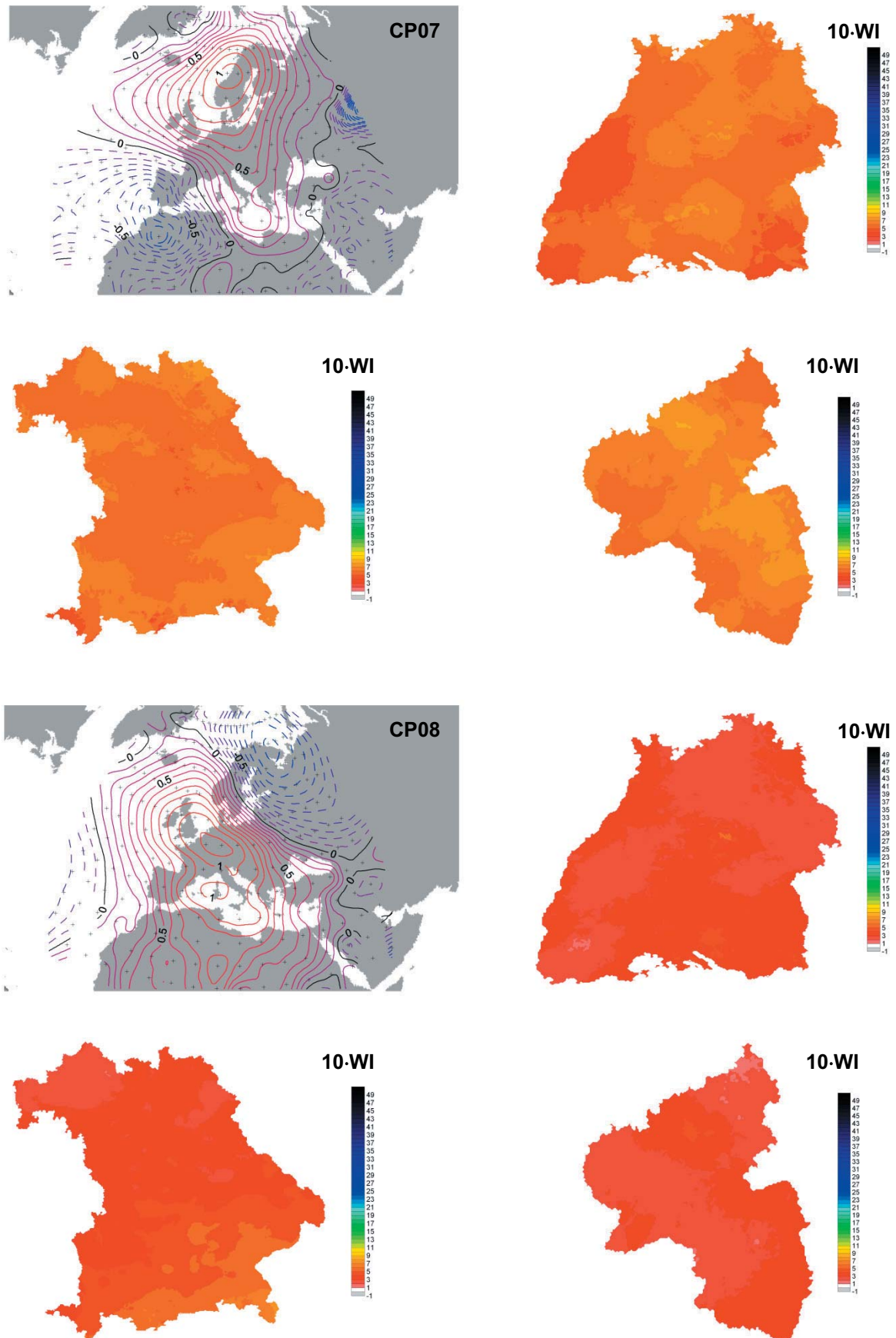
Anhang II – Abb. 1.1: MSLP-Anomalien und zugehörige Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre 1958–2001 (Mai–Oktober) für die 17 CP umfassende CP-Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer (BW, BY, RLP) gültig ist. Oben: CP01, unten: CP02.



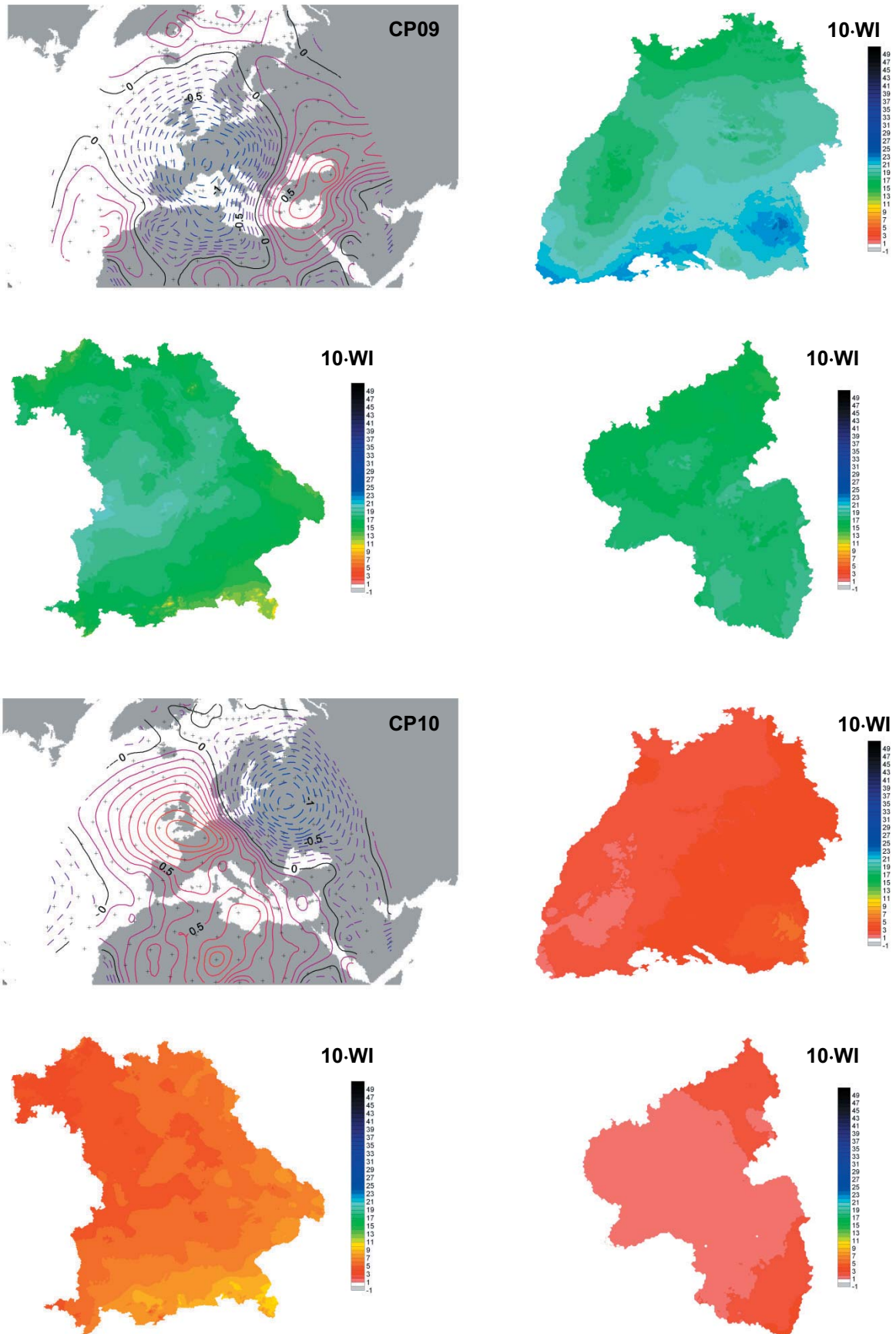
Anhang II – Abb. 1.2: MSLP-Anomalien und zugehörige Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre 1958–2001 (Mai–Oktober) für die 17 CP umfassende CP-Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer (BW, BY, RLP) gültig ist. Oben: CP03, unten: CP04.



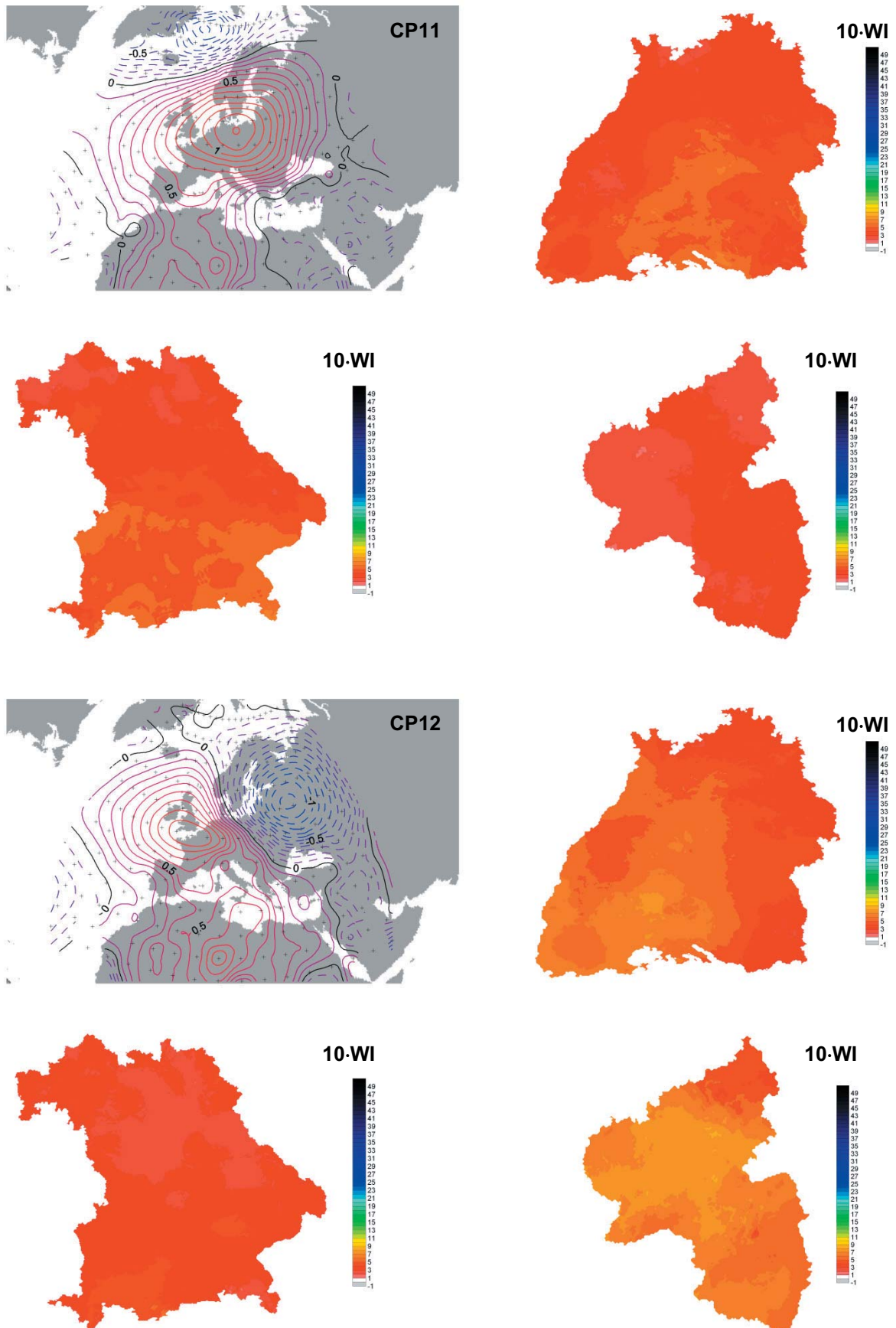
Anhang II – Abb. 1.3: MSLP-Anomalien und zugehörige Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre 1958–2001 (Mai–Okt.) für die 17 CP umfassende CP-Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer (BW, BY, RLP) gültig ist. Oben: CP05, unten: CP06.



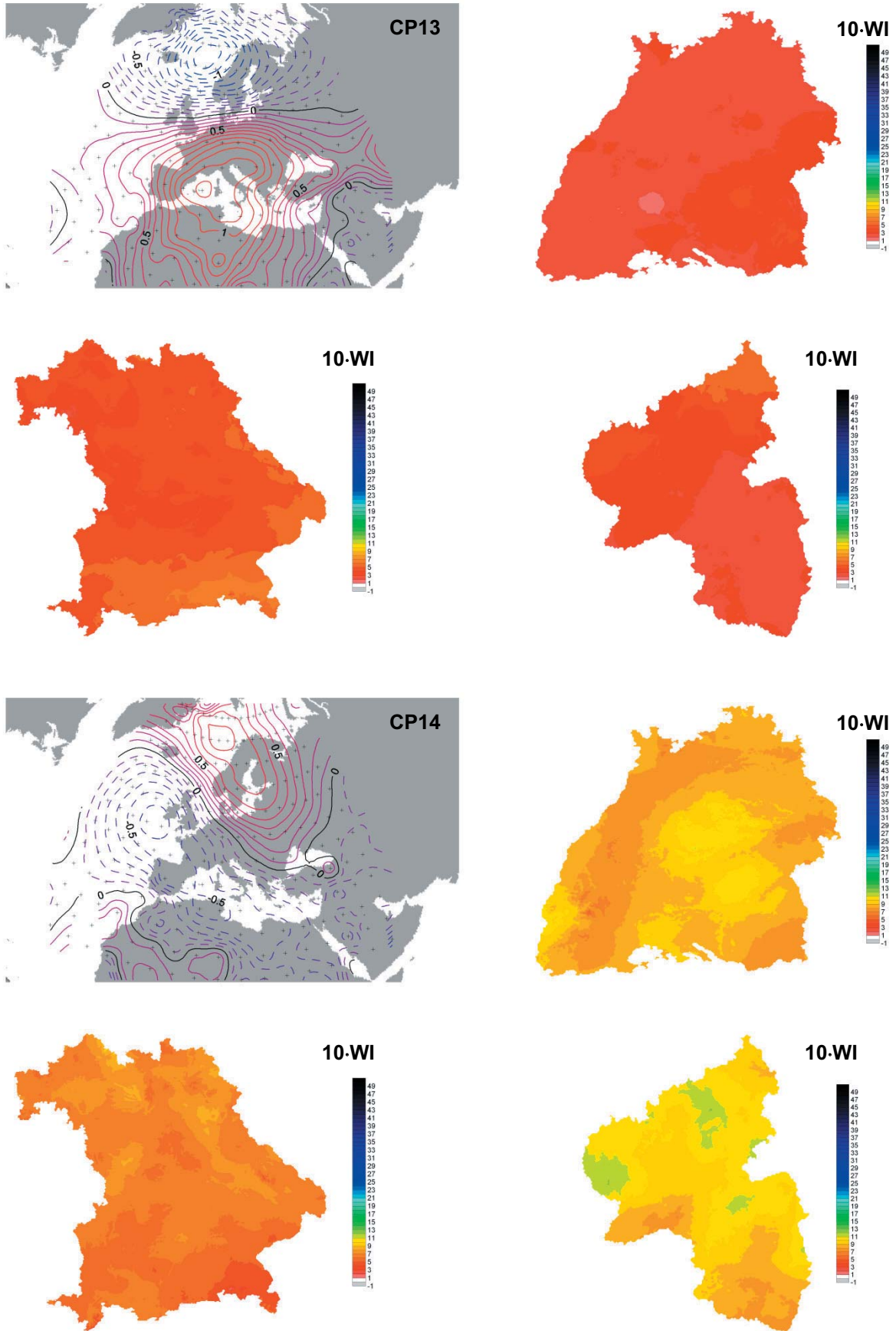
Anhang II – Abb. 1.4: MSLP-Anomalien und zugehörige Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre 1958–2001 (Mai–Oktober) für die 17 CP umfassende CP-Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer (BW, BY, RLP) gültig ist. Oben: CP07, unten: CP08.



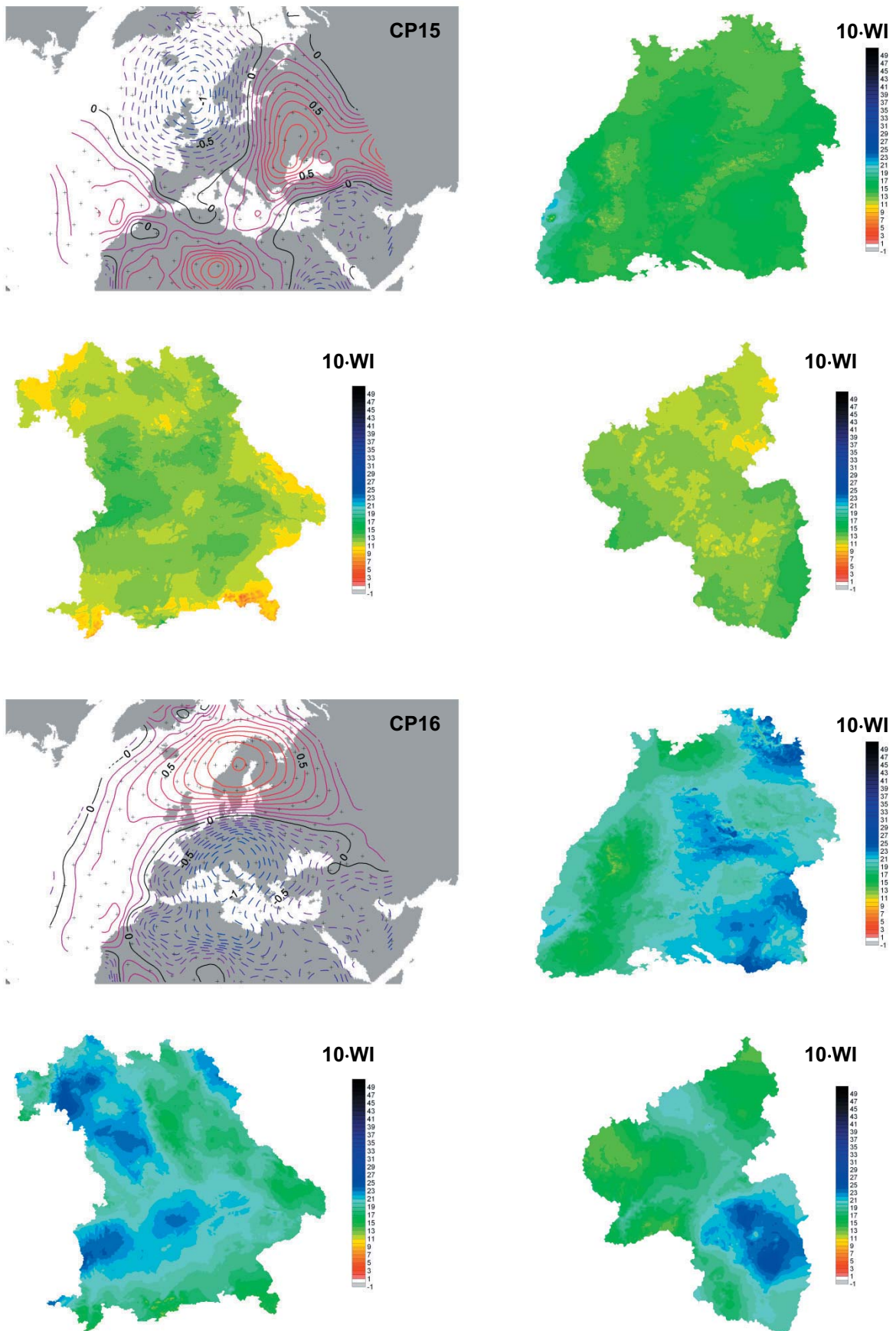
Anhang II – Abb. 1.5: MSLP-Anomalien und zugehörige Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre 1958–2001 (Mai–Oktober) für die 17 CP umfassende CP-Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer (BW, BY, RLP) gültig ist. Oben: CP09, unten:CP10.



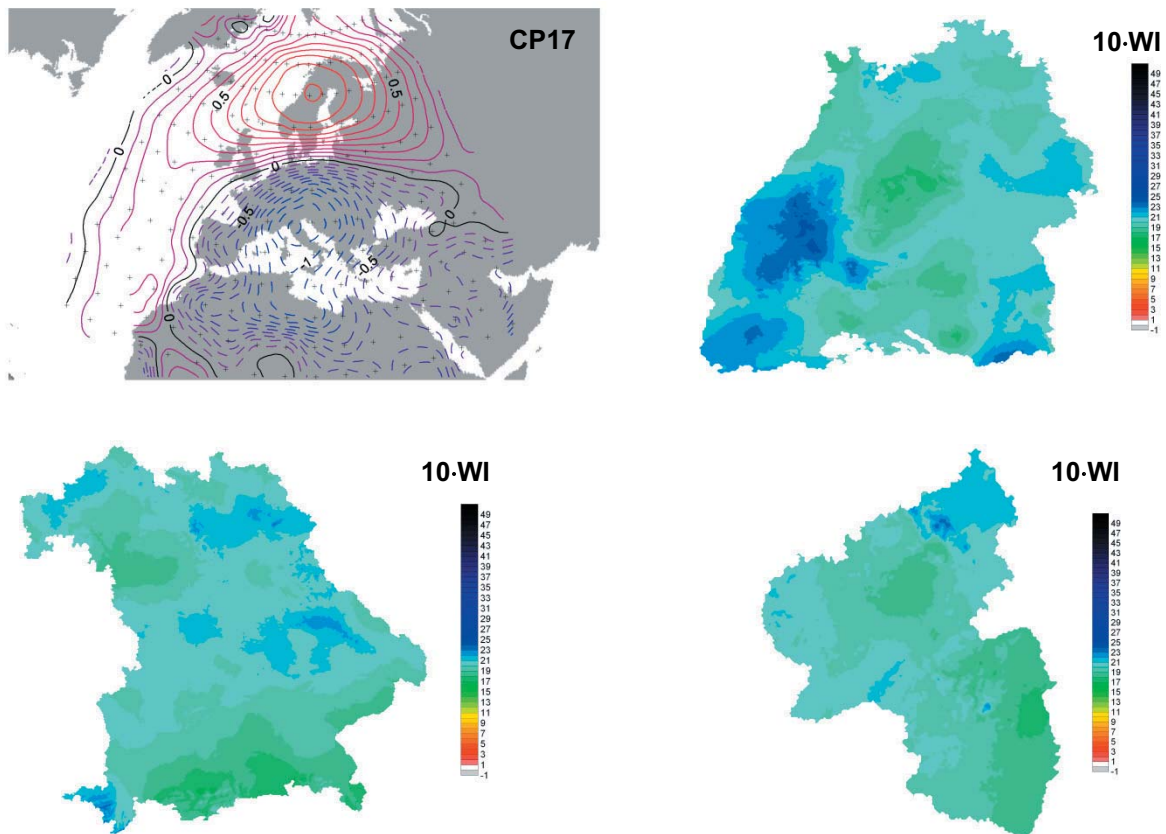
Anhang II – Abb. 1.6: MSLP-Anomalien und zugehörige Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre 1958–2001 (Mai–Oktober) für die 17 CP umfassende CP-Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer (BW, BY, RLP) gültig ist. Oben: CP11, unten: CP12.



Anhang II – Abb. 1.7: MSLP-Anomalien und zugehörige Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre 1958–2001 (Mai–Oktober) für die 17 CP umfassende CP-Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer (BW, BY, RLP) gültig ist. Oben: CP13, unten:CP14.



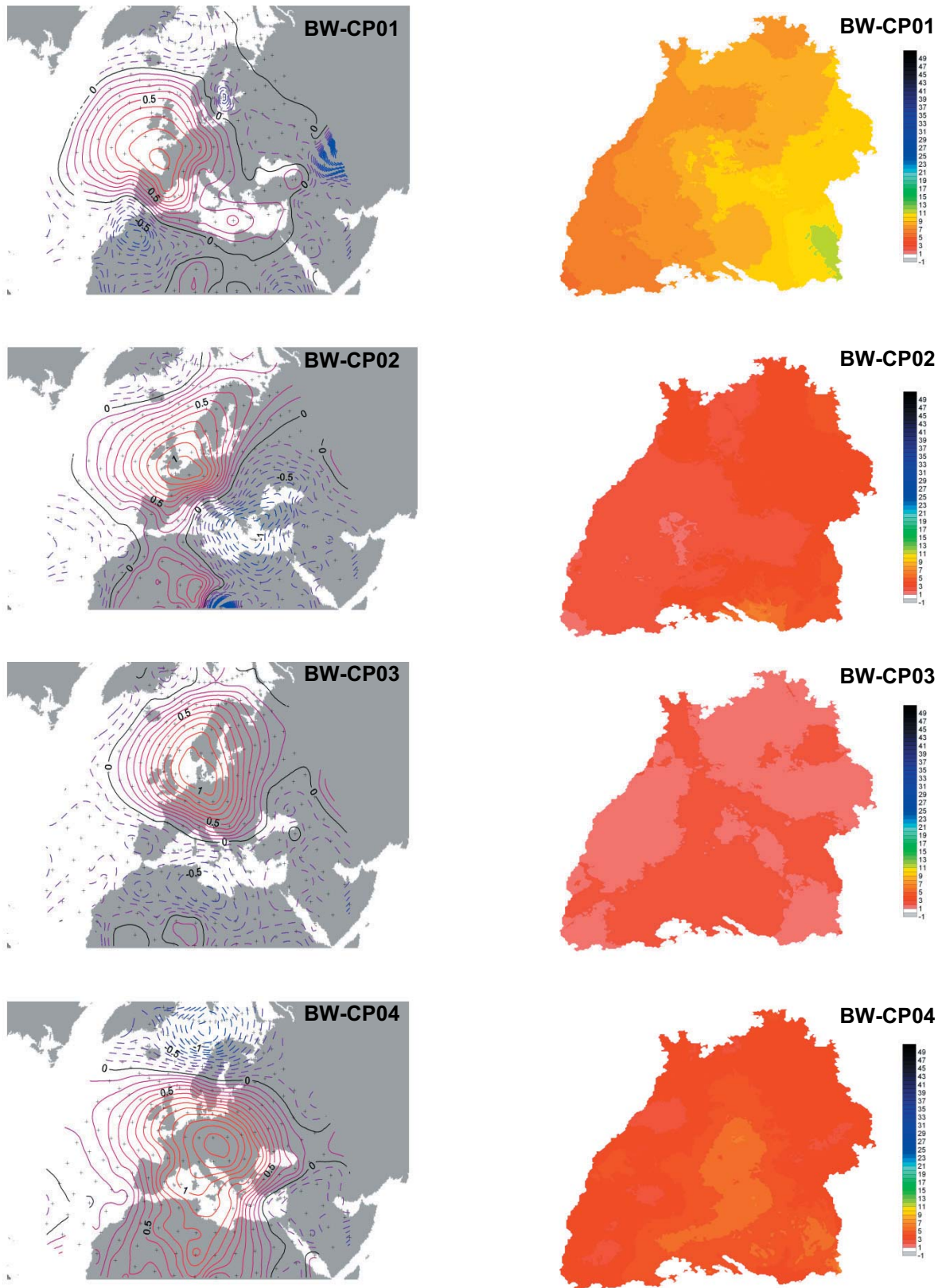
Anhang II – Abb. 1.8: MSLP-Anomalien und zugehörige Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre 1958–2001 (Mai–Oktober) für die 17 CP umfassende CP-Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer (BW, BY, RLP) gültig ist. Oben: CP15, unten: CP16.



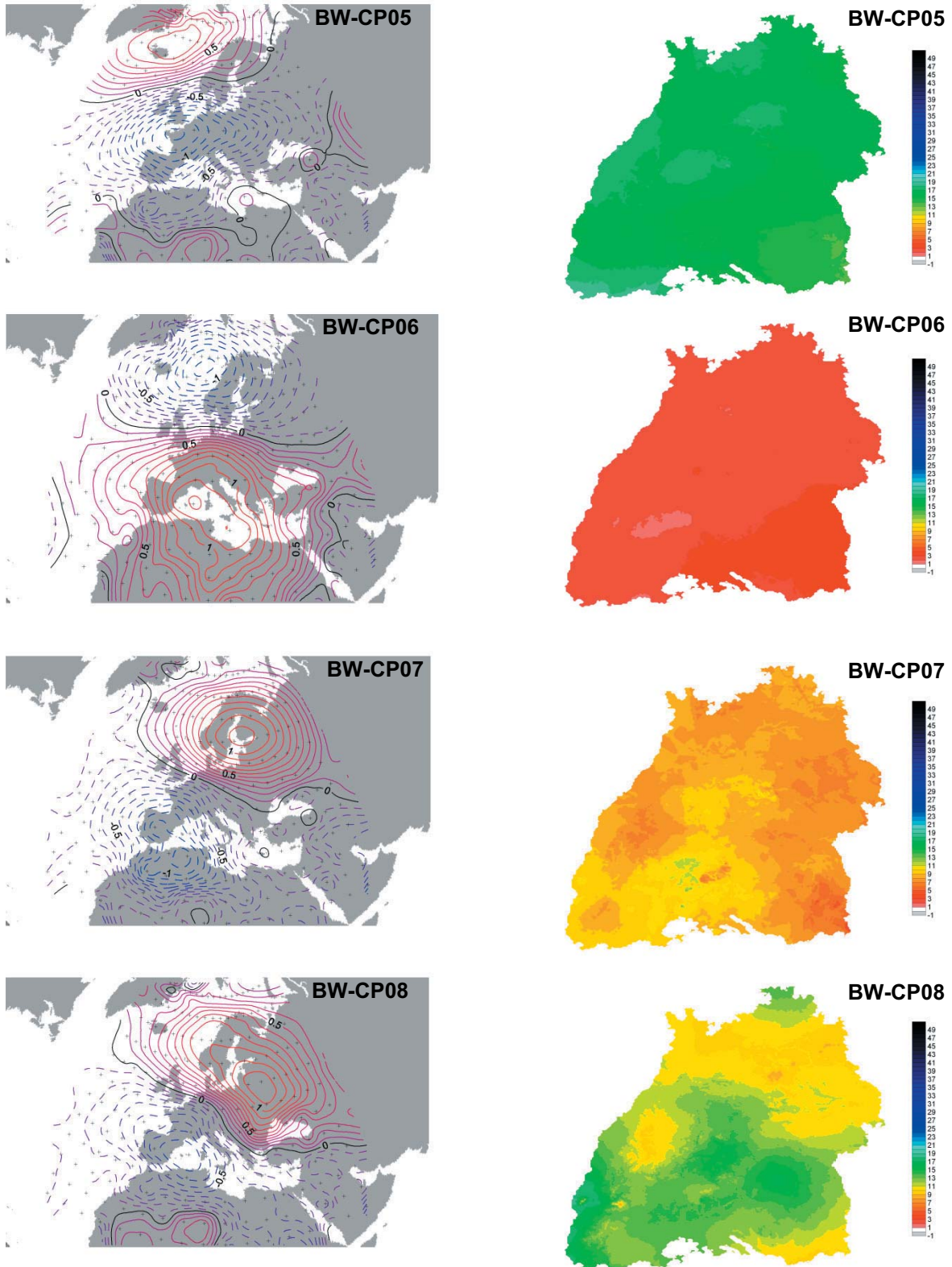
Anhang II – Abb. 1.9: MSLP-Anomalien und zugehörige Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre 1958–2001 (Mai–Oktober) für die 17 CP umfassende CP-Klassifikation, die für alle 3 Bundesländer (BW, BY, RLP) gültig ist, für CP17.

Hinweis: Gemäß Tab. 4.3 wurden für die **17 CP-Klassifikation**, die für alle 3 Bundesländer (BW, Bayern und RLP) gültig ist die nachfolgenden 8 CP zu Trocken-CP zusammengefasst: CP01+CP02+CP07+CP08+CP10+CP1+CP12+ CP13.

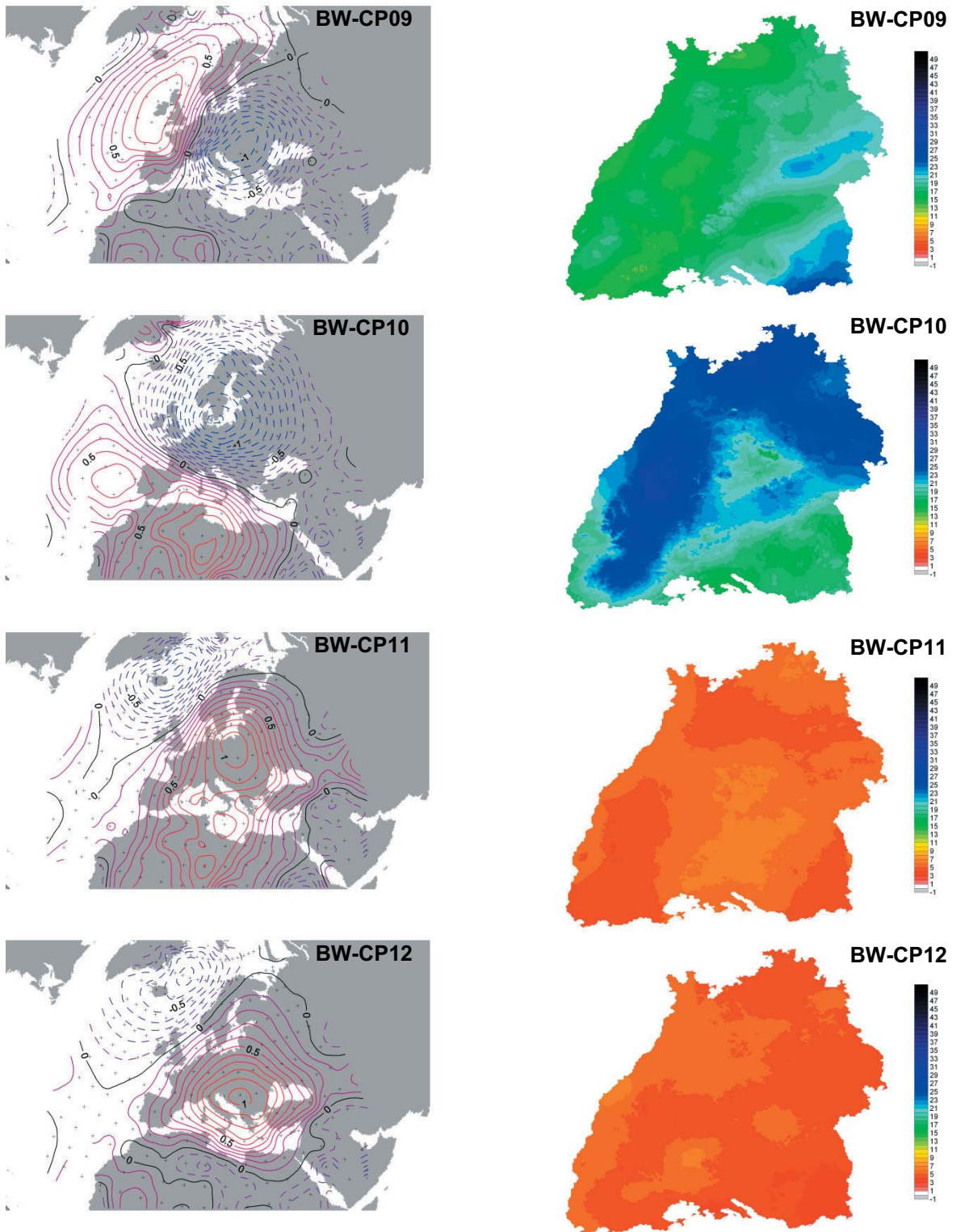
2. Anomalien und Feuchteindexkarten der 18 CP-Klassifikation für Baden-Württemberg



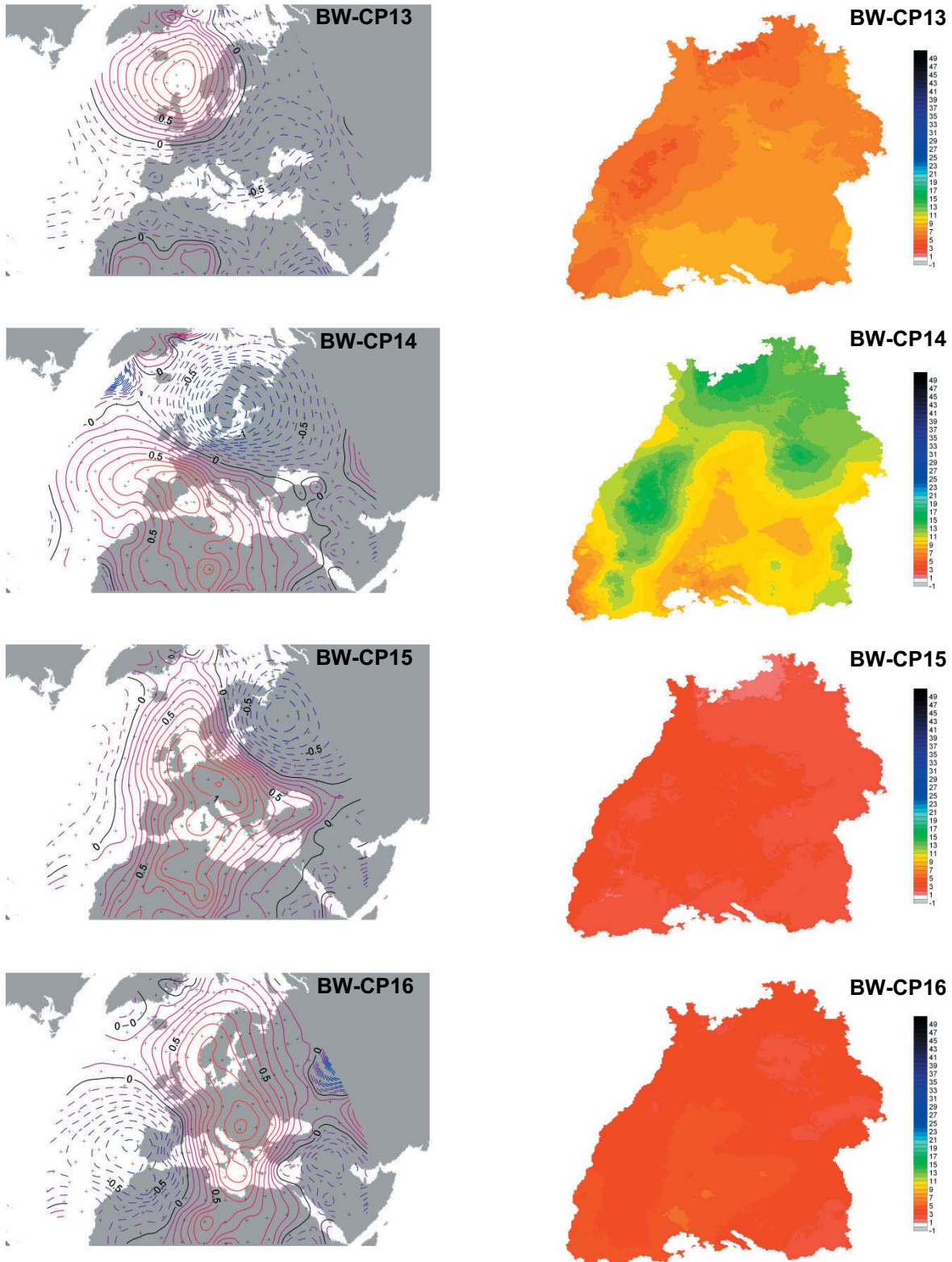
Anhang II – Abb. 2.1: MSLP-Anomalien und zugehörige Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre 1958–2001 (Mai–Oktober) für die 18 CP umfassende spezielle CP-Klassifikation von Baden-Württemberg. BW-Trocken-CPs: CP02, CP03, CP04, CP06, CP11, CP12, CP15, CP16.



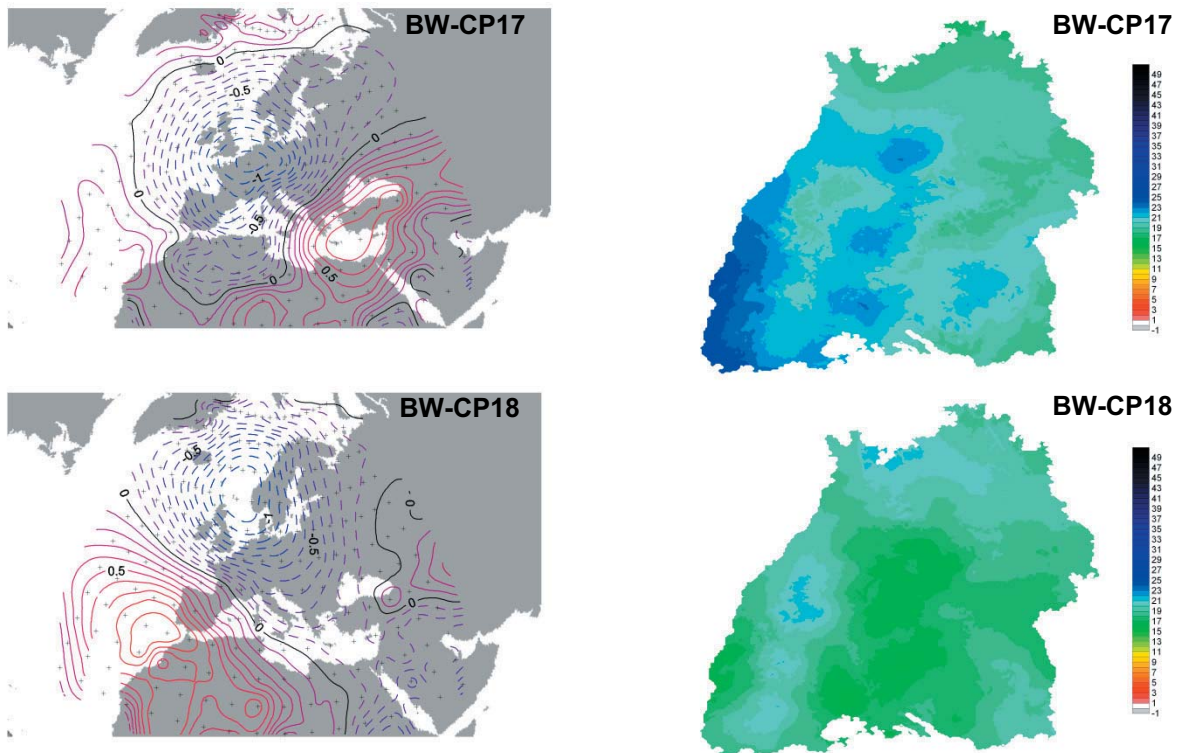
Anhang II – Abb. 2.1: (Fortsetzung): MSLP-Anomalien und zugehörige Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre 1958–2001 (Mai–Oktober) für die 18 CP umfassende spezielle CP-Klassifikation von Baden-Württemberg. BW-Trocken-CPs: CP02, CP03, CP04, CP06, CP11, CP12, CP15, CP16.



Anhang II – Abb. 2.1 (Fortsetzung): MSLP-Anomalien und zugehörige Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre 1958–2001 (Mai–Oktober) für die 18 CP umfassende spezielle CP-Klassifikation von Baden-Württemberg. BW-Trocken-CPs: CP02, CP03, CP04, CP06, CP11, CP12, CP15, CP16.



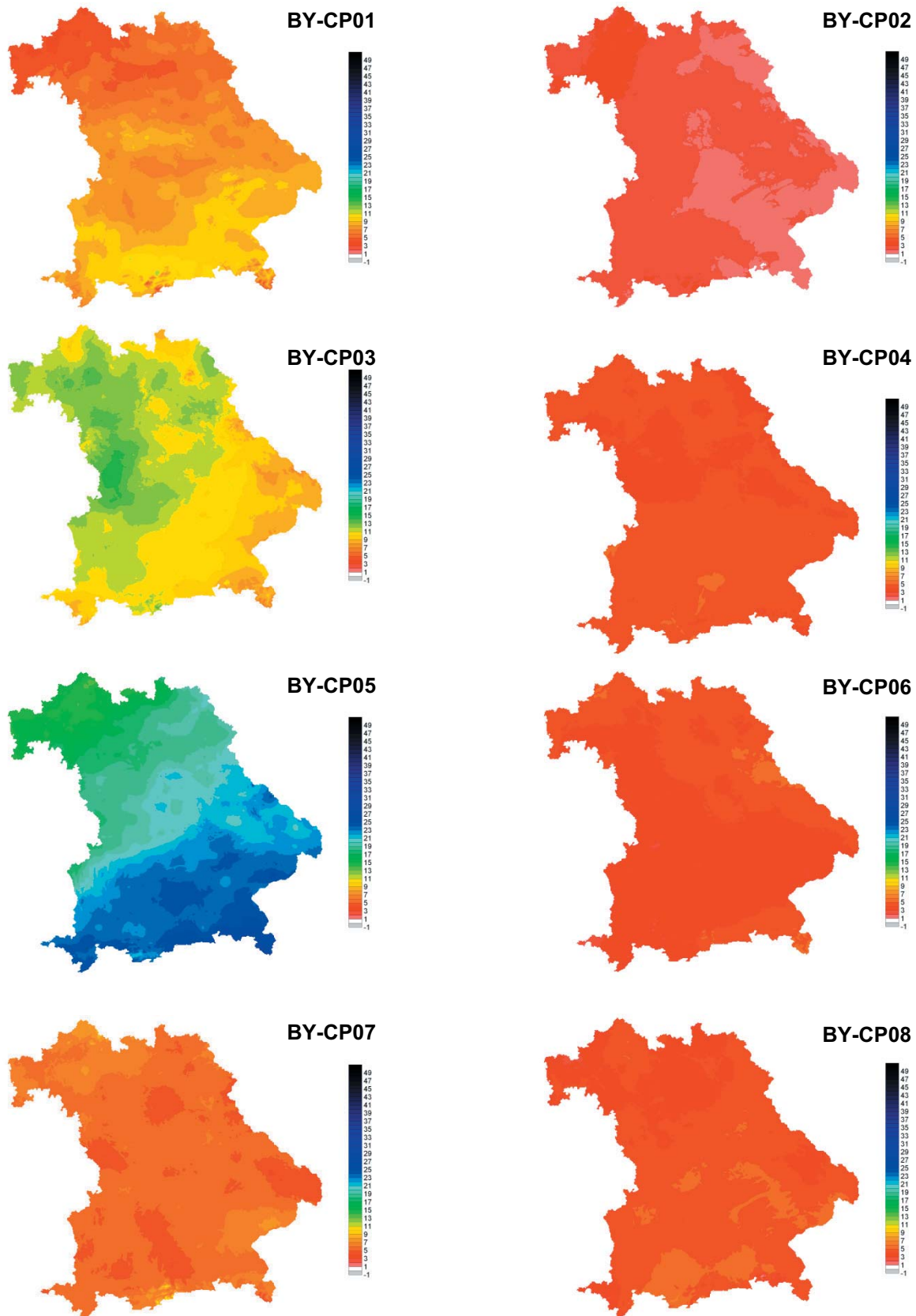
Anhang II – Abb. 2.1 (Fortsetzung): MSLP-Anomalien und zugehörige Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre 1958–2001 (Mai–Oktober) für die 18 CP umfassende spezielle CP-Klassifikation von Baden-Württemberg. BW-Trocken-CPs: CP02, CP03, CP04, CP06, CP11, CP12, CP15, CP16.



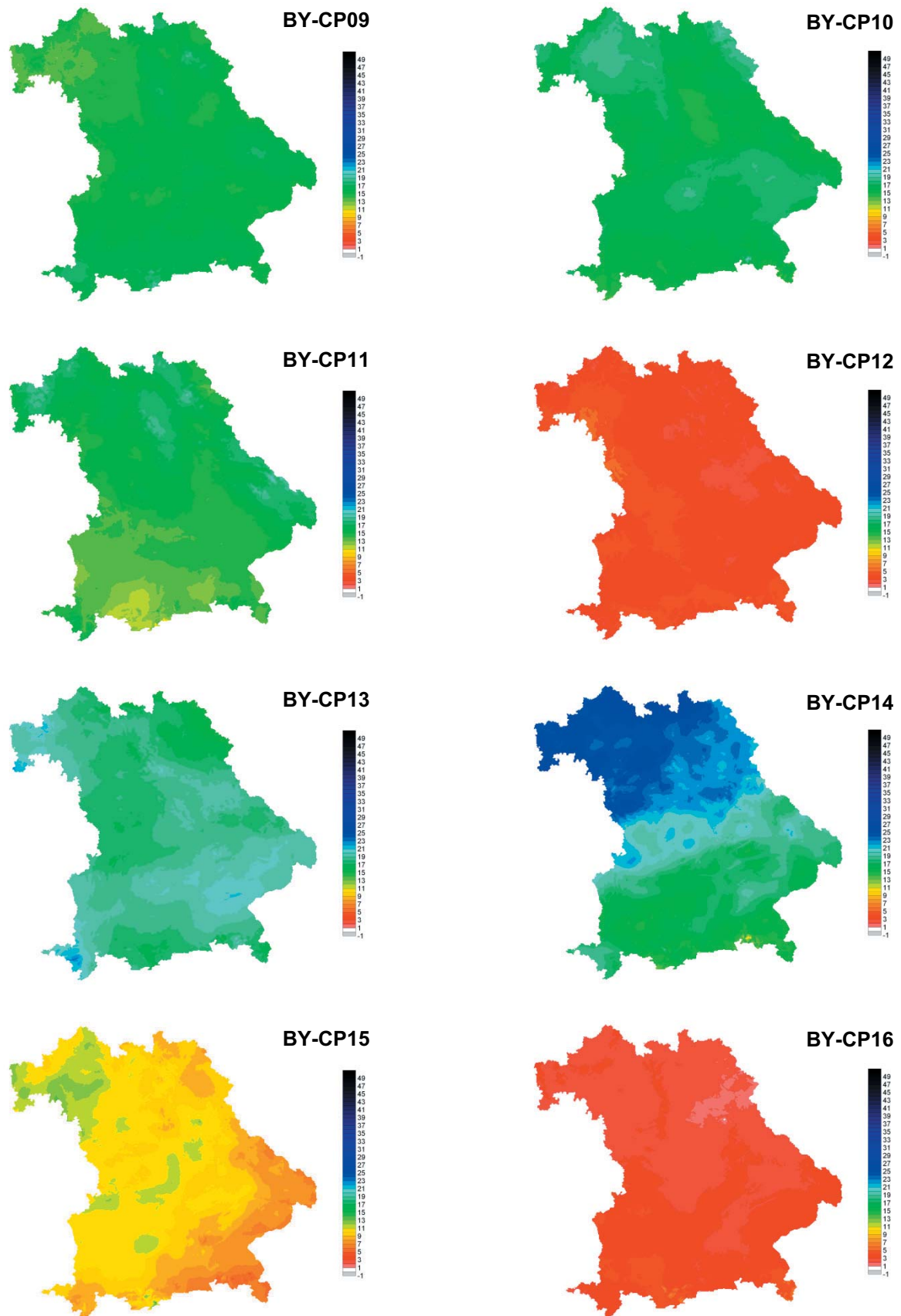
Anhang II – Abb. 2.1 (Fortsetzung): MSLP-Anomalien und Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre 1958–2001 (Mai–Oktober) für die 18 CP umfassende spezielle CP-Klassifikation von Baden-Württemberg. BW-Trocken-CPs: CP02, CP03, CP04, CP06, CP11, CP12, CP15, CP16.



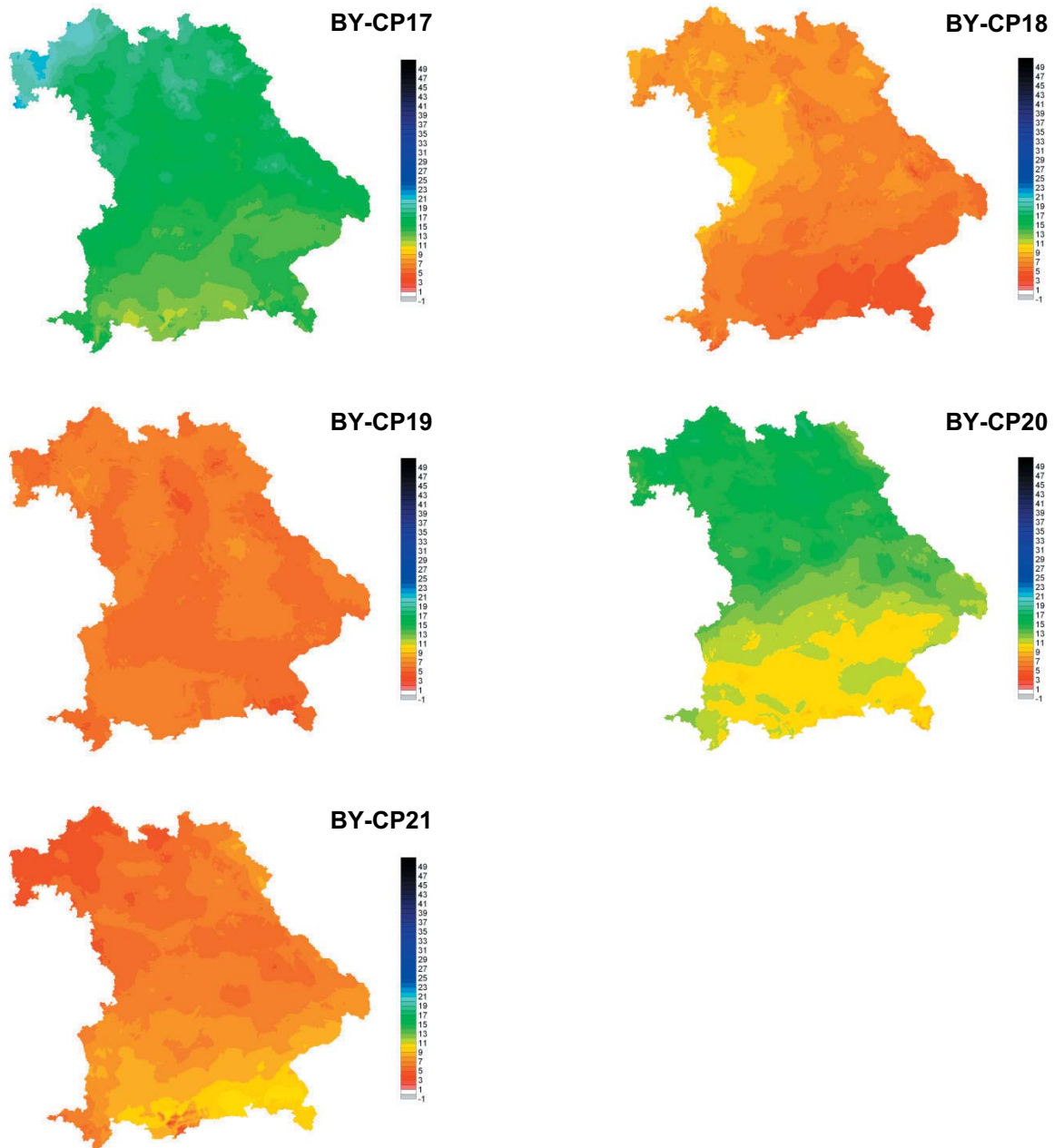
3. Feuchteindexkarten der 21 CP-Klassifikation für Bayern



Anhang II – Abb. 3 (Forts.): Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre 1958–2001 (Mai–Oktober) für die 21 CP umfassende spezielle CP-Klassifikation von Bayern. Bayern-Trocken-CPs: CP02, CP04, CP06, CP07, CP08, CP12, CP16, CP19, CP21.

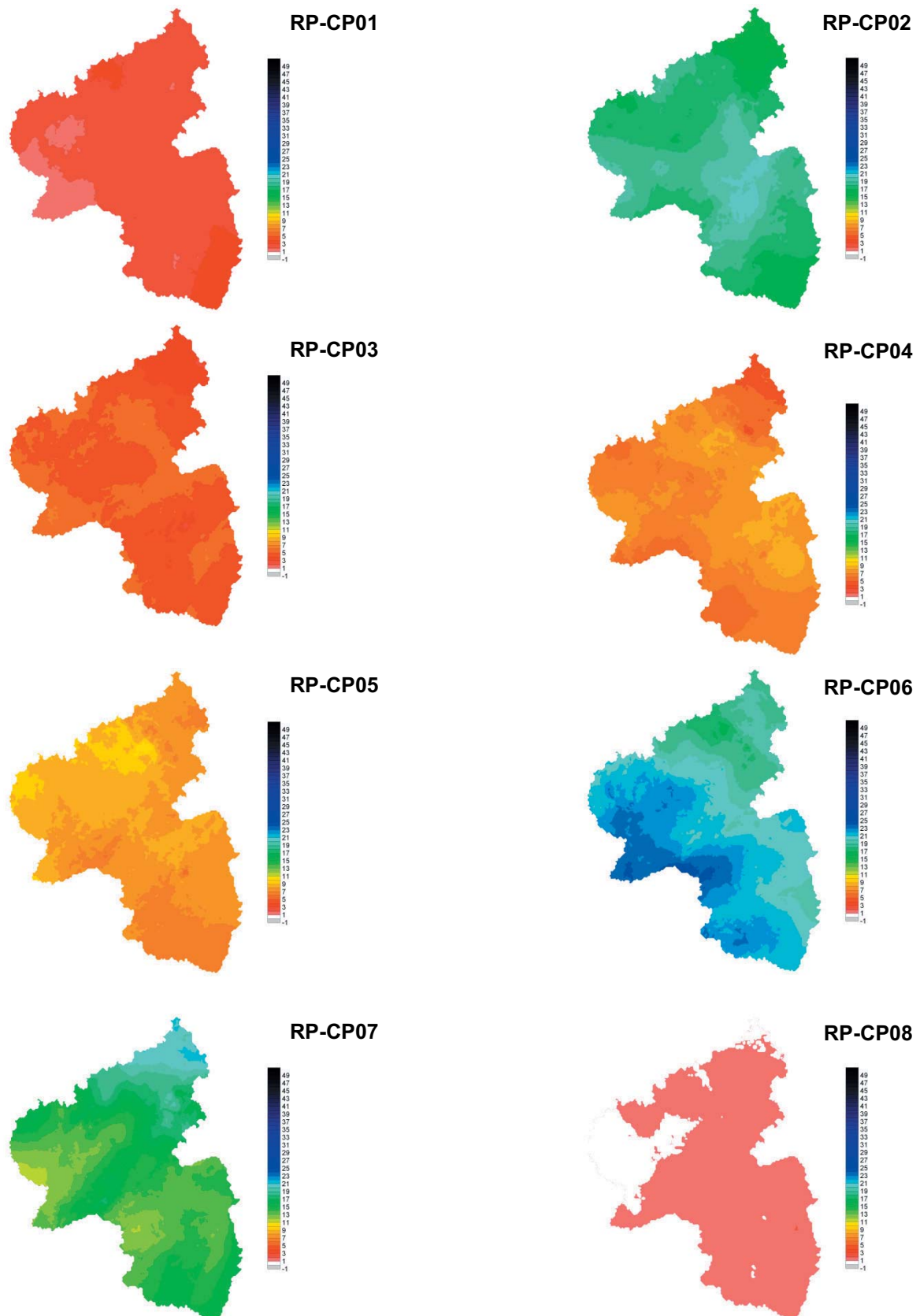


Anhang II – Abb. 3 (Forts.): Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre 1958–2001 (Mai–Oktober) für die 21 CP umfassende spezielle CP-Klassifikation von Bayern. Bayern-Trocken-CPs: CP02, CP04, CP06, CP07, CP08, CP12, CP16, CP19, CP21.

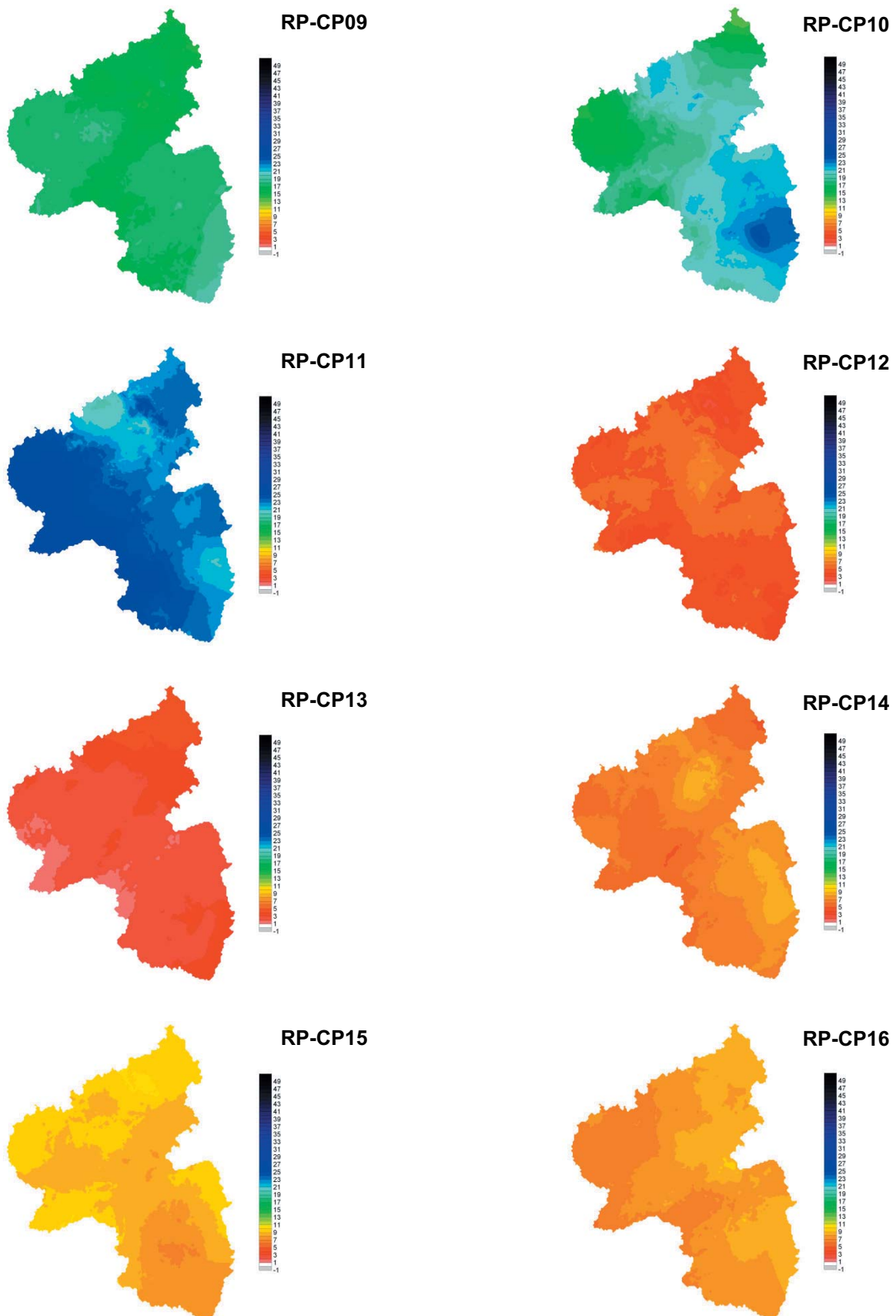


Anhang II – Abb. 3 (Forts.): Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre 1958–2001 (Mai–Oktober) für die 21 CP umfassende spezielle CP-Klassifikation von Bayern. Bayern-Trocken-CPs: CP02, CP04, CP06, CP07, CP08, CP12, CP16, CP19, CP21.

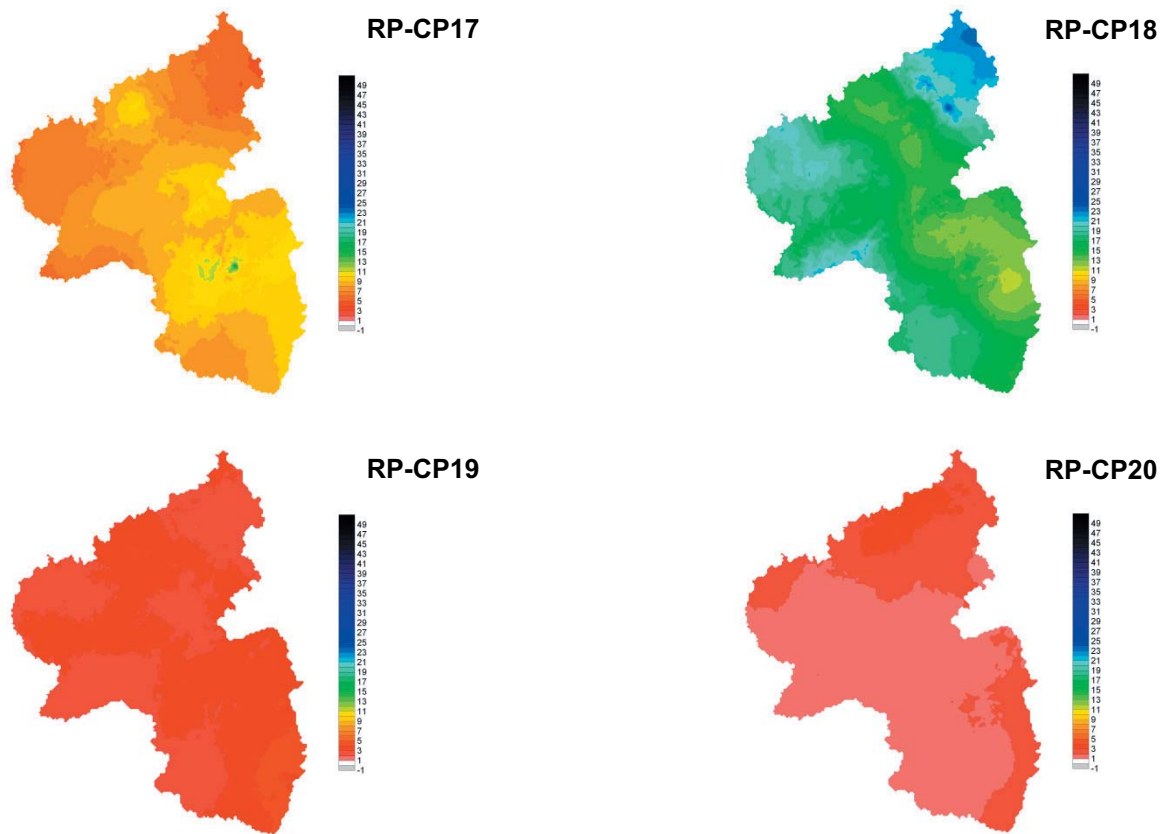
4. Feuchteindexkarten der speziellen 20 CP-Klassifikation für Rheinland-Pfalz



Anhang II – Abb. 4: Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre 1958–2001 (Mai–Oktober) für die 20 CP umfassende spezielle CP-Klassifikation von Rheinland-Pfalz. RP-Trocken-CPs: CP01, CP03, CP04, CP08, CP12, CP14, CP19, CP20.



Anhang II – Abb. 4 (Forts.): Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre 1958–2001(Mai–Oktober) für die 20 CP umfassende spezielle CP-Klassifikation von Rheinland-Pfalz. RP-Trocken-CPs: CP01, CP03, CP04, CP08, CP12, CP13, CP14, CP19, CP20.



Anhang II – Abb. 4 (Forts.): Feuchteindexkarten der Sommerhalbjahre 1958–2001 (Mai–Oktober) für die 20 CP umfassende spezielle CP-Klassifikation von Rheinland-Pfalz. RP-Trocken-CPs: CP01, CP03, CP04, CP08, CP12, CP13, CP14, CP19, CP20.



Anhang III

Ausgewählte historische Großwetterlagen und NCAR-CPs der 4 CP-Klassifikationen, die in den Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz Trocken- und Niedrigwasserperioden auslösten.



Tabellenerläuterung

Die nachstehenden Tabellen enthalten eine Zusammenstellung ausgewählter historischer Trocken- und Niedrigwasserperioden in Südwest- und Süddeutschland im Zeitraum 1921-2006 zusammen mit den auslösenden Großwetterlagen. Hierbei sind die Wetterlagen nach unterschiedlichen Methoden klassifiziert worden. Die als Trocken-GWL und Trocken-CPs für die jeweilige Klassifikation sind in den Tabellen jeweils gelb hinterlegt. Die Parameter der einzelnen Tabellenspalten bedeuten hierin:

Spalte 1: Datum

Spalte 2: GWL = Großwetterlagen Europas, Abkürzungen gemäß Tab. 3.1

Spalte 3: all 17CP = 17 CPs umfassende objektiv klassifizierte NCAR-CPs, die für den Zeitraum 01.01.1985-31.12.1999 optimiert wurden und für alle 3 Bundesländer (Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz) gemeinsam gültig sind.

Spalte 4: BW 18CP = 18 NCAR-CPs umfassende spezielle CP-Klassifikation für Baden-Württemberg.

Spalte 5: BY 21CP = 21 NCAR-CPs umfassende spezielle CP-Klassifikation für Bayern.

Spalte 6: RLP 20CP = 20 NCAR-CPs umfassende spezielle CP-Klassifikation für Rheinland-Pfalz.



Datum	GWL	all 17CP	BW 18CP	BY 21CP	RLP 20CP
01.06.2006	TrM	CP05	CP03	CP11	CP16
02.06.2006	TrM	CP11	CP02	CP12	CP01
03.06.2006	TrM	CP08	CP13	CP12	CP01
04.06.2006	TrM	CP10	CP03	CP12	CP07
05.06.2006	TrM	CP10	CP16	CP02	CP19
06.06.2006	HB	CP02	CP11	CP16	CP14
07.06.2006	HB	CP07	CP16	CP16	CP01
08.06.2006	HB	CP02	CP16	CP15	CP01
09.06.2006	HM	CP02	CP16	CP02	CP05
10.06.2006	HM	CP12	CP01	CP06	CP12
11.06.2006	HM	CP02	CP16	CP06	CP14
12.06.2006	HM	CP02	CP16	CP07	CP14
13.06.2006	HM	CP02	CP11	CP06	CP01
14.06.2006	BM	CP06	CP16	CP02	CP05
15.06.2006	BM	CP01	CP07	CP02	CP05
16.06.2006	BM	CP07	CP11	CP02	CP05
17.06.2006	BM	CP07	CP07	CP07	CP05
18.06.2006	SWz	CP01	CP07	CP06	CP05
19.06.2006	SWz	CP01	CP12	CP06	CP05
20.06.2006	SWz	CP01	CP12	CP06	CP05
21.06.2006	SWz	CP15	CP14	CP09	CP15
22.06.2006	SWz	CP15	CP18	CP09	CP15
23.06.2006	SWz	CP08	CP11	CP12	CP01
24.06.2006	SWz	CP14	CP08	CP02	CP04
25.06.2006	SWz	CP12	CP08	CP02	CP04
26.06.2006	SWz	CP07	CP08	CP21	CP04
27.06.2006	SWz	CP07	CP08	CP08	CP14
28.06.2006	BM	CP11	CP02	CP21	CP08
29.06.2006	BM	CP11	CP08	CP21	CP04
30.06.2006	BM	CP11	CP02	CP21	CP04
01.07.2006	SEa	CP11	CP03	CP16	CP04
02.07.2006	SEa	CP12	CP03	CP02	CP12
03.07.2006	SEa	CP12	CP03	CP02	CP04
04.07.2006	SEa	CP12	CP16	CP02	CP04
05.07.2006	SEa	CP06	CP16	CP07	CP05
06.07.2006	TrW	CP01	CP18	CP16	CP18
07.07.2006	TrW	CP15	CP18	CP09	CP16
08.07.2006	TrW	CP01	CP06	CP04	CP20
09.07.2006	BM	CP15	CP11	CP03	CP18
10.07.2006	BM	CP11	CP04	CP15	CP01
11.07.2006	BM	CP10	CP12	CP16	CP01
12.07.2006	BM	CP11	CP11	CP16	CP01
13.07.2006	BM	CP11	CP04	CP02	CP01
14.07.2006	HB	CP02	CP13	CP12	CP04
15.07.2006	HB	CP02	CP11	CP16	CP05
16.07.2006	HB	CP99	CP11	CP07	CP01
17.07.2006	HB	CP11	CP07	CP12	CP01
18.07.2006	HB	CP12	CP16	CP08	CP12
19.07.2006	HB	CP12	CP16	CP02	CP12
20.07.2006	BM	CP99	CP99	CP99	CP99
21.07.2006	BM	CP02	CP16	CP21	CP16
22.07.2006	BM	CP06	CP15	CP15	CP04
23.07.2006	BM	CP07	CP15	CP21	CP04
24.07.2006	BM	CP02	CP03	CP19	CP12
25.07.2006	BM	CP07	CP16	CP02	CP12
26.07.2006	BM	CP07	CP16	CP19	CP12
27.07.2006	TrW	CP07	CP17	CP14	CP12
28.07.2006	TrW	CP14	CP07	CP17	CP02
29.07.2006	TrW	CP14	CP05	CP17	CP11
30.07.2006	TrW	CP15	CP18	CP03	CP11
31.07.2006	TrW	CP03	CP18	CP11	CP11

Anhang III - Tab. 1: Hitzewelle im Juli 2006 auslösende Großwetterlagen (GWL) und objektiv klassifizierte NCAR-CPs für die gemeinsame CP-Klassifikation für alle 3 Bundesländer (all 17CP) und die speziellen Klassifikationen für Baden-Württemberg (BW 18CP), Bayern (BY 21CP) und Rheinland-Pfalz (RLP 20 CP).



Datum	GWL	all 17CP	BW18CP	BY21CP	RLP20CP
27.05.2003	HM	CP11	CP02	CP12	CP01
28.05.2003	HM	CP11	CP02	CP21	CP04
29.05.2003	HM	CP11	CP04	CP02	CP01
30.05.2003	HM	CP14	CP08	CP02	CP01
31.05.2003	HM	CP09	CP05	CP14	CP09
01.06.2003	HM	CP14	CP11	CP03	CP12
02.06.2003	HM	CP09	CP11	CP03	CP02
03.06.2003	HM	CP14	CP12	CP02	CP03
04.06.2003	HM	CP01	CP11	CP06	CP12
05.06.2003	SWa	CP10	CP01	CP06	CP15
06.06.2003	SWa	CP01	CP06	CP04	CP20
07.06.2003	SWa	CP13	CP15	CP04	CP05
08.06.2003	SWa	CP15	CP17	CP03	CP09
09.06.2003	SWa	CP02	CP06	CP06	CP13
10.06.2003	SWa	CP14	CP12	CP04	CP18
11.06.2003	SWa	CP02	CP06	CP06	CP20
12.06.2003	BM	CP13	CP15	CP06	CP20
13.06.2003	BM	CP08	CP15	CP12	CP19
14.06.2003	BM	CP08	CP15	CP12	CP19
15.06.2003	BM	CP11	CP02	CP05	CP04
16.06.2003	BM	CP12	CP13	CP19	CP04
17.06.2003	BM	CP14	CP08	CP18	CP04
18.06.2003	Wa	CP15	CP11	CP09	CP15
19.06.2003	Wa	CP13	CP06	CP09	CP16
20.06.2003	Wa	CP05	CP01	CP06	CP16
21.06.2003	Wa	CP02	CP03	CP21	CP20
22.06.2003	Wa	CP06	CP16	CP01	CP19
23.06.2003	Wa	CP01	CP17	CP14	CP06
24.06.2003	Wa	CP10	CP14	CP01	CP13
25.06.2003	HNa	CP10	CP02	CP19	CP19
26.06.2003	HNa	CP12	CP15	CP19	CP04
27.06.2003	HNa	CP14	CP13	CP19	CP04
28.06.2003	HNa	CP12	CP13	CP19	CP12
29.06.2003	HNa	CP14	CP05	CP17	CP02
30.06.2003	HNa	CP14	CP05	CP18	CP02
01.07.2003	TM	CP03	CP18	CP11	CP11
02.07.2003	TM	CP17	CP05	CP17	CP11
03.07.2003	TM	CP17	CP18	CP17	CP11
04.07.2003	TM	CP05	CP09	CP05	CP07
05.07.2003	TM	CP05	CP09	CP05	CP07
06.07.2003	NWa	CP10	CP03	CP21	CP07
07.07.2003	NWa	CP10	CP15	CP21	CP01
08.07.2003	NWa	CP10	CP03	CP21	CP19
09.07.2003	NWa	CP10	CP03	CP19	CP19
10.07.2003	NWa	CP01	CP06	CP16	CP05
11.07.2003	NWa	CP13	CP06	CP04	CP20
12.07.2003	NWa	CP10	CP16	CP01	CP13
13.07.2003	NWa	CP12	CP03	CP19	CP12
14.07.2003	HFa	CP12	CP03	CP02	CP14
15.07.2003	HFa	CP12	CP05	CP18	CP14
16.07.2003	HFa	CP09	CP05	CP18	CP02
17.07.2003	HFa	CP16	CP09	CP03	CP02
18.07.2003	TrW	CP14	CP02	CP21	CP16
19.07.2003	TrW	CP14	CP15	CP15	CP16
20.07.2003	TrW	CP14	CP16	CP02	CP04
21.07.2003	TrW	CP14	CP16	CP03	CP05

Datum	GWL	all 17CP	BW18CP	BY21CP	RLP20CP
22.07.2003	BM	CP01	CP18	CP16	CP01
23.07.2003	BM	CP11	CP04	CP12	CP01
24.07.2003	BM	CP15	CP11	CP09	CP18
25.07.2003	BM	CP15	CP18	CP11	CP11
26.07.2003	BM	CP15	CP16	CP15	CP11
27.07.2003	BM	CP15	CP17	CP14	CP09
28.07.2003	BM	CP11	CP11	CP11	CP01
29.07.2003	BM	CP14	CP02	CP18	CP14
30.07.2003	BM	CP11	CP03	CP07	CP04
31.07.2003	BM	CP11	CP09	CP10	CP04
01.08.2003	BM	CP11	CP02	CP07	CP04
02.08.2003	BM	CP02	CP03	CP16	CP03
03.08.2003	BM	CP02	CP12	CP16	CP01
04.08.2003	BM	CP12	CP12	CP19	CP12
05.08.2003	HNa	CP99	CP15	CP21	CP99
06.08.2003	HNa	CP99	CP15	CP21	CP16
07.08.2003	HNa	CP11	CP15	CP21	CP04
08.08.2003	HNa	CP02	CP16	CP08	CP12
09.08.2003	HNa	CP02	CP16	CP02	CP12
10.08.2003	HNa	CP12	CP13	CP07	CP14
11.08.2003	HNa	CP08	CP99	CP99	CP19
12.08.2003	HNa	CP99	CP99	CP99	CP99
13.08.2003	HNa	CP04	CP14	CP11	CP07
14.08.2003	NWa	CP04	CP10	CP14	CP06
15.08.2003	NWa	CP10	CP13	CP05	CP13
16.08.2003	NWa	CP08	CP16	CP19	CP03
17.08.2003	NWa	CP06	CP16	CP02	CP14
18.08.2003	Ü	CP03	CP17	CP03	CP18
19.08.2003	Wa	CP10	CP18	CP11	CP16
20.08.2003	Wa	CP10	CP15	CP04	CP01
21.08.2003	Wa	CP15	CP15	CP04	CP16
22.08.2003	Wa	CP15	CP14	CP09	CP13
23.08.2003	Wa	CP10	CP01	CP17	CP13
24.08.2003	Nz	CP08	CP02	CP19	CP19
25.08.2003	Nz	CP12	CP13	CP19	CP19
26.08.2003	Nz	CP17	CP13	CP05	CP17
27.08.2003	Nz	CP17	CP05	CP17	CP17
28.08.2003	Nz	CP17	CP05	CP17	CP02
29.08.2003	TrM	CP09	CP05	CP10	CP09
30.08.2003	TrM	CP17	CP10	CP05	CP07
31.08.2003	TrM	CP05	CP09	CP05	CP07

Anhang III - Tab. 2: Trockenperiode im **Juni** und **August 2003**, Niedrigwasser und Hitzewelle im August 2003 in Südwestdeutschland auslösende Großwetterlagen (GWL) und objektiv klassifizierte NCAR-CPs für die gemeinsame CP-Klassifikation für alle 3 Bundesländer (all 17CP) und die speziellen Klassifikationen für Baden-Württemberg (BW 18CP), Bayern (BY 21CP) und Rheinland-Pfalz (RLP 20 CP).



Datum	GWL	all 17CP	BW 18CP	BY 21CP	RLP 20CP	Datum	GWL	all 17CP	BW 18CP	BY 21CP	RLP 20CP
01.06.1991	HNa	CP10	CP09	CP21	CP17	01.08.1991	HFa	CP03	CP09	CP10	CP10
02.06.1991	HNa	CP08	CP15	CP02	CP17	02.08.1991	BM	CP05	CP09	CP05	CP16
03.06.1991	Wz	CP17	CP17	CP09	CP09	03.08.1991	BM	CP05	CP02	CP10	CP19
04.06.1991	Wz	CP03	CP18	CP17	CP07	04.08.1991	BM	CP05	CP02	CP10	CP19
05.06.1991	Wz	CP06	CP06	CP11	CP06	05.08.1991	BM	CP02	CP11	CP06	CP05
06.06.1991	Wz	CP03	CP18	CP14	CP06	06.08.1991	BM	CP13	CP11	CP02	CP05
07.06.1991	Wz	CP15	CP18	CP13	CP06	07.08.1991	BM	CP17	CP16	CP02	CP05
08.06.1991	Wz	CP03	CP18	CP13	CP11	08.08.1991	BM	CP05	CP09	CP21	CP07
09.06.1991	Wz	CP03	CP10	CP11	CP11	09.08.1991	BM	CP10	CP03	CP21	CP08
10.06.1991	Wz	CP04	CP14	CP20	CP18	10.08.1991	BM	CP13	CP06	CP04	CP20
11.06.1991	Wz	CP13	CP06	CP11	CP13	11.08.1991	BM	CP01	CP01	CP06	CP13
12.06.1991	Wz	CP06	CP12	CP06	CP18	12.08.1991	BM	CP10	CP01	CP11	CP13
13.06.1991	Wz	CP06	CP14	CP20	CP09	13.08.1991	BM	CP02	CP15	CP04	CP01
14.06.1991	Wz	CP06	CP14	CP20	CP05	14.08.1991	BM	CP02	CP04	CP16	CP01
15.06.1991	Wz	CP01	CP17	CP15	CP09	15.08.1991	BM	CP11	CP11	CP16	CP01
16.06.1991	TrW	CP09	CP17	CP09	CP09	16.08.1991	BM	CP05	CP14	CP08	CP15
17.06.1991	TrW	CP09	CP18	CP09	CP09	17.08.1991	BM	CP15	CP14	CP09	CP15
18.06.1991	TrW	CP05	CP09	CP09	CP07	18.08.1991	NWa	CP10	CP09	CP05	CP13
19.06.1991	TrW	CP04	CP01	CP11	CP18	19.08.1991	NWa	CP10	CP16	CP16	CP13
20.06.1991	TrW	CP03	CP10	CP11	CP11	20.08.1991	NWa	CP13	CP15	CP04	CP13
21.06.1991	Ww	CP13	CP12	CP06	CP05	21.08.1991	NWa	CP13	CP04	CP02	CP20
22.06.1991	Ww	CP15	CP12	CP03	CP15	22.08.1991	Ü	CP12	CP12	CP02	CP06
23.06.1991	Ww	CP01	CP06	CP06	CP18	23.08.1991	BM	CP01	CP11	CP03	CP05
24.06.1991	Ww	CP04	CP14	CP17	CP18	24.08.1991	BM	CP11	CP04	CP04	CP01
25.06.1991	Ww	CP13	CP06	CP04	CP18	25.08.1991	BM	CP02	CP16	CP02	CP12
26.06.1991	Ww	CP03	CP14	CP20	CP06	26.08.1991	BM	CP12	CP16	CP02	CP14
27.06.1991	TrM	CP17	CP18	CP09	CP07	27.08.1991	BM	CP11	CP11	CP07	CP01
28.06.1991	TrM	CP05	CP09	CP05	CP07	28.08.1991	BM	CP99	CP11	CP16	CP01
29.06.1991	TrM	CP05	CP01	CP11	CP13	29.08.1991	BM	CP12	CP03	CP19	CP01
30.06.1991	TrM	CP08	CP06	CP04	CP20	30.08.1991	BM	CP02	CP07	CP02	CP03
01.07.1991	Ü	CP11	CP04	CP12	CP01	31.08.1991	BM	CP12	CP15	CP02	CP04
02.07.1991	HNFa	CP07	CP13	CP02	CP14	01.09.1991	BM	CP11	CP12	CP07	CP01
03.07.1991	HNFa	CP07	CP07	CP19	CP14	02.09.1991	BM	CP99	CP07	CP12	CP04
04.07.1991	HNFa	CP12	CP03	CP02	CP08	03.09.1991	BM	CP11	CP04	CP12	CP01
05.07.1991	HNFa	CP12	CP03	CP02	CP04	04.09.1991	BM	CP08	CP16	CP12	CP19
06.07.1991	HNFa	CP11	CP03	CP02	CP19	05.09.1991	NWa	CP08	CP13	CP01	CP19
07.07.1991	HNFa	CP06	CP16	CP02	CP12	06.09.1991	NWa	CP08	CP03	CP01	CP19
08.07.1991	HNFa	CP14	CP05	CP03	CP14	07.09.1991	NWa	CP10	CP03	CP13	CP19
09.07.1991	Wa	CP01	CP06	CP06	CP20	08.09.1991	NWa	CP10	CP03	CP16	CP03
10.07.1991	Wa	CP02	CP16	CP02	CP01	09.09.1991	NWa	CP02	CP15	CP08	CP20
11.07.1991	Wa	CP12	CP16	CP12	CP14	10.09.1991	NWa	CP13	CP14	CP01	CP20
12.07.1991	Wa	CP15	CP18	CP09	CP15	11.09.1991	NWa	CP03	CP17	CP01	CP06
13.07.1991	Wa	CP15	CP18	CP09	CP16	12.09.1991	NWa	CP08	CP15	CP12	CP19
14.07.1991	Wa	CP05	CP09	CP05	CP07	13.09.1991	BM	CP08	CP11	CP12	CP19
15.07.1991	Wa	CP05	CP18	CP09	CP07	14.09.1991	BM	CP01	CP06	CP16	CP15
16.07.1991	Wa	CP10	CP12	CP21	CP13	15.09.1991	BM	CP13	CP06	CP04	CP16
17.07.1991	Wa	CP10	CP01	CP17	CP13	16.09.1991	BM	CP08	CP04	CP12	CP18
18.07.1991	Wa	CP13	CP02	CP11	CP18	17.09.1991	BM	CP04	CP14	CP17	CP07
19.07.1991	Wa	CP06	CP14	CP16	CP09	18.09.1991	BM	CP10	CP06	CP07	CP20
20.07.1991	Wa	CP10	CP14	CP01	CP13	19.09.1991	BM	CP01	CP12	CP16	CP20
21.07.1991	Wa	CP10	CP02	CP08	CP13	20.09.1991	BM	CP12	CP13	CP19	CP01
22.07.1991	Wa	CP02	CP03	CP08	CP08	21.09.1991	BM	CP01	CP12	CP02	CP05
23.07.1991	Wa	CP14	CP08	CP18	CP04	22.09.1991	Wz	CP03	CP17	CP14	CP06
24.07.1991	NWz	CP17	CP05	CP17	CP02	23.09.1991	Wz	CP05	CP18	CP09	CP18
25.07.1991	NWz	CP17	CP05	CP10	CP02	24.09.1991	Wz	CP01	CP12	CP16	CP03
26.07.1991	NWz	CP05	CP09	CP05	CP07	25.09.1991	Wz	CP09	CP17	CP15	CP09
27.07.1991	NWz	CP02	CP03	CP10	CP01	26.09.1991	TrW	CP09	CP17	CP99	CP09
28.07.1991	HFa	CP12	CP07	CP19	CP01	27.09.1991	TrW	CP04	CP01	CP13	CP18
29.07.1991	HFa	CP12	CP07	CP07	CP04	28.09.1991	TrW	CP14	CP05	CP19	CP99
30.07.1991	HFa	CP12	CP05	CP18	CP02	29.09.1991	TrW	CP09	CP05	CP19	CP02
31.07.1991	HFa	CP16	CP05	CP10	CP02	30.09.1991	TrW	CP09	CP17	CP03	CP09

Anhang III - Tab. 3: Trockenperiode im Sommer 1991 in Südwestdeutschland auslösende Großwetterlagen (GWL) und objektiv klassifizierte NCAR-CPs für die gemeinsame CP-Klassifikation für alle 3 Bundesländer (all 17CP) und die speziellen Klassifikationen für Baden-Württemberg (BW 18CP), Bayern (BY 21CP) und Rheinland-Pfalz (RLP 20 CP).



Datum	GWL	all 17CP	BW 18CP	BY 21CP	RLP 20CP	Datum	GWL	all 17CP	BW 18CP	BY 21CP	RLP 20CP
01.06.1976	Wz	CP04	CP14	CP11	CP07	01.08.1976	NWz	CP05	CP06	CP10	CP13
02.06.1976	Nz	CP05	CP09	CP05	CP07	02.08.1976	Wa	CP13	CP06	CP04	CP16
03.06.1976	Nz	CP05	CP02	CP05	CP19	03.08.1976	Wa	CP13	CP04	CP04	CP13
04.06.1976	Nz	CP02	CP03	CP21	CP03	04.08.1976	Wa	CP10	CP12	CP11	CP13
05.06.1976	BM	CP02	CP03	CP16	CP08	05.08.1976	Wa	CP11	CP11	CP15	CP01
06.06.1976	BM	CP02	CP01	CP08	CP20	06.08.1976	Wa	CP11	CP11	CP07	CP01
07.06.1976	BM	CP02	CP03	CP08	CP08	07.08.1976	NEa	CP02	CP11	CP07	CP05
08.06.1976	HFa	CP12	CP03	CP02	CP19	08.08.1976	NEa	CP14	CP11	CP16	CP01
09.06.1976	HFa	CP14	CP11	CP18	CP18	09.08.1976	NEa	CP99	CP99	CP16	CP05
10.06.1976	HFa	CP01	CP11	CP16	CP16	10.08.1976	NEa	CP99	CP99	CP16	CP04
11.06.1976	HFa	CP01	CP11	CP16	CP01	11.08.1976	NEa	CP05	CP99	CP99	CP02
12.06.1976	HFa	CP13	CP11	CP04	CP15	12.08.1976	NEa	CP07	CP11	CP19	CP14
13.06.1976	Wa	CP10	CP06	CP01	CP13	13.08.1976	NEa	CP07	CP16	CP02	CP14
14.06.1976	Wa	CP13	CP06	CP04	CP20	14.08.1976	NEa	CP07	CP16	CP02	CP05
15.06.1976	Wa	CP01	CP14	CP06	CP09	15.08.1976	NEa	CP07	CP16	CP19	CP08
16.06.1976	NEa	CP07	CP09	CP05	CP10	16.08.1976	NEa	CP12	CP08	CP21	CP04
17.06.1976	NEa	CP10	CP03	CP21	CP12	17.08.1976	NEa	CP05	CP13	CP05	CP02
18.06.1976	NEa	CP01	CP12	CP06	CP15	18.08.1976	HB	CP11	CP13	CP13	CP19
19.06.1976	Wz	CP01	CP17	CP14	CP09	19.08.1976	HB	CP07	CP13	CP12	CP19
20.06.1976	Wz	CP01	CP12	CP15	CP09	20.08.1976	HB	CP07	CP13	CP19	CP12
21.06.1976	Wz	CP08	CP06	CP01	CP20	21.08.1976	HFa	CP07	CP03	CP19	CP12
22.06.1976	HM	CP08	CP15	CP08	CP17	22.08.1976	HFa	CP12	CP03	CP02	CP08
23.06.1976	HM	CP02	CP03	CP16	CP04	23.08.1976	HFa	CP12	CP03	CP02	CP03
24.06.1976	HM	CP11	CP03	CP16	CP08	24.08.1976	HM	CP07	CP12	CP02	CP12
25.06.1976	HM	CP07	CP12	CP07	CP08	25.08.1976	HM	CP07	CP12	CP02	CP08
26.06.1976	HM	CP07	CP01	CP07	CP01	26.08.1976	HM	CP07	CP12	CP19	CP12
27.06.1976	HM	CP13	CP11	CP06	CP01	27.08.1976	NEz	CP16	CP07	CP19	CP12
28.06.1976	HM	CP02	CP04	CP12	CP01	28.08.1976	NEz	CP12	CP16	CP02	CP12
29.06.1976	BM	CP02	CP11	CP07	CP01	29.08.1976	Sz	CP12	CP12	CP02	CP12
30.06.1976	BM	CP02	CP04	CP08	CP01	30.08.1976	Sz	CP03	CP18	CP14	CP09
01.07.1976	BM	CP07	CP03	CP02	CP12	31.08.1976	TrM	CP17	CP18	CP11	CP99
02.07.1976	BM	CP12	CP16	CP02	CP12	01.09.1976	TrM	CP09	CP17	CP13	CP09
03.07.1976	HNa	CP12	CP16	CP02	CP12	02.09.1976	TrM	CP17	CP05	CP13	CP17
04.07.1976	HNa	CP06	CP17	CP14	CP11	03.09.1976	TrM	CP05	CP09	CP05	CP07
05.07.1976	HNa	CP12	CP05	CP10	CP02	04.09.1976	TrM	CP05	CP09	CP05	CP07
06.07.1976	HNa	CP12	CP03	CP19	CP12	05.09.1976	TrM	CP11	CP11	CP12	CP01
07.07.1976	HNa	CP12	CP13	CP19	CP12	06.09.1976	Wa	CP11	CP04	CP04	CP01
08.07.1976	HNa	CP17	CP05	CP17	CP02	07.09.1976	Wa	CP08	CP04	CP04	CP01
09.07.1976	HNFa	CP14	CP05	CP17	CP02	08.09.1976	Wa	CP08	CP15	CP04	CP19
10.07.1976	HNFa	CP14	CP05	CP19	CP14	09.09.1976	TrW	CP03	CP05	CP17	CP11
11.07.1976	HNFa	CP12	CP13	CP19	CP12	10.09.1976	TrW	CP17	CP18	CP17	CP11
12.07.1976	HNFa	CP12	CP05	CP18	CP02	11.09.1976	TrW	CP09	CP17	CP14	CP09
13.07.1976	HFa	CP16	CP09	CP10	CP02	12.09.1976	TrW	CP09	CP17	CP20	CP09
14.07.1976	HFa	CP14	CP11	CP03	CP18	13.09.1976	TrW	CP09	CP17	CP14	CP09
15.07.1976	HFa	CP07	CP16	CP02	CP05	14.09.1976	TrW	CP17	CP05	CP11	CP02
16.07.1976	HFa	CP01	CP07	CP02	CP05	15.09.1976	TrW	CP07	CP05	CP17	CP02
17.07.1976	BM	CP03	CP17	CP07	CP09	16.09.1976	TrW	CP16	CP13	CP10	CP10
18.07.1976	BM	CP07	CP16	CP07	CP12	17.09.1976	HFa	CP16	CP09	CP10	CP10
19.07.1976	BM	CP01	CP01	CP09	CP15	18.09.1976	HFa	CP05	CP13	CP10	CP19
20.07.1976	NWz	CP05	CP01	CP05	CP16	19.09.1976	HFa	CP05	CP02	CP21	CP19
21.07.1976	NWz	CP16	CP09	CP05	CP17	20.09.1976	HFa	CP11	CP02	CP16	CP19
22.07.1976	NWz	CP05	CP13	CP05	CP17	21.09.1976	HFa	CP99	CP99	CP99	CP19
23.07.1976	BM	CP05	CP09	CP05	CP14	22.09.1976	HFa	CP07	CP16	CP19	CP12
24.07.1976	BM	CP05	CP09	CP05	CP19	23.09.1976	TB	CP12	CP16	CP02	CP12
25.07.1976	BM	CP11	CP03	CP21	CP04	24.09.1976	TB	CP06	CP05	CP19	CP10
26.07.1976	BM	CP11	CP13	CP05	CP19	25.09.1976	TB	CP12	CP05	CP18	CP02
27.07.1976	BM	CP05	CP06	CP21	CP01	26.09.1976	TB	CP12	CP05	CP18	CP02
28.07.1976	NWz	CP05	CP13	CP05	CP13	27.09.1976	TB	CP07	CP17	CP14	CP05
29.07.1976	NWz	CP05	CP02	CP05	CP13	28.09.1976	TB	CP06	CP05	CP17	CP06
30.07.1976	NWz	CP06	CP18	CP20	CP06	29.09.1976	TB	CP12	CP05	CP10	CP10
31.07.1976	NWz	CP09	CP17	CP14	CP09	30.09.1976	HFz	CP12	CP07	CP10	CP02

Anhang III - Tab. 4: Trockenperiode und Niedrigwasser im **Sommer 1976** in Südwest- und Süddeutschland auslösende Großwetterlagen (GWL) und objektiv klassifizierte NCAR-CPs für die gemeinsame CP-Klassifikation für alle 3 Bundesländer (all 17CP) und die speziellen Klassifikationen für Baden-Württemberg (BW 18CP), Bayern (BY 21CP) und Rheinland-Pfalz (RLP 20 CP).



Datum	GWL	all 17CP	BW 18CP	BY 21CP	RLP 20CP	Datum	GWL	all 17CP	BW 18CP	BY 21CP	RLP 20CP
01.06.1947	HM	CP12	CP16	CP18	CP12	01.08.1947	BM	CP08	CP16	CP19	CP12
02.06.1947	HM	CP06	CP16	CP19	CP05	02.08.1947	BM	CP11	CP11	CP15	CP01
03.06.1947	HM	CP17	CP05	CP18	CP02	03.08.1947	BM	CP11	CP04	CP12	CP01
04.06.1947	Wz	CP03	CP17	CP13	CP02	04.08.1947	BM	CP09	CP17	CP09	CP09
05.06.1947	Wz	CP04	CP18	CP09	CP18	05.08.1947	Wz	CP09	CP17	CP15	CP09
06.06.1947	Wz	CP04	CP18	CP09	CP18	06.08.1947	Wz	CP04	CP18	CP09	CP09
07.06.1947	Wz	CP04	CP06	CP11	CP18	07.08.1947	Wz	CP04	CP01	CP13	CP07
08.06.1947	Wz	CP13	CP06	CP04	CP13	08.08.1947	Wz	CP10	CP13	CP21	CP13
09.06.1947	Wz	CP10	CP14	CP04	CP13	09.08.1947	NEa	CP12	CP13	CP19	CP04
10.06.1947	NWa	CP02	CP16	CP08	CP14	10.08.1947	NEa	CP12	CP07	CP10	CP04
11.06.1947	HNa	CP02	CP03	CP19	CP12	11.08.1947	NEa	CP07	CP07	CP10	CP04
12.06.1947	HNa	CP12	CP05	CP19	CP10	12.08.1947	NEa	CP07	CP07	CP21	CP08
13.06.1947	HNa	CP09	CP05	CP13	CP09	13.08.1947	NEa	CP02	CP03	CP19	CP04
14.06.1947	Wz	CP09	CP17	CP15	CP09	14.08.1947	HFa	CP07	CP07	CP21	CP08
15.06.1947	Wz	CP09	CP17	CP09	CP09	15.08.1947	HFa	CP02	CP03	CP08	CP08
16.06.1947	Wz	CP10	CP06	CP06	CP20	16.08.1947	HFa	CP01	CP07	CP08	CP01
17.06.1947	HM	CP14	CP02	CP18	CP19	17.08.1947	HFa	CP07	CP03	CP19	CP08
18.06.1947	HM	CP14	CP03	CP18	CP04	18.08.1947	HFa	CP07	CP03	CP02	CP04
19.06.1947	NEa	CP11	CP08	CP02	CP19	19.08.1947	HFa	CP07	CP16	CP02	CP12
20.06.1947	NEa	CP05	CP09	CP10	CP04	20.08.1947	HFa	CP07	CP16	CP02	CP05
21.06.1947	NEa	CP09	CP07	CP03	CP04	21.08.1947	NEa	CP12	CP07	CP19	CP06
22.06.1947	NEz	CP16	CP09	CP05	CP10	22.08.1947	NEa	CP12	CP13	CP19	CP04
23.06.1947	NEz	CP02	CP02	CP21	CP08	23.08.1947	NEa	CP16	CP07	CP10	CP04
24.06.1947	HM	CP02	CP03	CP02	CP08	24.08.1947	NEa	CP07	CP01	CP21	CP04
25.06.1947	HM	CP01	CP11	CP16	CP02	25.08.1947	NEa	CP07	CP13	CP21	CP04
26.06.1947	HM	CP12	CP03	CP02	CP14	26.08.1947	NEa	CP02	CP07	CP21	CP08
27.06.1947	HM	CP02	CP03	CP02	CP04	27.08.1947	NEa	CP11	CP02	CP19	CP19
28.06.1947	HM	CP12	CP03	CP02	CP08	28.08.1947	NEa	CP07	CP13	CP05	CP19
29.06.1947	HM	CP14	CP08	CP18	CP04	29.08.1947	NEa	CP07	CP07	CP19	CP12
30.06.1947	HM	CP11	CP02	CP07	CP04	30.08.1947	NEa	CP12	CP03	CP19	CP12
01.07.1947	BM	CP05	CP09	CP05	CP17	31.08.1947	NEa	CP12	CP13	CP19	CP12
02.07.1947	BM	CP02	CP02	CP08	CP08	01.09.1947	NEa	CP12	CP13	CP19	CP12
03.07.1947	BM	CP02	CP08	CP08	CP03	02.09.1947	NEa	CP12	CP13	CP19	CP04
04.07.1947	BM	CP15	CP11	CP04	CP15	03.09.1947	NEa	CP12	CP13	CP10	CP04
05.07.1947	Wz	CP04	CP14	CP13	CP15	04.09.1947	BM	CP14	CP07	CP10	CP04
06.07.1947	Wz	CP04	CP14	CP01	CP15	05.09.1947	BM	CP12	CP03	CP02	CP04
07.07.1947	Wz	CP15	CP08	CP15	CP09	06.09.1947	BM	CP05	CP11	CP12	CP16
08.07.1947	Wz	CP15	CP99	CP15	CP15	07.09.1947	BM	CP11	CP18	CP13	CP16
09.07.1947	Wz	CP99	CP99	CP99	CP99	08.09.1947	Wa	CP04	CP18	CP09	CP18
10.07.1947	Wz	CP99	CP99	CP99	CP99	09.09.1947	Wa	CP04	CP14	CP09	CP18
11.07.1947	Wz	CP03	CP10	CP14	CP18	10.09.1947	Wa	CP01	CP06	CP06	CP13
12.07.1947	Wz	CP04	CP01	CP11	CP13	11.09.1947	Wa	CP08	CP06	CP01	CP18
13.07.1947	HM	CP02	CP01	CP08	CP08	12.09.1947	SWa	CP13	CP12	CP16	CP16
14.07.1947	HM	CP11	CP03	CP07	CP01	13.09.1947	SWa	CP13	CP12	CP06	CP05
15.07.1947	HM	CP02	CP03	CP08	CP08	14.09.1947	SWa	CP01	CP12	CP06	CP05
16.07.1947	NEa	CP12	CP07	CP02	CP03	15.09.1947	SWa	CP01	CP06	CP04	CP05
17.07.1947	NEa	CP07	CP07	CP19	CP14	16.09.1947	SWa	CP06	CP11	CP06	CP05
18.07.1947	NEa	CP12	CP09	CP19	CP04	17.09.1947	SWa	CP04	CP06	CP01	CP01
19.07.1947	Wz	CP07	CP05	CP10	CP02	18.09.1947	SWa	CP12	CP16	CP02	CP14
20.07.1947	Wz	CP16	CP07	CP10	CP10	19.09.1947	SWa	CP12	CP16	CP02	CP05
21.07.1947	HM	CP12	CP07	CP19	CP08	20.09.1947	SWa	CP06	CP05	CP03	CP18
22.07.1947	HM	CP02	CP16	CP02	CP12	21.09.1947	BM	CP04	CP11	CP15	CP01
23.07.1947	HM	CP11	CP02	CP21	CP19	22.09.1947	BM	CP13	CP18	CP16	CP16
24.07.1947	HM	CP11	CP03	CP06	CP01	23.09.1947	TrM	CP04	CP01	CP09	CP16
25.07.1947	BM	CP11	CP03	CP02	CP01	24.09.1947	TrM	CP09	CP13	CP19	CP17
26.07.1947	BM	CP11	CP04	CP02	CP01	25.09.1947	TrM	CP12	CP13	CP19	CP04
27.07.1947	BM	CP08	CP13	CP12	CP17	26.09.1947	BM	CP12	CP07	CP19	CP01
28.07.1947	BM	CP11	CP16	CP02	CP01	27.09.1947	BM	CP01	CP12	CP06	CP09
29.07.1947	BM	CP01	CP12	CP02	CP05	28.09.1947	NWa	CP01	CP06	CP06	CP13
30.07.1947	BM	CP10	CP13	CP19	CP01	29.09.1947	NWa	CP05	CP14	CP09	CP13
31.07.1947	BM	CP08	CP13	CP01	CP01	30.09.1947	NWa	CP05	CP02	CP05	CP19

Anhang III - Tab. 5: Trockenperiode und Niedrigwasser im **Sommer 1947** in Südwestdeutschland auslösende Großwetterlagen (GWL) und objektiv klassifizierte NCAR-CPs für die gemeinsame CP-Klassifikation für alle 3 Bundesländer (all 17CP) und die speziellen Klassifikationen für Baden-Württemberg (BW 18CP), Bayern (BY 21CP) und Rheinland-Pfalz (RLP 20 CP).



Datum	GWL	all 17CP	Datum	GWL	all 17CP	Datum	GWL	all 17CP
01.04.1921	NWa	CP02	01.06.1921	NEa	CP11	01.08.1921	HM	CP13
02.04.1921	BM	CP11	02.06.1921	NEa	CP12	02.08.1921	Wz	CP15
03.04.1921	BM	CP11	03.06.1921	NEa	CP12	03.08.1921	Wz	CP14
04.04.1921	BM	CP10	04.06.1921	HNa	CP12	04.08.1921	Wz	CP13
05.04.1921	Na	CP05	05.06.1921	HNa	CP12	05.08.1921	Wz	CP13
06.04.1921	Na	CP10	06.06.1921	HNa	CP12	06.08.1921	Wz	CP03
07.04.1921	HFa	CP02	07.06.1921	Ü	CP12	07.08.1921	Wz	CP10
08.04.1921	HFa	CP14	08.06.1921	Ü	CP15	08.08.1921	Wz	CP05
09.04.1921	HFa	CP01	09.06.1921	NWa	CP03	09.08.1921	Wz	CP99
10.04.1921	HFa	CP07	10.06.1921	NWa	CP05	10.08.1921	NWz	CP14
11.04.1921	HNa	CP02	11.06.1921	NWa	CP05	11.08.1921	NWz	CP16
12.04.1921	HNa	CP13	12.06.1921	NWa	CP10	12.08.1921	NWz	CP03
13.04.1921	Nz	CP04	13.06.1921	NWa	CP08	13.08.1921	NWz	CP04
14.04.1921	Nz	CP03	14.06.1921	NWa	CP05	14.08.1921	NWz	CP04
15.04.1921	Nz	CP09	15.06.1921	HB	CP11	15.08.1921	NWz	CP05
16.04.1921	TrM	CP09	16.06.1921	HB	CP11	16.08.1921	Wz	CP14
17.04.1921	TrM	CP09	17.06.1921	HB	CP08	17.08.1921	Ü	CP12
18.04.1921	TrM	CP17	18.06.1921	Nz	CP10	18.08.1921	NEa	CP12
19.04.1921	TrM	CP10	19.06.1921	Nz	CP17	19.08.1921	NEa	CP12
20.04.1921	NEz	CP11	20.06.1921	Nz	CP10	20.08.1921	NEa	CP12
21.04.1921	NEz	CP11	21.06.1921	Nz	CP10	21.08.1921	HNFz	CP12
22.04.1921	NEz	CP02	22.06.1921	NWa	CP05	22.08.1921	HNFz	CP16
23.04.1921	NEz	CP05	23.06.1921	NWa	CP08	23.08.1921	HNFz	CP12
24.04.1921	NEz	CP05	24.06.1921	HM	CP12	24.08.1921	NEa	CP16
25.04.1921	HFa	CP11	25.06.1921	HM	CP10	25.08.1921	NWz	CP05
26.04.1921	HFa	CP11	26.06.1921	HM	CP06	26.08.1921	NWz	CP05
27.04.1921	HFa	CP02	27.06.1921	HNa	CP12	27.08.1921	Wa	CP13
28.04.1921	HFa	CP11	28.06.1921	HNa	CP08	28.08.1921	Wa	CP06
29.04.1921	HNa	CP14	29.06.1921	HNa	CP10	29.08.1921	Wa	CP03
30.04.1921	HNa	CP02	30.06.1921	HNa	CP08	30.08.1921	Wa	CP05
01.05.1921	HNa	CP11	01.07.1921	HNa	CP05	31.08.1921	Wa	CP08
02.05.1921	Nz	CP09	02.07.1921	HNa	CP08	01.09.1921	Wa	CP14
03.05.1921	Nz	CP03	03.07.1921	HNa	CP14	02.09.1921	Wa	CP03
04.05.1921	Nz	CP99	04.07.1921	HNa	CP14	03.09.1921	Wa	CP01
05.05.1921	Wz	CP99	05.07.1921	HNa	CP05	04.09.1921	Wa	CP07
06.05.1921	Wz	CP13	06.07.1921	NWa	CP08	05.09.1921	HM	CP11
07.05.1921	Wz	CP01	07.07.1921	NWa	CP07	06.09.1921	HM	CP02
08.05.1921	Wz	CP15	08.07.1921	BM	CP02	07.09.1921	HM	CP02
09.05.1921	Wz	CP01	09.07.1921	BM	CP01	08.09.1921	HM	CP12
10.05.1921	HM	CP07	10.07.1921	BM	CP11	09.09.1921	HM	CP01
11.05.1921	HM	CP07	11.07.1921	BM	CP13	10.09.1921	Wz	CP15
12.05.1921	HM	CP02	12.07.1921	HNa	CP03	11.09.1921	Wz	CP01
13.05.1921	HM	CP01	13.07.1921	HNa	CP06	12.09.1921	Wz	CP03
14.05.1921	BM	CP01	14.07.1921	HNa	CP08	13.09.1921	Wz	CP04
15.05.1921	BM	CP11	15.07.1921	HFa	CP12	14.09.1921	Wz	CP06
16.05.1921	BM	CP09	16.07.1921	HFa	CP12	15.09.1921	Wz	CP03
17.05.1921	BM	CP09	17.07.1921	HFa	CP12	16.09.1921	HNa	CP10
18.05.1921	BM	CP09	18.07.1921	NEz	CP09	17.09.1921	HNa	CP12
19.05.1921	BM	CP01	19.07.1921	NEz	CP09	18.09.1921	HFa	CP07
20.05.1921	BM	CP01	20.07.1921	NWa	CP10	19.09.1921	HFa	CP07
21.05.1921	BM	CP02	21.07.1921	NWa	CP05	20.09.1921	BM	CP07
22.05.1921	BM	CP02	22.07.1921	Wz	CP01	21.09.1921	BM	CP01
23.05.1921	BM	CP12	23.07.1921	Wz	CP06	22.09.1921	BM	CP02
24.05.1921	BM	CP12	24.07.1921	Wz	CP03	23.09.1921	BM	CP08
25.05.1921	BM	CP01	25.07.1921	Wa	CP13	24.09.1921	BM	CP08
26.05.1921	TrM	CP14	26.07.1921	Wa	CP01	25.09.1921	HB	CP08
27.05.1921	TrM	CP99	27.07.1921	Wa	CP14	26.09.1921	HB	CP08
28.05.1921	TrM	CP99	28.07.1921	Wz	CP16	27.09.1921	HB	CP14
29.05.1921	Wa	CP99	29.07.1921	Wz	CP17	28.09.1921	HM	CP02
30.05.1921	Wa	CP09	30.07.1921	HM	CP13	29.09.1921	HM	CP10

Anhang III - Tab. 6: Trockenperiode und Niedrigwasser im **Sommer 1921** in Südwestdeutschland auslösende Großwetterlagen (GWL) und objektiv klassifizierte NCAR-CPs für die gemeinsame CP-Klassifikation für alle 3 Bundesländer (all 17CP).